

การประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและ เลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนใน

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

An Application of the Differential Evolution Algorithm for Solving the Problem of Size Selection and Location of Infectious Waste Incinerators for Community Hospitals in the Upper Part of Northeast Thailand

ฐิติวรดา ศรีสุวรรณดี (Thitiworada Srisuwandee)^{1*} ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์ (Dr.Sombat Sindhuchao)**

ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี (Thitinon Srisuwandee)***

(Received: October 20, 2021; Revised: January 24, 2022; Accepted: January 24, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนจำนวน 109 แห่ง ประกอบไปด้วย จังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น บึงกาฬ มหาสารคาม เลย สกลนคร หนองคาย หนองบัวลำภู และอุดรธานี โดยประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการแก้ปัญหา เพื่อหาต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อและค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการรวมกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีการสร้างเวกเตอร์ที่ต่างจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างทั่วไปคือ มีการสร้างเวกเตอร์เพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบ 3 ชุด ได้คำตอบเท่ากับ 569,562.66 บาท ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเฉลี่ย 154.44 วินาที โดยได้คำตอบที่ดีกว่าจากการใช้โปรแกรม Lingo คิดเป็น 13.36% ซึ่งโปรแกรม Lingo ทำการหาคำตอบใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที 51 วินาที ได้คำตอบเท่ากับ 657,402.66 บาท

ABSTRACT

This research was to solve the problem of choosing the size and location of infectious waste incinerators and construct vehicle routes for the waste collection at 109 community hospitals in the upper part of northeast Thailand (Kalasin, Khon Kaen, Bueng Kan, Mahasarakham, Loei, Sakon Nakhon, Nong Khai, Nong Bua Lam Phu, and Udon Thani provinces). The method of evolution using difference (Differential Evolution: DE) was employed to address the problem. The objective was to minimize the total system costs comprising the transportation infectious waste cost and the fixed costs of operation combined with the cost of operating the incinerator. DE developed by the researcher produces a vector that differs from the conventional method in that it generates vector 3 sets to find answers. The result was 569,562.66 baht, duration 154.44 seconds, with a better answer from using the Lingo program, representing 13.36%. The Lingo program to find answers takes 1 hour 30 minutes 51 seconds, the answer is 657,402.66 baht.

คำสำคัญ: ปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

Keywords: Location problem, Differential evolution

¹Corresponding author: thitiworada.k@ubu.ac.th

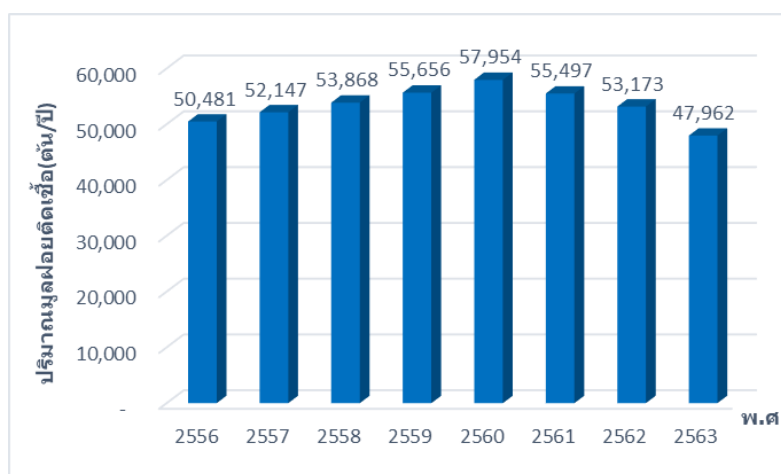
*นักศึกษา หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

***อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

สถานพยาบาลเป็นหน่วยบริการสุขภาพให้แก่ประชาชนทั้งการรักษาพยาบาล ส่งเสริม ป้องกันโรค และฟื้นฟู ดังนั้นกิจกรรมต่าง ๆ ในโรงพยาบาลก่อให้เกิดของเสียและมูลฝอยประเภทต่าง ๆ ทั้งมูลฝอยทั่วไป มูลฝอยอันตรายและมูลฝอยที่เกิดจากกระบวนการทางการแพทย์ที่ติดเชื้อและไม่ติดเชื้อ ซึ่งล้วนแต่ต้องการการจัดการเป็นพิเศษ โดยเฉพาะมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดจากกระบวนการรักษาพยาบาล การตรวจวินิจฉัย การให้ภูมิคุ้มกันโรค อาทิ เลือด สารคัดหลั่งต่าง ๆ จากร่างกายผู้ป่วย ชิ้นเนื้อและอวัยวะของผู้ป่วยที่เป็นผลมาจากการผ่าตัด วัสดุที่ใช้ในการบริการทางการแพทย์ วัสดุมีคม เป็นต้น มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจากรายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยติดเชื้อของประเทศไทยปี 2556 – 2563 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังภาพที่ 1

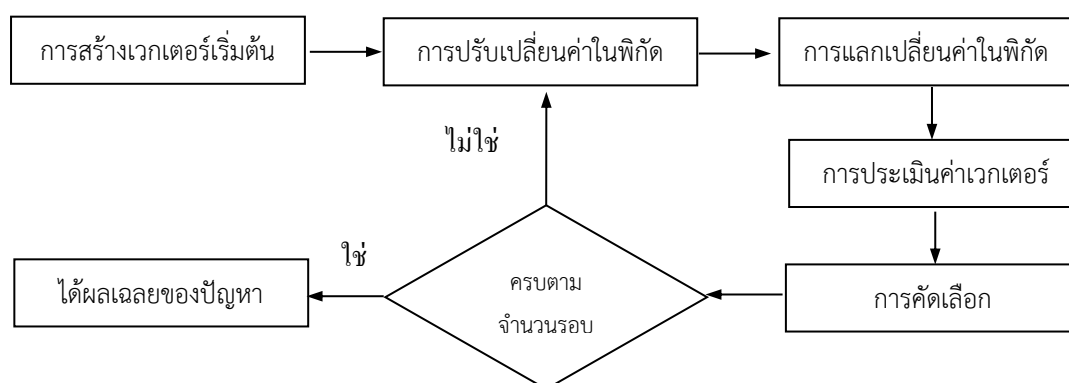


ภาพที่ 1 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เกิดขึ้นในปี 2556 – 2563 [1]

