



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

วิธีการฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผา: กรณีศึกษา การจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของ ประเทศไทย

A Heuristic for Solving the Location and Incinerator Selection Problem: A Case Study of Elimination of Infectious Waste of Community Hospitals in the Upper Northeastern Part of Thailand

ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา¹ สมบัติ สินธุเชาวน์^{1*}

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

Pattaraporn Sresanpila¹ Sombat Sindhuchao^{1*}

¹ Faculty of Engineering, Ubonratchathani University, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190

* Corresponding author.

E-mail: somsin@rocketmail.com; Telephone: 0 4535 3334

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกประเภทของเตาเผา สำหรับกำจัดขยะติดเชื้อโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่ทำให้ต้นทุนการขนส่ง และต้นทุนการดำเนินการมีค่ารวมกันต่ำที่สุด เตาเผาที่พิจารณา 3 แบบ คือ แบบที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และสามารถตั้งอยู่ ณ โรงพยาบาลชุมชนใดก็ได้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคในการหาคำตอบ พร้อมทั้งวัดประสิทธิภาพวิธีนี้ โดยเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้กับคำตอบของ Lingo 11 ที่กำหนดระยะเวลาการประมวลผลไว้ที่ระยะเวลาหนึ่ง ผลการหาคำตอบพบว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ ให้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าผลคำตอบจากโปรแกรม Lingo 11 ภายในระยะเวลาการคำนวณของโปรแกรม Lingo 11 ที่ 94.38 นาที

คำสำคัญ

ตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผา การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

Abstract

This research aims to find the location and select the type of incinerator for eliminating infection waste of community hospitals in upper North East Thailand that minimizes the total transportation and operation cost. There are 3 types of incinerators with the maximum burning rate of 100 300 and 600 kilogram per hour. The incinerator can be located at any community hospitals. The Particle Swarm Optimization (PSO) is applied to obtain the solution. To measure the performance of the proposed Heuristic, its solution is compared to that obtained from Lingo 11 program whose

computational time is set to a specific time period. The results show that PSO is very efficient in finding the solution with lower total cost than that obtained from Lingo 11 program within its computational time of 94.38 minutes.

Keywords

location; incinerator; particle swarm optimization

1. บทนำ

ประเทศไทยมีสถานพยาบาลทั้งที่เป็นของรัฐ และเอกชนจำนวนมากจึงทำให้มีอัตราการเพิ่มขึ้นของขยะติดเชื้อสูงขึ้นทุกปี โรงพยาบาลส่วนใหญ่จะมีการกำจัดขยะติดเชื้อโดยการเผาในเตาเผาขยะติดเชื้อ จากข้อมูลการสำรวจบริการการจัดจัดการขยะติดเชื้อ พบว่าโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนส่วนใหญ่ต้องใช้บริการบริษัทกำจัดขยะติดเชื้อของเอกชน เนื่องจากเตาเผาที่อยู่ในโรงพยาบาลขาดงบประมาณที่เพียงพอในการซ่อมบำรุงเตาเผาและไม่มีอะไหล่สำรอง [1] ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหา และเสนอแนวทางให้มีการเปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลบางแห่ง เพื่อกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงเกี่ยวข้องกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม (facility location problem) [2,3] เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเผาขยะติดเชื้อ หรือต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด ปัญหาที่มีลักษณะคล้ายกับปัญหา P-median [4] โดยแต่ละแห่งจะมีกลุ่มลูกค้าที่รับผิดชอบตามระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ตั้งกับกลุ่มลูกค้าที่รับผิดชอบโดยให้ค่าระยะทางรวมกันมีค่าต่ำที่สุด [5] ได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าแบบฝูงอนุภาค (particle swarm optimization: PSO) ร่วมกับวิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (simulated annealing: SA) ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า ส่วน [6] ได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งโดยประยุกต์ใช้วิธีการบีอัลกอริทึม (bee algorithms) ร่วมกับวิธีการหาค่าแบบฝูง

อนุภาค และ [7] ใช้ฟังก์ชันโปรแกรม Excel ซึ่งใช้ Solver ในการร่วมหาค่าตอบร่วมกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ส่วน [8,9] ได้ปรับปรุงสมการค่าความเร็วให้มีการเพิ่มความสามารถในการหนีออกจากการกระจุกตัวกันในจุดที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ ทำให้ใช้เวลาในการหาค่าตอบรวดเร็วขึ้น

2. วิธีการวิจัย

วิธีการวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการกำหนดลักษณะของปัญหาที่ชัดเจนเพื่อใช้สำหรับการเก็บข้อมูลที่ต้องการสำหรับใช้ในการสร้างตัวแปรสำหรับคำนวณหาค่าตอบ เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้วจึงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่ศึกษา แล้วพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเพื่อหาคำตอบ โดยการคำนวณหาค่าตอบของวิธีวิฤตนี้ จะเขียนด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ C++ รายละเอียดของวิธีการวิจัยมีดังต่อไปนี้

2.1 การกำหนดลักษณะของปัญหางานวิจัย

ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 109 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน ในการเลือกเปิดตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา สามารถเปิดดำเนินการกี่แห่งก็ได้ ซึ่งโรงพยาบาลแต่ละแห่ง จะส่งขยะติดเชื้อไปยังตำแหน่งที่ตั้ง ที่เปิดดำเนินการเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผากำหนดให้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาลชุมชนใดก็ได้ พร้อมเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น ส่วนการขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล ไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผา เป็นการเดินทางแบบไป-กลับโดยตรง และรถขนส่งสามารถขน

