การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ฝ่ายหอสมุด สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปิยะเชษฐ์ สมนึก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2559

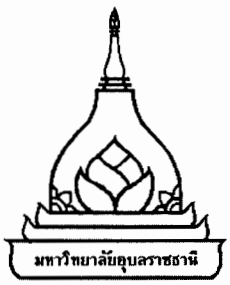
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

DEVELOPMENT OF HEURISTICS FOR FINDING THE LOCATIONS OF THE INCINERATORS IN THE UPPER PART OF NORTHEAST THAILAND

PIYACHATE SOMNUEK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ผู้วิจัย สิบตำรวจตรีปิยะเชษฐ์ สมนึก

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล	กรรมการ
ดร.คลอเคลีย วจนะวิชากร	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2559

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์ และคณะกรรมการทุกท่าน อันประกอบไปด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล และดร.คลอเคลีย วจนะวิชากร ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำความรู้ในด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัย และได้แก้ไปข้อบกพร่องต่าง ๆ สนับสนุนให้โอกาส และแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัยรวมถึงการตรวจสอบ และตรวจทานการดำเนินงาน การทำวิจัยอย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เรืองโรจน์สระบุรี ห้างหุ้นส่วนจำกัดแมส เอนไวรอนเมนท์ เซอร์วิส SIAM INCINERATOR. CO., LTD และโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้ความรู้ในด้านการใช้งานโปรแกรม LINGO 11 และ โปรแกรม Dev C++ ทีช่วยในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา ที่ได้แนะนำเสนอแนวทางให้คำปรึกษา และขอขอบคุณพี่ ๆ ที่ช่วยเหลือในการให้ความรู้ด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบคุณบิดา มารดา น้องสาว และเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งในการทำวิจัยรวมทั้งสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน เพื่อให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จด้วยดี และนอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านที่ล้วนเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จได้ในที่สุด ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณบุคคลดังกล่าวเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ปิยะเชษฐ์ สมนึก
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ผู้วิจัย : ปิยะเชษฐ์ สมนึก

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

คำสำคัญ : ตำแหน่งที่ตั้ง, เตาเผาขยะติดเชื้อ, วิธีการแบบละโมบ, วิธีการค้นหาคำตอบ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผา สำหรับการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล 109 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมของการขนส่งและการดำเนินการมีค่าต่ำที่สุด ในปัญหานี้เตาเผาที่พิจารณามี 3 แบบ คือ เตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาสามารถเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาลชุมชนใดก็ได้ การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาเป็นการเดินทางแบบไป - กลับโดยตรง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหานี้ได้ถูกพัฒนาขึ้น ผู้วิจัยได้พัฒนาวิธีฮิวรีสติกส์ที่ใช้หลักการแบบละโมบ (Greedy algorithm) ในการมอบหมายโรงพยาบาลให้กับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อและใช้การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local search) 3 แบบ เพื่อปรับปรุงคำตอบ ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ จากการคำนวณพบว่ามีการเปิดดำเนินการเตาเผาเพียงแห่งเดียวที่โรงพยาบาลกุมภวาปี ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 588,298 บาทต่อเดือน ซึ่งเท่ากับค่าใช้จ่ายรวมจากงานวิจัยก่อนหน้านี้นำมาศึกษา แต่วิธีฮิวรีสติกส์ใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบน้อยกว่าถึง 84.099 วินาที หรือคิดเป็นร้อยละ 99.92

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF HEURISTICS FOR FINDING THE LOCATIONS OF THE INCINERATORS IN THE UPPER PART OF NORTHEAST THAILAND
AUTHOR : PIYACHATE SOMNUEK
DEGREE : MASTER OF ENGINEERING
MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING
ADVISOR : ASST. PROF. SOMBAT SINDHUCHAO, Ph.D.
KEYWORDS : LOCATION, INFECTIOUS WASTE, GREEDY ALGORITHM, LOCAL SEARCH METHOD

This research aims to locate and select the incinerators for eliminating the infectious waste of 109 community hospitals in the upper part of Northeastern region of Thailand with the objective of minimizing the total transportation and operation cost. In this problem three types of the incinerators are considered: the incinerators with maximum burning capacity of 100, 300 and 600 kilograms per hours. The incinerators can be located at any community hospitals. The transportation of infectious waste from the hospitals to the location of the incinerator is direct shipping. The mathematical model of the problem is developed. For this research, the heuristics is developed based on the greedy algorithm to assign hospitals to the location of the incinerator and three different local search methods are used to improve the solution. From the computational results, it is found that only one incinerator with maximum burning capacity of 300 kilogram per hour is operated at Kumphawapi hospital. The total cost is 588,298 Baht per month, which is equal to the total cost from the previous research but the proposed heuristics use less computational time by 84.099 seconds or 99.92 percent.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 คุณลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขยะติดเชื้อ	6
2.2 ประเภทของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง	7
2.3 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องสำหรับการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหา	26
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	26
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	34
3.4 การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์	37
บทที่ 4 การทดลองและผลการวิจัย	
4.1 การทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยทดสอบกับโปรแกรม LINGO 11	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน 48

4.3 การทดลองเพื่อทดสอบหาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบสำหรับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง 57

4.4 การทดลองเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง 61

4.5 การทดสอบปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยทดสอบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++ 64

4.6 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบการประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ กับคำตอบของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 และการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค 67

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 69

5.2 ปัญหาและอุปสรรค 70

5.3 ข้อเสนอแนะ 70

เอกสารอ้างอิง **71**

ภาคผนวก

ก ตารางพิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยและตารางเมตริกระยะทาง 77

ข ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย 84

ประวัติผู้วิจัย **90**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา	27
3.2	ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน	27
3.3	ค่าใช้จ่ายในการเผาเผาขยะติดเชื้อต่อชั่วโมง	33
4.1	ผลคำตอบการแบ่งกลุ่มโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อให้ตำแหน่งเตาเผา โดยโปรแกรม LINGO 11	47
4.2	การเรียงลำดับระยะทางและระยะทางรวมของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง	50
4.3	เรียงลำดับผลรวมระยะทางของโรงพยาบาล 36 แห่งแรก	51
4.4	เปรียบเทียบระยะทางของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ	52
4.5	เปรียบเทียบระยะทางของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อทำการเลือกและมอบหมายโรงพยาบาล	53
4.6	ปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนของตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ	54
4.7	คำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะทุกขนาดในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ	55
4.8	ระยะทางรวมในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ	56
4.9	คำนวณต้นทุนต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนรวมทั้งหมดการกำจัดขยะติดเชื้อ	57
4.10	ผลคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแต่ละรูปแบบ ในการเปิดเตาเผาจำนวน 2 แห่ง	58
4.11	ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ได้จากผลคำตอบในรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบต่าง ๆ ในแต่ละจำนวนการเปิดเตาเผา	60
4.12	การเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพคำตอบของจำนวนการเปิดเตาเผา	61
4.13	ต้นทุนรวมทั้งหมดในการเปิดเตาเผาแต่ละจำนวนที่จะเปิดดำเนินการ	62
4.14	สรุปผลคำตอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++	66
4.15	เปรียบเทียบผลคำตอบระหว่างวิธีฮิวริสติกส์ กับผลคำตอบจากโปรแกรม LINGO 11 และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.1	พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย	78
ก.2	ตัวอย่างตารางเมตริกระยะทางของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย	83
ข.1	ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย	85

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	25
3.2	ยานพาหนะที่ใช้ในการจัดเก็บรวบรวมขยะ	33
3.3	ลำดับขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution)	38
3.4	การย้ายตำแหน่งที่ตั้งภายในกลุ่ม (Moving locations)	40
3.5	วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)	41
3.6	หลังปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)	42
3.7	วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)	43
3.8	หลังปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)	44
4.1	รหัสรูปแบบที่กำหนดในโปรแกรม LINGO 11	46
4.2	ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผล โปรแกรม LINGO 11	46
4.3	เปรียบเทียบจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อกับต้นทุนรวมทั้งหมดที่ทำการเปิดเตาเผา	63
4.4	เปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผา	64

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้ได้นำเสนอความสำคัญและที่มาของปัญหาที่เลือกทำวิจัย วัตถุประสงค์ กรอบแนวคิดและขอบเขตของงานวิจัยแผนการดำเนินงานวิจัย รวมไปถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย เพื่อให้ทราบและเข้าใจแนวความคิดเบื้องต้นของงานวิจัยนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันประชากรมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ถึงแม้ว่าจะมีความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์มากขึ้น แต่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลก็มีปริมาณมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น การรักษาผู้ป่วยในโรงพยาบาลต้องใช้วัสดุสำหรับการรักษาผู้ป่วยที่ติดเชื้อมากขึ้น ส่งผลให้มีขยะของเสียที่เกิดจากโรงพยาบาลเรียกว่า ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Hospital Waste) ซึ่งจัดเป็นขยะอันตราย (Hazardous Waste) ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับขยะติดเชื้อมีแนวโน้มที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ หากไม่ได้รับการจัดการที่เหมาะสม เนื่องจากแหล่งกำเนิดขยะติดเชื้อมีการเพิ่มจำนวน และกระจายไปอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศ โดยเฉพาะตามโรงพยาบาล ซึ่งปัจจุบันระบบการจัดการขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลประเภทต่าง ๆ มีการดำเนินการโดยมีระบบการบำบัด และกำจัดขยะติดเชื้อทั้งในสถานพยาบาลเองและนอกสถานพยาบาล ซึ่งบางโรงพยาบาลที่มีเตาเผาขยะติดเชื้อภายในโรงพยาบาลเอง เตาเผาขยะติดเชื้อที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดเล็กยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร มีสภาพชำรุดหรือใช้งานไม่ได้บ่อยครั้ง และมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ไม่มีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศ จึงต้องมีการบำรุงซ่อมแซมเป็นประจำทำให้โรงพยาบาลส่วนใหญ่ส่งขยะติดเชื้อไปกำจัดในเตาเผาขยะติดเชื้อของเอกชนซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในจังหวัดต่าง ๆ

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ เช่น โรงงาน ศูนย์กระจายสินค้า และโรงพยาบาล เป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญอย่างยิ่งให้กับองค์กร เนื่องจากการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้ง มีบทบาทโดยตรงต่อการตัดสินใจในด้านการดำเนินงานและด้านโลจิสติกส์ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการให้บริการ และศักยภาพการแข่งขันในระยะยาวขององค์กร ทำให้ปัญหานี้มีความสำคัญ และได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม (Facility Location Problem) หรือปัญหา FLP เป็นการกำหนดจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทางหรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าหรือบริการมีค่าลดลงต่ำที่สุด ผู้วิจัยจึงได้นำปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของของสถานที่มา

ศึกษา นำไปสู่การแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการหาขนาดเตาเผา เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งขยะและการดำเนินการเปิดใช้เตาเผาขยะติดที่เหมาสมกับปริมาณขยะที่จะนำไปดำเนินการกำจัด และได้ทำการศึกษาปัญหางานวิจัยของภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) เนื่องจากเป็นปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผา ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีความน่าสนใจ

ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาสำหรับการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน 109 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยมีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมของการขนส่งและการดำเนินการมีค่าต่ำที่สุด โดยมีการพิจารณาเตาเผาขยะทั้งหมด 3 แบบ คือ เตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาสามารถเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาลชุมชนใดก็ได้ การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาเป็นการเดินทางแบบไป - กลับโดยตรง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหานี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นและแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรม Lingo 11 ผลลัพธ์พบว่ามีการเปิดดำเนินการเตาเผา 9 แห่ง ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 8 แห่ง และเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง 1 แห่ง โดยมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 948,470 บาทต่อเดือน คำตอบนี้ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด และใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนานถึง 5,663 วินาที เพื่อที่จะได้คำตอบที่ดีขึ้น จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อจากการคำนวณพบว่ามีการเปิดดำเนินการเตาเผาเพียงแห่งเดียว ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 588,298 บาทต่อเดือน ซึ่งต่ำกว่าค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 ถึง 37.97 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบเพียง 84.16 วินาที

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาเกี่ยวกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผา ในแต่ละโรงพยาบาลของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย รวมทั้งหมด 109 แห่ง ซึ่งมีการกำจัดขยะติดเชื้อโดยการใช้บริการของบริษัทเอกชนที่รับกำจัดขยะติดเชื้อ ปริมาณขยะติดเชื้อในแต่ละโรงพยาบาลที่ส่งให้บริษัทเอกชนพบว่ามีปริมาณรวมทั้งสิ้น 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมีความถี่ในการขนส่งขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลไม่เท่ากัน บริษัทเอกชนจะส่งรถออกมารับขยะติดเชื้อตามโรงพยาบาลต่าง ๆ และขนขยะติดเชื้อกลับไปกำจัดด้วยการเผาในเตาเผา ณ ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาซึ่งมีเพียงแห่งเดียว ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ด้วยการเปิดใช้เตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลหลายแห่ง เพื่อให้แต่ละแห่งเปิดศูนย์กลางรับกำจัดขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง รวมถึงการเลือกใช้ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะติดเชื้อให้มีค่าต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาโดยศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมและตำแหน่งที่ตั้งของ

เตาเผาขยะติดเชื้อ และหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Lingo 11 จากนั้นทำการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาแล้วเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 กับวิธีฮิวริสติกส์ที่ประยุกต์ใช้ และเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกส์ของภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) กับวิธีฮิวริสติกส์ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น เนื่องจากมีลักษณะของปัญหาที่คล้ายกัน พร้อมทั้งทำการวิเคราะห์ผลของคำตอบแล้วทำการเลือกคำตอบที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในด้านการดำเนินการกำจัดขยะติดเชื้อรวมกันต่ำที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง สำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการหาคำตอบของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง สำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม (Facility Location Problem) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ สำหรับการค้นหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดดำเนินการเตาเผาได้ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลแห่งใดก็ได้ โดยโรงพยาบาลแต่ละแห่งสามารถใช้บริการเตาเผาได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ซึ่งปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนที่โรงพยาบาลส่งไปกำจัด โดยเตาเผาแต่ละแห่งจะต้องมีปริมาณไม่เกินอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผาที่ให้บริการ กระบวนการทำงานของวิธีฮิวริสติกส์ แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาผลของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยศึกษาปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งมีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งหมด 109 แห่ง ใน 9 จังหวัด ประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู เลย และบึงกาฬ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในด้านการดำเนินการกำจัดขยะติดเชื้อให้มีค่ารวมกันต่ำที่สุด โดยงานวิจัยนี้ไม่ได้ศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม โดยที่เตาเผาขยะติดเชื้อที่นำมาพิจารณามี 3 แบบเท่านั้น คือเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยที่สามารถ

เปิดดำเนินการเตาเผาได้ ณ ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลชุมชนแห่งใดก็ได้ โดยโรงพยาบาลแต่ละแห่งสามารถใช้บริการเตาเผาได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผา เป็นการเดินทางแบบไป - กลับโดยตรง และรถขนส่งสามารถขนขยะติดเชื้อทั้งหมดของโรงพยาบาลแต่ละแห่งได้ในเที่ยวเดียว ซึ่งแต่ละโรงพยาบาลมีความถี่ในการส่งขยะติดเชื้อเพื่อกำจัดแตกต่างกัน ซึ่งปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนที่โรงพยาบาลส่งไปกำจัด โดยเตาเผาแต่ละแห่งจะต้องมีปริมาณไม่เกินอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผาที่ให้บริการ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหา

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการวิจัย

1.5.4 ใช้โปรแกรม Lingo 11 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ

1.5.5 ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ

1.5.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้ทดสอบ

1.5.7 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

1.5.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนองานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ได้ตำแหน่งสถานที่ตั้งและประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

1.6.2 ได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์เพื่อการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

1.7 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Infectious Waste) หมายถึง ขยะทางการแพทย์ ซึ่งมีเหตุอันควรสงสัยว่ามีเชื้อโรค หรือขยะที่สัมผัสกับเลือดหรือส่วนประกอบของเลือด เช่น น้ำเลือด เม็ดเลือด หรือขยะที่สัมผัสของเหลวจากร่างกาย เช่น ปัสสาวะ อุจจาระ เสมหะ น้ำลาย น้ำหนอง

1.7.2 วิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristic method) หมายถึง วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีในช่วงเวลาที่เหมาะสม

1.7.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) หมายถึง เป็นการกำหนดจำนวน และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ เพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทาง หรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้า หรือบริการมีค่าน้อยที่สุด

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เป็นการอธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อ ปัญหาการเลือกตำแหน่งสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

2.1 คุณลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขยะติดเชื้อ

คำจำกัดความของขยะติดเชื้อ (Definition of infectious waste) ขยะติดเชื้อ (Infectious waste) ในทางวิชาการแล้วแบ่งขยะติดเชื้อออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 หมายถึง ขยะที่มีเชื้อโรค (Pathogens waste) ที่มีความเข้มข้นจำนวนที่มากพอเมื่อสัมผัสแล้วสามารถทำให้เป็นโรคได้ เช่น ขยะจากผู้ป่วยติดเชื้อ ขยะที่ได้จากห้องผ่าตัด ขยะจากห้องปฏิบัติการเพาะเชื้อ ส่วนขยะประเภทที่ 2 หมายถึง ขยะที่มีพยาธิสภาพ (Pathological waste) เช่น พวกเนื้อเยื่อ อวัยวะ ชิ้นส่วนของร่างกาย ทารกไร้ชีพ (Fetus) ซากสัตว์ เลือด และของเหลวจากร่างกาย ได้มีหลายหน่วยงานและนักวิจัยได้ให้คำจำกัดความขยะติดเชื้อที่แตกต่างกันไป ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความหมายใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากแหล่งข้อมูลและงานของนักวิจัยหลายท่าน ซึ่งจะได้ยกข้อความบางส่วนของคำจำกัดความของขยะติดเชื้อที่ได้จากการสำรวจงานของแต่ละท่านดังต่อไปนี้

องค์การอนามัยโลก (WHO) (2551) ได้ให้ความหมายของขยะจากโรงพยาบาล (Hospital waste) ดังนี้ “ขยะหรือของเสียที่มีแหล่งกำเนิดมาจากโรงพยาบาลซึ่งเกิดจากการแพทย์ การรักษาพยาบาล การทันตกรรม การเภสัชกรรม สัตวแพทย์ หรือการปฏิบัติเกี่ยวกับการตรวจวินิจฉัย การบำบัดรักษาและการทำวิจัย” แต่ในปี 1994 WHO ก็ได้มีการปรับความหมายให้สั้นและกระชับขึ้น ดังนี้ ขยะติดเชื้อหมายถึง “ของเสียทุกชนิดที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อจากไวรัส แบคทีเรีย หรือพยาธิ ต่อมนุษย์”

United State Environmental Protection Agency (U.S.EPV) (2012) ได้ให้คำจำกัดความขยะติดเชื้อ ดังนี้ “ขยะที่ทำให้เกิดโรค คือขยะติดเชื้อ และเป็นขยะที่มีเชื้อโรคไวรัส ที่มีความรุนแรง ที่ทำให้ผู้สัมผัสเกิดโรคติดเชื้อ”

ความหมายขยะติดเชื้อโดยกรมควบคุมมลพิษ หมายถึง "สิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่สัมผัสกับผลิตผลของคนไข้โรคติดเชื้อทั่วไปและโรคติดเชื้ออันตรายในสภานพยาบาล ได้แก่ เลือด น้ำเหลือง หนอง เสมหะ อุจจาระ และอื่น ๆ"

สุดท้าย กระทรวงสาธารณะสุข กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้มีแนวคิดเพื่อให้คำจำกัดความเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั่วประเทศจึงได้แต่งตั้งคณะทำงานกำหนดแนวทางการจัดการให้คำจำกัดความของขยะติดเชื้อดังนี้ "ขยะที่เป็นผลมาจากกระบวนการให้การรักษาพยาบาลและการตรวจวินิจฉัยการให้ภูมิคุ้มกันโรค การศึกษาวิจัยที่ดำเนินการทั้งในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งเป็นเหตุอันควรสงสัยว่ามีหรืออาจมีเชื้อโรค"

2.2 ประเภทของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

ปัญหาการเลือกตำแหน่งสถานที่ตั้งสามารถจำแนกประเภทของปัญหาได้ดังนี้

(1) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP)

(2) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Strategic Facility Location) โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือปัญหาปกคลุม (Covering Problems) ปัญหาระยะทางเฉลี่ย (Average Distance Problems) และปัญหาศูนย์กลาง (Center Problems) ซึ่งปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบเฉลี่ยถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Hakimi (1964) มีชื่อเรียกว่า P-median Problem

(3) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Location Routing Problem: LRP)

(4) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับขั้น (Multi-stages multi objectives location problem)

2.2.1 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP)

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งหมายถึงการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อใช้ปลูกสร้างอาคารโรงงานคลังสินค้าไว้ในที่ใดที่หนึ่งที่ได้กำหนดไว้ โดยปัจจัยที่จะทำให้ต้องมีการวางแผนเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานก็มีอยู่หลายประการอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือปัจจัยที่เกี่ยวกับทรัพยากรการผลิตและปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อม ปัจจัยทางด้านทรัพยากรการผลิตเช่น (1) วัตถุดิบประเภทปริมาณและราคาของวัตถุดิบ (2) ตลาดสินค้าจำนวนลูกค้าจำนวนคู่แข่งขัน (3) แรงงานปริมาณและค่าแรงของแรงงานช่างฝีมือแรงงานกรรมกร (4) ที่ดินปริมาณและราคา (5) การขนส่งจำนวนและความสะดวกของเส้นทางการขนส่งทางบกน้ำและอากาศ (6) พลังงานปริมาณและราคาของไฟฟ้าก๊าซน้ำมันเชื้อเพลิงและอื่น ๆ (7) สาธารณูปโภคปริมาณและราคาของน้ำประปาโทรศัพท์โปรษณีย์และอื่น ๆ ส่วนปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมเช่น (1) การยอมรับของชุมชนความเชื่อและหลักศาสนาของคนในชุมชน (2) คุณภาพของชีวิตในชุมชนสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (3) มาตรฐานค่าครองชีพ (4) ความ

ปลอดภัยในชีวิตและครอบครัว (5) สภาพการรวมตัวทางธุรกิจและอุตสาหกรรมสภาพการร่วมมือช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว (2014) ได้สรุปวรรณกรรมของ Revelle and Eiselt (2005) ไว้ว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งมีลักษณะเฉพาะอย่าง 4 ประการด้วยกันคือ (1) ลูกค้าซึ่งมีตำแหน่งแน่นอนอยู่แล้วที่ใดที่หนึ่งหรืออยู่บนเส้นทางการขนส่ง (2) โรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้ง (3) ที่ตั้งซึ่งลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่ (4) ค่าระยะทางหรือเวลาในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า Minnesota Pollution Control Agency (2013) จัดทำคู่มือในการประเมินความเหมาะสมของการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล (Planning and Constructing an Ethanol Plant in Minesota) โดยในคู่มือดังกล่าวได้ระบุถึงปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งประกอบด้วย (1) แหล่งน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (Water supply) (2) การบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน (Wastewater disposal) (3) ความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดิบทางการเกษตรที่ใช้ผลิตเป็นเอทานอล (4) ระบบขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Transportation) เช่น สภาพถนน สถานีรถไฟ เป็นต้น (5) ประเภทของเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานในการผลิตเอทานอล (6) ทุนสนับสนุนหรือสิทธิประโยชน์จากภาครัฐ (Funding and economics) เนื่องจากการจัดตั้งโรงงานในบางพื้นที่อาจมีสิทธิประโยชน์ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาล (7) ประเมินด้านผลกระทบต่อคนที่อยู่ในพื้นที่ (Local site issues) เช่น ฝุ่นจากการขนส่งวัตถุดิบ เสียงจากโรงงาน กลิ่นจากโรงงาน ฯลฯ และ (8) ความสัมพันธ์กับชุมชน (Community relation) ปัญหา FLP ที่เลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมโดยพิจารณาเวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำการตัดสินใจและพิจารณาปัจจัยนำเข้า เช่น ความต้องการของลูกค้าตำแหน่งของลูกค้าต้นทุนการขนส่งเป็นต้นปัญหานี้สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการดังต่อไปนี้

2.2.1.1 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum Facility Location Problems)

ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุดเป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม (ซึ่งหมายรวมถึงระยะทางหรือเวลาในการขนส่ง ซึ่งอาจมีการถ่วงน้ำหนักตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ก็ได้) ระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้าทุกคนมีค่าน้อยที่สุดมีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize} \quad \sum_i \sum_j w_i d_{ij} y_{ij} \tag{2.1}$$

$$\text{Subject to} \sum_j x_j = p \tag{2.2}$$

$$\sum_{j} y_{ij} = 1 \qquad ;\forall i \qquad (2.3)$$

$$\sum_{i} w_i y_{ij} \leq s_j x_j \qquad ;\forall j \qquad (2.4)$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad ;\forall j \qquad (2.5)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad ;\forall i, \forall j \qquad (2.6)$$

โดยมีข้อมูลนำเข้า คือ

w_i เป็นปริมาณสินค้าหรือบริการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i

d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างลูกค้าที่อยู่ตำแหน่งที่ i กับสถานให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j

s_j เป็นขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j และมีตัวแปรตัดสินใจ คือ

x_j เป็น 1 ถ้าเลือกตั้งสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j ถ้าไม่ใช่ $x_j = 0$

y_{ij} เป็น 1 ถ้าลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j ถ้าไม่ใช่ $y_{ij} = 0$

สมการเป้าหมาย (2.1) เป็นการหาค่าระยะทางรวมระหว่างลูกค้าและสถานที่ให้บริการสมการข้อจำกัด (2.2) เป็นข้อจำกัดในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้ง ของแหล่งให้บริการให้เท่ากับจำนวนแหล่งให้บริการที่กำหนด (P แห่ง) สมการข้อจำกัด (2.3) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับการให้บริการจากแหล่งให้บริการสมการข้อจำกัด (2.4) แสดงถึงว่าลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะรับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่ง j ได้ก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่ j มีสถานที่ให้บริการตั้งอยู่และสถานที่ให้บริการจะให้บริการได้ไม่เกินขีดความสามารถ ในการให้บริการที่มีอยู่ถ้าหากสถานที่ให้บริการที่พิจารณานั้นไม่มีข้อจำกัด ด้านขีดความสามารถในการให้บริการจะแทนสมการนี้ด้วย สมการ $y_{ij} \leq x_j; \forall i, \forall j$ ส่วนสมการที่ (2.5 - 2.6) แสดงข้อจำกัดเชิงตัวเลขของตัวแปรในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรบริการ หากพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งเป็นพิกัดใด ๆ บนพื้นระนาบปัญหานี้เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อปัญหาเวเบอร์ (Weber Problems) โดยระยะทางระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้า (d_{ij})

จะถูกพิจารณาเป็นฟังก์ชันของระยะทางระหว่างพิกัดบนระนาบซึ่งมีอยู่ 3 รูปแบบด้วยกัน คือแบบเส้นตรง (Rectilinear) แบบยุคลิด (Euclidean) และแบบยุคลิดยกกำลังสอง (Squared Euclidean)

การเลือกใช้ฟังก์ชันระยะทางจะเลือกให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาจริง เช่น หากพิจารณาสถานที่ตั้งของเครื่องจักรตัวใหม่ ระยะทางระหว่างเครื่องจักรไปยังสถานีงานที่รับชิ้นส่วน (ลูกค้า) ก็มักจะถูกพิจารณาเป็นแบบเส้นตรง เนื่องจากการขนย้ายมักเดินตามเส้นกรอบพื้นที่ที่จัดวางเครื่องจักรเป็นต้น และฟังก์ชันระยะทางนี้เองที่ทำให้รูปแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาประเภทนี้จะใช้วิธีการเฉพาะสำหรับประเภทของฟังก์ชันเป้าหมายที่จัดรูปได้ หรือใช้คุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวของฟังก์ชันนั้น ๆ เช่น ในกรณีที่ฟังก์ชันของระยะทางเป็นแบบเส้นตรงสามารถใช้ตัวแปรเสริม (Auxiliary Variable) ในการแปลงสมการเป้าหมายที่ติดค่าสัมบูรณ์ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้นที่อิสระต่อกันเป็นต้น งานวิจัยที่เสนอการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับฟังก์ชันระยะทางอื่น ๆ

2.2.1.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Problem)

เป็นปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับบริการได้อย่างทั่วถึง ด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้เช่นสถานีดับเพลิงโรงพยาบาลเป็นต้น โดยในที่นี้การให้บริการจะครอบคลุมความต้องการของลูกค้า ก็ต่อเมื่อสถานที่ให้บริการอยู่ห่างจากลูกค้าในระยะที่กำหนดไว้ หรือลูกค้าสามารถเดินทางมารับบริการได้ในระยะเวลาที่กำหนด ปัญหาประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1) ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนน้อยที่สุด (Set Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โดยใช้จำนวนหรือต้นทุนในการสร้างสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุดเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มลูกค้าทั้งหมด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไปดังนี้

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j} c_j x_j \tag{2.7}$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \qquad ;\forall i \tag{2.8}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad ;\forall j \tag{2.9}$$

โดยมีข้อมูลนำเข้าเพิ่มเติม คือ

c_j เป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานที่ให้บริการ

s เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดหรือระยะเวลาที่นานที่สุดที่ยอมรับได้จากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้า

N_i เป็นเซตของตำแหน่งที่ตั้งที่อยู่ห่างจากลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ด้วยระยะทางที่ยอมรับได้ (นั่นคือ $N_i = \{ j \mid d_{ij} \leq S \}$)

สมการ (2.7) แสดงเป้าหมายการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเพื่อให้ต้นทุนก่อสร้าง หรือจำนวนสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด สมการข้อจำกัด (2.8) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่อยู่ภายในระยะทางที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งแห่ง ส่วนสมการข้อจำกัดที่ (2.9) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2) ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด (Maximal Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งให้กับสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง เพื่อให้สามารถครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Maximize} \quad \sum_i w_i z_i \tag{2.10}$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in N_i} x_j \geq z_i \qquad ; \forall i \tag{2.11}$$

$$\sum_j x_j = P \tag{2.12}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad ; \forall j \tag{2.13}$$

$$z_j \in \{0,1\} \qquad ; \forall i \tag{2.14}$$

โดยมีตัวแปรตัดสินใจเพิ่มเติม คือ

$z_i = 1$ ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ถูกครอบคลุม

$z_i = 0$ ถ้าไม่ใช่

สมการที่ (2.10) เป็นการครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด โดยมีสมการข้อจำกัด (2.11) รับประกันว่าลูกค้าที่ถูกครอบคลุมจะได้รับการให้บริการจากสถานที่ให้บริการ

ที่ตั้งอยู่ภายในระยะทางที่กำหนด สมการข้อจำกัด (2.12) แสดงถึงข้อจำกัดของจำนวนของตำแหน่งที่ตั้งที่จะถูกเลือกจะมีจำนวนเท่ากับ P แห่งเท่านั้น และ สมการ (2.13 - 2.14) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข เนื่องจากปัญหา (2.7) และ (2.10) เป็นปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้กันทั่วไปก็คือ วิธีการแตกกิ่ง และจำกัดขอบเขต

2.2.1.3 ปัญหาระยะทางไกลที่สุดน้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems)

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานีที่ให้บริการ P แห่งเพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุดได้อยู่ใกล้สถานที่ให้บริการมากที่สุด โดยทั่วไปจะเรียกปัญหานี้ว่าปัญหา p-Center ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Minimize} \quad D \tag{2.15}$$

$$\text{subject to} \sum_{j} x_j = P \tag{2.16}$$

$$\sum_{j} y_{ij} = 1 \qquad ;\forall i \tag{2.17}$$

$$y_{ij} \le x_j \qquad ;\forall i, \forall j \tag{2.18}$$

$$D \ge \sum_{j} d_{ij} y_{ij} \qquad ;\forall i \tag{2.19}$$

$$x_j \in \{0,1\} \qquad ;\forall j \tag{2.20}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad ;\forall i, \forall j \tag{2.21}$$

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจเพิ่ม คือ D เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่างลูกค้ากับสถาน ที่ให้บริการที่อยู่ใกล้ที่สุด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในสมการ (2.15) เป็นการทำให้ระยะทางที่ไกล ที่สุดมีค่าน้อยที่สุด สมการ (2.16) – (2.18) แสดง เงื่อนไขเดียวกันกับสมการ (2.2) – (2.4) ในกรณีที่ไม่มี ข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการ ของสถานที่ให้บริการ สมการ (2.19) เป็นการ จำกัดระยะทางที่ไกลที่สุดของลูกค้าและสมการ (2.20) – (2.21) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

ปัญหานี้มักพบในกรณีที่ต้องการประกันความเสี่ยงในการเข้าถึงสถานที่ให้บริการของลูกค้า ที่อยู่ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินซึ่งจะไม่เหมือนกับกรณีที่พิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการโดยทั่วไป เช่น คลังสินค้า ศูนย์การค้าเป็นต้น เหมือนในประเภทที่ 1 และแม้จะมีเป้าหมายที่คล้ายคลึงกับปัญหาประเภทที่ 2 แต่กลับพิจารณาในมุมมองตรงกันข้าม คือ แทนที่จะกำหนดระยะครอบคลุมที่ยอมรับได้เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้ง และ จำนวนของสถานที่ให้บริการหรือจำนวนลูกค้าที่ถูกครอบคลุมความต้องการ กลับเป็นการกำหนดจำนวนสถานที่ให้บริการมา เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งที่จะทำให้ระยะครอบคลุมของลูกค้าที่อยู่ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการที่ใกล้ที่สุดมีค่าต่ำที่สุด สำหรับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาประเภทนี้ที่อยู่ในรูปแบบทั่วไปยังมีจำนวนน้อยมาก วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเฉพาะ ซึ่งเกิดจากการกำหนดสมมติฐานเพิ่มเติม และได้มีการพัฒนาวิธีการที่สามารถใช้ได้กับปัญหา p-Center ทั่วไปที่ไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการ แต่เนื่องจากยังไม่สอดคล้องกับปัญหาจริงที่สถานที่ให้บริการมักจะมีขีดความสามารถในการให้บริการจำกัด

2.2.1.4 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่ไม่พึงประสงค์ (Obnoxious Facility Location Problems)

สถานที่ให้บริการที่กล่าวถึงในปัญหาข้างต้นนั้น เป็นสถานที่ให้บริการที่มีลักษณะทั่วไปคือยิ่งลูกค้าอยู่ใกล้ยิ่งสะดวกและดี แต่ปัญหาในประเภทนี้เกิดขึ้นกรณีที่สถานที่ให้บริการไม่เป็นที่พึงประสงค์ให้มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มลูกค้า เนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อสุขอนามัยหรือสวัสดิภาพของสถานที่ใกล้เคียง แต่ก็เป็นสถานที่ที่มีประโยชน์และยังคงไม่ต้องการให้อยู่ห่างจากลูกค้าจนเกินไป เนื่องจากเหตุผลด้านต้นทุนการขนส่ง เช่น โรงงานกำจัดขยะโรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น ปัญหาประเภทนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการ แต่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในทิศทางตรงกันข้ามได้แก่

1) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ เพื่อให้ระยะทางรวมระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้ามีค่ามากที่สุด แต่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด (Maxisum Facility Location Problems)

2) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้มีลูกค้าอยู่ในพื้นที่รอบสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด (Minimum Covering Problems)

3) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ เพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ใกล้ที่สุดมีระยะห่างจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด (Maximin Facility Location Problem) เป็นต้น

2.2.1.5 ปัญหาอื่น ๆ

ปัญหาที่ขยายผลมาจากปัญหาทั้ง 4 ประเภทข้างต้นมีความหลากหลายตามรายละเอียดเพิ่มเติมของปัญหายกตัวอย่าง เช่น กรณีที่สถานที่ให้บริการที่พิจารณาให้บริการหรือขายสินค้าที่มีความหลากหลาย (Multi-commodity) หรือกรณีที่มีการส่งมอบสินค้าในหลายระดับ (Multi-level) เช่น อาจมีสินค้าบางส่วนถูกส่งมอบโดยตรงจากโรงงานไปยังลูกค้า และอาจมีบางส่วนถูกส่งจากโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้าก่อนแล้ว จึงกระจายสินค้าจากศูนย์นี้ไปยังลูกค้าอีกครั้งหนึ่ง หรือในกรณีที่มีเป้าหมายในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการมากกว่าหนึ่ง (Multi-objective) หรือปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ต้นทุนรวม เช่น ด้านการก่อสร้างการดำเนินการและการขนส่งต่ำที่สุด (Fixed Charged Facility Location Problems) เป็นต้น

2.2.2 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Strategic Facility Location)

Owen and Daskin (1988) ได้ทำการจำแนกลักษณะของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ออกเป็น 3 ประเภทคือปัญหาปกคลุม (Covering Problems) ปัญหาระยะทางเฉลี่ย (Average Distance Problems) และปัญหาศูนย์กลาง (Center Problems) ซึ่งปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบเฉลี่ย ซึ่งมีการนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Hakimi (1964) มีชื่อเรียกว่า P-median Problem และแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาแบบ P-median เป็นดังนี้

2.2.2.1 ดัชนี (Indices)

I ลำดับของแหล่งวัตถุดิบในการผลิตโดยที่ i = 1,2, ..., I

j ลำดับของจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานโดยที่ j = 1,2, ..., J

2.2.2.2 ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

P เป็นจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้ง

d_{ij} ระยะทางระหว่างโหนดที่ i ไปยังโหนดที่ j

2.2.2.3 ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

Y_i = 1 เมื่อมีการเปิดศูนย์กระจายสินค้า i

0 เมื่อไม่มีการเปิดศูนย์กระจายสินค้า i

X_{ij} = 1 เมื่อมีการส่งหรือรับสินค้าระหว่าง i ไป j

0 เมื่อไม่มีการส่งหรือรับสินค้าระหว่าง i ไป j

2.2.2.4 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^{J}\sum_{i=1}^{I} d_{ij} X_{ij} \qquad (2.22)$$

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

$$\sum_{j=1}^{J} X_{ij} \leq Y_i \qquad ; \forall_{i = 1, 2, ..., i} \qquad (2.23)$$

$$\sum_{i=1}^{I} X_{ij} = 1 \qquad ; \forall_{j = 1, 2, ..., j} \qquad (2.24)$$

$$\sum_{i=1}^{I} Y_i = P \qquad ; \forall_{j = 1, 2, ..., j} \qquad (2.25)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำสุดสมการเงื่อนไขที่ (2.22) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งวัตถุดิบให้กับโรงงานเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (2.23) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบจะไม่ส่งวัตถุดิบให้โรงงานที่ยังไม่ได้เปิด สมการที่ (2.24) จำนวนโรงงานที่เปิดเท่ากับ P แห่งจากการวิเคราะห์ถึงรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหา P-median มีการให้ความสำคัญในเรื่องความสามารถในการส่งสินค้าของจุดกระจายสินค้าที่มีจำกัด และลูกค้ามีความต้องการที่จำกัดเช่นกัน ศูนย์กระจายสินค้าแบบ P-median คือปัญหาที่เราเลือกตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าจำนวน P แห่งภายในจำนวนลูกค้า n แห่งรวมไปถึงการตัดสินใจว่าศูนย์กระจายสินค้าที่ถูกเลือกจะส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนใดบ้าง โดยให้ระยะทางการขนส่งของรวมจากทุกศูนย์กระจายสินค้าให้กับลูกค้าทุกคนสั้นที่สุด ซึ่งจะสามารถเพิ่มเติมในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนของค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดความจุของโรงงานที่รับได้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปิดโรงงาน และปริมาณวัตถุดิบที่มีในแหล่งวัตถุดิบนั้น

Nooradelena Mohd Ruslim and Noraida Abdual Ghani (2006) ได้ประยุกต์ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (P-median) ให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน ทำให้นักวิจัยสามารถใช้หลักการทางสถิติเข้ามาวัดความต้องการของลูกค้า โดยให้ความต้องการของลูกค้าเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอน และใช้วิธีการสถิติที่เรียกว่า การกระจายแบบปัวซังต์ (Poisson distribution: λ) เข้ามาจับความต้องการของลูกค้าในแต่ละจุด จากการวิจัยพบว่าเมื่อได้นำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาที่ตั้งการตั้งสถานีบริการฉุกเฉินในเมืองออสติน รัฐเท็กซัสสหรัฐอเมริกา พบว่าคำตอบที่ได้จะมีค่าคำตอบที่ต่ำที่สุด ในการตั้งสถานีบริการฉุกเฉินอยู่ที่ 4 จุด ต่อมา David B. Shmoys, Eva Tardos and Karen Aardal (1998) ได้สำรวจวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้แก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งหลากหลายรูปแบบ Akinc U. and Khumawala B. (1997) ได้เสนอวิธี branch-and-bound ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งของคลังสินค้า และ Erlenkotter D. (1978) ได้พัฒนาวิธี dual-based procedure โดยทดสอบประสิทธิภาพกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านความจุ

2.2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Location Routing Problem: LRP)

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะ เป็นการแก้ปัญหาที่มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งซึ่งเป็นปัญหาหลัก แต่ในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ ซึ่งเป็นปัญหารองด้วยการเลือกสถานที่ตั้งที่เหมาะสมการให้ความสำคัญในเรื่องของการขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญมาก ซึ่งจะส่งผลต่อการกำหนดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการขนส่งก็จะส่งผลให้ราคาสินค้าสูงหรือต่ำลงได้ จึงนับได้ว่าการขนส่งถือว่าเป็นปัญหาที่จะต้องพิจารณาอย่างระมัดระวังรอบคอบมีเหตุผล ทั้งนี้เพราะว่าปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบ คน เครื่องจักร อุปกรณ์และสิ่งที่สนับสนุนการผลิตต่าง ๆ ปัญหาที่ต้องพิจารณาเรื่องการขนส่งก็คือ ช่วงระหว่างวัตถุดิบกับโรงงาน และช่วงระหว่างโรงงานกับตลาด หรือแหล่งจำหน่ายช่วงดังกล่าวสามารถขนส่งได้กี่วิธี ขนส่งอย่างไรจึงจะเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด ดังนั้นการจัดการเส้นทางยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งก็เป็นปัญหาที่สามารถกำหนดต้นทุนในการขนส่งให้ลดลงได้ เช่นเดียวกับการเลือกสถานที่ตั้งที่เหมาะสม จากรูปแบบปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีความซับซ้อน ซึ่งปัญหานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท Nondeterministic Polynomial-Time Hard (NP-hard) เพราะว่าเป็นการรวมปัญหา NP-Hard ทั้งสองปัญหา คือ (1) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและ (2) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะรวมเข้าด้วยกัน

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์ (2549) ได้ประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Generic algorithm: GA) สำหรับปัญหาการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการคัดเลือกสินค้า ให้กับศูนย์กระจายสินค้าแบบสมดุลความต้องการสินค้า พบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาสามารถค้นหาผลลัพธ์จากปัญหาได้ในระดับที่น่าพอใจ ถ้าเป็นปัญหาขนาดของลูกค้าไม่เกิน 20 รายจะพบผลลัพธ์เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะมากขึ้นตามลำดับระดับพารามิเตอร์ตัวดำเนินการจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหา และมีผลโดยตรงกับระดับเวลาที่ใช้ประมวลผลเพิ่มมากขึ้น

2.2.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับขั้น (Multi stages multi objectives location problem)

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับขั้น มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ลดขนาดของพาหนะ ลดเวลาของการขนส่ง เพิ่มผลกำไรในด้านการดำเนินการซึ่งบางทีวัตถุประสงค์ของการลดต้นทุนก็ไม่เพียงพอต่อการแก้ไขปัญหาปัญหาด้านโลจิสติกส์ได้ จึงมีการนำเอาวัตถุประสงค์อื่น ๆ มาประกอบเพื่อการตัดสินใจในด้านโลจิสติกส์ ดังนั้นจึงต้องมีการเปลี่ยนปัญหาให้เป็นแบบหลายวัตถุประสงค์

จากประเภทของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งที่ได้ศึกษา งานวิจัยนี้เป็นปัญหาแบบ Facility Location Problem (FLP) ซึ่งเป็นการเลือกตำแหน่งสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ และเพื่อเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม และเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำที่สุด โดยปัจจัยที่จะทำให้ต้องมีการเลือกสถานที่ตั้งก็มีอยู่หลายประการ เช่น ปัจจัยด้านการขนส่ง ต้นทุนในการเปิดที่ตั้งเตาเผา เป็นต้น

2.3 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องสำหรับการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

กษิดิ์เดช สิบสิริ (2554) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบริหารจัดการกับขยะติดเชื้อในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6 บางโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาดทั้งที่สภาพดีและชำรุด โดยเตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันที่มีสภาพดีมีเพียงร้อยละ 22.09 และพบว่ามีการชำรุดถึงร้อยละ 77.91 โรงพยาบาลส่วนใหญ่ได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัด แทนการกำจัดเอง เนื่องจากปัญหาเตาเผาชำรุด และขาดงบประมาณในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งต้องการงบประมาณค่อนข้างสูง ต่อมา อนุชา ศรีบุรัมย์ (2556) ประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกประเภทอานานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) เพื่อแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย และได้ให้ความหมายพร้อมทั้งจำแนกประเภทของต้นทุนในการดำเนินงานดังนี้ ต้นทุนคือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการดำเนินการผลิตสินค้าหรือการบริการ โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิต การทดสอบ การจัดเก็บและการขนส่ง โดยเราสามารถจำแนกต้นทุนออกได้ดังนี้

2.3.1 ต้นทุนของการขนส่ง (Cost of Transportation)

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะของกิจกรรมที่เกิดส่งผลให้เกิดต้นทุน ดังนี้

2.3.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ตามการผลิตไม่ว่าจะทำการผลิตหรือไม่ผลิตก็ตาม ต้นทุนนี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนที่คงที่ ต้นทุนนี้ถึงแม้จะมีการผลิตเป็นจำนวนมากหรือจำนวนน้อยเพียงใด ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในอัตราเท่าเดิมอยู่ตลอดเวลา เช่น ค่าเช่า ที่ดินอาคาร ค่าประกันภัย ค่าทะเบียนยานพาหนะ ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนประจำ ค่าใบอนุญาตเช่าสถานที่ เป็นต้นในบางครั้งต้นทุนประเภทนี้อาจเรียกชื่อได้อย่างอื่นอีก เช่น ต้นทุนคงที่ (Constant Cost) หรือต้นทุนค่าใช้จ่าย (Overhead Cost) ต้นทุนชนิดนี้ แม้จะให้บริการมากน้อยเพียงใดหรือไม่ได้ให้บริการเลย ก็ต้องเสียเป็นจำนวนเท่ากัน เป็นต้น

2.3.1.2 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิต อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่นได้อีก คือต้นทุนดำเนินงาน (Operation Cost) ถ้าให้บริการขนส่งมากต้นทุนชนิดนี้ก็มากด้วย ถ้าผลิตบริการขนส่งน้อยต้นทุนนี้ก็

น้อย ถ้าไม่ได้ให้บริการเลยก็ไม่ต้องจ่ายต้นทุนนี้เลย ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นต้น

2.3.1.3 ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่าง ๆ โดยรวมเอาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรมารวมกัน ถือเป็นต้นทุนของการบริการทั้งหมด ในการขนส่งถือว่าเป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับการขนส่งสินค้า โดยไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าต้นทุนของการขนส่งสินค้าหรือบริการแต่ละอย่างแต่ละประเภทนั้นเป็นเท่าใด เช่น การขนส่งทางรถไฟ โดยรถขบวนหนึ่งอาจมีทั้งผู้โดยสารสินค้าและบริการอยู่ในขบวนเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะเป็นต้นทุนร่วมกัน เพราะไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าเป็นต้นทุนในการขนส่งผู้โดยสาร หรือเป็นต้นทุนสำหรับการขนส่งสินค้าและบริการ เป็นต้น ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งเที่ยวนั้น ก็ควรจะแบ่งสรรไปยังสินค้าแต่ละชนิดที่ขนส่งในเที่ยวนั้น การที่ต้องแบ่งสรรต้นทุนเช่นนี้ก็จะเป็นระโยชน์แก่ธุรกิจ เพื่อจะได้ทราบว่าสินค้าแต่ละประเภทที่ดำเนินการอยู่นั้นมีต้นทุนและให้กำไรเพียงใด ต้นทุนร่วมที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน เช่น ค่าน้ำมันซึ่งอาจคิดเฉลี่ยค่าน้ำมันแต่ละเที่ยวไปตามน้ำหนักบรรทุกสินค้า เป็นต้น