Chummuel, Pianthong และ Seabsiri [2] ได้ทำการสำรวจเตาเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนเพื่อการบริหารจัดการที่เหมาะสม ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย โรงพยาบาลชุมชนทุกแห่งมีเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งสภาพของเตาเผาที่ใช้ใช้งานได้เป็นปกติมีเพียงร้อยละ 22.09 อีกส่วนหนึ่งอยู่ในระหว่างซ่อมบำรุงและเลิกใช้งานร้อยละ 77.91 โดยโรงพยาบาลชุมชนที่เตาเผาใช้งานไม่ได้จะทำการส่งขยะติดเชื้อให้บริษัทเอกชนดำเนินการทำลายทิ้ง ซึ่งคิดค่าบริการต่อหน่วยน้ำหนัก [3] ประยุกต์ใช้วิธีอานานิคมมดในการแก้ปัญหาการเลือกขนาดเตาและสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยประกอบไปด้วยโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่ง วิธีการแก้ปัญหาแบ่งการแก้ไขออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง ส่วนที่หนึ่งเป็นการเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์แก้ปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo ส่วนที่สองเป็นการจัดเส้นทางการขนพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ โดยมีการกำหนดขอบเขตที่รถบรรทุกสามารถวิ่งได้ด้วยระยะเวลาสูงสุดที่ 2 วัน/เส้นทาง [4] ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swam Optimization: PSO) สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดเตาและสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แก้ปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo เทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคผลลัพธ์ของวิธี PSO สามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและให้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าโปรแกรม Lingo [5] ใช้วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search:

ILS) การแก้ปัญหาแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกเป็นการแก้ปัญหการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะ และในระยะที่ 2 นำผลลัพธ์ที่ได้จากระยะแรกมาจัดเส้นทางการขนส่ง ผลลัพธ์ที่ออกมาเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของโปรแกรม Lingo สามารถให้ผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าโปรแกรม Lingo ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Location Problem: LP) หมายถึง การวางตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งปลูกสร้างเพื่อให้ระยะทางในการขนส่งน้อยที่สุดหรือทำให้ค่าขนส่งต่ำสุด เช่น การตั้งศูนย์กระจายสินค้าเพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด การหาตำแหน่งที่ตั้งสถานที่เก็บวัตถุดิบทรายเพื่อให้อยู่ห่างจากแหล่งชุมชนมากที่สุด หรือการตั้งศูนย์กู้ชีพฉุกเฉินเพื่อให้ระยะเวลาในการตอบสนองต่อสถานการณ์ฉุกเฉินต่ำสุด เป็นต้น [6] ได้จำแนกลักษณะของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ออกเป็น 3 ประเภท คือ ปัญหาปกคลุม (Covering Problems) ปัญหาระยะทางเฉลี่ย (Average Distance Problems) และปัญหาศูนย์กลาง (Center Problems) ซึ่งปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบระยะทางเฉลี่ยถูกนำเสนอครั้งแรก [7] มีชื่อเรียกว่า P-Median Problem

วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างถูกนำเสนอ [8] วิธีการนี้มีกระบวนการหาคำตอบที่คล้ายคลึงกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม โดยใช้ประชากรในแต่ละรุ่นหาคำตอบและพัฒนาคำตอบสำหรับรุ่นถัดไป ประชากรในวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะเรียกว่าเวกเตอร์ และเรียกส่วนประกอบภายในเวกเตอร์ว่าพิกัด และจำนวนพิกัดในแต่ละเวกเตอร์จะเรียกว่าขนาดของเวกเตอร์ (Dimension Vector) ซึ่งค่าพิกัดจะเปรียบเสมือนยีนในขั้นตอนของวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อนสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และมีการใช้ค่าจริงในการคำนวณ โดยในการพัฒนาคำตอบจะใช้วิธีการปรับค่าพิกัด (Mutation) ซึ่งสามารถดำเนินการได้ด้วยการหาผลต่างของเวกเตอร์ที่สุ่มมา 2 เวกเตอร์ และนำผลต่างนี้ไปคูณกับปัจจัยขยายผลต่าง (Scaling Factor: F) แล้วนำไปบวกกับเวกเตอร์ที่สุ่มมาอีกเวกเตอร์หนึ่ง โดยเวกเตอร์รุ่นที่ถูกปรับเปลี่ยนนี้จะเรียกว่า เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) และเวกเตอร์ที่ถูกปรับเปลี่ยนแล้วจะเรียกว่า มิวแทนต์เวกเตอร์ จนเวกเตอร์ถูกปรับเปลี่ยนจนครบจำนวนเวกเตอร์ที่ตั้งไว้ (Number of Population: NP) จะเริ่มการแลกเปลี่ยนค่าพิกัด (Recombination) ระหว่างเวกเตอร์เป้าหมายและมิวแทนต์เวกเตอร์ โดยใช้ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัด ซึ่งเป็นตัวแปรที่ทราบค่าที่ควบคุมได้เรียกว่า อัตราการปรับเปลี่ยน (Crossover Rate: CR) เวกเตอร์ที่ผ่านการแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดจะถูกเรียกว่า ไทรอัลเวกเตอร์ (Trial Vector) จากนั้นจะนำไทรอัลเวกเตอร์ที่ได้ไปคำนวณค่าจริงหรือฟิตเนสฟังก์ชันและทำการเปรียบเทียบค่าฟิตเนสฟังก์ชันของไทรอัลเวกเตอร์กับเวกเตอร์เป้าหมายว่าเวกเตอร์ใดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและจะถูกนำไปเป็นเวกเตอร์เป้าหมายในรอบถัดไป โดยวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีขั้นตอนดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างอย่างง่าย

การปรับปรุงวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้มีผู้พัฒนา [9] นำเสนอสมการที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนค่าฟังก์ชันจำนวน 5 สมการ เรียกว่า DE/rand/1, DE/best/1, DE/rand-to-best/1, DE/best/2, DE/rand/2 [10] ได้นำเสนอวิธีการปรับเปลี่ยนค่าฟังก์ชันโดยนำหลักการของ 2-Opt ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายและปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งมาใช้ในการดำเนินการปรับเปลี่ยนค่าฟังก์ชันซึ่งจะส่งผลต่อความสามารถในการหาคำตอบใหม่ ๆ ของวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่าง [11] ได้นำเสนอการแลกเปลี่ยนแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบ 1 จุดและ 2 จุด การแลกเปลี่ยนค่าในฟังก์ชันแบบไบโนเมียลจะมุ่งสู่คำตอบที่ดีอย่างช้า ๆ ส่วนแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบ 1 จุด จะมุ่งสู่คำตอบที่ดีอย่างรวดเร็วส่วนแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบ 2 จุด ช่วงแรก ๆ ของการดำเนินการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะมุ่งสู่คำตอบที่ดีช้าแต่หลังจากประมวลผลไประยะหนึ่งจะมุ่งสู่คำตอบที่ดีได้อย่างรวดเร็วขึ้นและมีผลการดำเนินการสุดท้ายใกล้เคียงแบบเอกซ์โพเนนเชียล 1 จุด [12] ได้นำเสนอวิธีการปรับขนาดของเวกเตอร์ หากการค้นหาคำตอบไม่พบคำตอบที่ดีขึ้น ให้ดำเนินการเพิ่มเวกเตอร์ใหม่เข้าไป โดยค่าในฟังก์ชันของเวกเตอร์ใหม่ที่สร้างขึ้นนั้นจะทำการสุ่มตัวเลขอยู่ระหว่าง 0 – 1 จากนั้นทำการวนซ้ำวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างหากยังไม่พบคำตอบที่ดีขึ้นให้เพิ่มขนาดของประชากรไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งจำนวนประชากรถึงขีดจำกัดจำนวนประชากรสูงสุดที่สุด [13] ได้นำเสนอวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับปัญหาการมอบหมายงานแบบทั่วไป โดยทดลองการค้นหาเฉพาะที่สองแบบ แบบที่ 1 ดำเนินการค้นหาเฉพาะที่กับทุกโครโมโซมเวกเตอร์ที่จะทำการคัดเลือกคำตอบ แบบที่ 2 ดำเนินการค้นหาเฉพาะที่กับบางเวกเตอร์เท่านั้น โดยคัดเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุด 10% และสุ่มเวกเตอร์จากเวกเตอร์ที่เหลืออีก 10% ทั้งนี้เพื่อลดเวลาในการค้นหาเฉพาะที่ ผลการทดลองพบว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพคำตอบได้ดี และหากสุ่มได้เวกเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้น นอกเหนือจากการปรับปรุงวิธีการพัฒนาการคำตอบของวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างแล้ว ยังมีการนำวิธีการเมตาฮิวริสติกอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบ [14-17] ได้นำเสนอวิธีพัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)[18-19] นอกจากนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการสร้างคำตอบใหม่ให้กับวิธีการจำลองการอบอ่อน