ขยะติดเชื้อทั้งหมดของโรงพยาบาลแต่ละแห่งได้ในทีเดียว ซึ่งการนำขยะติดเชื้อไปกำจัดในแต่ละโรงพยาบาลมีความถี่ในการส่งขยะติดเชื้อที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณขยะติดเชื้อและระยะทางในการขนส่งแต่ละครั้ง เตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบัน เป็นเตาเผาที่ได้มาตรฐาน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ที่นิยมใช้ในบริษัทเอกชนส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขนาดใหญ่ เช่น เตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นเตาเผาที่สามารถเปิดใช้งานได้นาน ติดต่อกันหลายชั่วโมง ในการจำลองรูปแบบคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้แก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด (facility location problem) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเปิดดำเนินการว่าต้นทุนรวมต่ำหรือไม่ และดำเนินการเผาขยะติดเชื้อที่รับมารวมกันเพื่อรอเผาครั้งเดียวให้หมดภายในเดือนนั้น ๆ โดยต้นทุนรวมประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเผาขยะติดเชื้อ

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน 109 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียง-เหนือตอนบนของประเทศไทยทั้งหมด 9 จังหวัด ประกอบไปด้วย จังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภูเลย และบึงกาฬซึ่งข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เรืองโรจน์สระบุรี ห้างหุ้นส่วนจำกัด แมส เอนไวรอนเมนต์ เซอร์วิส บริษัท SIAM INCINERATOR และโรงพยาบาลชุมชนบางแห่งที่ส่งขยะติดเชื้อให้กับสถานอื่น ส่วนข้อมูลที่ได้รับ ความอนุเคราะห์จากบริษัทต่าง ๆ ดังกล่าว ประกอบด้วย ปริมาณขยะติดเชื้อที่รับไปกำจัดของแต่ละโรงพยาบาล ความถี่ในการรับขยะติดเชื้อเพื่อไปกำจัด อัตราค่าใช้จ่ายในการให้บริการต่อครั้ง อัตราค่าขนส่งต่อกิโลเมตร รายละเอียดของข้อมูลมีดังนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา

ข้อมูล	เตาเผาขยะติดเชื้อ		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ราคา (บาท)	1,995,000	3,745,000	10,165,000
อัตราการเผาสูงสุด (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	100	300	600
อายุการใช้งาน (ปี)	10	10	10

2.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผา

เตาเผาที่ใช้กำจัดขยะติดเชื้อมีหลายแบบ โดยแบ่งตามความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม ต่อ หน่วยเวลา) สำหรับงานวิจัยนี้ พิจารณาเตาเผาเพียง 3 แบบ คือ เตาเผาที่มีความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ 100, 300 และ 600 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นแบบที่ผู้ให้บริการเอกชนแนะนำหรือใช้อยู่ในปัจจุบัน ข้อมูลต่าง ๆ ของเตาเผาแต่ละแบบแสดงดังในตารางที่ 1

2.2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อ

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อ คือ ปริมาณขยะติดเชื้อ และความสามารถในการกำจัดขยะติดเชื้อต่อเดือนของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยจำนวนขยะติดเชื้อมีรวมกันทั้งหมด 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน และความถี่เฉลี่ยในการกำจัดขยะติดเชื้อเป็น 4 ครั้งต่อเดือน ข้อมูลทั้งหมดเหล่านี้ได้จากการสอบถามจากองค์กรเอกชนที่ให้บริการในการกำจัดขยะติดเชื้อ และมีข้อมูลบางส่วนที่ได้สอบถามจากโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยตรง สำหรับข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณต้องแปลงให้เป็นปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนก่อน

2.2.3 ข้อมูลค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาประกอบด้วย 3 ส่วนที่สำคัญ คือ ค่าขนส่งขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผันตามปริมาณขยะติดเชื้อที่เผา ค่าขนส่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการ

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในการเผาเผาขยะติดเชื้อ

ค่าใช้จ่าย	แบบเตาเผา	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ค่าบำรุงเตา (บาทต่อชั่วโมง)		53	90	128
ค่าสาธารณูปโภค (บาทต่อชั่วโมง)		107	135	183
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา (บาทต่อชั่วโมง)		210	329	607
ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อเดือน)		16,397	30,781	83,548
ค่าจ้างพนักงาน(บาทต่อเดือน)		31,500	31,500	31,500

ขนส่งและค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง สำหรับค่าใช้จ่ายคงที่ ประกอบด้วยค่าเสื่อมราคาและค่าจ้างพนักงาน ส่วน ค่าใช้จ่ายแปรผันประกอบด้วย ค่าบำรุงเตาเผา ค่า สาธารณูปโภค และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา ซึ่งค่าใช้จ่าย เหล่านี้ อ้างอิงจากข้อมูลของ องค์กรเอกชนที่รับบริการกำจัด ขยะติดเชื้อ และจำหน่ายเตาเผาขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ แบ่งตามแบบเตาเผา แสดงในตารางที่ 2