2.3.2 ต้นทุนการเผาขยะติดเชื้อ (Cost of the Infectious Waste Incinerators)

ประกอบด้วย

2.3.2.1 ต้นทุนค่าแรง (Labor cost) หมายถึง ค่าเงินเดือน ค่าล่วงเวลา ค่ารักษาพยาบาลของเจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบเผามูลฝอยติดเชื้อ ต้นทุนค่าแรงงาน ได้แก่ เงินเดือน (Wage and Salary) ที่จ่ายเป็นเดือนคงที่ (Fix) และค่าแรงอื่นๆที่จ่าย เช่น ค่าล่วงเวลา หรือ OT ซึ่งแต่ละเดือนจะรับไม่เท่ากัน แล้วแต่ว่าจะอยู่มากน้อยในแต่ละเดือน หรือบางทีก็อาจคิดแปรผันตามชิ้นงานแทนจำนวนเวลาก็ได้

2.3.2.2 ต้นทุนค่าวัสดุ (Material cost) หมายถึง ต้นทุนค่าวัสดุค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุง ค่าวัสดุประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าไฟฟ้า ค่าซ่อมบำรุงเตาเผาขยะมูลฝอย

2.3.2.3 ต้นทุนค่าดำเนินการ (Operating Cost) ส่วนใหญ่จะเป็นต้นทุนคงที่และลดได้ยาก เช่น ค่าลงทุนค่าจ้างต่าง ๆ ค่าสาธารณูปโภครวมถึงค่าเสื่อมราคาของครุภัณฑ์ หรือสิ่งก่อสร้างตัดจ่ายเป็นปีตามอายุการใช้งาน ต้นทุนค่าเสื่อมราคาถือเป็นต้นทุนค่าดำเนินการ

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง พบว่ามีผู้วิจัยหลายท่านที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งในลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแต่ละงานวิจัยมีการประยุกต์ใช้วิธีต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับงานวิจัยในแต่ละกรณีศึกษาของผู้วิจัย

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน (2554) ได้ทำการศึกษาประเภทของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการที่เหมาะสม (Facility Location Problem) หรือปัญหา FLP เป็นการกำหนดจำนวน

ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โดยการแก้ปัญหา FLP เกือบทุกประเภท จัดเป็นปัญหา NP-hard จึงแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบน้อย แต่คุณภาพของคำตอบด้อยกว่าวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สอง งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบแรกมากกว่า แต่ทั้งนี้รูปแบบแรกต้องมีการตรวจสอบคุณภาพคำตอบโดยเทียบกับคำตอบของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด และทำการศึกษาประเภทของปัญหา FLP ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) แบบพลวัต (Dynamic) แบบสโตแคสติก (Stochastic) และแบบโรบัส (Robust) โดยการเลือกใช้ประเภทของปัญหา FLP ขึ้นอยู่กับปัจจัยของปัญหา

กษิดิ์เดช สิบศิริ (2554) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบริหารจัดการกับขยะติดเชื้อ ในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย มีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งสิ้น 107 แห่งโรงพยาบาลทุกแห่งจะมีการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผา โดยที่เตาเผาที่ใช้มีการซ่อมแซมบำรุงรักษาน้อยมาก เนื่องจากงบประมาณในการซ่อมแซมน้อย ไม่มีอะไหล่สำรอง โดยเฉพาะอุปกรณ์หัวเผาเป็นชิ้นส่วนที่ชำรุดมากที่สุด จึงทำให้โรงพยาบาลบางแห่ง ใช้วิธีเผาลงพื้นและเผากลางแจ้งซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล จากการสำรวจพบว่าโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาดทั้งที่สภาพดีและชำรุด โดยเตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันที่มีสภาพดีมีเพียงร้อยละ 22.09 และพบว่ามีการชำรุดถึงร้อยละ 77.91 โดยขั้นตอนการกำจัดขยะติดเชื้อ เริ่มจากการคัดแยกขยะติดเชื้อออกจากขยะทั่วไปก่อน จากนั้นจึงนำไปทำลายต่อไป โดยโรงพยาบาลชุมชนมีปริมาณขยะติดเชื้อ 10 – 20 กิโลกรัมต่อวัน โรงพยาบาลส่วนใหญ่ได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเอง เนื่องจากปัญหาเตาเผาชำรุดและขาดงบประมาณในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งต้องการงบประมาณค่อนข้างสูง

อนุชา ศรีบุรัมย์ (2556) ได้ประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกประเภทอานานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) เพื่อแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย จำนวนทั้งหมด 107 แห่งโดยสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนการขนส่ง และค่าดำเนินการความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 ขนาดคือความจุตั้งแต่ 400, 800 และ 1,200 กิโลกรัมต่อเตาต่อวัน และค่าดำเนินการที่พิจารณา 3,569, 4,579 และ 5,543 บาทต่อวัน ตามลำดับ จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo พบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 29,821 บาทต่อวัน

นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2552) ได้ศึกษาปัญหาเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากวัตถุดิบชานอ้อยแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งได้แก่ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านความเสี่ยง และด้านสิ่งแวดล้อม

พบว่าการให้น้ำหนักของสมการเป้าหมายที่ต่างกันจะส่งผลให้การเปิดโรงงานเอทานอลในพื้นที่และจำนวนที่ต่างกัน โดยทำการทดสอบปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo 11 จากนั้นได้พัฒนาเมตาฮิวริสติกวิธี Iterated Local Search: ILS เพื่อทดสอบปัญหา ซึ่งจากผลการทดลองทั้ง 3 วิธี การทดสอบปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo 11 ให้ค่าต้นทุนในการตั้งโรงงานเอทานอลต่ำที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวนผลค่อนข้างนาน ส่วนวิธี Iterated Local Search ให้ค่าต้นทุนในการตั้งโรงงานเอทานอลสูงที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผลต่ำที่สุด

คลอเคลีย วจนะวิชากร (2552) ได้เสนอวิธีเมตาฮิวริสติกโดยการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค สำหรับปัญหาการจัดขนาดการผลิตที่เหมาะสมแบบหลายระดับขั้น (Multi level lot-sizing problem: MLLS) ให้มีการหาผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพ และใช้เวลาในการหาคำตอบอย่างเหมาะสม ผลการทดลองพบว่า วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบดีที่สุดจากการทดลองกับปัญหาทั้ง 3 ขนาด

สโรชา นาคเจริญ (2552) ได้ทำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่ง (Multi-depot location routing problem: MDLRP) ที่เป็นปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งเวลาของการหาคำตอบขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาและจึงจำเป็นต้องทราบตำแหน่งของคลังสินค้าที่เป็นไปได้เพื่อหาตำแหน่งของคลังสินค้าที่เหมาะสมที่สุดต่อไป โดยการสมมุติว่าตำแหน่งของคลังสินค้าควรอยู่จุดเดียวกันกับตำแหน่งผู้ใช้บริการ และแบ่งปัญหาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือการแบ่งผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของพาหนะขนส่ง การหาจำนวนคลังสินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วย MDLRP และระบุตำแหน่งของคลังสินค้าพร้อมกำหนดเส้นทางเดินรถด้วยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

สุภกิจ นุตยะสกุล (2554) ได้นำเสนอเทคนิคของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO) โดยเปรียบเทียบกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมยัง (Genetic Algorithm: GA) เพื่อเชื่อมโยงความเหมือนและความต่างระหว่าง GA กับ PSO และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้จากการวิจัยพบว่าวิธี GA สามารถแก้ปัญหาและค้นหาผลลัพธ์ได้ดีแต่กระนั้นวิธี (GA) ยังขาดในด้านการแบ่งข้อมูลระหว่างประชากรจึงทำให้ GA ค้นหาผลลัพธ์ค่อนข้างช้า วิธีการใหม่ที่ได้รับการกล่าวถึง คือ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มทฤษฎีการวิวัฒนาการกลุ่มเดียวกับ GA โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ใช้การจำลองหลักการค้นหาอาหารหรือเคลื่อนย้ายของสิ่งมีชีวิตที่อยู่เป็นกลุ่ม

สุภาลิน ศรัณย์ (2556) ได้ศึกษาปัญหาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า โดยแบ่งระบบออกเป็นสองระดับ เนื่องจากระบบมีผู้ทำการตัดสินใจ 2 ฝ่าย โดยที่ระดับบนเป็นการหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจาย

สินค้า เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าและค่าใช้จ่ายในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าต่ำที่สุด ส่วนปัญหาระดับล่างเป็นปัญหาในการกระจายสินค้าให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า โดยมีค่าใช้จ่ายโดยร่วมต่ำที่สุด

รุจิศักดิ์ เมืองสง (2550) ทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกลุ่มอนุภาค เพื่อใช้ในการค้นหาค่าตัวแปรควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของโลหะจำรูปแบบพีไอดี ได้ทำการประมาณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโลหะจำรูปด้วยการระบุเอกลักษณ์ฟังก์ชันถ่ายโอน และใช้ทฤษฎีกลุ่มอนุภาคในการค้นหาตัวแปรควบคุม ซึ่งจะมีการหาค่าความผิดพลาดระหว่างแบบจำลอง กับสัญญาณที่วัดได้ด้วยวิธีอินทิเกต ค่าสัมบูรณ์ของความคลาดเคลื่อนผลที่ได้ คือ วิธีกลุ่มอนุภาคสามารถค้นหาค่าตัวแปรควบคุมพีไอดีแบบลู่เข้าสู่ค่าที่เหมาะสมได้ และเป็นค่าที่มีการตอบสนองต่อการทำงานของระบบที่ดี

อนุรักษ์ ชัยวิเชียร (2556) เสนอวิธีการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม ที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตหลากหลายรูปแบบ จะพิจารณาในส่วนของการบริการตอบสนองลูกค้าที่ระดับชั้นเดียวไม่ครอบคลุมถึงผู้ส่งมอบ และเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับสภาพปัญหาที่แท้จริงทำการขยายตัวแบบปัญหาการหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม ที่มีข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต โดยได้ทำการพิจารณาการแบ่งส่งสินค้า รวมทั้งพิจารณาถึงต้นทุนการก่อสร้างโรงงาน โดยแบ่งรูปแบบปัญหาออกเป็น 6 รูปแบบปัญหาพร้อมทั้งใช้วิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบพาร์ติเคิลสวอร์ม (Particle swarm optimization: PSO) วิธีการปรับปรุงวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบพาร์ติเคิลสวอร์ม (Modified Particle Swarm Optimization: MPSO) และโปรแกรม ในการค้นหาคำตอบพบว่า ปัญหาในรูปแบบที่ 1 วิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบพาร์ติเคิลสวอร์มไม่สามารถค้นเจอคำตอบที่ดีที่สุด ในขณะที่วิธีการปรับปรุงวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบพาร์ติเคิลสวอร์มสามารถค้นเจอคำตอบที่ดีที่สุดได้ 18 ค่าคิดเป็นร้อยละ 90 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่าคำตอบของวิธีการปรับปรุงวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบพาร์ติเคิลสวอร์มเกือบทุกค่าให้ค่าคำตอบที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างคำตอบของทั้งสองวิธีอยู่ที่ 1.94 เปอร์เซ็นต์

สุวิทย์ อัจริยะเมต (2553) นำเสนอวิธีกลุ่มอนุภาคเชิงปรับตัวที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้กับปัญหาการติดตั้งตัวเก็บประจุ ในระบบจำหน่ายสมดุลและระบบจำหน่ายไม่สมดุล ซึ่งมีโหลดไม่เชิงเส้นต่ออยู่ในระบบ โดยนำค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมของแรงดันมาร่วมพิจารณา และปัญหาการควบคุมแรงดันต่อกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่าย แบบจุดประสงค์เดียว และแบบหลายจุดประสงค์เชิงฟัซซีรวม ผลที่ได้จากกรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่า การจัดการกำลังรีแอกทีฟตามแนวทางที่ได้จากวิธีกลุ่มอนุภาคเชิงปรับตัว สามารถปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้น เมื่อประเมินด้วยผลประโยชน์ทางเศรษฐศาสตร์จากการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยที่ยังสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับทางด้านเทคนิคและด้านการทำงาน ซึ่งเกิดจากความต้องการของระบบและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ธนกร จันทร์ทอง (2553) นำเสนอการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งโรงงานเอทานอล โดยประยุกต์ใช้เทคนิคศูนย์ถ่วง ตามการกระจายของวัตถุดิบในตำแหน่งที่ต่างกันและปริมาณที่ไม่เท่ากัน จากนั้นใช้ข้อมูลทั้งหมดคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งเหมาะสมด้วยวิธีเดลฟาย (Delphi technique) ผลจากการศึกษาจะเห็นว่า ตำแหน่งที่เหมาะสมของทำเลที่ตั้งโรงงานเอทานอลของพื้นที่เป้าหมายแยกตามประเภทวัตถุดิบ

Anant Balakrishnan and et al. (1987) ศึกษาปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการจัดเส้นทางการขนส่ง ตามโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 2 ปัญหา คือ ปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการจัดเส้นทางการขนส่ง การที่จะค้นหาคำตอบจากปัญหานี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพควรแก้ปัญหานี้ไปพร้อม ๆ กัน เนื่องจากว่าปัญหานี้มีความสัมพันธ์ต่อกันและมีผลโดยตรงต่อคำตอบสุดท้าย จึงจำเป็นที่ต้องทำการบูรณาการวิธีการหาคำตอบเข้าด้วยกัน

Gilbert Laporte (1992) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า และทำการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นท่านแรก และได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น วิธีการแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้

Ling-YunWua and Xiang-Sun Zhanga (2006) ได้ศึกษาปัญหาการจัดการโรงงานต้นทุนในการก่อสร้างและความหลากหลายของโรงงาน ส่วนแรกนั้นคือการพิจารณาต้นทุนในการจัดการ ซึ่งมีขอบเขตของงานที่แน่นอนคือต้นทุนคงที่ (ค่าสถานที่) รวมกับต้นทุนในให้การบริการ โดยต้นทุนในการบริการส่วนใหญ่เป็นปัญหากำหนดการไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming problem: NLP) ส่วนที่สองคือปัญหากำหนดการจำนวนเต็มที่มีตัวแปรบางตัวเป็นจำนวนเต็ม หรือ กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Problem: MIP) ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อหาแนวทางแก้ไขในปัญหา NP-hard ซึ่งมีการทดลองทางคอมพิวเตอร์อย่างกว้างขวาง โดยเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยสุ่มขึ้นและข้อมูลที่มีอยู่

Ali Haydar Kayhan and et al. (2010) ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เข้ากับฟังก์ชันของโปรแกรม Excel โดยใช้ Solver ร่วมหาคำตอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายจึงได้ใช้ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในการค้นหาคำตอบซึ่งเป็นคำตอบแบบโกลบอล (Global) และได้นำฟังก์ชันของ Solver เข้ามาค้นหาแบบโลคัลเสิร์ช (Local search) เพื่อทำการค้นหาค่า local best และ ค่า global best อีกครั้ง การนำไปแก้ปัญหาในรูปแบบสมการต่าง ๆ พบว่าค่าคำตอบที่ได้จากวิธีการประยุกต์ดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค คำตอบที่ได้จะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด และใช้จำนวนในการวนรอบหาคำตอบน้อยกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคอย่างเห็นได้ชัด

Dazhi Wang and et al. (2008) ได้ทำการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบมาตรฐาน ในการแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง โดยปรับปรุงสมการค่าความเร็วให้มีการเพิ่ม

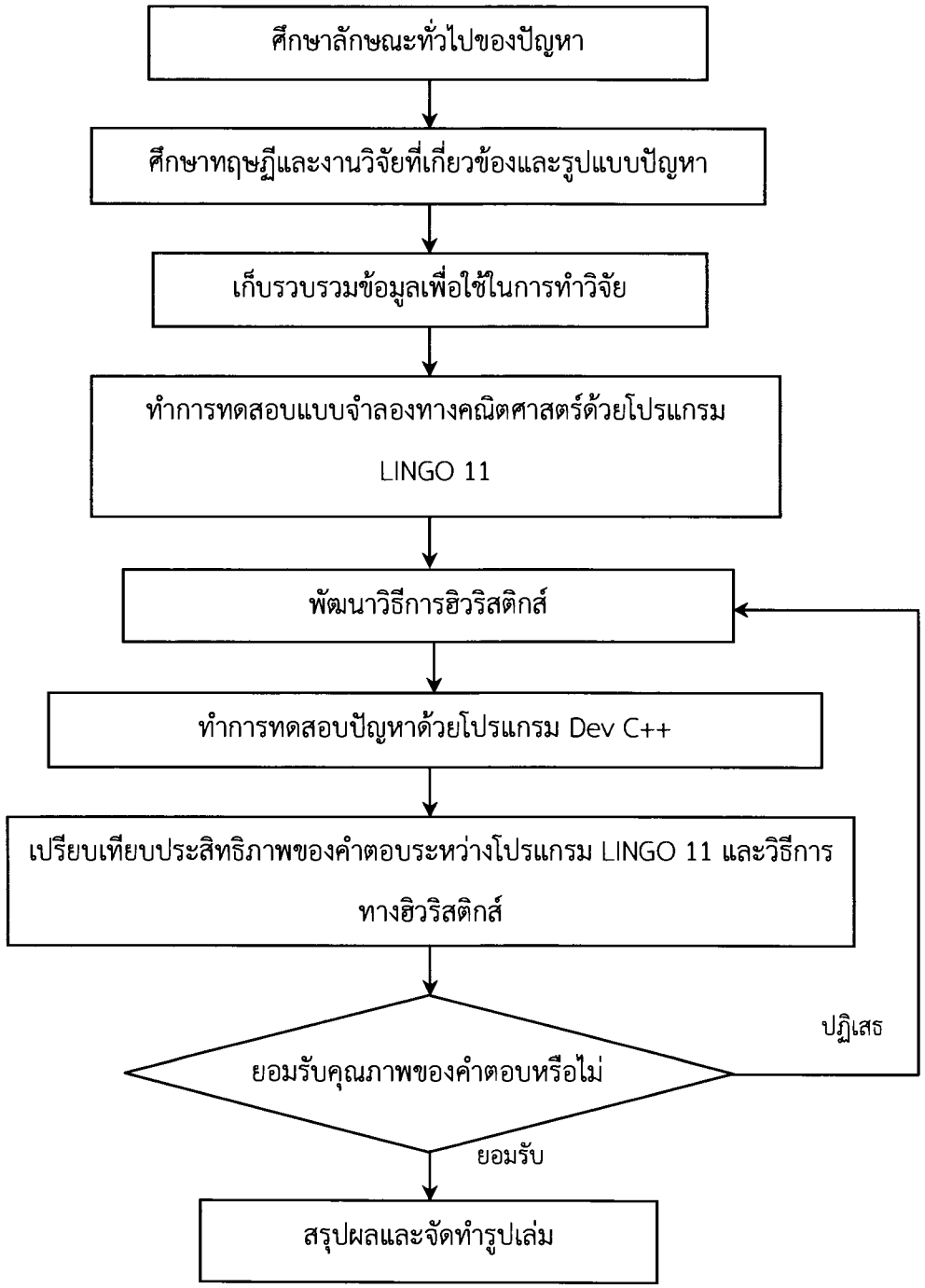
ความสามารถ ในการหนีออกจากการกระจุกตัวกันในจุดที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีนี้ จะใช้เวลาสั้นกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบมาตรฐาน และจะพบกลุ่มคำตอบที่มากกว่าแบบเดิม จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Takeshi Uno and et al. (2007) ที่ได้นำวิธีการของ Dazhi Wang and et al. (2008) มาใช้ในการค้นหาคำตอบการเลือกตั้งสถานีบริการฉุกเฉิน โดยมีหลายวัตถุประสงค์ และจากการทดลองจะพบว่าเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเร็วกว่าวิธีอื่นที่ทำการเปรียบเทียบและคำตอบที่ได้มีค่าดีกว่าวิธีอื่นที่ทำการเปรียบเทียบ

Wei Guo, Kai-Sheng Huang and Guan-Yi Chen (2007) ได้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเพื่อนำไปแก้ปัญหาที่เป็นแบบ Discrete problem โดยประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเข้ากับวิธีการต้องห้าม (Tabu search) และเนบอร์ฮูดเสิร์ช (Neighborhood search) ซึ่งนำไปแก้ปัญหาในแบบ supply chain โดยที่ใช้วิธีการต้องห้าม (Tabu search) และเนบอร์ฮูดเสิร์ช (Neighborhood search) ในการควบคุมกลุ่มคำตอบปัญหา จากนั้นจึงนำเข้าสู่วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคต่อไป

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อให้มีต้นทุนรวมในการดำเนินที่ต่ำที่สุด จากทฤษฎีและงานวิจัยจะพบว่านักวิจัยสามารถนำวิธีการฮิวริสติกเข้าไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาแบบต่าง ๆ ได้หลากหลาย ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะพัฒนาฮิวริสติกส์วิธีการหาค่าที่เหมาะสม เพื่อมาช่วยในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งของ และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ แล้วนำคำตอบที่ได้มาพัฒนาปรับปรุงเพื่อให้ได้คำตอบที่มีต้นทุนรวมในการดำเนินการต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งจะอธิบายตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษารูปแบบและกำหนดขอบเขตของปัญหา ศึกษาและทดสอบโปรแกรม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการคำนวณ เพื่อแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย วิธีทดสอบโปรแกรมในการแก้ปัญหาเลือกและพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัยในภาพรวมแสดงได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหา

สำหรับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ กรณีศึกษาโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยนั้น ที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 109 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน โดยในการเลือกเปิดตำแหน่งที่ตั้งสามารถเปิดดำเนินการกี่แห่งก็ได้ ซึ่งโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะส่งขยะติดเชื้อไปยังตำแหน่งที่ตั้ง ที่เปิดดำเนินการเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผากำหนดให้เป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาลใดก็ได้ พร้อมเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดใดก็ได้แต่เปิดได้เพียงเครื่องเดียวเท่านั้น การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผา เป็นการเดินทางแบบไป - กลับโดยตรง และรถขนส่งสามารถขนขยะติดเชื้อทั้งหมดของโรงพยาบาลแต่ละแห่งได้ในเที่ยวเดียว ซึ่งแต่ละโรงพยาบาลมีความถี่ในการส่งขยะติดเชื้อเพื่อกำจัดแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณขยะติดเชื้อและระยะทางในการขนส่ง เตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันเป็นเตาเผาที่ได้มาตรฐาน และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม ที่นิยมใช้ในบริษัทเอกชนส่วนใหญ่เป็นเตาเผาขนาดใหญ่ เช่น เตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นเตาเผาที่สามารถเปิดใช้งานได้นานติดต่อกันหลายชั่วโมง ในการจำลองรูปแบบคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้แก้ปัญหา การหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเปิดดำเนินการว่าต้นทุนรวมต่ำหรือไม่ และดำเนินการเผาขยะติดเชื้อที่รับมารวมกันเพื่อรอเผาครั้งเดียวให้หมดภายในเดือนนั้น ๆ โดยต้นทุนรวมประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเผาขยะติดเชื้อ เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล 109 แห่ง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยทั้งหมด 9 จังหวัด ประกอบไปด้วยจังหวัดกาฬสินธุ์ ขอนแก่น บึงกาฬ มหาสารคาม เลย สกลนคร หนองบัวลำภู หนองคาย และอุดรธานี ซึ่งข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวมรวมได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เรืองโรจน์สระบุรี ห้างหุ้นส่วนจำกัด แมสเอนไวรอนเมนท์ เซอร์วิส SIAM INCINERATOR.CO.,LTD. และโรงพยาบาลชุมชนบางแห่งที่ส่งขยะติดเชื้อให้กับสถานที่อื่น

ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์ เช่น ปริมาณขยะติดเชื้อที่รับไปกำจัดของแต่ละโรงพยาบาล ความถี่ในการรับขยะติดเชื้อเพื่อไปกำจัด อัตราค่าใช้จ่ายในการให้บริการต่อครั้ง อัตราค่าขนส่งต่อกิโลเมตร โดยเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

3.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผาขยะติดเชื้อ

เตาเผาที่ใช้กำจัดขยะติดเชื้อมีหลายแบบ โดยแบ่งตามความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อหน่วยเวลา) สำหรับงานวิจัยนี้ พิจารณาเตาเผาเพียง 3 แบบ คือ เตาเผาที่มีความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ 100, 300 และ 600 กิโลกรัม ต่อชั่วโมง เนื่องจากผู้ให้บริการเป็นแบบเอกชนแนะนำหรือใช้อยู่ในปัจจุบัน มีข้อมูลต่างๆ ของเตาเผาแต่ละแบบแสดงดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 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