จากข้อมูลของปัญหาและการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลที่ดำเนินการโดยภาคการขนส่งในภาคเอกชนบางส่วนไม่เป็นไปตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัย รวมถึงการทิ้งอย่างผิดกฎหมายและการกำจัดอย่างผิดกฎหมายในสถานที่ที่ไม่เหมาะสม นอกจากนี้การเก็บขยะติดเชื้อของบริษัทเอกชนทำได้ช้า เนื่องจากเตาเผาขยะที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องมีการวางแผนสิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัดใหม่พร้อมกับการจัดเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม เพื่อให้มีต้นทุนการจัดเส้นทางขนส่งต่ำที่สุด ดังนั้นการสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัดขยะติดเชื้อแห่งใหม่ที่เหมาะสมและการค้นหาเส้นทางขนส่ง เพื่อการกำจัดขยะติดเชื้ออย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงกลายเป็นประเด็นที่สำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณา ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการกำจัดขยะติดเชื้อในแต่ละโรงพยาบาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยรวมทั้ง 109 แห่ง ซึ่งมีการกำจัดขยะติดเชื้อโดยการให้บริการของบริษัทเอกชน พบว่ามีปริมาณรวมทั้งสิ้น 104,487 กิโลกรัม/เดือนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการจัดการดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมาก ทั้งค่าดำเนินการและค่าขนส่ง เพราะบริษัทเอกชนจะส่งรถออกมารับขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนทุกแห่ง เพื่อไปเผาทำลายที่เตาเผาขยะติดเชื้อที่มีเพียงแห่งเดียว ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการกำจัดขยะติดเชื้อ ด้วยการเปิดใช้เตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลหลายแห่ง เพื่อให้แต่ละแห่งเปิดเป็นศูนย์กลางรับกำจัดขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง รวมถึงการเลือกใช้ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมการเลือกขนาดของเตาเผาที่เหมาะสมใหม่ในกรณีนี้เป็นปัญหาที่ซับซ้อนซึ่งยากที่จะแก้ไขโดยใช้เทคนิคที่มีอยู่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายปัจจัย ปัจจัยทั้งหมดต้องพิจารณาพร้อม ๆ กัน เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดในการแก้ไขปัญหาข้างต้น บทความนี้เน้นที่การเลือกสถานที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อออกแบบวิธีการที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อและต้นทุนการดำเนินการกำจัดขยะติดเชื้อมีค่าต่ำที่สุด

วิธีการวิจัย

ปัญหาการเลือกขนาดและเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 109 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 104,487 กิโลกรัม/เดือน สำหรับการเลือกเปิดตำแหน่งที่ตั้งสามารถเปิดดำเนินการที่แห่งก็ได้ ซึ่งโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะส่งขยะติดเชื้อไปยังตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดดำเนินการเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผากำหนดให้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาลชุมชน พร้อมเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผา เป็นการเดินทางแบบไป-กลับโดยตรง (Direct Shipping) และรถขนส่งสามารถขนขยะติดเชื้อทั้งหมดของโรงพยาบาลแต่ละแห่งได้ในเที่ยวเดียว ซึ่งแต่ละโรงพยาบาลมีความถนัดในการขนส่งขยะติดเชื้อเพื่อกำจัดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณขยะติดเชื้อและระยะทางในการขนส่ง เตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันเป็นเตาเผาที่ได้มาตรฐานและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ที่นิยมใช้ในบริษัทเอกชนส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขนาดใหญ่ เช่น เตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 300 และ 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งเป็นเตาเผาที่สามารถเปิดใช้งานได้นานติดต่อกันหลายชั่วโมง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลของ [4-5] โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน 109 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้งหมด 9 จังหวัด ประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู เลย และบึงกาฬ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากบริษัทเอกชนและโรงพยาบาล เช่น ปริมาณขยะติดเชื้อที่รับไปกำจัดของแต่ละโรงพยาบาล ความถนัดในการรับขยะติดเชื้อเพื่อไปกำจัด อัตราค่าใช้จ่ายในการให้บริการ/ครั้ง อัตราค่าขนส่ง/กิโลเมตร โดยเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

ข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผา

เตาเผาที่ใช้กำจัดขยะติดเชื้อมีหลายรูปแบบ โดยแบ่งตามความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/หน่วยเวลา) สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาเตาเผาเพียง 3 แบบ คือ เตาเผาที่มีความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ 100, 300 และ 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง เนื่องจากเป็นแบบที่ผู้ให้บริการเอกชน แนะนำหรือใช้อยู่ในปัจจุบัน ข้อมูลเกี่ยวกับราคา อัตราการเผาสูงสุดและอายุการใช้งาน ของเตาเผาแต่ละแบบแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา

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

ข้อมูลค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อ และต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ต้นทุนค่าขนส่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งและค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง สำหรับต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ประกอบด้วยหลายส่วนคือ ค่าบำรุงเตาเผา ค่าสาธารณูปโภค ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา ค่าจ้างพนักงาน และค่าเสื่อมราคา โดยค่าใช้จ่ายเหล่านี้อ้างอิงจากข้อมูลงานวิจัยของ [4-5] ต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อแบ่งตามแบบเตาเผา แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายในการเผาขยะติดเชื้อ/ชั่วโมง

ลักษณะของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ค่าบำรุงเตา (บาท/ชั่วโมง)	53	90	128
ค่าสาธารณูปโภค (บาท/ชั่วโมง)	107	135	183
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา (บาท/ชั่วโมง)	210	329	607
ต้นทุนในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ (บาท/ชั่วโมง)	370	554	918
ค่าเสื่อมราคา (บาท/เดือน)	16,397	30,781	83,548
ค่าจ้างพนักงาน (บาท/เดือน)	31,500	31,500	31,500
ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของเตาเผา (บาท/เดือน)	47,897	62,281	115,048

หมายเหตุ: ค่าเสื่อมราคาคิดจาก ราคาเตา (บาท)/อายุการใช้งาน (วัน)
ค่าจ้างพนักงานคิดจากค่าแรง 350 บาท/วัน/คนพนักงาน 3 คน

ข้อมูลการขนส่งขยะติดเชื้อ

1. ระยะทางโรงพยาบาลแต่ละแห่งใช้ข้อมูลละติจูด ลองจิจูด ของตำแหน่งที่ตั้งโรงพยาบาลมาประมวลผลผ่าน Google Map ได้ระยะทางออกมาเป็นหน่วยกิโลเมตร
2. ยานพาหนะที่ใช้ในการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลแต่ละแห่ง ใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ความเร็วโดยเฉลี่ยของรถบรรทุกเท่ากับ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง เวลาการทำงานของพนักงานเก็บขยะ 12 ชั่วโมง/วัน (รวมเวลาพัก 1 ชั่วโมง)
3. ต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อเท่ากับ 5 บาท/กิโลเมตร และปริมาณน้ำหนักขยะติดเชื้อเฉลี่ย 60 กิโลกรัม/ถัง
4. เวลาในการเก็บขยะเฉลี่ย 2 นาที/ถัง และเวลาในการให้บริการเฉลี่ยโรงพยาบาลชุมชน 10 นาที/ครั้ง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกขนาดและสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

ลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีลักษณะของปัญหาดังต่อไปนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้เป็นแบบจำลองของปัญหาการเลือกขนาดและสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยจะทำการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลชุมชน
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้จัดกลุ่มโรงพยาบาลชุมชนที่ส่งขยะติดเชื้อไปกำจัด ณ ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งทำการขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทางโดยตรง (Direct Shipping) โดยจะไม่แวะรับขยะติดเชื้อระหว่างทาง

ดัชนี (Indices)

- i ลำดับของโรงพยาบาลชุมชน $i = 1, 2, \dots, I$
 j ลำดับของตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ $j = 1, 2, \dots, J$
 k ลำดับของแบบเตาเผาขยะติดเชื้อ $k = 1, 2, \dots, K$

ตัวแปรที่ต้องกำหนดค่า (Parameter)

C_{ij}	ระยะทางการขนส่งจากโรงพยาบาล i ไปยังตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ j
P_k	ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อแบบที่ k
D_i	ปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละเดือนของโรงพยาบาลชุมชน
η	ต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อ
F_i	ความถี่ในการเดินทางไปรับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i ในแต่ละเดือน
B_k	อัตราการเผาสูงสุดต่อชั่วโมงของเตาเผา k
O_k	ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ij}	$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน } i \text{ ถูกส่งไปยังเตาเผาที่ตำแหน่ง } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$
Y_j	$Y_j = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าเปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$
S_{kj}	$S_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าใช้เตาเผาขยะติดเชื้อแบบ } k \text{ ที่ตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$
H_{kj}	จำนวนชั่วโมงต่อเดือนที่เปิดเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง j

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J AF_i C_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K P_k S_{kj} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K H_{kj} O_k S_{kj} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

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

$$\sum_{k=1}^K S_{kj} = Y_j \quad \forall_{j=1,2,\dots,J} \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall_{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J} \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K B_k S_{kj} (H_{kj} - 6) \geq \sum_{i=1}^I D_i X_{ij} \quad \forall_{j=1,2,\dots,J} \quad (5)$$

$$0 \leq H_{kj} \leq (24)(30) S_{kj} \quad \forall_{k=1,2,\dots,K, j=1,2,\dots,J} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \geq Y_j \quad \forall_{j=1,2,\dots,J} \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall_{i=1,2,\dots,I, j=1,2,\dots,J} \quad (8)$$

$$Y_j \in \{0,1\} \quad \forall_{j=1,2,\dots,J} \quad (9)$$

$$S_{kj} \in \{0,1\} \quad \forall_{k=1,2,\dots,K, j=1,2,\dots,J} \quad (10)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายต้นทุนต่ำสุด ซึ่งเป็นผลรวมของต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการรวมกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (2) เป็นสมการเงื่อนไขบังคับให้โรงพยาบาลชุมชน i แต่ละแห่งสามารถใช้บริการจากเตาเผาได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3) กำหนดว่าโรงพยาบาลที่ได้รับเลือกเปิดเตาเผา จะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (4) กำหนดว่าโรงพยาบาลชุมชนแต่ละแห่งสามารถ

รับบริการกำจัดขยะติดเชื้อจากเตาเผาที่เปิดดำเนินการแล้วเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (5) กำหนดว่าในแต่ละเดือนการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ ที่ตำแหน่งที่เปิดให้บริการซึ่งมีการวอร์มเครื่องเตาเผา 6 ชั่วโมงก่อนดำเนินการเผาแบบต่อเนื่อง จะต้องทำการเผาขยะติดเชื้อทั้งหมดที่รับมาจากโรงพยาบาลต่าง ๆ ให้แล้วเสร็จในเดือนนั้น ๆ ข้อจำกัดที่ (6) เป็นจำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่เปิดเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง j จะต้องเดินเครื่องต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน ข้อจำกัดที่ (7) เป็นการกำหนดว่าโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อจะต้องมีโรงพยาบาลที่ส่งขยะมาอย่างน้อย 1 แห่ง ข้อจำกัดที่ (8), (9) และ (10) เป็นสมการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นการคำนวณที่ใช้ฐานประชากรโดยทั่วไปของขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกที่เหมาะสมที่สุด โดยขั้นตอนวิธีการนั้นได้รับแรงบันดาลใจมาจากการวิวัฒนาการทางชีววิทยา ซึ่งได้แก่ การกลายพันธุ์ (Mutation) การแลกเปลี่ยนยีน (Recombination) และการคัดเลือก (Selection)

การสร้างเวกเตอร์เริ่มต้น (Initialize Vector)

สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อนี้ ต้องเริ่มจากการสร้างเวกเตอร์ โดยหนึ่งเวกเตอร์ประกอบด้วย เวกเตอร์จำนวน 3 ชุด เวกเตอร์ที่ 1 (X1) ใช้หาผลเฉลี่ยว่าทำการตั้งเตาเผาขยะกี่แห่ง เวกเตอร์ที่ 2 (X2) ใช้หาผลเฉลี่ยว่าทำการตั้งเตาเผาขยะที่ตำแหน่งของโรงพยาบาลชุมชนแห่งใด และมีโรงพยาบาลชุมชนแห่งใดบ้างส่งขยะติดเชื้อมากำจัด ณ ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะนั้น ๆ และเวกเตอร์ที่ 3 (X3) ใช้หาผลเฉลี่ยว่าควรเลือกใช้เตาเผาขนาดใดในตำแหน่งที่ตั้งเตาเผานั้น ๆ โดยเวกเตอร์ X1, X2 และ X3 มีจำนวนพิกัดเท่ากับจำนวนโรงพยาบาลชุมชนคือ 109 พิกัด แต่เวกเตอร์ X3 แต่ละพิกัดจะมีพิกัดย่อยเท่ากับจำนวนขนาดเตาเผาที่พิจารณาคือ 3 พิกัด เริ่มขั้นตอนด้วยการสุ่มค่า 0 ถึง 1 ในทุกพิกัดของเวกเตอร์ดังตัวอย่างในตารางที่ 3 ซึ่งเวกเตอร์จะเรียกว่า เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) จากนั้นหาผลเฉลี่ยของปัญหาจากค่าเวกเตอร์

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าในพิกัดของเวกเตอร์หนึ่งเวกเตอร์ประกอบด้วยเวกเตอร์ 3 ชุด

ชุด เวกเตอร์	พิกัด															
	1	2	3		108	109										
X1	0.78	0.45	0.2	...	0.52	0.15										
X2	0.8	0.91	0.85	...	0.81	0.35										
X3	0.1	0.85	0.43	0.58	0.24	0.9	0.33	0.18	0.75	...	0.65	0.2	0.88	0.45	0.31	0.9

การหาผลเฉลี่ยของเวกเตอร์สำหรับปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

เริ่มจากพิจารณาเวกเตอร์ X1 ดูว่าค่าในพิกัดใดมีค่ามากที่สุด เช่น พิกัดที่ 5 มีค่ามากที่สุด ผลเฉลี่ยที่ได้คือ ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 5 แห่ง จากนั้นพิจารณาเวกเตอร์ X2 ทำการเรียงลำดับค่าในพิกัดของเวกเตอร์ X2 จากมากไปหาน้อย ลำดับที่ 1-5 คือตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ เช่นเมื่อเรียงลำดับแล้ว 5 ลำดับแรกที่มีค่ามากที่สุดคือ 52, 25, 15, 2 และ 33 ทั้ง 5 ตำแหน่งนี้จะจุดที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ จากนั้นพิจารณาเวกเตอร์ X3 โดยพิจารณาเฉพาะพิกัดที่เปิดเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อ เช่นพิกัด 52 มีพิกัดย่อยคือ 0.2, 0.5, 0.7 พิจารณาพิกัดย่อยที่มีค่ามากที่สุดคือ พิกัดย่อยที่ 3 ดังนั้นผลเฉลี่ยที่ได้คือ ตำแหน่งที่ 52 ตั้งเตาเผาขนาดหรือแบบที่ 3 นั่นเอง ทำการพิจารณาเวกเตอร์ X3 ในทุก ๆ พิกัดที่เปิดเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อ และสุดท้ายกลับมาพิจารณาเวกเตอร์ X2 ที่ได้ทำการเรียงลำดับค่าในพิกัดจากมากไปหาน้อยแล้วนั้น

โดยพิจารณาจากลำดับถัดไปจากลำดับที่เปิดเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อ จากตัวอย่างคือลำดับที่ 6 สมมติลำดับที่ 6 คือ พิกัดย่อยที่ 3 พิจารณาว่าโรงพยาบาลชุมชนจุดที่ 3 ใกล้กับตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผาขยะใด สมมติใกล้จุดที่ 33 ดังนั้นผลเฉลยที่ได้คือ มอบหมายให้โรงพยาบาลชุมชนตำแหน่งที่ 3 ส่งขยะติดเชื้อไปกำจัดที่โรงพยาบาลชุมชนตำแหน่งที่ 33 ที่เปิดเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อ พิจารณาดำเนินการที่มีค่าเวกเตอร์มากเป็นลำดับถัดไปเรื่อย ๆ และมอบหมายให้ตำแหน่งที่เปิดเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อจนครบทุกตำแหน่ง ซึ่งในขณะการมอบหมายนั้นจะต้องพิจารณาความสามารถในการกำจัดขยะต่อเดือนของแต่ละเตาเผาด้วย นั้นหมายความว่าขยะที่ส่งให้เตาเผาแต่ละแห่งต้องไม่เกินความสามารถในการเผาขยะของแต่ละเตาเผาที่เปิดดำเนินการในแต่ละเดือน

สุดท้ายในขั้นตอนการหาผลเฉลยจะคำนวณหาค่าฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) โดยหนึ่งเวกเตอร์ดังที่กล่าวมาข้างต้นจะได้คำตอบ 1 คำตอบ ในการแก้ปัญหาจำนวนเวกเตอร์ในการแก้ปัญหาขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเป็นผู้กำหนด โดยเวกเตอร์ที่ให้คำตอบต่ำสุด ในการค้นหาคำตอบจะถูกเก็บไว้และจะถูกแทนที่หากพบคำตอบที่ดีกว่า

การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation)

ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดเวกเตอร์ เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ของการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

$X1_{i,G}, X2_{i,G}, X3_{i,G}$	เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)
$V1_{i,G}, V2_{i,G}, V3_{i,G}$	มิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant Vector)
$X1_{best,G}, X2_{best,G}, X3_{best,G}$	เวกเตอร์ที่ให้ค่าฟิตเนสต่ำสุดในรอบ G
$X1_{r1,G}, X1_{r2,G}, X1_{r3,G}, X1_{r4,G}$	เวกเตอร์ที่สุ่มมา 4 เวกเตอร์ของเวกเตอร์ชุดที่ 1
$X2_{r1,G}, X2_{r2,G}, X2_{r3,G}, X2_{r4,G}$	เวกเตอร์ที่สุ่มมา 4 เวกเตอร์ของเวกเตอร์ชุดที่ 2
$X3_{r1,G}, X3_{r2,G}, X3_{r3,G}, X3_{r4,G}$	เวกเตอร์ที่สุ่มมา 4 เวกเตอร์ของเวกเตอร์ชุดที่ 3

F = แฟกเตอร์ในการขยายผลต่าง (Scaling Factor) คือจำนวนจริงที่มีค่าคงที่ซึ่งในงานวิจัยนี้กำหนดให้เท่ากับ 2

ในการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดสามารถทำได้โดยเก็บค่าเวกเตอร์ที่ให้ค่าฟิตเนสต่ำสุดในรอบนั้น ๆ และทำการสุ่มเวกเตอร์มา 4 เวกเตอร์ของทั้ง 3 ชุดเวกเตอร์ ของเวกเตอร์เป้าหมาย เช่นเวกเตอร์ชุดที่ 1 ได้แก่ $X1_{r1,G}, X1_{r2,G}, X1_{r3,G}, X1_{r4,G}$ ซึ่งเวกเตอร์ที่ถูกปรับเปลี่ยนค่าพิกัดนั้นจะเรียกว่า มิวแทนต์เวกเตอร์ ($V1_{i,G}, V2_{i,G}, V3_{i,G}$) โดยค่ามิวแทนต์เวกเตอร์จะมีค่าเท่ากับค่าของเวกเตอร์ที่ให้ค่าฟิตเนสต่ำสุดในรอบนั้น รวมกับค่าผลต่างของเวกเตอร์สุ่มตัวที่ 1 กับ 2 คูณด้วยค่า F และรวมค่าผลต่างของเวกเตอร์สุ่มตัวที่ 3 กับ 4 คูณด้วยค่า F โดยสามารถอธิบายการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ทั้ง 3 ชุดได้ดังสมการที่ 11-13

$$V1_{i,G} = X1_{best,G} + F(X1_{r1,G} - X1_{r2,G}) + F(X1_{r3,G} - X1_{r4,G}) \quad (11)$$

$$V2_{i,G} = X2_{best,G} + F(X2_{r1,G} - X2_{r2,G}) + F(X2_{r3,G} - X2_{r4,G}) \quad (12)$$

$$V3_{i,G} = X3_{best,G} + F(X3_{r1,G} - X3_{r2,G}) + F(X3_{r3,G} - X3_{r4,G}) \quad (13)$$

ซึ่งผลที่ได้จากการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด จะทำให้ได้ค่าเวกเตอร์ที่แตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดครบทุกเวกเตอร์แล้ว จึงทำการหาผลเฉลยของมิวแทนต์เวกเตอร์และอัปเดตค่าคำตอบที่ดีที่สุด

การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination)

ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์เป็นการเพิ่มความหลากหลายในการหาคำตอบของปัญหา โดยขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างไทรอัลเวกเตอร์ สามารถอธิบายได้ดังสมการที่ 14 -16 โดยจะทำการสุ่มตัวเลขที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าอัตราแลกเปลี่ยนตำแหน่งพิกัด (CR) ค่าไทรอัลเวกเตอร์ในตำแหน่งพิกัดนี้จะเท่ากับค่าของมิวแทนต์เวกเตอร์ในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน และในกรณีที่เป็นอย่างอื่นค่าไทรอัลเวกเตอร์ในตำแหน่งพิกัดนั้นจะมีค่าเท่ากับเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) ซึ่งจะทำให้ขั้นตอนดังกล่าวในทุกพิกัดของเวกเตอร์

$$U1_{ij,G} = \begin{cases} V1_{ij,G}, & \text{if } (rand(j) \leq CR) \\ X1_{ij,G}, & \text{Other} \end{cases} \quad (14)$$

$$U2_{ij,G} = \begin{cases} V2_{ij,G}, & \text{if } (rand(j) \leq CR) \\ X2_{ij,G}, & \text{Other} \end{cases} \quad (15)$$

$$U3_{ijk,G} = \begin{cases} V3_{ijk,G}, & \text{if } (rand(j,k) \leq CR) \\ X3_{ijk,G}, & \text{Other} \end{cases} \quad (16)$$

$U1_{ij,G}, U2_{ij,G}$	คือไทรอัลเวกเตอร์ลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 1,2
$U3_{ijk,G}$	คือไทรอัลเวกเตอร์ลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ในพิกัดย่อยที่ k ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 3
$V1_{ij,G}, V2_{ij,G}$	คือมิวแทนต์เวกเตอร์ลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 1,2
$V3_{ijk,G}$	คือมิวแทนต์เวกเตอร์ลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ในพิกัดย่อยที่ k ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 3
$X1_{ij,G}, X2_{ij,G}$	คือเวกเตอร์เป้าหมายลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 1,2
$X3_{ijk,G}$	คือเวกเตอร์เป้าหมายลำดับที่ i ในพิกัดที่ j ในพิกัดย่อยที่ k ของรอบที่ G ของเวกเตอร์ชุดที่ 3
$rand(j)$	คือค่าตัวเลขสุ่มในพิกัดที่ j
$rand(j,k)$	คือค่าตัวเลขสุ่มในพิกัดที่ j พิกัดย่อยที่ k
CR	คืออัตราแลกเปลี่ยนตำแหน่งพิกัดมีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 - 1

สมการที่ 14 ใช้ในการแลกเปลี่ยนค่าของเวกเตอร์ชุดที่ 1 สมการที่ 15 ใช้ในการแลกเปลี่ยนค่าของเวกเตอร์ชุดที่ 2 และสมการที่ 16 ใช้ในการแลกเปลี่ยนค่าของเวกเตอร์ชุดที่ 3 ซึ่งเวกเตอร์ชุดที่ 3 นี้จะมีพิกัดย่อยอยู่ 3 พิกัด ดังนั้นในแต่ละพิกัดของเวกเตอร์ต้องทำการสุ่มค่า 3 ครั้ง เพื่อทำการแลกเปลี่ยนค่าในทุกพิกัดย่อยด้วย จากขั้นตอนการแลกเปลี่ยนค่าตอบในพิกัดของเวกเตอร์ ทำให้ได้เวกเตอร์ใหม่ที่มีค่าแตกต่างออกไปคือไทรอัลเวกเตอร์ดังตัวอย่างตามตารางที่ 4 จึงต้องทำการหาผลเฉลี่ยของไทรอัลเวกเตอร์และทำการอัปเดตคำตอบที่ดีที่สุดอีกครั้ง

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการหาค่าไทรอัลเวกเตอร์ของเวกเตอร์ชุดที่ 1 ที่ค่า $CR = 0.8$

พิกัด ชุด เวกเตอร์	1	2	3		108	109
$X1$	0.78	0.45	0.2	...	0.52	0.15
$V1$	0.45	0.11	0.95	...	1.25	0.84
Random	0.56	0.9	0.73	...	0.15	0.98
$U1$	0.45	0.45	0.95	...	1.25	0.15

การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือกเป็นขั้นตอนในการเลือกเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไป โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าฟิตเนสหรือค่าตอบของสมการเป้าหมาย ค่าฟิตเนสของเวกเตอร์ใดมีค่าน้อยกว่าเวกเตอร์นั้นจะถูกเลือกเป็นเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไป อธิบายได้ด้วยสมการที่ 17

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G}, & \text{if } f(U_{i,G}) < f(X_{i,G}) \\ X_{i,G}, & \text{Other} \end{cases} \quad (17)$$