2.2.4 ข้อมูลการขนส่งขยะติดเชื้อ

ข้อมูลการขนส่งที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ระยะทางการขนส่งของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง และข้อมูลของ ยานพาหนะขนส่ง การคำนวณหาระยะทางระหว่าง โรงพยาบาลแต่ละแห่งจะใช้เส้นละติจูดและเส้นลองจิจูดของ ที่ตั้งของโรงพยาบาล มาประมวลผลด้วยโปรแกรม PHP ผ่าน ทาง Google Map ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ส่วนยานพาหนะที่ ใช้ในการขนส่งขยะติดเชื้อเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ มีความสามารถ ในการขนส่งขยะติดเชื้อได้ 3,000 กิโลกรัมต่อเที่ยว

2.3 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกขนาดเตา และที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

ผู้วิจัยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชันเป้าหมายและเงื่อนไข ต่าง ๆ โดยครอบคลุมไปถึงนิยามของดัชนีที่ใช้ ตัวแปรต่าง ๆ สมมติฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละเงื่อนไข ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อโดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายคงที่ในการ ดำเนินการเผา และค่าใช้จ่ายแปรผันในการเดินเครื่องเตาเผา รวมกันมีค่าต่ำที่สุด มีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

2.3.1 ดัชนี (Indices)

- i แทน ดัชนี ของ โรง พยา บา ล ชุม ชน $i = 1, 2, \dots, m$ ($m = 109$)
- j แทน ดัชนีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ $j = 1, 2, \dots, n$ ($n = 109$)
- k แทน ดัชนี ของ แบบ เตา เา เา ขยะ ติด เชื้อ $k = 1, 2, \dots, K$ ($K = 3$)

- โดยที่
- 1 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
 - 2 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
 - 3 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2.3.2 ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

- c_{ij} เป็นระยะทางการขนส่งจากโรงพยาบาลชุมชน i ไปยังตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ j (กิโลเมตร)
- P_k เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อเตาเผาแบบที่ k (บาทต่อเดือน)

d_i เป็นปริมาณของขยะติดเชื้อเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละ
โรงพยาบาลชุมชน i (กิโลกรัมต่อเดือน)

a เป็นต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งระหว่างโรงพยาบาลชุมชนกับตำแหน่งเตาเผา (บาทต่อกิโลเมตร)

f_i ความถี่ในการเดินทางไปรับขยะติดเชื้อของ
โรงพยาบาล i (ครั้งต่อเดือน)

B_k เป็นอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผาแบบที่ k
(กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

O_k ค่าใช้จ่ายแปรผันในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ
แบบ k (บาทต่อชั่วโมง)

Z เป็นค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อเดือน)

2.3.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ในการเลือกขนาดและหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของ
ประเทศไทย มีตัวแปรที่ใช้สำหรับการตัดสินใจดังนี้

$x_{ij} = 1$ ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน i ถูกส่ง
ไปเตาเผาที่ตำแหน่ง j

$= 0$ สำหรับกรณีอื่น ๆ

$y_j = 1$ ถ้าเปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง
 j

$= 0$ สำหรับกรณีอื่น ๆ

$z_{kj} = 1$ ถ้าใช้เตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง
เตาเผา j

h_{kj} เป็นจำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่เดินเครื่องเตาเผาขยะติด
เชื้อแบบที่ k ที่ตำแหน่ง j

2.3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และสมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a f_i c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K P_k z_{kj} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K h_{kj} O_k z_{kj} \quad (1)$$

ข้อกำหนด (subject to)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (i=1 \dots m) \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K z_{kj} = y_j \quad \forall j \quad (j=1 \dots n) \quad (3)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall ij \quad (i=1 \dots m), (j=1 \dots n) \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K B_k z_{kj} (h_{kj} - 6) \geq \sum_{i=1}^m d_i x_{ij} \quad \forall j \quad (j=1 \dots n) \quad (5)$$

$$0 \leq h_{kj} \leq (24 * 30) z_{kj} \quad \forall k, j \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq y_j \quad \forall j \quad (j=1 \dots n) \quad (7)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad (8)$$

$$y_j \in \{0, 1\} \quad (9)$$

$$z_{kj} \in \{0, 1\} \quad (10)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งเป็น
ผลรวมของค่าขนส่งขยะติดเชื้อและค่าใช้จ่ายคงที่ในการ
ดำเนินการและค่าใช้จ่ายแปรผันในการเดินเครื่องเตาเผาขยะ
ติดเชื้อ สมการที่ (2) เป็นสมการเงื่อนไขบังคับให้โรงพยาบาล
ชุมชน i แต่ละแห่งสามารถใช้บริการจากเตาเผาได้เพียงแห่ง
เดียวเท่านั้น สมการที่ (3) กำหนดว่าโรงพยาบาลที่ได้รับเลือก
เป็นที่ตั้งของเตาเผา จะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น
สมการที่ (4) กำหนดว่าโรงพยาบาลทุกแห่ง i สามารถรับ
บริการกำจัดขยะติดเชื้อจากเตาเผาที่เปิดดำเนินการแล้ว
เท่านั้น สมการที่ (5) กำหนดว่าในแต่ละเดือนเตาเผาที่เปิด
ดำเนินการในแต่ละแห่ง จะต้องทำการเผาขยะติดเชื้อทั้งหมดที่
รับมาจากโรงพยาบาลต่าง ๆ ในเดือนนั้น ๆ โดยจะต้องมีการ
เปิดเครื่องเตาเผาทิ้งไว้ก่อน 6 ชั่วโมง จึงจะสามารถเริ่มการ
กำจัดขยะติดเชื้อได้ สมการที่ (6) เป็นจำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่
เปิดเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง j จะต้อง
เดินเครื่องต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน สมการที่ (7)
เป็นการกำหนดว่าโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติด
เชื้อจะต้องมีโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาให้กำจัดอย่างน้อย
1 แห่ง เงื่อนไขที่ (8) ถึง (10) เป็นการกำหนดค่าของตัวแปร
ตัดสินใจว่ามีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หรือ 1