ที่มา: ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558: 27)

3.2.2 ข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อ

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อ คือ ปริมาณขยะติดเชื้อ และความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อต่อเดือน ของแต่ละโรงพยาบาล ดังแสดงในตาราง 3.2 ข้อมูลทั้งหมดเหล่านี้ได้จากการสอบถามจากองค์กรเอกชนที่ให้บริการในการกำจัดขยะติดเชื้อ และมีข้อมูลบางส่วนที่ได้สอบถามจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยตรง สำหรับข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนนั้น ก่อนที่จะนำไปใช้ในการคำนวณต้องแปลงให้เป็นปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนก่อน

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
1	โรงพยาบาลน้ำโสม	อุดรธานี	1,000	4
2	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง	อุดรธานี	1,200	4
3	โรงพยาบาลโพธิ์ตาก	อุดรธานี	120	4

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน (ต่อ)

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
4	โรงพยาบาลพิบูลย์รักษ์	อุดรธานี	600	4
5	โรงพยาบาลศรีธาตุ	อุดรธานี	1,100	8
6	โรงพยาบาลกุดจับ	อุดรธานี	600	4
7	โรงพยาบาลหนองวัวซอ	อุดรธานี	510	4
8	โรงพยาบาลกุมภวาปี	อุดรธานี	2,500	4
9	โรงพยาบาลห้วยเกิ้ง	อุดรธานี	510	4
10	โรงพยาบาลโนนสะอาด	อุดรธานี	700	4
11	โรงพยาบาลหนองหาน	อุดรธานี	1,800	8
12	โรงพยาบาลไชยวาน	อุดรธานี	570	4
13	โรงพยาบาลวังสามหมอ	อุดรธานี	500	4
14	โรงพยาบาลเพ็ญ	อุดรธานี	1,500	8
15	โรงพยาบาลสร้างคอม	อุดรธานี	570	4
16	โรงพยาบาลหนองแสง	อุดรธานี	500	4
17	โรงพยาบาลบ้านผือ	อุดรธานี	1,000	4
18	โรงพยาบาลนายูง	อุดรธานี	600	4
19	โรงพยาบาลทุ่งฝน	อุดรธานี	375	4
20	โรงพยาบาลนากลาง	หนองบัวลำภู	1,000	4
21	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	หนองบัวลำภู	1,200	4
22	โรงพยาบาลบ้านฝาง	ขอนแก่น	700	4
23	โรงพยาบาลพระยืน	ขอนแก่น	700	4
24	โรงพยาบาลสีชมพู	ขอนแก่น	700	4
25	โรงพยาบาลน้ำพอง	ขอนแก่น	630	4
26	โรงพยาบาลบ้านไผ่	ขอนแก่น	2,000	8
27	โรงพยาบาลเปือยน้อย	ขอนแก่น	300	4
28	โรงพยาบาลพล	ขอนแก่น	2,000	8
29	โรงพยาบาลแวงใหญ่	ขอนแก่น	510	4

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน (ต่อ)

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
30	โรงพยาบาลแวงน้อย	ขอนแก่น	570	4
31	โรงพยาบาลหนองสองห้อง	ขอนแก่น	1,000	4
32	โรงพยาบาลภูเวียง	ขอนแก่น	1,500	8
33	โรงพยาบาลมัญจาคีรี	ขอนแก่น	1,700	4
34	โรงพยาบาลชนบท	ขอนแก่น	510	4
35	โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	ขอนแก่น	500	4
36	โรงพยาบาลภูผาม่าน	ขอนแก่น	522	4
37	โรงพยาบาลหนองเรือ	ขอนแก่น	1,200	8
38	โรงพยาบาลชำสูง	ขอนแก่น	500	4
39	โรงพยาบาลชุมแพ	ขอนแก่น	4,500	8
40	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกระนวน	ขอนแก่น	1,000	4
41	โรงพยาบาลนาด้วง	เลย	400	4
42	โรงพยาบาลเชียงคาน	เลย	800	4
43	โรงพยาบาลปากชม	เลย	700	4
44	โรงพยาบาลนาแห้ว	เลย	300	4
45	โรงพยาบาลภูเรือ	เลย	200	4
46	โรงพยาบาลท่าลี่	เลย	500	4
47	โรงพยาบาลวังสะพุง	เลย	1,800	4
48	โรงพยาบาลภูกระดึง	เลย	700	4
49	โรงพยาบาลภูหลวง	เลย	500	4
50	โรงพยาบาลผาขาว	เลย	500	4
51	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย	เลย	1,200	4
52	โรงพยาบาลเอราวัณ	เลย	700	4
53	โรงพยาบาลหนองหิน	เลย	150	4
54	โรงพยาบาลโพนพิสัย	หนองคาย	1,800	4
55	โรงพยาบาลโซ่พิสัย	หนองคาย	1,140	8

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน (ต่อ)

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
56	โรงพยาบาลศรีเชียงใหม่	หนองคาย	500	4
57	โรงพยาบาลสังคม	หนองคาย	300	4
58	โรงพยาบาลเขาวง	หนองคาย	1,500	4
59	โรงพยาบาลสระใคร	หนองคาย	180	4
60	โรงพยาบาลรัตนาวาปี	หนองคาย	120	4
61	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	หนองคาย	4,500	8
62	โรงพยาบาลเซกา	บึงกาฬ	2,000	4
63	โรงพยาบาลปากคาด	บึงกาฬ	700	4
64	โรงพยาบาลบึงโขงหลง	บึงกาฬ	400	4
65	โรงพยาบาลศรีวิไล	บึงกาฬ	600	4
66	โรงพยาบาลบุ่งคล้า	บึงกาฬ	480	4
67	โรงพยาบาลพรเจริญ	บึงกาฬ	700	4
68	โรงพยาบาลแกดำ	มหาสารคาม	700	4
69	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	มหาสารคาม	1,000	4
70	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	มหาสารคาม	520	4
71	โรงพยาบาลเชียงยืน	มหาสารคาม	1,500	4
72	โรงพยาบาลบรบือ	มหาสารคาม	1,800	8
73	โรงพยาบาลนาเชือก	มหาสารคาม	900	4
74	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	มหาสารคาม	1,500	4
75	โรงพยาบาลวาปีปทุม	มหาสารคาม	1,500	4
76	โรงพยาบาลนาดูน	มหาสารคาม	400	4
77	โรงพยาบาลยางสีสุราช	มหาสารคาม	500	4
78	โรงพยาบาลกุดรัง	มหาสารคาม	200	4
79	โรงพยาบาลเฝ้าไร่	มหาสารคาม	120	4
80	โรงพยาบาลนามน	กาฬสินธุ์	300	4
81	โรงพยาบาลกมลาไสย	กาฬสินธุ์	2,000	8

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน (ต่อ)

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
82	โรงพยาบาลร่องคำ	กาฬสินธุ์	300	4
83	โรงพยาบาลยางตลาด	กาฬสินธุ์	2,500	8
84	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	กาฬสินธุ์	700	4
85	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	กาฬสินธุ์	300	4
86	โรงพยาบาลคำม่วง	กาฬสินธุ์	1,000	4
87	โรงพยาบาลท่าคันโท	กาฬสินธุ์	500	4
88	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	กาฬสินธุ์	900	4
89	โรงพยาบาลสมเด็จ	กาฬสินธุ์	700	4
90	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	กาฬสินธุ์	300	4
91	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์	กาฬสินธุ์	3,500	8
92	โรงพยาบาลสามชัย	กาฬสินธุ์	480	4
93	โรงพยาบาลกุสุมาลย์	สกลนคร	500	4
94	โรงพยาบาลกุดบาก	สกลนคร	800	4
95	โรงพยาบาลพระอาจารย์ฝั้น อาจาโร	สกลนคร	1,000	4
96	โรงพยาบาลพังโคน	สกลนคร	1,200	4
97	โรงพยาบาลวาริชภูมิ	สกลนคร	700	4
98	โรงพยาบาลนิคมน้ำอูน	สกลนคร	200	4
99	โรงพยาบาลวานรนิวาส	สกลนคร	1,900	4
100	โรงพยาบาลคำตากล้า	สกลนคร	800	4
101	โรงพยาบาลบ้านม่วง	สกลนคร	1,000	4
102	โรงพยาบาลอากาศอำนวย	สกลนคร	900	4
103	โรงพยาบาลส่องดาว	สกลนคร	500	4
104	โรงพยาบาลเต่างอย	สกลนคร	300	4
105	โรงพยาบาลโคกศรีสุพรรณ	สกลนคร	900	4
106	โรงพยาบาลเจริญศิลป์	สกลนคร	500	4

ตารางที่ 3.2 ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการไปรับขยะติดเชื้อเพื่อมากำจัดต่อเดือน (ต่อ)

ที่	โรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อ (ครั้งต่อเดือน)
107	โรงพยาบาลโพนนาแก้ว	สกลนคร	600	4
108	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน	สกลนคร	5,000	8
109	โรงพยาบาลพระอาจารย์แบน ธนากโร	สกลนคร	700	4
รวมปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล 109 แห่ง			**104,487**	

ที่มา: ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558: 27-31)

จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าความถี่ในการกำจัดขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล มีค่าที่แตกต่างกันทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับนโยบายการบริหาร และปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล

3.2.3 ข้อมูลค่าใช้จ่าย

ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อ และต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ต้นทุนค่าขนส่งจะขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งและค่าขนส่งต่อหน่วยระยะทาง สำหรับต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ประกอบด้วยหลายส่วนคือ ค่าบำรุงเตาเผา ค่าสาธารณูปโภค ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา ค่าจ้างพนักงาน และค่าเสื่อมราคา โดยค่าใช้จ่ายเหล่านี้ อ้างอิงจากข้อมูลของผู้ให้บริการเอกชนนี้ ต้นทุนการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ แบ่งตามแบบเตาเผา แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าใช้จ่ายในการเผาเผาขยะติดเชื้อต่อชั่วโมง

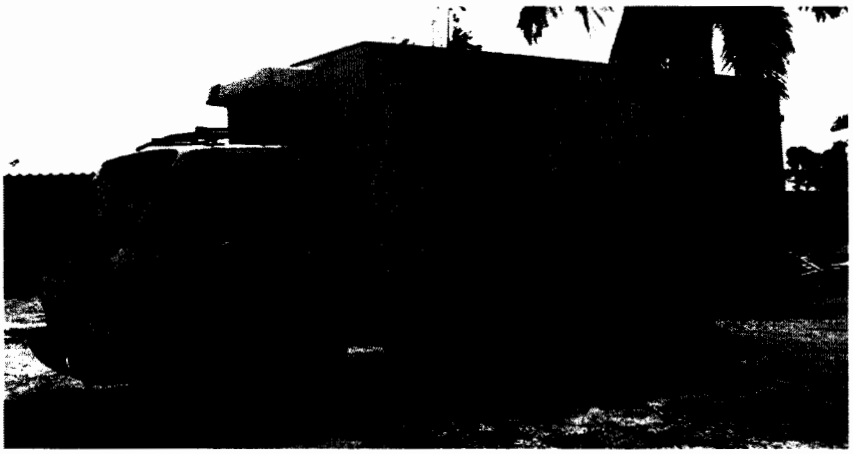
ลักษณะของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ค่าบำรุงเตา (บาทต่อชั่วโมง)	53	90	128
ค่าสาธารณูปโภค (บาทต่อชั่วโมง)	107	135	183
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา (บาทต่อชั่วโมง)	210	329	607
ค่าเสื่อมราคา (บาทต่อเดือน)	16,397	30,781	83,548
ค่าจ้างพนักงาน (บาทต่อเดือน)	31,500	31,500	31,500

หมายเหตุ: ค่าเสื่อมราคาคิดจาก ราคาเตา (บาท) ต่ออายุการใช้งาน (วัน)
ค่าจ้างพนักงานคิดจากค่าแรง 350 บาทต่อวันต่อคน (พนักงาน 3 คน)

ที่มา: ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558: 32)

3.2.4 ข้อมูลการขนส่งขยะติดเชื้อ

ข้อมูลการขนส่งที่จำเป็นต้องใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย ระยะทางการขนส่งของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง และข้อมูลของยานพาหนะขนส่ง การคำนวณหาระยะทางระหว่างโรงพยาบาลแต่ละแห่ง จะใช้เส้นละติจูดและเส้นลองติจูดของที่ตั้งของโรงพยาบาล มาประมวลผลด้วยโปรแกรม PHP ผ่านทาง Google Map ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ดังแสดงในตารางภาคผนวก ก ส่วนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งขยะติดเชื้อเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 5 บาทต่อกิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ยานพาหนะที่ใช้ในการจัดเก็บรวบรวมขยะ

ที่มา: ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา, 2558: 32

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) จากวิทยานิพนธ์วิธีการฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผากรณีศึกษาการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยของภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นเป้าหมายและเงื่อนไขต่างๆ โดยครอบคลุมไปถึงนิยามของดัชนีที่ใช้ ตัวแปรต่างๆสมมติฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของปัญหา ซึ่งจะสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปทดสอบประมวลผลด้วยโปรแกรม Lingo 11 เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและแบบของเตาเผาที่จะเปิดดำเนินการ จากนั้นจะนำหลักการฮิวริสติกส์ มาพัฒนาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดและทดสอบปัญหาด้วยโปรแกรม Dev C++

ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผาเป็นสมการปัญหากำหนดการไม่เชิงเส้น (Nonlinear programming problem: NLP) มีต้นทุนรวมกันมีค่าต่ำที่สุด โดยที่ปัญหานี้ เป็นปัญหากำหนดการจำนวนเต็มที่มีตัวแปรบางตัวเป็นจำนวนเต็ม หรือ กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Problem: MIP) มีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

3.3.1 ดัชนี (Indices)

i แทน ดัชนีของโรงพยาบาลชุมชน i = 1, 2, ..., m (m = 109)

j แทน ดัชนีตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ j = 1, 2, ..., n (n = 109)

k แทน ดัชนีของแบบเตาเผาขยะติดเชื้อ k = 1, 2 และ 3

โดยที่ 1 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

2 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3 หมายถึงแบบเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.3.2 ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

c_{ij} เป็นระยะทางการขนส่งจากโรงพยาบาล i ไปยังตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ j (กิโลเมตร)

P_k เป็นค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อเตาเผาแบบที่ k (บาทต่อเดือน)

d_i เป็นปริมาณของขยะติดเชื้อเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละโรงพยาบาล i (กิโลกรัมต่อเดือน)

a เป็นต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อมีค่าเท่ากับ 5 บาทต่อกิโลเมตร

f_i ความถี่ในการเดินทางไปรับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i (ครั้งต่อเดือน)

B_k เป็นอัตราการเผาสูงสุดต่อชั่วโมงของเตาเผาขยะติดเชื้อ k (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)

O_k ค่าใช้จ่ายในการเปิดใช้เครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k (บาทต่อชั่วโมง)

T จำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่เปิดเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ในระยะเวลา 1 เดือน หลังจากหักเวลาที่มีการเปิดเครื่องเตาเผาทิ้งไว้ก่อนดำเนินการ 6 ชั่วโมงจึงจะดำเนินการเผาแบบต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 714 ชั่วโมงต่อเดือน

Z เป็นค่าใช้จ่ายรวม (บาทต่อเดือน)

3.3.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i ถูกส่งไปเตาเผาที่ตำแหน่ง j} \\ 0 \text{ สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าเปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง j} \\ 0 \text{ สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$z_{kj} = \begin{cases} 1 \text{ ถ้าใช้เตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ j} \\ 0 \text{ สำหรับกรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

h_{kj} = จำนวนชั่วโมงต่อเดือนที่เปิดเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง j โดยไม่รวมเวลาที่มีการเปิดเครื่องเตาเผาทิ้งไว้ก่อนดำเนินการ 6 ชั่วโมง

3.3.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} af_i c_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{K} P_k z_{kj} + \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{k} (h_{kj} + 6) O_k z_{kj} \qquad (3.1)$$

ข้อกำหนด (Subject to)

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad ; \forall i \ (i = 1 \ldots m) \qquad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^{K} z_{kj} = y_j \qquad ; \forall j \ (j = 1 \ldots n) \qquad (3.3)$$

$$x_{ij} \le y_j \qquad ; \forall ij \ (i = 1 \ldots m), (j = 1 \ldots n) \qquad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^{K} B_k z_{kj} h_{kj} \geq \sum_{i=1}^{m} d_i x_{ij} \quad ; \forall j \ (j = 1 \ldots n) \tag{3.5}$$

$$0 \leq h_{kj} \leq T z_{kj} \quad ; \forall k, j \tag{3.6}$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \geq y_j \quad ; \forall j \ (j = 1 \ldots n) \tag{3.7}$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \tag{3.8}$$

$$y_j \in \{0,1\} \tag{3.9}$$

$$z_{kj} \in \{0,1\} \tag{3.10}$$

สมการที่ (3.1) คือสมการเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งเป็นผลรวมของต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการรวมกับค่าใช้จ่ายในการเปิดใช้เครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งมีการเปิดเครื่องเตาเผาทิ้งไว้ก่อนดำเนินการ 6 ชั่วโมงจึงจะดำเนินการเผา สมการที่ (3.2) เป็นสมการเงื่อนไขบังคับให้โรงพยาบาล i แต่ละแห่ง สามารถใช้บริการจากเตาเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (3.3) กำหนดว่าโรงพยาบาลที่ได้รับเลือกให้เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ จะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น อสมการที่ (3.4) กำหนดว่าโรงพยาบาลทุกแห่ง i สามารถรับบริการกำจัดขยะติดเชื้อจากเตาเผาที่เปิดดำเนินการแล้วเท่านั้น อสมการที่ (3.5) กำหนดว่าในแต่ละเดือนการเปิดใช้เครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อ จะต้องทำการเผาขยะติดเชื้อทั้งหมดที่รับมาจากโรงพยาบาลต่างๆ ในเดือนนั้นๆ อสมการที่ (3.6) เป็นจำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่เปิดเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k ที่ตำแหน่ง j จะต้องเดินเครื่องต่อเนื่องในระยะเวลาไม่เกิน 1 เดือน อสมการที่ (3.7) เป็นการกำหนดว่าโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อจะต้องมีโรงพยาบาลที่ส่งขยะมาอย่างน้อย 1 แห่ง เงื่อนไขที่ (3.8), (3.9) และ (3.10) เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจว่า มีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หรือ 1

3.4 การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์

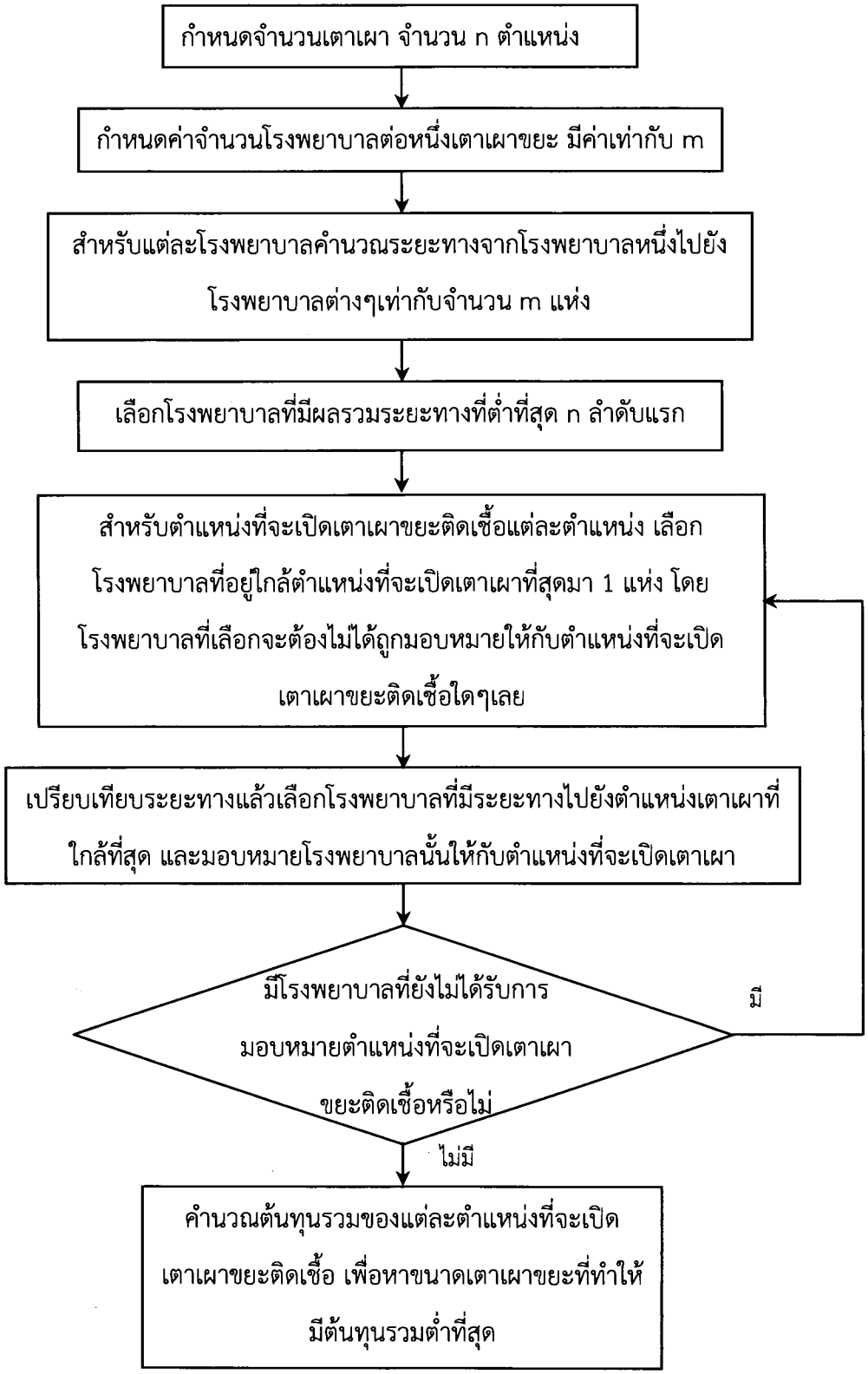
การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์มีขั้นตอนในการทำงานหลักคือการสร้างกลุ่มของตัวค้นหาผลลัพธ์แล้วใช้หลักเกณฑ์ที่ต่างกันในการค้นหาโดยใช้หลักการแบบละโมบ (Greedy algorithm) ซึ่งแปลว่าโลภหรือตะกละ แนวความคิดของวิธี Greedy คือในขั้นตอนการค้นหาคำตอบอัลกอริทึมจะเลือกค่าของตัวแปรหรือคำตอบที่มีค่ามากที่สุดอยู่ตลอดเวลา แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียที่สำคัญของวิธี Greedy คือการตกอยู่กับคำตอบที่ไม่ชัดแจ้งกับเงื่อนไข แต่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function Value หรือ Fitness) ที่ค่อนข้างไม่ดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งอัลกอริทึมไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่หาได้ ณ เวลาหนึ่งเป็นเวลานานซึ่งเราเรียกปัญหานี้ว่า Local Optimal หรือแม้แต่ในหลาย ๆ ครั้ง วิธี Greedy นี้อาจจะไม่สามารถหาคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขได้ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวจะถูกทำไปจนกระทั่งครบทุกกรณีและได้เป็นไปตามเงื่อนไขของการหยุดการทำงาน

3.4.1 ขั้นตอนการหาคำตอบ

ขั้นตอนการทำงานแบ่งการหาคำตอบเป็น 2 ระยะ คือ โดยระยะแรกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่ง เริ่มต้นจากการจัดกลุ่มโรงพยาบาล ภายใต้เงื่อนไขจำนวนที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อเพื่อหากลุ่มโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุด N ลำดับแรก ทำการมอบหมายโรงพยาบาลที่ได้ให้แต่ละตำแหน่งของโรงพยาบาลที่ยังไม่ได้รับมอบหมาย โดยใช้วิธี Insertion Heuristic ส่วนที่สองทำการหาขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยคำนวณต้นทุนรวมในการเลือกใช้ขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ระยะที่สอง ทำการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบด้วยวิธี Local search วิธีแรกคือการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) โดยเลือกตำแหน่งที่ให้คำตอบระยะทางรวมต่ำที่สุด วิธีที่สอง ใช้วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่มโรงพยาบาล (One move) วิธีที่สาม ทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างกลุ่มโรงพยาบาล (Exchange) ซึ่งวิธีที่สองและวิธีที่สามนั้น เพื่อทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