จากสมการที่ 3.17 เวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไปของเวกเตอร์ตัวที่ i ($X_{i,G+1}$) ของเวกเตอร์ทั้ง 3 ชุด จะเท่ากับไทรอัลเวกเตอร์ในรอบที่แล้ว ($U_{i,G}$) เมื่อค่าฟิตเนสของไทรอัลเวกเตอร์มีค่าน้อยกว่าค่าฟิตเนสของเวกเตอร์เป้าหมายในรอบที่แล้ว แต่หากเป็นกรณีอื่น ๆ ค่าเวกเตอร์เป้าหมายสำหรับรอบถัดไปจะเท่ากับค่าเวกเตอร์เป้าหมายในรอบที่แล้ว ($X_{i,G}$) ของเวกเตอร์ทั้ง 3 ชุด

ขั้นตอนวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation) การแลกเปลี่ยนค่าในพิกัดของเวกเตอร์ (Recombination) และการคัดเลือก (Selection) ของวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะถูกทำซ้ำจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนด จึงจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาออกมา ซึ่งคำตอบที่ได้ก็คือ ตั้งเตาเผาขยะที่แห่ง โรงพยาบาลชุมชนใดบ้างที่ทำการตั้งเตาเผาขยะ แต่ละแห่งใช้เตาขนาดเท่าใด และมีโรงพยาบาลชุมชนใดบ้างที่ส่งขยะมากำจัด ณ ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผานั้น ๆ

ผลการวิจัย

การทดลองตั้งแต่ขั้นตอนการเริ่มหาคำตอบเริ่มต้นไปจนถึงกระบวนการสุดท้ายของวิธี DE ผู้วิจัยใช้คอมพิวเตอร์ ASUS รุ่น K55V Intel(R) Core™ i5 – 3210M CPU E8400 @ 2.5 GHz Ram 8 Ghz. และเขียนวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างด้วยภาษา C++ ผ่านโปรแกรม Dev C++ version 5.11 ทางผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการทดสอบดังตารางที่ 5 โดยค่า F กำหนดตามบทความของ [9] $F = 2$ และ CR กำหนดตามบทความของ [13] $CR = 0.8$

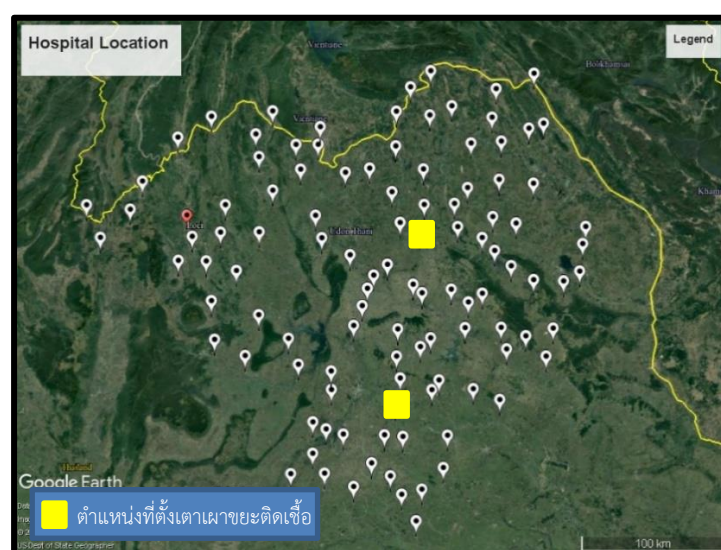
ตารางที่ 5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

พารามิเตอร์	กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง
1. จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ	500
2. จำนวนเวกเตอร์	109 (เท่ากับจำนวนโรงพยาบาล)
3. แฟกเตอร์ในการขยายผลต่าง (Scaling Factor: F)	2
4. อัตราแลกเปลี่ยนตำแหน่งพิกัด (CR)	0.8
5. การทดลองซ้ำ	10

ตารางที่ 6 ผลการทดลอง 10 ครั้ง ด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

ทดสอบ ครั้งที่	Differential Evolution				
	ค่าวัตถุประสงค์	รอบที่พบ คำตอบที่ดีที่สุด	เวลาที่พบ คำตอบที่ดีที่สุด	เวลารัน ทั้งหมด	ตำแหน่งที่ เปิด
1	569,562.66	198	63.055	160.636	25,52
2	569,562.66	38	11.928	155.51	25,52
3	569,562.66	296	90.705	153.155	25,52
4	569,562.66	229	69.843	153.009	25,52
5	569,562.66	290	88.394	152.852	25,52
6	569,562.66	62	19.093	152.248	25,52
7	569,562.66	117	35.466	151.291	25,52
8	569,562.66	327	99.17	151.837	25,52
9	569,562.66	42	13.676	155.284	25,52
10	569,562.66	248	76.637	158.563	25,52
Average	569,562.66	184.70	56.80	154.44	-

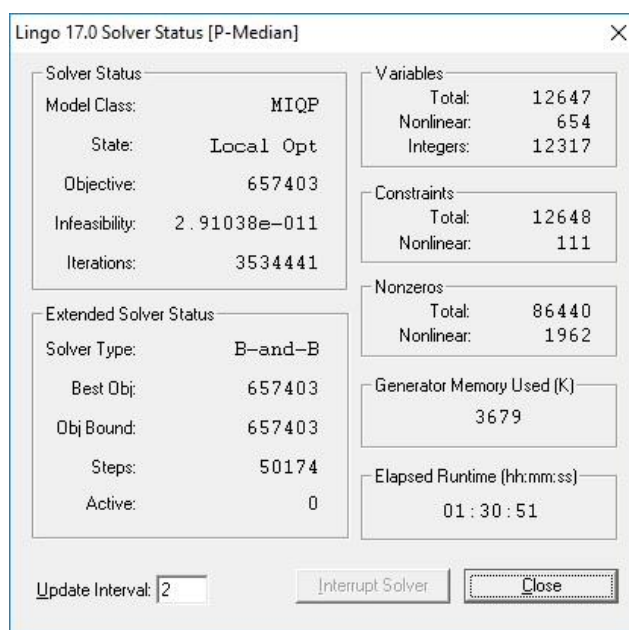
จากตารางที่ 6 การแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างพบว่า ค่าตอบทั้ง 10 ครั้ง ได้ต้นทุนรวมเท่ากับ 569,562.66 บาท ประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ 245,400 บาท ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการ 124,562 บาท ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ 199,600.66 บาท จำนวนรอบที่พบคำตอบที่ดีที่สุดเฉลี่ย 184.70 รอบ ระยะเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดเฉลี่ย 56.80 วินาที ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งหมดเฉลี่ย 154.44 วินาที และตำแหน่งที่เปิดเตาเผาคือ 25 (โรงพยาบาลหนองหาน) และ 52 (โรงพยาบาลโกสุมพิสัย) แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