2.4 การพัฒนาฮิวริสติก

การพัฒนาอัลกอริธึมมีขั้นตอนในการทำงานหลักคือการสร้างกลุ่มของตัวค้นหาผลลัพธ์ แล้วใช้หลักเกณฑ์ที่ต่างกันในการค้นหาแบบสโตแคสติก (stochastic search) ที่ทำการลอกเลียนแบบการพัฒนาตัวเองตามธรรมชาติเช่นการที่มดพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปสู่แหล่งอาหารหรือการที่นกพยายามหาจุดหมายปลายทางระหว่างการอพยพซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะถูกทำซ้ำไปซ้ำมาจนกระทั่งได้ตามเงื่อนไขของการหยุดการทำงาน จึงทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาและเลือกใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (particle swarm optimization หรือ PSO) ในการค้นหาคำตอบ

2.4.1 วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

วิธีการค้นหาค่าที่ดีที่สุดแบบการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานถูกคิดค้นขึ้นโดย Kennedy และ Eberhart [10] จากนั้นมีการปรับปรุงเพิ่มเติมภายหลังโดย Shi และ Eberhart [11] ด้วยการเพิ่มตัวพารามิเตอร์น้ำหนักแรงเฉื่อย w ลงในสมการ หลังจากนั้นการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบมาตรฐานนี้ ก็กลายเป็นการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดจนถึงปัจจุบัน การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบมาตรฐาน ใช้การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวอนุภาคแต่ละตัว กับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลเท่านั้น ในการเชื่อมต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวอนุภาคในฝูง มีวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคนี้โดยใช้สมการที่ (11) ถึง (13) ในการเปลี่ยนค่าความเร็วและตำแหน่ง โดยแสดงตำแหน่งของอนุภาค ตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

v_i^{t+1} คือ ค่าความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคที่ i ณ เวลาที่ $t+1$

v_i^t คือ ค่าความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคที่ i ณ เวลาที่ t

c_1 และ c_2 คือ ค่าคงที่

R_1 และ R_2 คือ ค่าตัวเลขสุ่มในการประมวลผลแต่ละรอบโดยสุ่มค่าในช่วง 0 ถึง 1

$x_{i,pbest}^t$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดส่วนตัวที่ i ณ เวลาที่ t

$x_{i,Gbest}^t$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดสากลที่ i ณ เวลาที่ t

x_i^t คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ i ณ เวลาที่ t

w คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก

v_{min} คือ ขอบล่างของค่าความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่ง

v_{max} คือ ขอบบนของค่าความเร็วในการเปลี่ยนตำแหน่ง

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1R_1(x_{i,pbest}^t - x_i^t) + c_2R_2(x_{i,Gbest}^t - x_i^t) \quad (11)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (12)$$

$$v_i^{t+1} = \begin{cases} v_i^{t+1}, & \text{if } v_i^{t+1} \in [v_{min}, v_{max}] \\ v_{max} & \text{if } v_i^{t+1} \geq v_{max} \\ v_{min} & \text{if } v_i^{t+1} \leq v_{min} \end{cases} \quad (13)$$

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเพื่อค้นหาคำตอบของปัญหา มีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างและกำหนดค่าอนุภาค (particle) เริ่มต้นตามจำนวนประชากรที่กำหนดที่ x_i^t เพื่อทำการเลือกโรงพยาบาล เริ่มต้นที่ $t=0$

ขั้นตอนที่ 2: ตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และกำหนดค่าความเร็วสำหรับอนุภาค v_i^t (ความเร็วเริ่มต้น)

ขั้นตอนที่ 3: ปรับค่าความเร็ว v_i^{t+1} เมื่อได้ค่าความเร็วเริ่มต้นและอนุภาคที่ x_i^t แล้วให้ใช้สมการที่ (11) ในการคำนวณหาค่าความเร็วของแต่ละอนุภาค ณ เวลาที่ $t+1$

ขั้นตอนที่ 4: ปรับค่าอนุภาค x_i^{t+1} คำนวณค่า x_i^{t+1} โดยใช้สมการที่ (12)

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะได้ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดในรอบเดียวกันไปเปรียบเทียบกับรอบอื่น ๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (global best: Gb)

ขั้นตอนที่ 6: ถ้าเงื่อนไขการหยุดทำงานสมบูรณ์ ให้หยุดการวนซ้ำ แต่ถ้าเงื่อนไขการหยุดการทำงานไม่สมบูรณ์ ให้ตั้งค่า $t = t + 1$