3.4.2 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution)

การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) ที่มีค่าที่ค่อนข้างดีอยู่แล้วนั้น เมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพคำตอบแล้ว ย่อมมีโอกาสพบคำตอบที่ดีกว่าเดิม หรือใช้เวลาในการปรับปรุงคุณภาพคำตอบน้อยกว่าการค้นหาคำตอบเริ่มต้นที่มีผลลัพธ์ไม่ดี ด้วยเหตุนี้ คำตอบเริ่มต้นจึงมีความสำคัญมากในการทำวิจัย การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้ง โดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนด โดยมีรายละเอียดการสร้างคำตอบเริ่มต้น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธี Insertion Heuristic โดยมีวิธีการและขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลำดับขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution)

3.4.2.1 ขั้นตอนการเลือกและมอบหมายโรงพยาบาลให้กับแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ขั้นตอนที่ 1: กำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ มีจำนวน n ตำแหน่ง (ค่า n คือ จำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ)

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าเท่ากับจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมดหารด้วยตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อทั้งหมดที่จะเปิดดำเนินการ แล้วให้มีค่าเท่ากับ m (ค่า m คือ ค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ)

ขั้นตอนที่ 3: สำหรับโรงพยาบาลแต่ละแห่งให้คำนวณระยะทางจากโรงพยาบาลที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ จำนวนเท่ากับค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ขั้นตอนที่ 4: เลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดในขั้นตอนที่ 3 ไว้ n ลำดับแรก โดยที่ n มีค่าเท่ากับ จำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 5: สำหรับแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ให้เลือกโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่สุดมา 1 แห่ง ซึ่งจะต้องเป็นโรงพยาบาลที่ยังไม่ได้ถูกมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใด ๆ เลย หากมีโรงพยาบาลมากกว่าหนึ่งโรงพยาบาลที่มีระยะทางใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามากที่สุดเท่ากัน ให้เลือกโรงพยาบาลใดก็ได้

ขั้นตอนที่ 6: สำหรับแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ให้เปรียบเทียบระยะทางไปยังโรงพยาบาลที่เลือกในขั้นตอนที่ 5 แล้วเลือกโรงพยาบาลที่มีระยะทางไปยังตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ใกล้ที่สุด และมอบหมายโรงพยาบาลนั้นให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อนั้น ภายใต้เงื่อนไขขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อที่จะสามารถรองรับปริมาณขยะได้เพียงพอ

ขั้นตอนที่ 7: ถ้ายังมีโรงพยาบาลที่ยังไม่ได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใดเลย ให้กลับไปดำเนินการขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 6 จนกว่าทุกโรงพยาบาลจะได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแล้ว

3.4.2.2 การหาขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

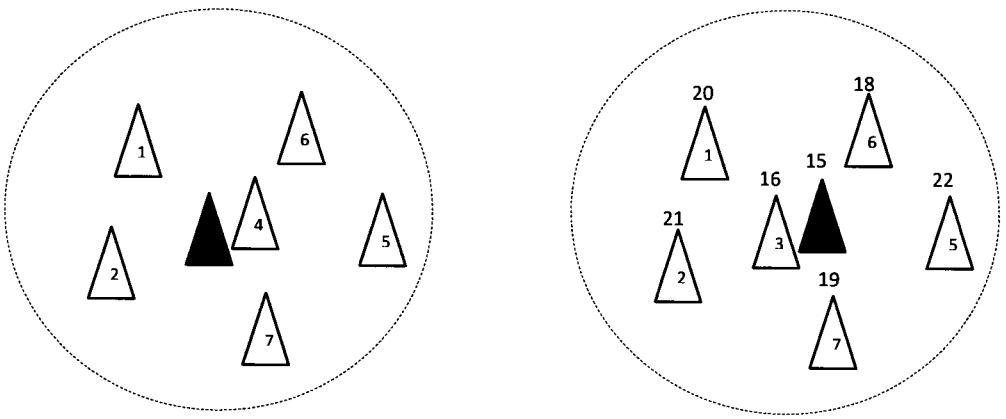
ขั้นตอนที่ 8: คำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อทุกขนาดในแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดของแต่ละตำแหน่งที่ทำการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

3.4.3 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement Solution)

การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ผู้วิจัยใช้เทคนิควิธีการฮิวริสติส์ในการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) วิธีการย้ายตำแหน่ง (One move) วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchange) วิไลวรรณ แก่นสาร (2556) ได้แก้ปัญหาการจัดการเส้นทางของยานพาหนะ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหานั้นคือวิธี Saving Heuristics และ Nearest Heuristics เพื่อใช้เป็นคำตอบเริ่มต้น และได้ประยุกต์ใช้วิธีการบนพื้นฐานของวิธีเมตาฮิวริสติกที่เรียกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมาปรับใช้ เพื่อปรับปรุงคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวมรวมขยะนี้ไม่เพียงเท่านั้นผู้วิจัยยังได้นำเสนอการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Exchange Heuristics และวิธี One Move Heuristics ซึ่งวิธี One Move Heuristics นี้ยังสามารถพัฒนาให้มีการค้าหาในสองลักษณะคือ One Move Heuristics ที่ค้นหาตามลำดับของชุดข้อมูล และ One Move Heuristics ที่ค้นหาโดยการสุ่มและยังได้มีการทดลองนำวิธีต่าง ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มา ประมวลผลรวมกันโดยแยกการทดลองตามวิธีที่ใช้สร้างคำตอบเริ่มต้นนั้นคือวิธี Saving Heuristics และ Nearest Heuristics นั่นเอง และมีการทดลองสลับลำดับวิธีในหลาย ๆ กรณี เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะของเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ซึ่งจะนำวิธีในการหาคำตอบเริ่มต้นและการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีต่าง ๆ มาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการทำวิจัย

3.4.3.1 การย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations)

การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีนี้ สำหรับแต่ละกลุ่มโรงพยาบาล ให้พิจารณาแต่ละโรงพยาบาลในกลุ่มนั้นเป็นตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยคำนวณหาผลรวมระยะทางจากตำแหน่งที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ ภายในกลุ่มนั้น แล้วเลือกโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางต่ำที่สุดเป็นตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 3.4



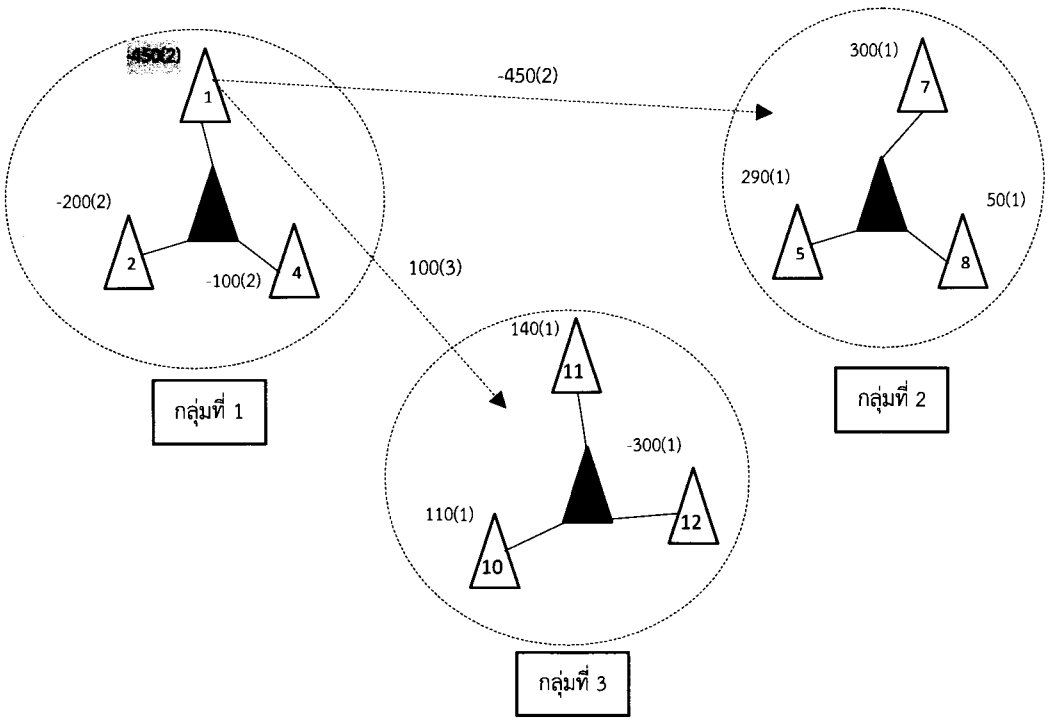
ก่อนปรับปรุง หลังปรับปรุง

ภาพที่ 3.4 การย้ายตำแหน่งที่ตั้งภายในกลุ่ม (Moving locations)

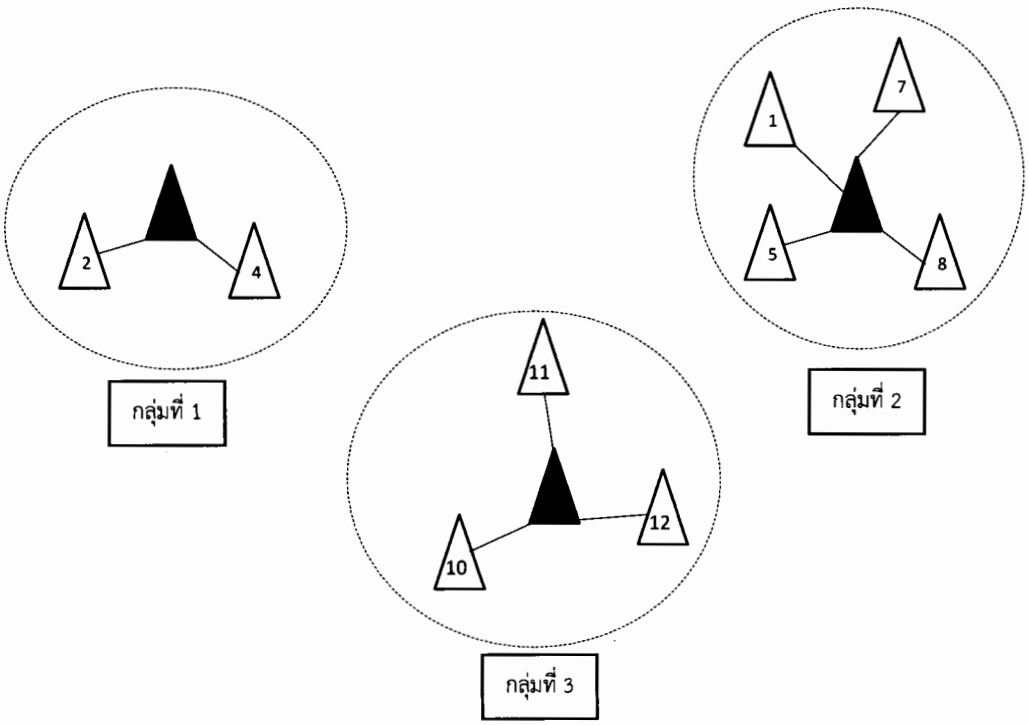
จากภาพที่ 3.4 ก่อนการปรับปรุงคำตอบได้ให้โรงพยาบาลที่ 3 เป็นตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งมีระยะทางรวม 160 กิโลเมตร แล้วทำการปรับปรุงคำตอบ ปรากฏว่าโรงพยาบาลที่ 4 มีผลรวมระยะทาง 150 กิโลเมตร ซึ่งต่ำที่สุด จึงทำการเลือกโรงพยาบาลที่ 4 เป็นตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใหม่ แทนโรงพยาบาลที่ 3 เป็นตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อเดิม เนื่องจากไม่ได้ทำการเปลี่ยนขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อจึงทำให้ต้นทุนรวมในการเผาขยะติดเชื้อขึ้นอยู่กับระยะทางรวมที่เปลี่ยนแปลงไปเพียงอย่างเดียว

3.4.3.2 วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)

การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีนี้ จะทำการย้ายโรงพยาบาลจากกลุ่มหนึ่งไปยังกลุ่มที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด สำหรับทุกกลุ่มให้ทำการย้ายโรงพยาบาลในกลุ่มนั้นทุกโรงพยาบาลไปยังกลุ่มอื่น หากการย้ายนั้นทำให้ต้นทุนรวม ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเผาขยะติดเชื้อต่ำที่สุด จึงทำการย้าย ดังภาพที่ 3.5 และภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)

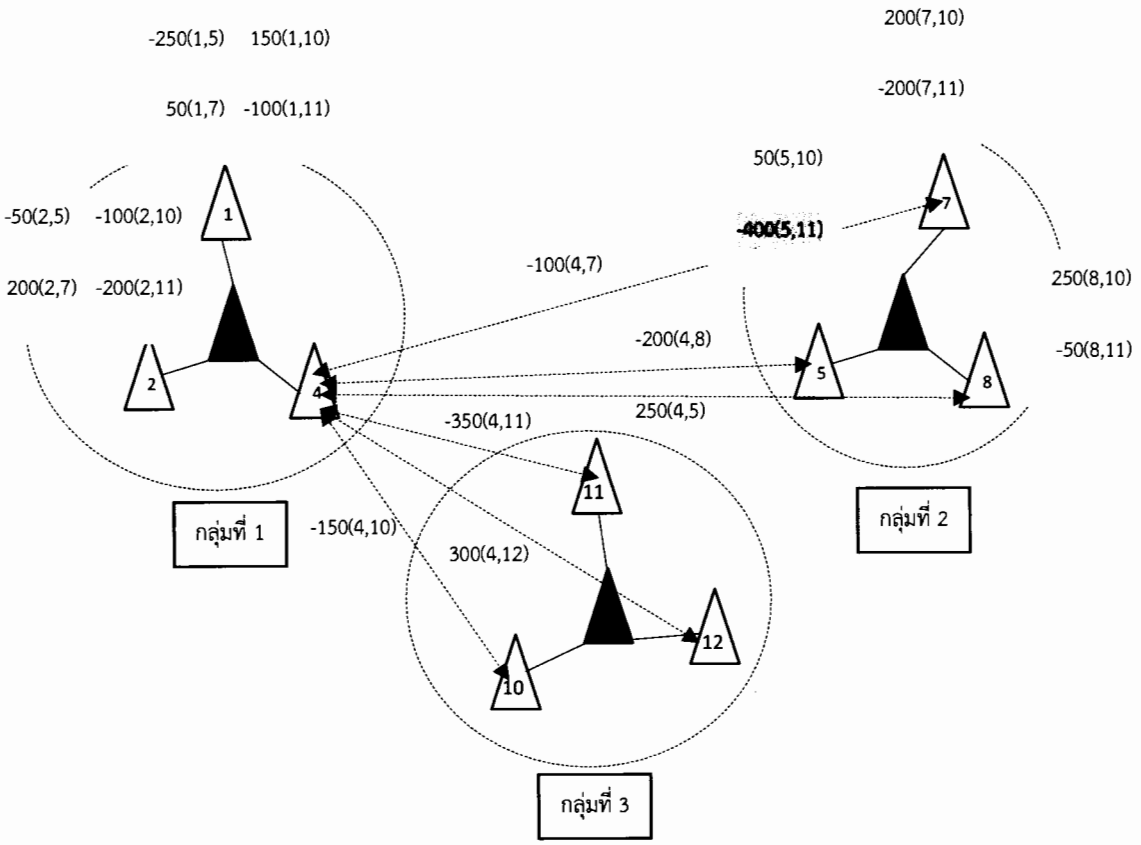


ภาพที่ 3.6 หลังปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)

จากภาพที่ 3.5 จะเห็นว่าโรงพยาบาลที่ 1 อยู่ในกลุ่มที่ 1 เมื่อทำการย้ายโรงพยาบาลที่ 1 ไปยังกลุ่มที่ 2 ทำให้ต้นทุนรวมลดลง 450 บาท และทำการย้ายโรงพยาบาลที่ 1 ไปยังกลุ่มที่ 3 ทำให้ต้นทุนรวมเพิ่มขึ้น 100 บาท โดยทำการย้ายทุกโรงยาบาลในแต่ละกลุ่มไปยังทุกกลุ่มอื่น ปรากฏว่า เมื่อย้ายโรงพยาบาลที่ 1 ไปยังกลุ่มที่ 2 ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด จึงทำการย้ายโรงพยาบาลที่ 1 ไปยังกลุ่มที่ 2 ดังภาพที่ 3.6 แล้วกลับมาทำการย้ายตามขั้นตอนข้างต้นใหม่ โดยทำการย้ายโรงพยาบาลในภาพที่ 3.6 แล้วทำการย้ายเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าการทำการย้ายทุกกรณีไม่ลดต้นทุนรวมแล้ว จึงหยุดทำการย้าย

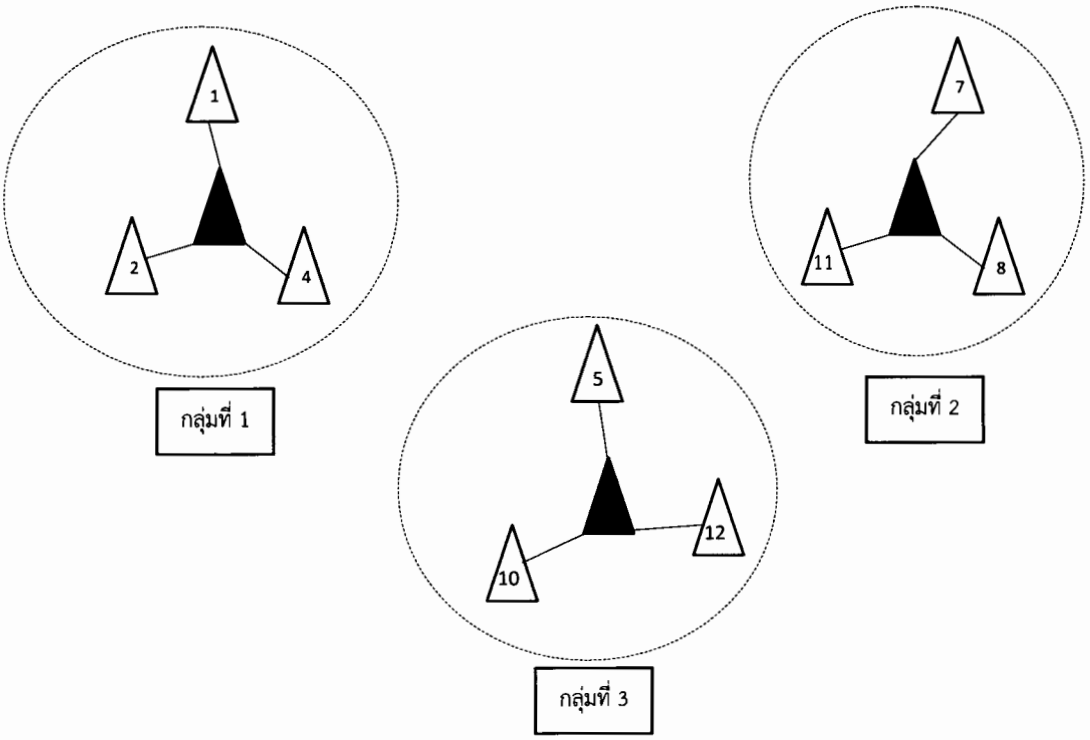
3.4.3.3 วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)

การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีนี้ เป็นการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างสองกลุ่ม สำหรับทุกกลุ่มให้ทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างสองกลุ่มในกลุ่มนั้นกับกลุ่มอื่นทุกโรงพยาบาล เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด หากการแลกเปลี่ยนนั้นทำให้ต้นทุนรวม ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเผาขยะติดเชื้อต่ำที่สุด จึงทำการแลกเปลี่ยน ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)

จากภาพที่ 3.7 จะเห็นว่าทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างโรงพยาบาลที่ 4 ในกลุ่มที่ 1 กับโรงพยาบาลที่ 7 ในกลุ่มที่ 2 ทำให้ต้นทุนรวมลดลง 100 บาท และทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างสองกลุ่มทุกโรงพยาบาลในกลุ่มนั้นกับกลุ่มอื่น ปรากฏว่า เมื่อทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างโรงพยาบาลที่ 5 ในกลุ่มที่ 2 กับโรงพยาบาลที่ 11 ในกลุ่มที่ 3 ทำให้มีต้นทุนรวมลดลง 400 บาท ซึ่งต่ำที่สุด จึงทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลระหว่างโรงพยาบาลที่ 5 ในกลุ่มที่ 2 กับโรงพยาบาลที่ 11 ในกลุ่มที่ 3 ดังภาพที่ 3.8 แล้วกลับมาทำการย้ายตามขั้นตอนข้างต้นใหม่ โดยทำการแลกเปลี่ยนโรงพยาบาลในภาพที่ 3.8 แล้วทำการแลกเปลี่ยนเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าการทำการแลกเปลี่ยนทุกกรณี ไม่ลดต้นทุนรวมแล้ว จึงหยุดทำการแลกเปลี่ยน



ภาพที่ 3.8 หลังปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)

บทที่ 4
การทดลองและผลการวิจัย

ในบทนี้ผู้วิจัยเสนอผลการทดลองในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ กรณีศึกษาการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยผู้วิจัยทำการทดลองการแก้ปัญหาโดยทดสอบใช้โปรแกรม Lingo 11 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนั้นได้ทำการทดลองค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา และได้ทำการการพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์ตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++ ทำการทดสอบวิธีการกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Note Book Acer รุ่น ASPIRE 5920G CPU Intel Core (TM) 2 Duo 2.4 GHz, Ram 2 GB ทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows XP

4.1 การทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยทดสอบกับโปรแกรม LINGO 11

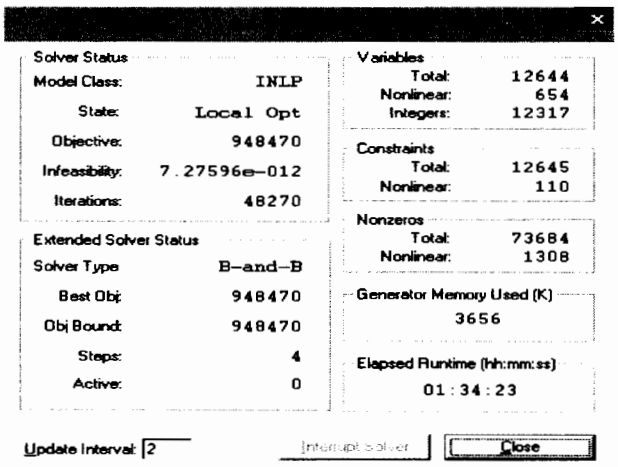
สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งและเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมที่มีค่าต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผา ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Lingo 11 ในการหาคำตอบของปัญหา โดยการเปลี่ยนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงในบทที่ 3 ให้เป็นรหัสรูปแบบที่โปรแกรมกำหนด ดังแสดงในภาพที่ 4.1 จากนั้นจึงประมวลผลด้วยโปรแกรมผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 แสดงดังภาพที่ 4.2

LINGO 11.0 - [LINGO Model - P

File Edit LINGO Window Help

```
Model:
      SETS:
            Hospital/1..109/:F,D;                !i;
            O_Indicator/1..109/:Y;               !j;
            M_Indicator/1..3/:P,O,B;             !k;
            Link1(Hospital,O_Indicator):C,X;     !i,j;
            Link2(M_Indicator,O_Indicator):Z,H; !k,j;
      ENDSETS

      DATA:
            C = @OLE("D:\LINGO11\Locations\DATA.xlsx","distance");
            P = 47897 62281 115048;
            D = @OLE("D:\LINGO11\Locations\DATA.xlsx","demand");
            A = 5;
            F = @OLE("D:\LINGO14\Locations\DATA.xlsx","frequency");
            B = 100 300 600;
            O = 370 554 918;
            T = 714;
      ENDDATA

            Min = @Sum(Link1(i,j):A*F(i)*C(i,j)*X(i,j))+
                  @Sum(Link2(k,j):P(k)*Z(k,j))+
                  @Sum(Link2(k,j):(H(k,j)+6)*O(k)*Z(k,j));

            @For(Hospital(i):@Sum(O_Indicator(j):X(i,j))=1);
            @For(O_Indicator(j):@Sum(M_Indicator(k):Z(k,j))=Y(j));
            @For(O_Indicator(j):@Sum(Hospital(i):X(i,j))>=Y(j));
            @For(Link1(i,j):X(i,j)<=Y(j));
            @For(O_Indicator(j):@Sum(M_Indicator(k):B(k)*Z(k,j)*H(k,j))>=
                                @Sum(Hospital(i):D(i)*X(i,j)));
            @For(Link2(k,j):H(k,j)<= T*Z(k,j));
            @For(Link1(i,j):@Bin(X(i,j)));
            @For(O_Indicator(j):@Bin(Y(j)));
            @For(Link2(k,j):@Bin(Z(k,j)));

End
```