อภิปรายผล

คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยการจัดเส้นทางขนส่งแบบไปกลับ (Direct Shipping) และกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังตารางที่ 4 เปรียบเทียบกับวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ PSO (Particle Swarm Optimization) [4], ใช้วิธีการค้นหาในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) [5] และผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปลิงโก (Lingo) ดังภาพที่ 4 โดยใช้โมเดลการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Location Problem)



ภาพที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการรันโปรแกรม Lingo

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้จากการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยการจัดเส้นทางขนส่งแบบไปกลับ

วิธีการ	ค่าใช้จ่ายรวม	%Gap (%)
	ปัญหา LP (บาท/เดือน)	Compare DE
1. Lingo V.17	657,402.66	13.36
2. PSO - (Sresanpila & Sindhuchao, 2016)	588,298	3.18
3. ILS - (Krittika, 2017)	570,183	0.11
4. วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ (DE)	569,562.66	-

จากตารางที่ 7 พบว่าค่าใช้จ่ายรวมในการกำจัดขยะที่ได้จากการเลือกขนาดและสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนด้วยวิธี DE ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ผู้วิจัยออกแบบ โดยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 569,562.66 บาท/เดือน มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมลิงโกเวอร์ชัน 17.0 เท่ากับ 87,839.96 บาท/เดือน คิดเป็น 13.36 เปอร์เซ็นต์ มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จากวิธีการ PSO [4] เท่ากับ 18,735.3 บาท/เดือน คิดเป็น 3.18 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จากวิธีการ ILS [5] เท่ากับ 620.3 บาท/เดือน คิดเป็น 0.11 เปอร์เซ็นต์

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและสถานที่ตั้งเตาเผาสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ซึ่งมีการกำจัดขยะติดเชื้อโดยใช้บริการของบริษัทเอกชน พบว่ามีปริมาณรวมทั้งสิ้น 104,487 กิโลกรัม/เดือนและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปัญหา LP นับเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนปัญหาหนึ่งและจัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) ฉะนั้นวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาเหล่านี้ จึงมีหลากหลายวิธีการ ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic Method) แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกันออกไป เนื่องจากกรณีศึกษามีขนาดของปัญหาที่ใหญ่ คือมีจำนวนโรงพยาบาลชุมชน 109 แห่ง ทำให้เกิดทางเลือกที่เป็นไปได้จำนวนมหาศาล การคำนวณแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) อาจใช้เวลาในการค้นหาคำตอบค่อนข้างนาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีเมตาฮิวริสติกที่มีชื่อเรียกว่า “วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm)” เพื่อแก้ปัญหา LP ของกรณีศึกษา ผู้วิจัยพัฒนาวิธีการ DE ที่ต่างจากวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างทั่วไปคือ มีการสร้างเวกเตอร์เพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบ 3 ชุด ผลการค้นหาคำตอบได้ต้นทุนรวมเท่ากับ 569,562.66 บาท ประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ 245,400 บาท ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการ 124,562 บาท ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ 199,600.66 บาท โดยทำการเปิดเตาเผา 2 แห่ง คือ 25 (โรงพยาบาลหนองหาน) ขนาดเตาเผาแบบที่ 2 และ 52 (โรงพยาบาลโกสุมพิสัย) ขนาดเตาเผาแบบที่ 2

ข้อเสนอแนะ

สำหรับวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายค่าด้วยกันที่มีผลต่อการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่แตกต่างกันอาจมีค่าที่แตกต่างกันด้วย จึงควรทดสอบเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ งานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยจะได้พัฒนาขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้ทรงประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับกรณีศึกษาอื่น ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. Bureau of Environmental Health. Situation of infectious waste management in 2020. Thailand: Ministry of public health; 2021.
2. Chummuel C, Pianthong N, Seabsiri K. Investigation of Community Hospitals Infectious Waste Disposal in Upper Northeastern Region. UBU Engineering Journal. 2009;2(1):26-34.
3. Siburum A, Sindhuchao S. Solving the problem of the selection of the size and location of Infectious Waste Incinerators for community hospitals in the upper part of Northeast Thailand. Thai Journal of Operation Research. 2013;1(2):51-59.
4. Sresanpila P, Sindhuchao S. 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. UBU Engineering Journal. 2016;11(2):13-24.
5. Krittika K. Size and location selection of incinerators and vehicle routing for infectious waste collection of community hospitals in the upper part of northeast Thailand[MEng thesis]. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University; 2017 Thai.

6. Owen S, Daskin M. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research*. 1998;111(3):423-447.
7. Hakimi S. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*. 1964;12(3):450-459.
8. Storn R, Price K. Differential Evolution—a simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*. 1997;11:341-359.
9. Qin A, Huang V, Suganthan P. Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. *Evolutionary Computation*. 2009;13(2):398-417.
10. Chiang C, Lee W, Heh J. A 2-Opt based differential evolution for global Optimization. *Applied Soft Computing*. 2010;10(4):1200-1207.
11. Pitakaso R, Parawech P, Jirasirierd G. Comparisons of Different Mutation and Recombination Processes of the DEA for SALB-1. *Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference*; 2013 July 18-20; Taipei, Taiwan. Springer Singapore; 2013.
12. Zhu W, Tang Y, Fang J, Zhang W. Adaptive population tuning scheme for differential evolution. *Information Sciences*. 2013;223:164-191.
13. Sethanan K, Pitakaso R. Improved differential evolution algorithms for solving generalized assignment problem. *Expert Systems with Applications*. 2016;45:450-459.
14. Sedki A, Quazar D. Hybrid particle swarm optimization and differential evolution for optimal design of water distribution systems. *Advanced Engineering Informatics*. 2012;26(3):582-591.
15. Eritropakis M, Plagianakos V, Vrahatis M. Evolving cognitive and social experience in Particle Swarm Optimization through Differential Evolution: A hybrid approach. *Information Sciences*. 2012;216:50-92.
16. Miranda V, Alves R. Differential Evolution Particle Swam Optimization (DEEPSO): a successful hybrid. *The 11th Brazilian Congress on Computational Intelligence*; 2013 Sep 8-13; Ipojuca, Brazil. IEEE; 2014.
17. Thongdee T, Pitakaso R. Differential Evolution Algorithms Solving a Multi-Objective, Source and Stage Location-Allocation Problem. *Industrial Engineering and Management Systems*. 2015;14(1):11-21.
18. Olenšek J, Tuma T, Puhon J, Burmen Á. A new asynchronous parallel global optimization method based on simulated annealing and differential evolution. *Applied Soft Computing*. 2011;11(1):1481-1489.
19. Zhao X, Lin W, Yu C, Chen J, Wang S. A new hybrid differential evolution with simulated annealing and self-adaptive immune operation. *Computer & Mathematics with Applications*. 2013;66(10):1948-1960.