2.5 วิธีการหาคำตอบ

ผู้วิจัยทำการทดลองการแก้ปัญหาโดยทดสอบใช้โปรแกรม Lingo 11 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนั้นได้ทำการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา และได้ทำการพัฒนาฮิสตริกตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา โดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual C++ ทำการทดสอบวิธีการกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Note Book ASUS รุ่น Intel Pentium inside CPU Intel Pentium 2.4 GHz, Ram 4 GB ทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows 7

3. การอภิปรายผลการวิจัย

การแก้ปัญหาคือการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ กรณีศึกษาการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยผู้วิจัยทำการทดลองการแก้ปัญหาโดยทดสอบใช้โปรแกรม Lingo 11 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนั้นได้ทำการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา และได้ทำการพัฒนาฮิสตริกตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา ซึ่งมีรูปแบบขั้นตอนการหาตำแหน่งที่เหมาะสมแบบฟูลอณาภาค และทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง

3.1 การทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยทดสอบกับโปรแกรม Lingo 11

ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย สำหรับโรงพยาบาลชุมชนจำนวน 109 แห่ง มีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย

LINGO 11.0 Solver Status [P-Median]	
Solver Status:	
Model Class:	INLP
State:	Local Opt
Objective:	948470
Infeasibility:	7.27596e-012
Iterations:	48270
Variables:	
Total:	12644
Nonlinear:	654
Integers:	12317
Constraints:	
Total:	12645
Nonlinear:	110
Nonzeros:	
Total:	73684
Nonlinear:	1308
Generator Memory Used (K):	3656
Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	01:34:23
Extended Solver Status:	
Solver Type:	B-and-B
Best Obj:	948470
Obj Bound:	948470
Steps:	4
Active:	0
Update Interval:	2
Interrupt Solver	
Close	

รูปที่ 1 สถานะของคำตอบที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Lingo 11

ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา รวมถึงค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผา เตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 แบบ คือ อัตราการเผาสูงสุดตั้งแต่ 100 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผาต่อเดือน 47,897 บาท 62,281 บาท และ 115,048 บาทตามลำดับ และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผาต่อชั่วโมง 370 บาท 554 บาท และ 918 บาทตามลำดับ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Lingo 11 ในการหาคำตอบของปัญหาโดยการเปลี่ยนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นรูปที่ใช้กับการประมวลผลด้วยโปรแกรม Lingo 11 จากนั้นจึงประมวลผลโปรแกรมในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

รูปที่ 1 แสดงสถานะของคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 ซึ่งกำหนดระยะเวลาประมวลผลไว้ที่ 1 ชั่วโมง 34 นาที 23 วินาที หรือ 94.38 นาที ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรม Lingo 11 เป็นระยะเวลานาน 94.38 นาทีนั้น มีต้นทุนรวมเท่ากับ 948,470 บาทต่อเดือน โดยมีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 9 ตำแหน่ง โดยมี 8 แห่งเลือกเปิดเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมี 1 แห่งเลือกเปิดเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนทั้งหมดรวมกันต่อเดือนที่สามารถรับได้ และ

แต่ละแห่งใช้ระยะเวลาในการเผาแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเผาขยะติดเชื้อได้หมดได้ภายในเดือนนั้น ๆ นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มเติมโดยเพิ่มเวลาในการประมวลผลโปรแกรม Lingo 11 เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมงและพบว่าผลคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากับผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมเป็นระยะเวลา 94.38 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าโปรแกรม Lingo 11 ยังไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ในช่วงระยะเวลาที่จำกัดไว้ 24 ชั่วโมง

3.2 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างและกำหนดค่าอนุภาค (particle) ที่ x'_i เพื่อทำการเลือกโรงพยาบาล เริ่มต้นที่ $t = 0$

ขั้นตอนที่ 1.1 ทำการสุ่มตัวเลขให้กับโรงพยาบาลทั้งหมด และสุ่มตัวเลขให้กับโรงพยาบาลซึ่งค่าตัวเลขสุ่มมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 พร้อมทั้งทำการสุ่มเลือกเปิดดำเนินการ P แห่งจากการสุ่ม

ขั้นตอนที่ 1.2 จัดเรียงลำดับค่าการสุ่มให้กับโรงพยาบาลแต่ละแห่ง ซึ่งมีการเรียงลำดับจากค่ามากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด โดยที่โรงพยาบาลลำดับที่ 1 ถึง P จะดำเนินการเปิดเตาเผา จากนั้นสุ่มเลือกแบบเตาเผาที่จะเปิดให้กับโรงพยาบาลในลำดับที่ 1 ถึง P

ขั้นตอนที่ 1.3 สร้างกลุ่มโรงพยาบาลที่จะต้องส่งขยะติดเชื้อให้แก่จุดที่ตั้งเตาเผา พิจารณาเฉพาะโรงพยาบาลที่ไม่ได้เปิดตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา โดยทำการสุ่มตัวเลขให้กับโรงพยาบาลที่จะส่งขยะติดเชื้อให้กับเตาเผาซึ่งค่าตัวเลขสุ่มมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 จากนั้นเรียงลำดับของโรงพยาบาล จากค่าตัวเลขสุ่มจากค่ามากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด โรงพยาบาลที่มีค่าตัวเลขสุ่มมากที่สุดจะถูกพิจารณาก่อน และมอบหมายให้กับเตาเผาที่ตั้งอยู่ ณ โรงพยาบาลลำดับที่ 1 สำหรับโรงพยาบาลที่มีค่าตัวเลขสุ่มรองลงมา จะถูกมอบหมายให้กับเตาเผาที่ตั้งอยู่