ภาพที่ 4.1 รหัสรูปแบบที่กำหนดในโปรแกรม LINGO 11



ภาพที่ 4.2 ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผล โปรแกรม LINGO 11

จากภาพที่ 4.2 ผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 ในการหาตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย สำหรับโรงพยาบาลจำนวน 109 แห่ง ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด เตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 แบบ คือ อัตราการเผาสูงสุดตั้งแต่ 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา 47,897, 62,281 และ 115,048 บาทต่อเดือนตามลำดับ และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผา 370, 554 และ 918 บาทต่อชั่วโมงตามลำดับนั้น จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo 11 พบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 948,470 บาทต่อเดือน โดยมีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 9 ตำแหน่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยหมายเลขค่ากับโรงพยาบาลแต่ละแห่ง อ้างอิงจากตารางในภาคผนวก ก เช่น H1 หมายถึงโรงพยาบาลน้ำโสม H91 หมายถึงโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์ เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 ผลคำตอบการแบ่งกลุ่มโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อให้ตำแหน่งเตาเผา โดยโปรแกรม LINGO 11

ตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อ	เลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	จำนวนชั่วโมงที่เปิดเผา (ชั่วโมงต่อเดือน)	โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อให้เตาเผาขยะติดเชื้อ
โรงพยาบาลพล	300	19.6	H12, H13, H14
โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	300	14.8	H8, H23, H30, H69
โรงพยาบาลภูหลวง	300	17.1	H19, H31, H36, H38, H103
โรงพยาบาลผาขาว	300	9.9	H21, H105
โรงพยาบาลบรบือ	300	110.1	H5, H6, H9, H10, H15, H16, H17, H51, H52, H53, H54, H56, H57, H58, H59, H60, H62, H65, H66, H70, H93, H98, H99, H100, H101
โรงพยาบาลเขาวง	300	43.3	H61, H63, H67, H71, H72, H73, H74, H84, H85, H87, H90, H91, H92
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน	300	152.5	H1, H2, H4, H7, H22, H24, H25, H26, H27, H28, H29, H32, H33, H41, H42, H43, H46, H47, H48, H49, H50, H68, H75, H76, H77, H78, H79, H80, H81, H82, H83, H86, H88, H94, H96, H97, H106
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย	100	51	H3, H34, H35, H37
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	300	14.1	H20, H44, H45, H95, H104, H107, H108

จากตารางผลของคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งเตาเผา และเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับตำแหน่งที่เลือกเปิดเป็นตำแหน่งเดียวกันกับโรงพยาบาลทั้งหมดใน 109 แห่ง ได้สถานที่ตั้ง 9 แห่ง ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งมี 8 แห่ง เลือกเปิดเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมี 1 แห่ง เลือกเปิดเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนทั้งหมดรวมกันต่อเดือนที่สามารถรับได้ และแต่ละแห่งใช้ระยะเวลาในการเผาแตกต่างกัน เพื่อให้สามารถเผาขยะติดเชื้อได้หมดได้ภายในเดือนนั้นๆ

จากการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Lingo 11 ยังไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Optimal) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการเพื่อหาคำตอบ โดยประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์เพื่อค้นหาคำตอบของปัญหา ซึ่งจะกล่าวดังรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4.2 การประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ เพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา โดยการหาคำตอบสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนการหาตำแหน่งที่ตั้งและการมอบหมายโรงพยาบาลให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ขั้นตอนการหาขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ และขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ โดยสองขั้นตอนแรกเป็นหาคำตอบเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ขั้นตอนการหาตำแหน่งที่ตั้งและการมอบหมายโรงพยาบาลให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

4.2.1.1 กำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ มีจำนวน n ตำแหน่ง ทำการกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 1, 2, 3, ..., 109 (ค่า n คือ จำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ)

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้กำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 แห่ง ดังนั้น n มีค่าเท่ากับ 3

4.2.1.2 กำหนดค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าเท่ากับจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมดหารด้วยตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อทั้งหมดที่จะเปิดดำเนินการ แล้วให้มีค่าเท่ากับ m โดยเมื่อทำการหารแล้วมีเศษให้ปัดเศษทิ้ง เนื่องจากตัวเลขนี้เป็นจำนวนโรงพยาบาลที่จะมอบหมายให้กับตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะนั้น โดยไม่รวมโรงพยาบาล ณ ตำแหน่งที่ตั้งนั้น (ค่า m คือ ค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ)

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ จำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมี 3 แห่ง โดยจำนวนโรงพยาบาลทั้งมี 109 แห่ง ดังนั้นค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าเท่ากับ 36.33 ดังนั้น ให้ค่า m มีค่าเท่ากับ 36

4.2.1.3 สำหรับโรงพยาบาลแต่ละแห่งให้คำนวณระยะทางจากโรงพยาบาลที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ จำนวนเท่ากับค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ จำนวนโรงพยาบาลแต่ละแห่งทั้งหมด 109 แห่ง ให้คำนวณระยะทางจากโรงพยาบาลที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ จำนวน 36 แห่งแรกที่เป็นโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้โรงพยาบาลที่พิจารณามากที่สุด ซึ่งตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางรวมของโรงพยาบาล 36 แห่งแรกที่อยู่ใกล้โรงพยาบาลที่พิจารณามากที่สุด โดยเรียงลำดับระยะทางของโรงพยาบาลที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ จากน้อยไปมาก ทั้งหมด 109 แห่ง

ตารางที่ 4.2 การเรียงลำดับระยะทางและระยะทางรวมของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง

ลำดับ	ตำแหน่งของโรงพยาบาล															
	1		2		3		4		5		6		7		...	109	
	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง		ตำแหน่ง	ระยะทาง
1	107	30	29	30	103	29	1	33	6	22	5	22	100	31	...	44	15
2	4	33	88	33	31	36	106	47	98	25	16	29	38	55	...	95	24
3	95	35	96	34	21	50	20	51	15	47	17	41	15	57	...	106	25
4	106	40	94	42	37	52	3	55	8	48	98	46	40	57	...	104	46
5	45	48	89	43	4	55	107	62	16	50	9	48	19	59	...	45	54
6	44	57	25	48	40	55	109	71	54	59	52	50	98	70	...	28	57
7	109	58	81	48	105	60	95	72	9	61	8	57	3	73	...	1	58
8	33	69	26	51	106	65	21	74	52	61	54	59	105	76	...	107	66
9	3	74	28	51	20	70	45	80	17	62	12	61	21	77	...	4	71
10	20	93	42	62	7	73	103	83	99	62	99	62	5	94	...	42	77
11	32	95	43	64	1	74	44	86	18	63	15	69	37	99	...	20	78
12	104	95	83	64	39	76	31	91	100	63	93	71	20	100	...	29	84
13	31	99	86	68	38	90	30	100	101	71	18	72	39	102	...	3	90
14	103	103	76	72	95	90	33	100	24	77	11	78	103	102	...	96	92
15	21	104	79	77	109	90	40	101	12	82	101	80	31	109	...	21	97
16	28	105	80	77	15	91	104	102	93	82	10	81	4	112	...	94	101
17	40	121	104	78	30	97	37	106	53	87	100	84	6	115	...	25	106
18	96	124	41	79	100	103	7	112	65	87	24	85	18	119	...	108	106
19	37	126	22	84	107	103	28	112	19	90	55	85	16	121	...	30	109
20	30	131	77	85	44	104	25	114	11	91	13	87	106	123	...	2	114
21	36	132	75	89	35	109	105	115	23	92	53	87	30	124	...	22	117
22	29	133	47	90	104	112	22	123	7	94	65	87	24	133	...	33	117
23	25	134	108	92	25	113	23	125	10	94	14	100	17	134	...	47	119
24	105	134	97	95	98	113	32	126	55	96	23	100	13	136	...	103	119
25	42	139	23	97	28	115	96	129	70	99	51	104	104	139	...	23	121
26	7	142	20	98	36	116	15	130	22	104	66	107	25	140	...	43	123
27	22	145	21	99	96	117	39	130	66	107	19	112	8	141	...	26	125
28	23	148	49	101	22	119	26	133	13	109	22	113	1	142	...	31	126
29	39	149	46	103	8	121	24	135	30	109	7	115	28	142	...	24	129
30	26	153	78	104	23	121	29	139	97	109	62	115	96	144	...	88	136
31	35	155	82	105	32	121	100	143	69	110	30	118	22	146	...	40	137
32	2	157	106	107	45	121	38	144	14	113	56	118	23	148	...	37	141
33	24	158	30	111	33	123	88	144	38	115	69	118	95	148	...	18	142
34	15	160	24	113	19	131	42	145	51	115	97	118	109	148	...	97	142
35	94	163	109	114	24	131	8	146	62	115	70	120	54	152	...	7	148
36	38	164	27	115	26	132	97	147	40	121	58	122	9	154	...	89	149
ระยะทางรวม	3,842		2,708		3,246		3,659		2,871		2,899		3,868		...	3,412	

จากขั้นตอนที่ 4.2.1.1 – 4.2.1.3 เป็นการหาตำแหน่งที่ตั้ง โดยการกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ และหากำหนดค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ แล้วหาระยะทางจากโรงพยาบาลที่พิจารณาไปยังโรงพยาบาลต่าง ๆ จำนวนเท่ากับค่าจำนวนโรงพยาบาลต่อหนึ่งตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อให้การมอบหมายโรงพยาบาลให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ หากคำนวณระยะทางรวมทุกตำแหน่ง ตำแหน่งที่อยู่ไกลจากตำแหน่งที่พิจารณาจะส่งผลให้ระยะทางรวมมีค่ามาก ทั้งที่ตำแหน่งที่กล่าวมานั้นอาจจะไม่ได้ทำการมอบหมายงานให้กับตำแหน่งที่พิจารณา และตำแหน่งที่กล่าวมานั้นอาจจะได้ทำการมอบหมายงานให้กับตำแหน่งอื่นที่ทำให้คำตอบนั้นมีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อตั้งแต่ 2 แห่งขึ้นไป เป็นไปไม่ได้ที่ทุกตำแหน่งทำการมอบหมายงานให้กับตำแหน่งที่พิจารณาทั้งหมด

4.2.1.4 เลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดในข้อ 4.2.1.3 ไว้ n ลำดับแรก โดยที่ n มีค่าเท่ากับ จำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่กำหนดไว้ในข้อ 4.2.1.1

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้กำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 แห่ง ให้ทำการเรียงลำดับผลรวมระยะทางของโรงพยาบาล 36 แห่งแรกที่อยู่ใกล้โรงพยาบาลที่พิจารณามากที่สุดจากน้อยไปมาก แล้วทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดมา 3 แห่งแรก ซึ่งตำแหน่งที่ได้ คือ ตำแหน่งที่ 25, 97 และ 89 ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เรียงลำดับผลรวมระยะทางของโรงพยาบาล 36 แห่งแรก

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	108	109
ตำแหน่ง	**25**	**97**	**89**	26	54	101	53	22	76	27	65	52	...	102	34
ระยะทางรวม	2,515	2,526	2,528	2,533	2,544	2,569	2,579	2,584	2,587	2,596	2,597	2,612	...	6,237	7,110

4.2.1.5 สำหรับแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ให้เลือกโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่สุดมา 1 แห่ง ซึ่งจะต้องเป็นโรงพยาบาลที่ยังไม่ได้ถูกมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใด ๆ เลย หากมีโรงพยาบาลมากกว่าหนึ่งโรงพยาบาลที่มีระยะทางใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามากที่สุดเท่ากัน ให้เลือกโรงพยาบาลใดก็ได้

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้ทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดมา 3 แห่ง ซึ่งตำแหน่งที่ได้ คือ ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 ให้ทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่สุดมา 1 แห่ง ซึ่งระยะทางจากตำแหน่งที่ 97 ไปยังตำแหน่งที่ 69 มีระยะทาง 16 กิโลเมตร ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบระยะทางของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่งโรงพยาบาล					
25		89		97	
ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง
26	19	83	21	69	16
96	28	86	27	22	26

4.2.1.6 สำหรับแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ให้เปรียบเทียบระยะทางไปยังโรงพยาบาลที่เลือกในข้อ 4.2.1.5 แล้วเลือกโรงพยาบาลที่มีระยะทางไปยังตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ใกล้ที่สุด และมอบหมายโรงพยาบาลนั้นให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อนั้นภายใต้เงื่อนไขขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อที่จะสามารถรองรับปริมาณขยะได้เพียงพอ

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ทำการเลือกตำแหน่งที่ 97 เป็นตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ได้ทำการมอบหมายโรงพยาบาลที่ 69 ให้กับตำแหน่งที่ 97 นั้น

4.2.1.7 ถ้ายังมีโรงพยาบาลที่ยังไม่ได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใดเลย ให้กลับไปดำเนินการตามข้อ 4.2.1.5 ถึงข้อ 4.2.1.6 จนกว่าทุกโรงพยาบาลจะได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแล้ว

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้ทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดมา 3 แห่ง ซึ่งตำแหน่งที่ได้นั้น คือ ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 โดยทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่สุดมา 1 แห่ง ซึ่งเลือกตำแหน่งที่ 97 เป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ และทำการมอบหมายโรงพยาบาลที่ 69 ให้กับตำแหน่งที่ 97 ต่อไปทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดมา 3 แห่ง ซึ่งตำแหน่งที่ได้นั้นคือ ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 ให้ทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่สุดมา 1 แห่ง ซึ่งยังไม่ได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ กล่าวคือ โรงพยาบาลที่ 69 ไม่สามารถมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อใดอีก จากตารางที่ 4.5 ระยะทางจากตำแหน่งที่ 25 ไปยังตำแหน่งที่ 26 มีระยะทาง 19 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางน้อยที่สุด จึงทำการเลือกตำแหน่งที่ 25 เป็นตำแหน่งที่

เปิดเตาเผาขยะติดเชื้ออีกหนึ่งแห่ง ได้ทำการมอบหมายโรงพยาบาลที่ 26 ให้กับตำแหน่งที่ 25 ให้ทำการเลือกและมอบหมายโรงพยาบาลจนกว่าทุกโรงพยาบาลจะได้รับการมอบหมายให้กับตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแล้ว จึงทำการหยุด

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบระยะทางของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้ตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อเพื่อทำการเลือกและมอบหมายโรงพยาบาล

ตำแหน่งโรงพยาบาล					
25		**89**		**97**	
ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง	ตำแหน่ง	ระยะทาง
26	19	83	21	69	16
96	28	86	27	22	26

จากการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้ทำการเลือกตำแหน่งโรงพยาบาลที่มีผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดมา 3 แห่ง ซึ่งตำแหน่งที่ได้นั้น คือ ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 โดยได้ทำการเลือกให้ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 เป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ และมอบหมายโรงพยาบาลต่าง ๆ ให้กับตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อจนครบทุกโรงพยาบาลผลปรากฏว่า

โรงพยาบาลที่มีการมอบหมายให้กับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 คือ โรงพยาบาลที่ 1, 3, 4, 7, 20, 21, 25, 26, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 88, 95, 96, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107 และ 109

โรงพยาบาลที่มีการมอบหมายให้กับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 89 คือ โรงพยาบาลที่ 2, 29, 41, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 94 และ 108

โรงพยาบาลที่มีการมอบหมายให้กับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 97 คือ โรงพยาบาลที่ 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 30, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 91, 92, 93, 97, 98, 99 และ 101

4.2.2 การหาขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม

4.2.2.1 คำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อทุกขนาดในแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดของแต่ละตำแหน่งที่ทำการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้ทำการเลือกให้ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 เป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ และทำการเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยพิจารณาจากเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 แบบ คือ อัตราการเผาสูงสุดตั้งแต่ 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา 47,897, 62,281 และ 115,048 บาทต่อเดือนตามลำดับ ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผา 370, 554 และ 918 บาทต่อชั่วโมงตามลำดับ และมีปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนดังแสดงในตารางที่ 4.6 โดยกำหนดให้ 1 เดือน มี 30 วัน มี 24 ชั่วโมง โดยเตาเผาแต่ละแบบต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อน 6 ชั่วโมง จึงจะเริ่มการเผาได้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนของตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่ง	ลำดับที่												รวม
25	1	3	4	7	20	21	25	26	28	31	...	109	total
ปริมาณขยะ	1,000	1,000	1,200	700	600	510	1,800	570	1,500	400	...	4,500	30,005
89	2	29	41	42	43	46	47	48	49	50	...	108	total
ปริมาณขยะ	1,200	570	700	1,800	1,140	2,000	700	400	600	480	...	120	27,330
97	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	...	101	total
ปริมาณขยะ	700	700	630	2,000	300	2,000	510	570	1,000	1500	...	1,000	47,152

การคำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละขนาดในแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อนั้น จะคำนวณจากต้นทุนคงที่ในการดำเนินการเผารวมกับต้นทุนในการเดินเครื่องของเตาเผา โดยต้นทุนในการเดินเครื่องของเตาเผาหาได้จากเวลาในการเดินเครื่องของเตาเผาคูณกับค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของแต่ละขนาดเตาเผา ซึ่งเวลาในการเดินเครื่องของเตาเผาหาจากเวลาที่ใช้ดำเนินการเผาขยะติดเชื้อรวมกับต้นทุนในการเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อน 6 ชั่วโมง และการหาเวลาที่ใช้ดำเนินการเผาขยะติดเชื้อทำได้โดยนำปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนของแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อหารด้วยอัตราการเผาสูงสุดของแต่ละขนาดเตาเผา

สำหรับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 มีปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือนเท่ากับ 30,005 กิโลกรัม ทำการเลือกใช้เตาเผาขยะที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่มีค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผา 47,897 บาทต่อเดือน และมีค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องของเตาเผา 370 บาทต่อชั่วโมง ดังนั้นเวลาที่ใช้ดำเนินการเผาขยะติดเชื้อเท่ากับ 300.05 ชั่วโมง มีเวลาในการ

เดินเครื่องของเตาเผาเท่ากับ 306.05 ชั่วโมง ทำให้ต้นทุนในการเดินเครื่องของเตาเผาเท่ากับ 113,238.50 บาท ดังนั้นต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าเท่ากับ 161,135.50 บาท แล้วทำการคำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อทุกขนาดในแต่ละตำแหน่งที่จะเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดของแต่ละตำแหน่งที่ทำการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะทุกขนาดในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะ	**25**		
ขนาดเตาเผาขยะ	100	300	600
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	370	554	918
ปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือน	30,005	30,005	30,005
เวลาในการเผาขยะ	300.05	100.0167	50.00833
เวลาในการเดินเครื่อง	306.05	106.0167	56.00833
ต้นทุนการเดินเครื่อง	113,238.50	58,733.23	51,415.65
ต้นทุนคงที่	47,897	62,281	115,048
ต้นทุนเตาเผาขยะติดเชื้อ	161,135.50	**121,014.23**	166,463.65
ตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะ	**89**		
ขนาดเตาเผาขยะ	100	300	600
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	370	554	918
ปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือน	27,330	27,330	27,330
เวลาในการเผาขยะ	273.3	91.1	45.55
เวลาในการเดินเครื่อง	279.3	97.1	51.55
ต้นทุนการเดินเครื่อง	103,341	53,793.40	47,322.90
ต้นทุนคงที่	47,897	62,281	115,048
ต้นทุนเตาเผาขยะติดเชื้อ	151,238	**116,074.40**	162,370.90
ตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะ	**97**		
ขนาดเตาเผาขยะ	100	300	600
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ	370	554	918
ปริมาณขยะติดเชื้อต่อเดือน	47,152	47,152	47,152
เวลาในการเผาขยะ	471.52	157.1733	78.58667
เวลาในการเดินเครื่อง	477.52	163.1733	84.58667
ต้นทุนการเดินเครื่อง	176,682.40	90,398.03	77,650.56
ต้นทุนคงที่	47,897	62,281	115,048
ต้นทุนเตาเผาขยะติดเชื้อ	224,579.40	**152,679.03**	192,698.56

จากตารางที่ 4.7 ในตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 เตาเผาขยะที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อต่ำที่สุด ดังนั้นตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 จึงเลือกใช้เตาเผาขยะที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และในตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 89 และ 97 เตาเผาขยะที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อต่ำที่สุด และตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 89 และ 97 ได้เลือกใช้เตาเผาขยะที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเช่นเดียวกัน

ในการยกตัวอย่างการคำนวณ ได้ทำการเลือกให้ตำแหน่งที่ 25, 89 และ 97 เป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยตำแหน่งที่ทำการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมีต้นทุนรวมที่เกิดจากต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อและต้นทุนในการขนส่ง ซึ่งต้นทุนในการขนส่งหาได้จากระยะทางรวมในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อคูณกับค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหนึ่งกิโลเมตร โดยกำหนดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 5 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร ซึ่งที่ตารางที่ 4.8 เป็นตารางแสดงระยะทางรวมในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 4.8 ระยะทางรวมในแต่ละตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่ง	ลำดับที่												
25	1	3	4	7	20	21	25	26	28	31	...	109	รวม
ระยะทาง	134	113	114	140	67	64	0	19	46	149	...	106	18,532
89	2	29	41	42	43	46	47	48	49	50	...	108	รวม
ระยะทาง	43	73	80	98	100	83	126	96	104	139	...	128	9,304
97	5	6	8	9	10	11	12	13	14	15	...	101	รวม
ระยะทาง	109	118	82	140	168	170	170	195	192	156	...	39	25,424

สำหรับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 มีระยะทางเท่ากับ 18,532 กิโลเมตร และมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 5 บาทต่อหนึ่งกิโลเมตร ดังนั้นมีต้นทุนในการขนส่งเท่ากับ 92,660 บาท เมื่อรวมกับต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีค่าเท่ากับ 121,014.20 บาท ทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดการกำจัดขยะติดเชื้อในตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ 25 มีค่าเท่ากับ 213,674.20 บาท แล้วทำการคำนวณต้นทุนของเตาเผาขยะติดเชื้อทุกตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ ดังนั้นต้นทุนของการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง 25, 89 และ 97 มีค่าเท่ากับ 656,067.66 บาท ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 คำนวณต้นทุนต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนรวมทั้งหมดการกำจัดขยะติดเชื้อ

ตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะ	25	89	97
ระยะทางรวม	18,532	9,304	25,424
ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อกิโลเมตร	5	5	5
ต้นทุนในการขนส่ง	92,660	46,520	127,120
ต้นทุนเตาเผาขยะ	121,014.23	116,074.40	152,679.03
ต้นทุนรวม	213,674.23	162,594.40	279,799.03
ต้นทุนรวมทั้งหมด	656,067.66		

4.2.3 การปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ

ในการทำวิจัยได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ ด้วยวิธีฮิวริสติส์โดยใช้เทคนิคการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) และวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) ซึ่งได้แสดงขั้นตอนและวิธีการคำนวณไว้ในหัวข้อที่ 3.4.3

4.3 การทดลองเพื่อทดสอบหาวิธีที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ สำหรับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง

การปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ ด้วยวิธีฮิวริสติส์โดยใช้วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) และวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) นั้น ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองแบบต่อเนื่องโดยนำผลคำตอบของการปรับปรุงคุณภาพของวิธีแรก มาใช้เป็นคำตอบเริ่มต้น สำหรับทำการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบด้วยวิธีต่อมา จนกว่าจะครบทั้งสามวิธี ดังนั้น รูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบจะมีทั้งหมด 6 รูปแบบ ดังนี้

(1) วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) และวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)

(2) วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) และวิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)

(3) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) และวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange)

(4) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) และวิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations)

(5) วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) และวิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move)

(6) วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) และวิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับวิธีเชิงฮิวริสติกส์ที่สร้างขึ้น โดยกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผาและคำนวณหาต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผา ได้ทำการกำหนดจำนวนตำแหน่งที่จะเปิด มีกำหนดเปิดเตาเผาจำนวน 2 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ซึ่งเป็นตารางการยกตัวอย่างผลคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแต่ละรูปแบบ

ตารางที่ 4.10 ผลคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแต่ละรูปแบบ ในการเปิดเตาเผาจำนวน 2 แห่ง