ณ โรงพยาบาลลำดับที่ 2 การมอบหมายโรงพยาบาลให้กับเตาเผาที่เปิดดำเนินการ จะกระทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าโรงพยาบาลทุกแห่งจะถูกมอบหมายให้กับเตาเผา

ขั้นตอนที่ 1.4 เมื่อได้กลุ่มโรงพยาบาลที่จะส่งขยะติดเชื้อให้กับเตาเผาแล้ว ก็จะได้คำตอบเริ่มต้นของปัญหา จากนั้นจึงทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตามสมการที่ (1) แล้วทำการเรียงค่าต้นทุนรวมจากค่ามากที่สุดไปหาค่าน้อยที่สุด จากนั้นเลือกค่าต้นทุนรวมที่มีค่าต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดค่าความเร็วสำหรับอนุภาค v'_i (ความเร็วเริ่มต้น) โดยการสุ่มตัวเลขให้กับแต่ละโรงพยาบาลซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $[V_{\min}, V_{\max}]$ กำหนด $V_{\min}$ มีค่าเท่ากับ 1 และค่า $V_{\max}$ มีค่าเท่ากับ 100

ขั้นตอนที่ 3 ปรับค่าความเร็วที่ v'^{+1}_i เมื่อได้ค่าความเร็วเริ่มต้นและอนุภาคที่ x'_i แล้วให้ใช้สมการตามสมการที่ (11) ในการคำนวณหาค่าความเร็วของแต่ละอนุภาค ณ เวลาที่ $t+1$ ตามสมการที่ (11) และนำค่า c_1 c_2 R_1 และ R_2 แทนค่าในสมการที่ (11) เพื่อใช้ในการคำนวณค่า v'^{+1}_i ต่อไป ซึ่งค่า R_1 R_2 ได้จากการสุ่มตัวเลขในช่วง 0 ถึง 1 ค่า c_1 c_2 ได้จากการสุ่มตัวเลขในช่วง 2 ถึง 4 และค่า w ได้จากการสุ่มตัวเลขในช่วง 1 ถึง 4 ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และเป็นค่าที่ทำให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปได้ด้วยดี

ขั้นตอนที่ 4 หาค่าพาร์ทิเคิลที่ x'^{+1}_i โดยใช้สมการที่ (12) $x'^{+1}_i = x'_i + v'^{+1}_i$ จากการแทนค่าทำให้ทราบว่าค่า x'^{+1}_i ในรอบที่ $t=1$ นี้ มีค่าห่างจาก รอบที่ $t=0$ มากเกินไปส่งผลให้การคำนวณค่าเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ถ้าทำการวนซ้ำหลายรอบ ดังนั้นจึงได้ทำการปรับค่า x'^{+1}_i ให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ในทุกรอบของการค้นหาคำตอบ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนี้ จากนั้นทำซ้ำเหมือนเดิมในขั้นตอนที่ 2-5 แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้ในรอบอื่น ๆ แล้วเลือกค่าตำแหน่งที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 6 ทำซ้ำจนกว่าจะครบรอบเงื่อนไขของการค้นหาคำตอบ

3.3 การทดลองเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกอัตราการเผาของเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง

คำตอบของการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ค่าถ่วงน้ำหนัก เพื่อควบคุมความสามารถในการสำรวจ ค่าคงที่ความเร่ง ซึ่งมีผลต่อการลู่เข้าหาคำตอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ที่สามารถให้ผลคำตอบที่เหมาะสมที่สุด การหาคำตอบและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับวิธีเชิงฮิวริสติกที่สร้างขึ้น โดยค่าพารามิเตอร์ในการทดลองเพื่อหาคำตอบ การทดลองขั้นแรกผู้วิจัยทำการกำหนดช่วงค่าพารามิเตอร์ก่อน หลังจากนั้นนำพารามิเตอร์ไปใช้ทดลองสำหรับแก้ปัญหา เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ c_1 , c_2 และ w โดยทดลองกับปัญหาซึ่งทำการกำหนดตัวแปร 3 ตัวแปร ตัวแปรแต่ละตัวแปรมี 3 ระดับ ได้แก่ ต่ำ กลาง และสูง ค่าตัวแปรแต่ละตัวแปรดังตารางที่ 3

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การทดลองซ้ำหลายครั้งและทดลองค่าพารามิเตอร์หลายค่าเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ จากนั้นจะนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลอง นำไปใช้ในอัลกอริทึมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยได้ศึกษา เพื่อเป็นการหาประสิทธิภาพอัลกอริทึมต่อไป จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันมีผลต่อคำตอบที่ได้ และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหานี้ คือ c_1 , c_2 และ มีค่าเท่ากับ 1 2 และ 0.9 ตามลำดับ ซึ่งเวลาในการหาคำตอบอยู่ที่ 84–85 วินาที การทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ ในการค้นหาคำตอบผู้วิจัยได้ทดลองกำหนดรอบในการค้นหาคำตอบอยู่ที่

ตารางที่ 3 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ต่ำ	กลาง	สูง
c_1	1	2	4
c_2	1	2	4
w	0.4	0.7	0.9