รูปแบบที่ 1	**initial solution**		**Moving locations**		**One move**		**Exchange**	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	76	8	76	8	76	8
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	69,660	202,320	64,820	206,580	63,880	206,280
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	67,791	131,810	70,700	128,900
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	201,579	394,561	194,892	400,671	196,861	397,461
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		596,140		595,563		594,322	
รูปแบบที่ 2	**initial solution**		**Moving locations**		**Exchange**		**One move**	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	76	8	76	8	76	8
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	69,660	202,320	67,120	201,940	67,120	201,940
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	72,860	126,740	72,860	126,740
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	201,579	394,561	202,261	390,961	202,261	390,961
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		596,140		593,222		593,222	

ตารางที่ 4.10 ผลคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแต่ละรูปแบบ ในการเปิดเตาเผาจำนวน 2 แห่ง (ต่อ)

รูปแบบที่ 3	initial solution		One move		Moving locations		Exchange	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	89	25	76	8	76	8
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	72,280	241,140	69,660	202,320	67,120	201,940
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960	72,860	126,740
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	204,199	433,381	201,579	394,561	202,261	390,961
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		637,580		596,140		593,222	
รูปแบบที่ 4	initial solution		One move		Exchange		Moving locations	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	89	25	89	25	76	25
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	72,280	241,140	72,280	241,140	69,660	202,320
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	204,199	433,381	204,199	433,381	201,579	394,561
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		637,580		637,580		596,140	
รูปแบบที่ 5	initial solution		Exchange		Moving locations		One move	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	89	25	76	8	76	8
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	72,280	241,140	69,660	202,320	64,820	206,580
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960	67,791	131,810
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	204,199	433,381	201,579	394,561	194,892	400,671
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		637,580		596,140		595,563	
รูปแบบที่ 6	initial solution		Exchange		One move		Moving locations	
ตำแหน่งเตาเผาขยะ	89	25	89	25	89	25	76	8
ขนาดเตาเผาขยะ	300	300	300	300	300	300	300	300
ต้นทุนการขนส่ง	72,280	241,140	72,280	241,140	72,280	241,140	69,660	202,320
ต้นทุนการเดินเครื่อง	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960	69,638	129,960
ต้นทุนคงที่	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281	62,281
ต้นทุนรวม	204,199	433,381	204,199	433,381	204,199	433,381	201,579	394,561
ต้นทุนรวมทั้งหมด	637,580		637,580		637,580		596,140	

จากตารางที่ 4.10 จะเห็นว่าผลคำตอบที่ได้จากรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบในรูปแบบที่ 2 และ 3 มีต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุด แต่เนื่องจากผลคำตอบที่ได้จากรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบมีต้นทุนรวมทั้งหมดต่ำที่สุดสองรูปแบบ ผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนดจำนวนตำแหน่งที่จะเปิด โดยมีกำหนดเปิดเตาเผาจำนวน 5, 10, 20 และ 30 แห่ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลของคำตอบต่อไป ซึ่งตารางที่ 4.11 จะแสดงต้นทุนรวมทั้งหมดที่ได้จากผลคำตอบในรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบต่าง ๆ ในแต่ละจำนวนการเปิดเตาเผา

ตารางที่ 4.11 ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ได้จากผลคำตอบในรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบต่างๆ ในแต่ละจำนวนการเปิดเตาเผา

รูปแบบการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ	ต้นทุนรวมในจำนวนการเปิดเตาเผา				
	2	5	10	20	30
รูปแบบ 1	594,322	697,710	944,004	1,428,400	1,940,200
รูปแบบ 2	593,222	695,053	942,116	1,427,800	1,938,100
รูปแบบ 3	593,222	702,729	946,048	1,429,900	1,939,900
รูปแบบ 4	596,140	707,888	956,433	1,431,200	1,945,200
รูปแบบ 5	595,563	698,339	943,439	1,430,400	1,940,600
รูปแบบ 6	596,140	704,410	956,479	1,431,600	1,944,300

จากตารางที่ 4.11 ได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมด โดยเรียงลำดับต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพคำตอบของจำนวนการเปิดเตาเผาจากน้อยไปหามาก ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพคำตอบของจำนวนการเปิดเตาเผา

ต้นทุนรวมในแต่ละรูปแบบของจำนวนการเปิดเตาเผา									
2		5		10		20		30	
[illegible]	593,222	[illegible]	695,053	[illegible]	942,116	[illegible]	1,427,800	[illegible]	1,938,100
รูปแบบ 3	593,222	รูปแบบ 1	697,710	รูปแบบ 5	943,439	รูปแบบ 1	1,428,400	รูปแบบ 3	1,939,900
รูปแบบ 1	594,322	รูปแบบ 5	698,339	รูปแบบ 1	944,004	รูปแบบ 3	1,429,900	รูปแบบ 1	1,940,200
รูปแบบ 5	595,563	รูปแบบ 3	702,729	รูปแบบ 3	946,048	รูปแบบ 5	1,430,400	รูปแบบ 5	1,940,600
รูปแบบ 4	596,140	รูปแบบ 6	704,410	รูปแบบ 4	956,433	รูปแบบ 4	1,431,200	รูปแบบ 6	1,944,300
รูปแบบ 6	596,140	รูปแบบ 4	707,888	รูปแบบ 6	956,479	รูปแบบ 6	1,431,600	รูปแบบ 4	1,945,200

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าต้นทุนรวมทั้งหมดที่ได้จากผลคำตอบของรูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบที่ทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดมีค่าต่ำที่สุดใน คือ รูปแบบที่ 2 ผู้วิจัยจึงได้นำเอารูปแบบการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบในรูปแบบที่ 2 คือ วิธีการย้ายตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาภายในกลุ่มโรงพยาบาล (Moving locations) แล้วใช้วิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (Exchange) แล้วจึงใช้วิธีการย้ายตำแหน่งระหว่างกลุ่ม (One move) มาดำเนินการในการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบเพื่อผลคำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

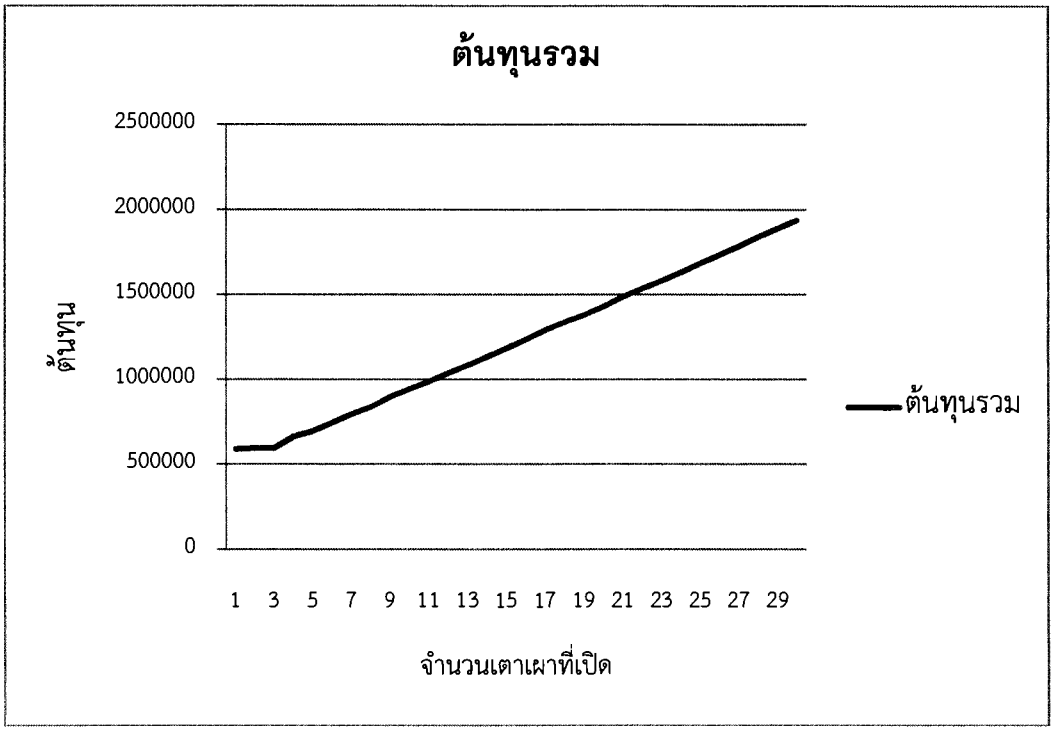
4.4 การทดลองเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง

คำตอบของการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการฮิวริสติกส์ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++ ผู้วิจัยทำการออกแบบการกำหนดเปิดจำนวนตำแหน่งที่ตั้ง โดยการเลือกจำนวนที่ตั้งของเตาเผาจากจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนโรงพยาบาล 109 แห่ง การหาคำตอบและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับวิธีเชิงฮิวริสติกส์ที่สร้างขึ้น โดยกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผาและคำนวณหาต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผาทั้งหมด 30 แห่ง โดยเริ่มจากเปิด 1 ตำแหน่งก่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ต้นทุนรวมทั้งหมดในการเปิดเตาเผาแต่ละจำนวนที่จะเปิดดำเนินการ

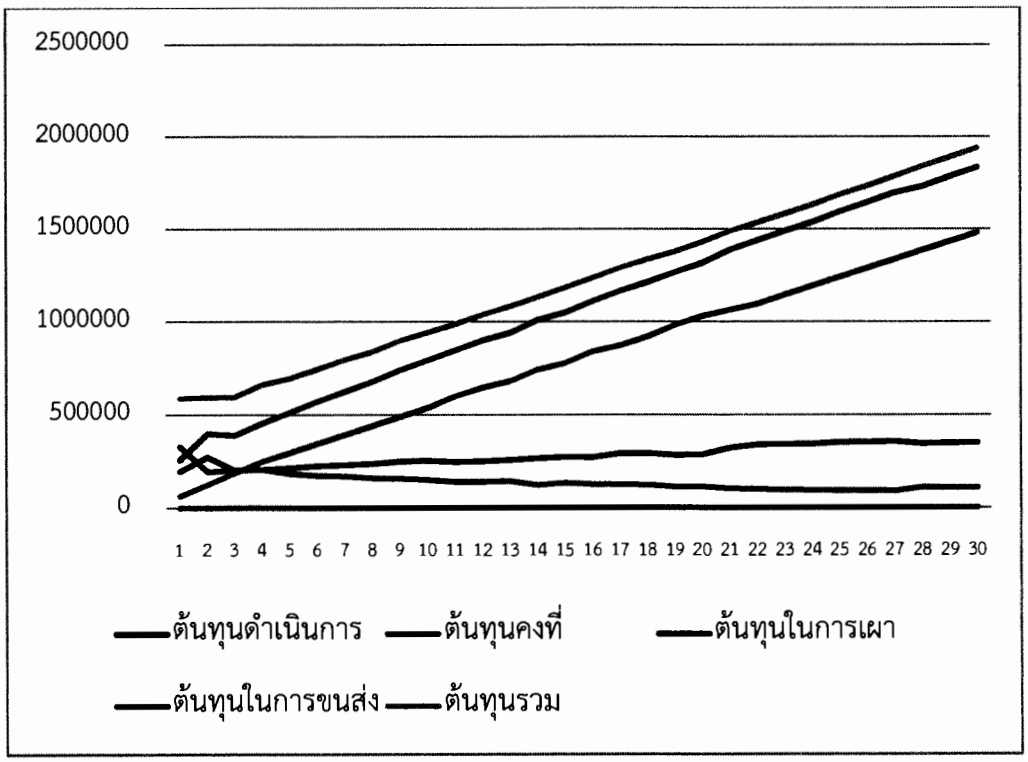
จำนวนที่เปิดเตาเผา	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
ต้นทุนในการดำเนินการ	196,276.7	274,800	202,924	206,248	214,752	225,849
ต้นทุนคงที่	62,281	124,562	186,843	249,124	297,021	344,918
ต้นทุนในการเผา	258,557.7	399,362	389,767	455,372	511,773	570,767
ต้นทุนในการขนส่ง	329,740	193,860	204,740	206,560	183,280	173,200
ต้นทุนรวม	588,297.7	593,222	594,507	661,932	695,053	743,967
จำนวนที่เปิดเตาเผา	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ต้นทุนในการดำเนินการ	231,219	236,979	249,967	255,930	247,662	251,187
ต้นทุนคงที่	392,815	440,712	488,609	536,506	598,787	646,684
ต้นทุนในการเผา	624,034	677,691	738,576	792,436	846,449	897,871
ต้นทุนในการขนส่ง	169,160	159,720	158,120	149,680	140,400	139,660
ต้นทุนรวม	793,194	837,411	896,696	942,116	986,849	1,037,531
จำนวนที่เปิดเตาเผา	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
ต้นทุนในการดำเนินการ	259,468.5	267,380	273,685	272,217	293,719	293,392
ต้นทุนคงที่	680,197	742,478	775,991	838,272	871,785	919,682
ต้นทุนในการเผา	939,665.5	1,009,858	1,049,676	1,110,489	1,165,504	1,213,074
ต้นทุนในการขนส่ง	144,420	123,520	132,940	125,720	125,020	123,280
ต้นทุนรวม	1,084,086	1,133,378	1,182,616	1,236,209	1,290,524	1,336,354
จำนวนที่เปิดเตาเผา	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
ต้นทุนในการดำเนินการ	283,854	285,703	322,440	339,578	341,798	344,018
ต้นทุนคงที่	981,963	1,029,860	1,063,373	1,096,886	1,144,783	1,192,680
ต้นทุนในการเผา	1,265,817	1,315,563	1,385,813	1,436,464	1,486,581	1,536,698
ต้นทุนในการขนส่ง	111,860	112,220	101,800	97,640	94,500	93,500
ต้นทุนรวม	1,377,677	1,427,783	1,487,613	1,534,104	1,581,081	1,630,198
จำนวนที่เปิดเตาเผา	**25**	**26**	**27**	**28**	**29**	**30**
ต้นทุนในการดำเนินการ	351,375	353,595	357,318	344,924	348,997	351,223
ต้นทุนคงที่	1,240,577	1,288,474	1,336,371	1,384,268	1,432,165	1,480,062
ต้นทุนในการเผา	1,591,952	1,642,069	1,693,689	1,729,192	1,781,162	1,831,285
ต้นทุนในการขนส่ง	91,560	91,240	89,660	108,980	107,060	106,800
ต้นทุนรวม	1,683,512	1,733,309	1,783,349	1,838,172	1,888,222	1,938,085

จากตารางที่ 4.13 ได้ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผากับต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผา จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มขึ้นจำนวนเตาเผาที่เปิดจะทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดในการเปิดเตาเผาก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.3 เปรียบเทียบจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อกับต้นทุนรวมทั้งหมดที่ทำการเปิดเตาเผา

จากภาพที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมทั้งหมดในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผาแปรผันตามจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผา ซึ่งเกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งขยะ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผา ซึ่งเกิดจากค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายในการเผาขยะ ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และได้ทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผา ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในแต่ละจำนวนที่เปิดเตาเผา

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนรวมมากที่สุด คือ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผา ซึ่งเกิดจากค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายในการเผาขยะ โดยค่าใช้จ่ายในการเผาขยะเป็นปัจจัยที่มีค่าค่อนข้างสูง จึงมีส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผาและต้นทุนรวม ถึงแม้ว่าทำการเพิ่มจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผา จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดต่ำลงก็ตาม แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผายังคงเพิ่มขึ้น โดยทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผาและต้นทุนรวมเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

ในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผานั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองและออกแบบการกำหนดเปิดจำนวนตำแหน่งที่ตั้ง โดยกำหนดค่าจำนวนตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดเตาเผา มีค่าเท่ากับ 1 แห่ง

4.5 การทดสอบปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยทดสอบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++

ในหัวข้อนี้สรุปผลคำตอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยเขียนโปรแกรมขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยภาษา Dev C++ การทดลองนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการกำหนดเปิดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งโดยการเลือกจำนวนที่ตั้งของเตาเผาจากจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด เช่น มีโรงพยาบาลทั้งหมด 109 แห่ง สามารถสุ่มตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อได้ตั้งแต่ 1 - 109 เพื่อให้โอกาสในการเปิดที่ตั้งทุกแห่งเท่า ๆ กัน ซึ่งได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.4 สำหรับการหาจำนวนที่ตั้งน้อยที่สุดที่จะต้องเปิด

ดำเนินการเตาเผานี้ สามารถคำนวณได้จากปริมาณขยะติดเชื้อรวมของทุกโรงพยาบาล และค่าอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผาแต่ละขนาด ซึ่งโรงพยาบาลทั้งหมด 109 แห่งมีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน มีอัตราการเผาสูงสุดของเตาเผา 3 แบบ คือ 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อกำหนดให้ 1 เดือนมี 30 วันมี 24 ชั่วโมง โดยเตาเผาแต่ละแบบต้องเปิดเครื่องทิ้งไว้ก่อน 6 ชั่วโมง จึงจะสามารถเริ่มการเผาได้ ดังนั้นจำนวนตำแหน่งที่ตั้งน้อยที่สุดจะเปิดดำเนินการเผาขยะแต่ละแบบสามารถคำนวณได้ดังนี้

อัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้ = 104,487/ 100 × ((30 × 24) - 6)

= 1.46 หรือประมาณ 2 แห่ง

อัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้ = 104,487/ 300 × ((30 × 24) - 6)

= 0.49 หรือประมาณ 1 แห่ง

อัตราการเผาสูงสุด 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

จำนวนน้อยที่สุดที่สามารถเปิดได้ = 104,487/600 × ((30 × 24) - 6)

= 0.24 หรือประมาณ 1 แห่ง

ถ้าผลการสุ่มเลือกตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อได้ 1 ตำแหน่ง ก็จะทำการสุ่มใหม่ ในการแก้ปัญหานี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสมกับปัญหา โดยจะอธิบายในหัวข้อต่อไป เมื่อได้ค่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหา ซึ่งการทดสอบปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยทดสอบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++ ได้ผลคำตอบดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปผลคำตอบการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Dev C++

ตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อ	เลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	ชั่วโมงในการเผาขยะติดเชื้อ (ชั่วโมงต่อเดือน)	โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อให้เตาเผาขยะติดเชื้อ
ตำแหน่งที่ 22	300	354.29	ตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108 และ 109

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อมีเพียงตำแหน่งเดียวคือตำแหน่งที่ 22 นั่นคือโรงพยาบาลกุมภวาปี และเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาต่อเนื่องสำหรับเผาขยะติดเชื้อ 354.29 ชั่วโมงต่อเดือน ส่วนโรงพยาบาลที่เหลืออีก 108 แห่งได้ทำการส่งขยะติดเชื้อให้กับโรงพยาบาลกุมภวาปี จะเห็นได้ว่าถ้าเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง สามารถเผาขยะติดเชื้อได้ทั้งหมดในแต่ละเดือน และต้นทุนรวมในการดำเนินการทั้งหมดเพียง 588,298 บาทต่อเดือน โดยประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 329,740 บาทต่อเดือน ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการ 62,281 บาทต่อเดือน ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องเตาเผา 196,276.67 บาทต่อเดือน ส่วนเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพียง 0.062 วินาทีเท่านั้น

4.6 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบการประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์ กับคำตอบของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 และการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ในตารางที่ 4.15 จะเห็นการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ของภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) และเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งในปัจจุบันระบบการจัดการขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลทั้งหมดมีปริมาณขยะติดเชื้อ 104,487 กิโลกรัมต่อเดือน โดยโรงพยาบาลส่วนใหญ่ส่งขยะติดเชื้อไปกำจัดในเตาเผาขยะติดเชื้อของ หจก. ส.เรืองโรจน์สระบุรี โดยคิดค่าจ้างเผาขยะกิโลกรัมละ 12 บาท และมีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดขยะ 2,164,064 บาทต่อเดือน ส่วนที่เหลือนำไปกำจัดที่เทศบาลขอนแก่นและเทศบาลอุดรธานี โดยจะคิดค่าจ้างเผาขยะกิโลกรัมละ 16 บาท มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดขยะ 40,964 และ 91,096 บาทต่อเดือน ตามลำดับ และมีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินการกำจัดขยะทั้งหมด 2,226,125 บาทต่อเดือน พบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และกับวิธีฮิวริสติกส์ มีค่าเท่ากันกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค แต่ต่างกันตรงเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งวิธีทั้งสองที่กล่าวมามีต้นทุนรวมต่ำกว่าต้นทุนรวมที่ได้จากโปรแกรม Lingo 11 คิดเป็น 37.97% และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการกำจัดขยะของโรงพยาบาลทั้งหมดในปัจจุบันที่ต้องเสียให้กับบริษัทเอกชน คิดเป็น 73.57% โดยโปรแกรม Lingo 11 ใช้เวลาประมวลผล 1 ชั่วโมง 34 นาที 23 วินาที เท่ากับ 5,663 วินาที เนื่องจากไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงได้ทำการหยุดการค้นหาคำตอบ ส่วนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคใช้ในการประมวลผล 84.161 วินาที ในขณะที่วิธีการฮิวริสติกส์ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 0.062 วินาที จากการเปรียบเทียบเวลา โดยเวลาในการประมวลผลคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกส์ลดลงจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค คิดเป็น 99.92%

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบผลคำตอบระหว่างวิธีฮิวริสติกส์ กับผลคำตอบจากโปรแกรม LINGO 11 และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ผลจากโปรแกรม LINGO 11			
ตำแหน่งที่ตั้ง	**ชั่วโมงในการเผา (ชั่วโมงต่อเดือน)**	**ต้นทุนรวมในการดำเนินการ (บาทต่อเดือน)**	**เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที)**
ตำแหน่งที่ 11	19.6	948,470	5,663
ตำแหน่งที่ 18	14.8		
ตำแหน่งที่ 39	17.07		
ตำแหน่งที่ 40	9.87		
ตำแหน่งที่ 55	110.1		
ตำแหน่งที่ 64	43.27		
ตำแหน่งที่ 89	152.52		
ตำแหน่งที่ 102	51		
ตำแหน่งที่ 109	14.07		
ผลจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค			
ตำแหน่งที่ตั้ง	**ชั่วโมงในการเผา (ชั่วโมงต่อเดือน)**	**ต้นทุนรวมในการดำเนินการ (บาทต่อเดือน)**	**เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที)**
ตำแหน่งที่ 22	354.29	588,298	84.161
ผลจากวิธีการฮิวริสติกส์			
ตำแหน่งที่ตั้ง	**ชั่วโมงในการเผา (ชั่วโมงต่อเดือน)**	**ต้นทุนรวมในการดำเนินการ (บาทต่อเดือน)**	**เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (วินาที)**
ตำแหน่งที่ 22	354.29	588,298	0.062

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทสุดท้ายนี้เป็นการสรุปผลการวิจัยการใช้วิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ นอกจากนี้ยังกล่าวถึงปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้ง และเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย วิธีแก้ปัญหาและหาคำตอบโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม Lingo 11 แต่เนื่องจากผลคำตอบที่ได้นี้ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด พร้อมทั้งใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนานเพื่อที่จะได้คำตอบที่ดีขึ้น ผู้วิจัยได้พัฒนาฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ จากการคำนวณพบว่าได้ผลคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรม Lingo 11

สำหรับขั้นตอนเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนพบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม Lingo 11 ได้ผลคำตอบที่มีต้นทุนต่ำสุดเท่ากับ 948,470 บาทต่อเดือน โดยมีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 9 ตำแหน่ง ซึ่งมีดังนี้โรงพยาบาลพล โรงพยาบาลเขาสวนกวาง โรงพยาบาลภูหลวง โรงพยาบาลผาขาว โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลเขาวง โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ โดยการเลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผา 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และตำแหน่งสุดท้ายโรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย เลือกเตาเผาที่มีอัตราการเผา 100 กิโลกรัมต่อชั่วโมง แต่ไม่สามารถพบคำตอบที่ดีได้ และใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบนานถึง 5,663 วินาที ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อ ผลลัพธ์พบว่ามีการเปิดดำเนินการเตาเผาเพียงแห่งเดียว ซึ่งเป็นเตาเผาที่มีอัตราการเผา 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยมีต้นทุนต่ำสุดเท่ากับ 588,298 บาทต่อเดือน ใช้เวลาในการประมวลผลคำตอบเพียง 0.062 วินาที ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการได้ถึง 37.97 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการกำจัดขยะของโรงพยาบาลทั้งหมดในปัจจุบันที่ต้องเสียให้กับบริษัทเอกชน คิดเป็น 73.57 % ในการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์เพื่อหาคำตอบผู้วิจัยได้เลือกค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหานี้มาใช้ในการทดลอง ดังที่กล่าวมาในบทที่ 4

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

ในการทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ประสบปัญหาและอุปสรรคในการประมวลผลนั้นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล แต่เนื่องจากผู้วิจัยยังไม่ชำนาญในการสร้างและเขียนโปรแกรมจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมอย่างมากทำให้เกิดความล่าช้าในการทดลอง แต่ทั้งนี้ก็สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ผ่านมาได้ด้วยดี

5.3 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาการหาที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อเป็นปัญหาที่มีความน่าสนใจ เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก อีกทั้งปัญหาการจัดเส้นทางในการขนเก็บขยะติดเชื้อ เพื่อลดระยะทางให้สั้นที่สุด ประหยัดเวลามากที่สุด และสามารถนำมาพัฒนาเป็นงานวิจัยในลักษณะอื่น ๆ ได้อีกมาก ดังนี้

5.3.1 ควรศึกษาการจัดเส้นทางยานพาหนะในการขนเก็บขยะติดเชื้อ ของแต่ละโรงพยาบาลเพื่อลดระยะทางและเวลาในการเดินทาง

5.3.2 ควรศึกษาฮิวริสติกส์หรือเมตาฮิวริสติกส์ เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาในการเลือกหาที่ตั้งและเลือกขนาดอัตราการเผาของเตาเผา

5.3.3 สำหรับงานวิจัยนี้มีการเลือกพิจารณาเพียงโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยเท่านั้น ในอนาคตควรมีการมองปัญหาให้เป็นในระดับประเทศ น่าจะมีความสนใจเพิ่มขึ้น

5.3.4 ในอนาคตควรมีการพิจารณาปัญหาขยะติดเชื้อในด้านสิ่งแวดล้อมด้วยร่วมด้วย จะทำให้ผลที่ได้ครอบคลุมถึงสภาพความเป็นจริงทั้งหมด ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาในการทำวิจัยครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. “รายงานหลักการกำจัดขยะมูลฝอยที่เหมาะสม”, ใน **การเก็บข้อมูลสถิติมลพิษ.** กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535.