ระดับ 100 รอบ และ 1,000 รอบปรากฏว่าได้คำตอบใกล้เคียงกัน

3.4 การทดสอบปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ในหัวข้อนี้สรุปผลคำตอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยเขียนโปรแกรมขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยภาษา Visual C++ การทดลองนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการกำหนดเปิดจำนวนที่ตั้งแบบการสุ่ม โดยการสุ่มจำนวนที่ตั้งของเตาเผาจากจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด เช่น มีโรงพยาบาลทั้งหมด 109 แห่ง สามารถสุ่มเปิดได้ตั้งแต่ 1–109 เพื่อให้โอกาสในการเปิดที่ตั้งทุกแห่งเท่า ๆ กัน สำหรับการหาจำนวนที่ตั้งน้อยที่สุดที่จะต้องเปิดดำเนินการเตาเผา นี้ สามารถคำนวณได้จากปริมาณขยะติดเชื้อรวมของทุกโรงพยาบาล และค่าอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผาแต่ละแบบ โรงพยาบาลทั้งหมด 109 แห่งมีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน อัตราการเผาสูงสุดของเตาเผา 3 แบบ คือ 100 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงซึ่งเมื่อกำหนดให้ 1 เดือนมี 30 วัน โดยเตาเผาแต่ละแบบต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อน 6 ชั่วโมง จึงจะสามารถเริ่มการเผาได้ ดังนั้นจำนวนที่ตั้งน้อยที่สุดจะเปิดดำเนินการเผาขยะแต่ละแบบสามารถคำนวณได้ดังนี้

อัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้

$$104,487 / ((100 \times 30 \times 24) - 6) = 1.5 \text{ หรือประมาณ } 2 \text{ แห่ง}$$

อัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลคำตอบระหว่างวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคกับผลคำตอบจากโปรแกรม LINGO 11

ผลจากโปรแกรม LINGO 11				
ตำแหน่งที่ตั้ง	แบบเตาเผา กิโลกรัม) (ต่อชั่วโมง	ชั่วโมงที่เผาต่อเดือน	ต้นทุนรวมในการ ดำเนินการ บาทต่อ) (เดือน	เวลาหา คำตอบ (วินาที)
โรงพยาบาลพล	300	19.6	948,470	5,663
โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	300	14.8		
โรงพยาบาลภูหลวง	300	17.07		
โรงพยาบาลผาขาว	300	9.87		
โรงพยาบาลบรบือ	300	110.1		
โรงพยาบาลเขาวง	300	43.27		
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน	300	152.52		
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	300	51		
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย	100	14.07		
ผลจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาค				
ตำแหน่งที่ตั้ง	แบบเตาเผา กิโลกรัม) (ต่อชั่วโมง	ชั่วโมงที่เผาต่อเดือน	ต้นทุนรวมในการ ดำเนินการ บาทต่อ) (เดือน	เวลาหา คำตอบ (วินาที)
โรงพยาบาลกุมภวาปี	300	354.29	588,298	84.161

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้

$$104,487 / ((300 \times 30 \times 24) - 6) = 0.48 \text{ หรือประมาณ } 1 \text{ แห่ง}$$

อัตราการเผาสูงสุด 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้

$$104,487 / ((600 \times 30 \times 24) - 6) = 0.24 \text{ หรือประมาณ } 1 \text{ แห่ง}$$

ถ้าผลการสุ่มเลือกได้เตาเผาแบบที่ 1 และสุ่มเลือกเปิดได้ 1 ตำแหน่ง ก็จะทำให้การสุ่มใหม่ในการแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับปัญหาเช่น c_1 c_2 และ w โดยจะอธิบายในหัวข้อต่อไป เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา จึงทำการทดสอบหาคำตอบ

จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคที่ออกแบบสำหรับการแก้ปัญหา พบว่าโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อมีเพียงตำแหน่งเดียว นั่นคือโรงพยาบาลกุมภวาปี และเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาต่อเนื่องสำหรับเผาขยะติดเชื้อ 354.29 ชั่วโมงต่อเดือน ส่วนโรงพยาบาลที่เหลืออีก 108 แห่งได้ทำการส่งขยะติดเชื้อให้กับโรงพยาบาลกุมภวาปี จะเห็นได้ว่าถ้าเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถเผาขยะติดเชื้อได้ทั้งหมดในเดือนนั้นๆ และต้นทุนรวมในการดำเนินการทั้งหมดเพียง 588,298 บาทต่อเดือน โดยประกอบด้วยค่าขนส่ง 329,740 บาทต่อเดือน ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการ 62,281 บาทต่อเดือน ค่าใช้จ่ายในการ

เดินเครื่องเตาเผา 196,276.66 บาทต่อเดือน ส่วนเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพียง 84.161 วินาทีเท่านั้น

3.5 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบการประยุกต์ใช้ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคกับคำตอบของ การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม Lingo 11

ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค กับคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 พบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค มีต้นทุนรวมต่ำกว่าต้นทุนรวมที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 ถึงร้อยละ 37.97 โดยเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากโปรแกรม Lingo 11 นั้น ผู้วิจัยกำหนดเวลาในการค้นหาคำตอบไว้ที่ 94.38 นาที เนื่องจากสถานะของคำตอบที่ได้เริ่มนิ่ง และค่าของคำตอบเท่ากันทุกค่า แต่เวลาในการค้นหาคำตอบยังคงเดินต่อไปเรื่อย ๆ ซึ่งใช้เวลานาน จึงได้มีการกำหนดเวลาในการค้นหาคำตอบ ขณะที่วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ใช้เวลาในการหาคำตอบเพียง 84.161 วินาที ดังแสดงในตารางที่ 4

4. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย วิธีแก้ปัญหาและหาคำตอบโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากนั้นหาคำตอบโดยโปรแกรม Lingo 11 แต่เนื่องจากผลคำตอบที่ได้นี้ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดพร้อมทั้งใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนาน เพื่อที่จะได้คำตอบที่ดีขึ้น ผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ จากการคำนวณพบว่าได้ผลคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรม Lingo 11 จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลาที่จำกัดไว้ 24 ชั่วโมงนั้นโปรแกรม Lingo 11 ยังไม่สามารถหาคำตอบที่

ดีกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีอิทธิกรแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสม
แบบฟังก์ชันภาคได้

สำหรับขั้นตอนเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน พบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม Lingo 11 ได้ผลคำตอบที่มีต้นทุนต่ำสุดเท่ากับ 948,470 บาท ต่อเดือน โดยมีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 9 ตำแหน่ง ซึ่งมีดังนี้โรงพยาบาลพล โรงพยาบาลเขาสวนกวาง โรงพยาบาลภูหลวง โรงพยาบาลผาขาว โรงพยาบาลรบือ โรงพยาบาลเขาวง โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ โดยการเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผา 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและตำแหน่งสุดท้ายโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้ายเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผา 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ยังไม่สามารถพบคำตอบที่ดีได้และใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนานถึง 5,663 วินาทีผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีสถิติ เพื่อแก้ปัญหาค้นหาดำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อผลลัพธ์พบว่ามีการเปิดดำเนินการเตาเผาเพียงแห่งเดียว ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผา 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีต้นทุนต่ำสุดเท่ากับ 588,298 บาทต่อเดือน ใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบเพียง 84.16 วินาทีทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการได้ถึงร้อยละ 37.97 ในการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เพื่อหาคำตอบผู้วิจัยได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหานี้ มาใช้ในการทดลองดังที่กล่าวมาในส่วนของผลการวิจัย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เรืองโรจน์สระบุรี
ห้างหุ้นส่วนจำกัดแมส เอนไวรอนเมนต์ เซอร์วิส SIAM
INCINERATOR. CO., LTD และโรงพยาบาลชุมชนในภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่ได้ให้ความ
อนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ที่ให้ความรู้ในด้านการใช้งานโปรแกรม Lingo 11 และ

โปรแกรม C++ ที่ช่วยในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณถาวร ศรีเสนาพิลา ที่ได้แนะนำเสนอแนวทางให้คำปรึกษา และขอขอบคุณพี่ ๆ ที่ช่วยเหลือในการให้ความรู้ด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กษิต์เดช สิบศิริ. การสำรวจการจัดการเตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนในพื้นที่ภาค ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2554.
- [2] อนุชา ศรีบุรัมย์, สมบัติ สีนุเชาวน์. การเลือกขนาดเตาและที่ตั้ง เตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. ใน: *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2556*. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2556. หน้า 55–64.
- [3] ภัทรภรณ์ ศรีเสนาพิลา, สมบัติ สีนุเชาวน์. การแก้ปัญหาการเลือกขนาดและการหาตำแหน่งที่ตั้งหลายแห่งกรณีศึกษา การกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 2559: 9(1).
- [4] Laporte G. The p-median problem. *Springer international publishing Switzerland*. 2015: 21–45.
- [5] Tianyu S, Wang F. Study on distribution center location based on simulated annealing- particle swarm optimization. In: *ICCSE '09 . 4 th International Conference on Computer Science & Education*. New Jersey: IEEE Press; 2009. p.110–121.
- [6] Li-Chuan L, Min-Yuan C. A hybrid swarm intelligence based particle-bee algorithm problem for construction site layout optimization. *Expert Systems with Applications*. 2012; 39(1): 9642–9650.
- [7] Kayhan AH, Ceylan H, Ayvaz MT, Gurarslan G. PSOLVER: A new hybrid particle swarm optimization algorithm for solving continuous optimization problems. *Expert Systems with Applications*. 2010; 37(1): 6798–6808.
- [8] Wang D. Parallel multi-population particle swarm optimization algorithm for the uncapacitated facility location problem using Open MP. In: *Proceedings of the 2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation*. Hong Kong; 2008. p. 1214–1218.
- [9] Uno T, Kato K, Katagiri H. An application of interactive fuzzy satisficing approach with particle swarm optimization for multiobjective emergency facility location problem with A-distance. In: *IEEE Symposium on computational intelligence in multicriteria decision making*. Hawaii; Honolulu; 2007. p.333–340.
- [10] Kennedy J, Eberhart RC. Particle Swarm Optimization. In: *IEEE Conference on Neural Network*. New Jersey: IEEE Press; 1995. p.1942–1948.
- [11] Shi Y, Eberhart RC. Parameter selection in particle swarm optimization. *Proceedings of Evolutionary Programming VII*. 1998; 98: 591–600.