กษิดิ์เดช สิบศิริ. **การสำรวจการจัดการเตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.

คลอเคลีย วจนะวิชากร. **การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดขนาดการผลิตที่เหมาะสมแบบหลายระดับขั้น**. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2552.

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด”, **วารสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสาตร์**. 24(78): 107-122; ตุลาคม-ธันวาคม, 2554.

ธนกร จันทร์ทอง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. “การใช้เทคนิคศูนย์ถ่วงในการหาทำเลที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยในพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง, ใน **การประชุมวิชาการประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2553.** น.1537-1542. อุบลราชธานี: โรงแรมสุนีย์ แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์, 2553.

นัทธพงศ์ นันทสำเริง. “ปัญหาเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลจากวัตถุดิบชานอ้อยแบบหลายวัตถุประสงค์”, **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 14(3): 23-31; มิถุนายน, 2552.

ปรุฬห์ มะยะเฉี่ยว. “การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง”, **วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.** 6(1): 132-145; มกราคม-เมษายน, 2557.

ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา. **วิธีการฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผา กรณีศึกษา การกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2558.

รุจิศักดิ์ เมืองสง. **การควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของโลหะจำรูปด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อหาตัวแปรควบคุมพีไอดีที่เหมาะสม.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550.

วิไลวรรณ์ แก่นสาร. **การพัฒนาวิธีการฮิวริสติกบนพื้นฐานการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บรวบรวมขยะ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2552.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สโรชา นาคเจริญ. **วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรมสำาหรับปัญหา การเลือกสถานที่ศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์", ใน **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ**. กรุงเทพฯ: โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 2549.

สุภกิจ นุตยะสกุล. "การคำนวณเชิงวิวัฒนาการระหว่าง เจเนติกอัลกอริทึม กับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค", **วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. 2(2): 16-20; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2554.

สุภาลิน ศรัณย์ และ จูลิน ลิคะสิริ, "ขั้นตอนการหาวิธีสำหรับปัญหาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าโดยแบ่งระบบออกเป็นสองระดับ", **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน.** 1(2): 24-38; กรกฎาคม-ธันวาคม, 2556.

สุวิทย์ อัจริยะเมต. **การวางแผนและการดำเนินงานที่เหมาะสม ของการจัดการกำลังรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค**. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.

อนุชา ศรีบุรัมย์ และ สมบัติ สินธุเชาวน์. "การเลือกขนาดเตาและที่ตั้ง เตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย", ใน **การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2556**. น.55-64. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.

อนุรักษ์ ชัยวิเชียร. **ฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาหลากหลายประเภทของปัญหาพีมีเดียนแบบมีข้อจำกัดทางด้านทรัพยากร**, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.

องค์การอนามัยโลก. (2551). "กฎเกณฑ์เกี่ยวกับการควบคุมโรคติดต่อ", **องค์การอนามัยโลก (World Health Organization)**. http://guru.sanook.com/search/knowlrdge_search.php?องค์การอนามัยโลก. มกราคม, 2556.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Akinc. U, and Khumawala, B. "An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem", **Management Science**. 23(6): 585–594; February, 1997.

Ali Haydar Kayhan, Huseyin Ceylan, M.Tamer Ayvaz and Gurhan Gurarslan. "PSOLVER: A new hybrid particle swarm optimization algorithm for solving continuous optimization problems", **Expert Systems with Applications**. 37(1): 6798-6808, 2010.

Balakrishnan, A. Ward, J. E. and Wong, R. T. "Integrated facility location and vehicle Routing models: recent work and future prospects", **American Journal of Mathematical and Management Sciences**. 7(1): 35–61; January, 1987.

David, B. Shmoys, E. T. and Aardal, K. "Approximation algorithms for facility location problems", In **Proceeding STOC '97 Proceeding of the twenty-ninth annual ACM symposium on Theory of computing**. p.265-274. New York: IEEE Press, 1998.

Dazhi Wang, Chun-Ho Wu, Andrew Ip, Dingwei and Yang Yan. "Parallel multi-population particle swarm optimization algorithm for the uncapacitated facility location problem using OpenMP", In **Proceedings of the 2008 IEEE Congress on evolutionary computation**. p.1214-1218. China: Hong Kong, 2008.

Erlenkotter, D. "A dual-based procedure for uncapacitated facility location", **Operations Research**. 26(1): 992–1009, 1978.

Guo, W. Huang, K and Chen, G. "A hybrid Approach for Logistics Center Location Using Discrete Particle Swarm Optimization", In **Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics. August 18-21, 2007**. p.1597-1601. China: Jinan, 2007.

Hakimi, S. L. "Optimum location of switching centers and absolute centers and medians of a graph", **Operations Research**. 12(1): 450-459; June, 1964.

Laporte, G. "The vehicle routing problem : An overview of exact ant approximate algorithm", **European of journal Research**. 59(1): 345-358, 1992.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Ling-Yun, W. and Xiang-Sun, Z. "Capacitated facility location problem with general setup cost" **Available online at www.sciencedirect.com Computers & Operations Research**. 33(1): 1226-1241, 2006.

Minnesota Pollution Control Agency. "New environmental justice advisory group", **MPCA and Environmental Justice**. www.Pca.state.mn.us/index.php/about-mpca/assistance/mpca-and-environmental -equity.html. 19 April, 2013.

Owen, S. H. and Daskin, M. S. "Strategic Facility Location: A Review", **European Journal of operational Research**. 111(2): 423-447, 1998.

ReVell, C. S. and Eiselt, H. A. "Location analysis: A synthesis and survey", **European Journal of operational Research**. 165(1): 1-19, 2005.

Ruslim, N. M. and Ghani, N. A. "An application of the p-median problem with uncertainty in demand in emergency medical services", In **Proceeding of 2nd IMT-GT Regional conference on Mathematics, Statistics and Applications**, p.65-78. Penang: Universiti Sains Malaysia, 2006.

United State Environmental Protection Agency (U.S.EPA). **Environmental Impact Statement.** U.S.A.: U.S.EPA, 2012.

Uno, T. Kato, k and 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**, p.333-340. Hawaii, U.S.A.: Honolulu, 2007.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางพิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย และตารางเมตริกระยะทาง

ตารางที่ ก.1 พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	ละติจูด	ลองติจูด
1	โรงพยาบาลน้ำโสม	17.773109	102.191911
2	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง	17.6917942	103.2582302
3	โรงพยาบาลนากลาง	17.3066051	102.1873047
4	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	17.5654781	102.2811844
5	โรงพยาบาลบ้านฝาง	16.4490924	102.6543214
6	โรงพยาบาลพระยืน	16.3344607	102.655716
7	โรงพยาบาลสีชมพู	16.7980156	102.1877124
8	โรงพยาบาลน้ำพอง	16.7289878	102.8016615
9	โรงพยาบาลบ้านไผ่	16.0584066	102.7304798
10	โรงพยาบาลเปือยน้อย	15.8789022	102.9105946
11	โรงพยาบาลพล	15.8164653	102.6077679
12	โรงพยาบาลแวงใหญ่	15.9397591	102.5330189
13	โรงพยาบาลแวงน้อย	15.813795	102.3901623
14	โรงพยาบาลหนองสองห้อง	15.7329491	102.7943196
15	โรงพยาบาลภูเวียง	16.6517291	102.3796403
16	โรงพยาบาลมัญจาคีรี	16.1346825	102.5342778
17	โรงพยาบาลชนบท	16.0908974	102.6195134
18	โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	16.8510588	102.8568759
19	โรงพยาบาลภูผาม่าน	16.6459208	101.9020036
20	โรงพยาบาลกุดจับ	17.4090908	102.5589707
21	โรงพยาบาลหนองวัวซอ	17.2709606	102.5980637
22	โรงพยาบาลกุมภวาปี	17.105316	103.0207324
23	โรงพยาบาลห้วยเกิ้ง	17.0391158	102.9317737
24	โรงพยาบาลโนนสะอาด	16.9575804	102.8909869
25	โรงพยาบาลหนองหาน	17.3624557	103.1046768

ตารางที่ ก.1 พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	ละติจูด	ลองติจูด
26	โรงพยาบาลไชยวาน	17.2957456	103.2315079
27	โรงพยาบาลวังสามหมอ	16.9486312	103.432384
28	โรงพยาบาลเพ็ญ	17.6988487	102.9094355
29	โรงพยาบาลสร้างคอม	17.8346291	103.0800364
30	โรงพยาบาลหนองแสง	17.1663817	102.7800555
31	โรงพยาบาลนาด้วง	17.4767679	101.9734234
32	โรงพยาบาลเชียงคาน	17.8955188	101.6633424
33	โรงพยาบาลปากชม	18.0240365	101.8818018
34	โรงพยาบาลนาแห้ว	17.4768043	101.0674747
35	โรงพยาบาลภูเรือ	17.4498191	101.3543323
36	โรงพยาบาลท่าลี่	17. 6238837	101.4321064
37	โรงพยาบาลวังสะพุง	17.2817758	101.7578167
38	โรงพยาบาลภูกระดึง	16.8852806	101.8833038
39	โรงพยาบาลภูหลวง	17.1335691	101.667665
40	โรงพยาบาลผาขาว	17.0702477	102.0437652
41	โรงพยาบาลพรเจริญ	18.0082171	103.708783
42	โรงพยาบาลโพนพิสัย	18.0481911	103.0875514
43	โรงพยาบาลโซ่พิสัย	18.0808322	103.4476528
44	โรงพยาบาลศรีเชียงใหม่	17.9566766	102.5909007
45	โรงพยาบาลสังคม	18.0558816	102.2815821
46	โรงพยาบาลเซกา	17.9389803	103.9478425
47	โรงพยาบาลปากคาด	18.2997348	103.3121548
48	โรงพยาบาลบึงโขงหลง	17.9700396	104.0436219
49	โรงพยาบาลศรีวิไล	18.1854174	103.7378129
50	โรงพยาบาลบุ่งคล้า	18.2788699	103.9867676

ตารางที่ ก.1 พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	ละติจูด	ลองติจูด
51	โรงพยาบาลแกดำ	16.0464276	103.4011638
52	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	16.2415502	103.0675236
53	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	16.3296342	103.3022727
54	โรงพยาบาลเชียงยืน	16.4031477	103.0988212
55	โรงพยาบาลบรบือ	16.0422857	103.1138264
56	โรงพยาบาลนาเชือก	15.7974709	103.0317769
57	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	15.5166315	103.1948255
58	โรงพยาบาลวาปีปทุม	15.8466901	103.3728054
59	โรงพยาบาลนาดูน	15.7132868	103.2339491
60	โรงพยาบาลยางสีสุราช	15.6824044	103.1032643
61	โรงพยาบาลนามน	16.5763775	103.7865347
62	โรงพยาบาลกมลาไสย	16.3330522	103.5691108
63	โรงพยาบาลร่องคำ	16.2643018	103.7393847
64	โรงพยาบาลเขาวง	16.7015606	104.0889944
65	โรงพยาบาลยางตลาด	16.3892732	103.3485984
66	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	16.5961791	103.2290725
67	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	16.7106277	103.5194472
68	โรงพยาบาลคำม่วง	16.9215926	103.6329455
69	โรงพยาบาลท่าคันโท	16.9274977	103.2439075
70	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	16.6496536	103.2969435
71	โรงพยาบาลสมเด็จ	16.710281	103.7525228
72	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	16.6561352	103.9117788
73	โรงพยาบาลกุสุมาลย์	17.3271544	104.3096462
74	โรงพยาบาลกุดบาก	17.0896184	103.8215874
75	โรงพยาบาลพระอาจารย์ฝั้น อาจาโร	17.3523341	103.8563359

ตารางที่ ก.1 พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	ละติจูด	ลองติจูด
76	โรงพยาบาลพังโคน	17.3932048	103.7044804
77	โรงพยาบาลวาริชภูมิ	17.2658842	103.6345536
78	โรงพยาบาลนิคมน้ำอูน	17.184963	103.7155541
79	โรงพยาบาลวานรนิวาส	17.6247188	103.7498066
80	โรงพยาบาลคำตากล้า	17.86003	103.767189
81	โรงพยาบาลบ้านม่วง	17.8498371	103.5702343
82	โรงพยาบาลอากาศอำนวย	17.5976802	103.9746754
83	โรงพยาบาลส่องดาว	17.334084	103.47766
84	โรงพยาบาลเต่างอย	16.9923079	104.1604077
85	โรงพยาบาลโคกศรีสุพรรณ	17.0516493	104.266708
86	โรงพยาบาลเจริญศิลป์	17.5742261	103.5443283
87	โรงพยาบาลโพนนาแก้ว	17.221284	104.288103
88	โรงพยาบาลทุ่งฝน	17.472395	103.26131
89	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน	17.483969	103.457222
90	โรงพยาบาลภูพาน	17.001861	103.965812
91	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์	16.530826	104.042212
92	โรงพยาบาลสามชัย	16.864451	103.537849
93	โรงพยาบาลกุดรัง	16.092516	103.008735
94	โรงพยาบาลเฝ้าไร่	18.016304	103.312962
95	โรงพยาบาลโพธิ์ตาก	17.86679	102.448958
96	โรงพยาบาลพิบูลย์รักษ์	17.552008	103.0537277
97	โรงพยาบาลศรีธาตุ	16.9808196	103.1855121
98	โรงพยาบาลหนองเรือ	16.4907947	102.4429414
99	โรงพยาบาลชำสูง	16.5382719	103.0760703
100	โรงพยาบาลชุมแพ	16.5455408	102.099872

ตารางที่ ก.1 พิกัดของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	ละติจูด	ลองติจูด
101	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกระนวน	16.70715	103.078966
102	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย	17.21254	101.207042
103	โรงพยาบาลเอราวัณ	17.3069986	101.9413494
104	โรงพยาบาลสระใคร	17.674037	102.752788
105	โรงพยาบาลหนองหิน	17.121205	101.858973
106	โรงพยาบาลบ้านผือ	17.694456	102.462008
107	โรงพยาบาลนายูง	17.926241	102.212774
108	โรงพยาบาลรัตนาวาปี	18.183713	103.240907
109	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	17.847643	102.576651

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างตารางเมตริกระยะทางของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	109
ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	โรงพยาบาลน้ำโสม	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง	โรงพยาบาลนากลาง	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	โรงพยาบาลบ้านฝาง	โรงพยาบาลพระยืน	โรงพยาบาลศีขรภูมิ	โรงพยาบาลน้ำพอง	โรงพยาบาลบ้านไผ่	โรงพยาบาลเปือยน้อย	โรงพยาบาลพล	โรงพยาบาลแวงใหญ่	โรงพยาบาลแวงน้อย	โรงพยาบาลหนองสองห้อง	โรงพยาบาลโนนสัง	โรงพยาบาลศรีบุญเรือง	โรงพยาบาลหนองบัวแดง	⋮	โรงพยาบาลชุมชนท่าบ่อ
1	โรงพยาบาลน้ำโสม	0	157	74	33	207	244	142	186	262	296	292	293	282	315	160	272	274		58
2	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง	157	0	149	152	191	199	176	141	218	251	248	249	275	271	194	228	229		114
3	โรงพยาบาลนากลาง	74	149	0	55	137	159	73	121	186	220	216	217	213	239	91	187	198		90
4	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	33	152	55	0	177	177	112	146	211	244	241	241	252	263	130	206	222		71
5	โรงพยาบาลบ้านฝาง	207	191	137	177	0	22	94	48	61	94	91	82	109	113	47	50	62		205
6	โรงพยาบาลพระยืน	244	199	159	177	22	0	115	57	48	81	78	61	87	100	69	29	41		214
7	โรงพยาบาลศีขรภูมิ	142	176	73	112	94	115	0	141	154	187	184	154	136	184	57	121	134		148
8	โรงพยาบาลน้ำพอง	186	141	121	146	48	57	141	0	79	113	109	110	136	132	98	89	91		157
9	โรงพยาบาลบ้านไผ่	262	218	186	211	61	48	154	79	0	34	31	32	58	50	106	26	13		235
10	โรงพยาบาลเปือยน้อย	296	251	220	244	94	81	187	113	34	0	64	68	75	27	144	62	49		272
11	โรงพยาบาลพล	292	248	216	241	91	78	184	109	31	64	0	21	26	23	136	54	41		265
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
109	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	58	114	90	71	205	214	148	157	235	272	265	265	290	287	165	243	246	...	0

ภาคผนวก ข

ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการจัดเก็บ (ครั้งต่อเดือน)
โรงพยาบาลน้ำโสม	1,000	4
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านดุง	1,200	4
โรงพยาบาลนากลาง	1,000	4
โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	1,200	4
โรงพยาบาลบ้านฝาง	700	4
โรงพยาบาลพระยืน	700	4
โรงพยาบาลสีชมพู	700	4
โรงพยาบาลน้ำพอง	630	4
โรงพยาบาลบ้านไผ่	2,000	8
โรงพยาบาลเปือยน้อย	300	4
โรงพยาบาลพล	2,000	8
โรงพยาบาลแวงใหญ่	510	4
โรงพยาบาลแวงน้อย	570	4
โรงพยาบาลหนองสองห้อง	1,000	4
โรงพยาบาลภูเวียง	1,500	8
โรงพยาบาลมัญจาคีรี	1,700	4
โรงพยาบาลชนบท	510	4
โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	500	4
โรงพยาบาลภูผาม่าน	522	4
โรงพยาบาลกุดจับ	600	4
โรงพยาบาลหนองวัวซอ	510	4
โรงพยาบาลกุมภวาปี	2,500	4
โรงพยาบาลห้วยเกิ้ง	510	4
โรงพยาบาลโนนสะอาด	700	4

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการจัดเก็บ (ครั้งต่อเดือน)
โรงพยาบาลหนองหาน	1,800	8
โรงพยาบาลไชยวาน	570	4
โรงพยาบาลวังสามหมอ	500	4
โรงพยาบาลเพ็ญ	1,500	8
โรงพยาบาลสร้างคอม	570	4
โรงพยาบาลหนองแสง	500	4
โรงพยาบาลนาด้วง	400	4
โรงพยาบาลเชียงคาน	800	4
โรงพยาบาลปากชม	700	4
โรงพยาบาลนาแห้ว	300	4
โรงพยาบาลภูเรือ	200	4
โรงพยาบาลท่าลี่	500	4
โรงพยาบาลวังสะพุง	1,800	4
โรงพยาบาลภูกระดึง	700	4
โรงพยาบาลภูหลวง	500	4
โรงพยาบาลผาขาว	500	4
โรงพยาบาลพรเจริญ	700	4
โรงพยาบาลโพนพิสัย	1,800	4
โรงพยาบาลโซ่พิสัย	1,140	8
โรงพยาบาลศรีเชียงใหม่	500	4
โรงพยาบาลสังคม	300	4
โรงพยาบาลเซกา	2,000	4
โรงพยาบาลปากคาด	700	4

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการจัดเก็บ (ครั้งต่อเดือน)
โรงพยาบาลบึงโขงหลง	400	4
โรงพยาบาลศรีวิไล	600	4
โรงพยาบาลบุ่งคล้า	480	4
โรงพยาบาลแกดำ	700	4
โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	1,000	4
โรงพยาบาลกันทรวิชัย	520	4
โรงพยาบาลเชียงยืน	1,500	4
โรงพยาบาลบรบือ	1,800	8
โรงพยาบาลนาเชือก	900	4
โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	1,500	4
โรงพยาบาลวาปีปทุม	1,500	4
โรงพยาบาลนาดูน	400	4
โรงพยาบาลยางสีสุราช	500	4
โรงพยาบาลนามน	300	4
โรงพยาบาลกมลาไสย	2,000	8
โรงพยาบาลร่องคำ	300	4
โรงพยาบาลเขาวง	1,500	4
โรงพยาบาลยางตลาด	2,500	8
โรงพยาบาลห้วยเม็ก	700	4
โรงพยาบาลสหัสขันธ์	300	4
โรงพยาบาลคำม่วง	1,000	4
โรงพยาบาลท่าคันโท	500	4
โรงพยาบาลหนองกุงศรี	900	4

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการจัดเก็บ (ครั้งต่อเดือน)
โรงพยาบาลสมเด็จ	700	4
โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	300	4
โรงพยาบาลกุสุมาลย์	500	4
โรงพยาบาลกุดบาก	800	4
โรงพยาบาลพระอาจารย์ฝั้น อาจาโร	1,000	4
โรงพยาบาลพังโคน	1,200	4
โรงพยาบาลวาริชภูมิ	700	4
โรงพยาบาลนิคมน้ำอูน	200	4
โรงพยาบาลวานรนิวาส	1,900	4
โรงพยาบาลคำตากล้า	800	4
โรงพยาบาลบ้านม่วง	1,000	4
โรงพยาบาลอากาศอำนวย	900	4
โรงพยาบาลส่องดาว	500	4
โรงพยาบาลเต่างอย	300	4
โรงพยาบาลโคกศรีสุพรรณ	900	4
โรงพยาบาลเจริญศิลป์	500	4
โรงพยาบาลโพนนาแก้ว	600	4
โรงพยาบาลทุ่งฝน	375	4
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชสว่างแดนดิน	5,000	8
โรงพยาบาลพระอาจารย์แบน ธนากโร	700	4
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์	3,500	8
โรงพยาบาลสามชัย	480	4
โรงพยาบาลกุดรัง	200	4

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการจัดเก็บ (ครั้งต่อเดือน)
โรงพยาบาลเฝ้าไร่	120	4
โรงพยาบาลโพธิ์ตาก	120	4
โรงพยาบาลพิบูลย์รักษ์	600	4
โรงพยาบาลศรีธาตุ	1,100	8
โรงพยาบาลหนองเรือ	1,200	8
โรงพยาบาลชำสูง	500	4
โรงพยาบาลชุมแพ	4,500	8
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกระนวน	1,000	4
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชด่านซ้าย	1,200	4
โรงพยาบาลเอราวัณ	700	4
โรงพยาบาลสระใคร	180	4
โรงพยาบาลหนองหิน	150	4
โรงพยาบาลบ้านผือ	1,000	4
โรงพยาบาลนายูง	600	4
โรงพยาบาลรัตนาวาปี	120	4
โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชท่าบ่อ	4,500	8

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ สิบตำรวจตรี ปิยะเชษฐ์ สมนึก

ประวัติการศึกษา พ.ศ.2551-2554 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ประวัติการทำงาน พ.ศ.2559-ปัจจุบัน ตำแหน่ง ผู้บังคับหมู่งานป้องกันปราบปราม สถานีตำรวจภูธรสว่างวีระวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี