



การเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับ
เก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ศิวพร สุกสี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



LOCATION SELECTION OF INCINERATORS AND VEHICLE ROUTING FOR
INFECTIOUS WASTE COLLECTION OF HOSPITALS
IN NORTHEAST OF THAILAND

SIWAPORN SUKSEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความรู้และความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และให้โอกาสเข้ารับการศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่า มาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุตา พันธุ์นิกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ ที่กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ในการนำข้อมูลต่าง ๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในทางปฏิบัติและงานวิชาการต่อไป และขอขอบคุณโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทุกแห่ง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการวิจัย ขอขอบคุณคุณ สุเทพ บุตรงาม นายช่างรังวัดอาวุโส สังกัดสำนักงานที่ดินจังหวัดสุรินทร์ สาขาสังขะ ในการให้คำแนะนำการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ขอขอบคุณ สำนักโยธาธิการและผังเมืองทุกจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่อนุเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับแผนที่ดิจิทัลผังเมืองรวมเมือง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และเพื่อนๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และยังมีผู้เกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ศิวพร สุกสี
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ผู้วิจัย : ศิวพร สุกสี

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สีนุเชาวน์

คำสำคัญ : การเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทาง, เตาเผาขยะ, ขยะติดเชื้อ, โรงพยาบาลภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางยานพาหนะของการเก็บรวบรวมขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย วิธีฮิวริสติกส์ ที่พัฒนาขึ้น เรียกว่า Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search Procedure (GRALNSP) ซึ่งประยุกต์ใช้หลักการของวิธีเมตาฮิวริสติก Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) และวิธี Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) ในส่วนของการปรับปรุงคำตอบ โดยผลลัพธ์จากวิธี GRALNSP จะถูกเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีการแมนตรงที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม A Mathematical Programming Language (AMPL) ผลการทดลองในกลุ่มปัญหามิติขนาดเล็กพบว่าทั้งสองวิธีให้คำตอบไม่แตกต่างกันซึ่งให้คำตอบที่เป็น Global optimal แต่วิธี GRALNSP ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า เมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นและมีความซับซ้อนมากขึ้น AMPL ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายใต้ระยะเวลาการหาคำตอบที่กำหนด ส่วน GRALNSP สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่า สำหรับการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วย GRALNSP พบว่ามีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมจำนวน 2 แห่งคือ ตำแหน่งในเขตพื้นที่อำเภอปทุมราชวงศา จังหวัดอำนาจเจริญ และ ตำแหน่งในเขตพื้นที่อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น ซึ่งทั้งสองแห่งเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีระยะทางในการเก็บขยะติดเชื้อโดยรวม 24,055.24 และ 38,401.48 กิโลเมตรต่อเดือน ตามลำดับ และมีต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด 6,268,970.41 บาทต่อเดือน

ABSTRACT

TITLE : LOCATION SELECTION OF INCINERATORS AND VEHICLE ROUTING FOR
INFECTIOUS WASTE COLLECTION OF HOSPITALS IN NORTHEAST OF
THAILAND

AUTHOR : SIWAPORN SUKSEE

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. SOMBAT SINDHUCHARO, Ph.D.

KEYWORDS : LOCATION-ROUTING, INCINERATORS, INFECTIOUS WASTE, HOSPITALS,
NORTHEAST OF THAILAND

This research proposes a heuristic for the selection of incinerator location and vehicle routing problems concerned with infectious waste collection in the hospitals of Northeast of Thailand. The heuristic developed is called Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search Procedure (GRALNSP) and applies the principle of Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) and the Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) is applied in the local search. The results from GRALNSP are compared with those from a program called “A Mathematical Programming Language (AMPL)” that produced exact results. For the small size problems, experiments show that both methods provided the same results through the global optimal solution but GRALNSP requires less computational time. When the problems have been more large scale and complicated, AMPL cannot find the optimal solution within the limited period of computational time while GRALNSP provides better results with uses less computation time. For solving the case study with GRALNSP, the result shows that the suitable locations for opening infectious waste incinerators are the positions of Pathum Ratwongsa district, Amnat Charoen province and Nam Phong district, Khonkaen province. An incinerator with a burning capacity of 600 kilogram per hour is selected at both locations. The total travel distance required for infectious waste collection are 24,055.24 and 38,401.88 kilometers/month respectively and the lowest total cost is 6,268,970.40 baht/month.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ขยะติดเชื้อ	5
2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง	13
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง	21
2.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง	28
2.5 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหา	48
3.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	48
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	48
3.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	52
3.5 แก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้โปรแกรม AMPL	57
บทที่ 4 การออกแบบพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์	
4.1 การออกแบบพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์	61
4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP	84
4.3 การแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ด้วยวิธี GRALNSP	90
4.4 ผลการจัดเรียงลำดับทางเลือกที่ดีที่สุดโดยวิธี TOPSIS	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	100
5.2 ข้อเสนอแนะ	101
เอกสารอ้างอิง	103
ภาคผนวก	
ก รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อของ โรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	112
ข ตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อและค่าโทษในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย	124
ค ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ระยะทางโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย	126
ง แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย และแบบสอบถามบริษัทเอกชนกำจัดขยะติดเชื้อ	128
จ รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาทั้ง 15 กรณีที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของวิธี GRALNSP	135
ฉ ผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีอีวีรสถิกส์ในการทำลายคำตอบ ระหว่างกรณีที่มีการแบ่งกลุ่มวิธีอีวีรสถิกส์ในการทำลายคำตอบและกรณีที่ไม่มีการ แบ่งกลุ่มวิธีอีวีรสถิกส์ในการทำลายคำตอบ	140
ประวัติผู้วิจัย	143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ	11
2.2	ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ	22
3.1	ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาและเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	50
3.2	ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	51
3.3	ข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อ	51
3.4	ค่าใช้จ่ายคงที่และแปรผัน ในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ	52
3.5	ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม AMPL กับปัญหากรณีศึกษาขนาดต่าง ๆ	58
4.1	ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลและตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ	69
4.2	ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลและตำแหน่ง P01	70
4.3	ค่าความประหยัด (saving cost)	71
4.4	กำหนดค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1	72
4.5	ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1	73
4.6	ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary insertion	74
4.7	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2	76
4.8	ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2	77
4.9	ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion	78
4.10	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3	80
4.11	ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3	81
4.12	ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random Insertion	82
4.13	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 4	84
4.14	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของต้นทุนรวมที่คำนวณได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และวิธี GRALNSP	85
4.15	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเวลาที่พบคำตอบที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหาแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP	85
4.16	ผลการทดสอบปัญหาตัวอย่างด้วยแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP	88
4.17	ผลการแก้ปัญหาด้วยวิธีวิธี GRALNSP กรณีศึกษาจังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดบึงกาฬ และจังหวัดร้อยเอ็ด	89
4.18	ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP	92
4.19	รายละเอียดต้นทุนรวมของตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม	98

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ตราหรือสัญลักษณ์สำหรับพิมพ์บนภาชนะบรรจุมูลฝอยติดเชื้อ	6
2.2	ภาชนะรองรับขยะติดเชื้อ	7
2.3	รถเก็บขนขยะติดเชื้อ	8
2.4	ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง	24
2.5	การจัดเส้นทางขนพาหนะขนส่ง กรณีมีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง	24
2.6	รหัสเทียมของวิธี GRASP	35
2.7	รหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้น	36
2.8	รหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะการปรับปรุงคำตอบ	38
2.9	รูปแบบการค้นหาคำตอบของวิธี ALNS	40
2.10	รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Random removal	41
2.11	รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Worst Removal	41
2.12	รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Relate Removal	42
2.13	รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy Insertion	42
2.14	รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random Insertion	43
2.15	รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary Insertion	43
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	47
3.2	ตัวอย่างแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่จำแนกประเภทท้ายกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดบึงกาฬ พ.ศ. 2560	49
3.3	การแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยโปรแกรม AMPL	60
4.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธี GRALNSP	62
4.2	ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธี ALNS	63
4.3	ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ขยะ หรือ มูลฝอย หรือ ของเสีย เป็นเหตุสำคัญประการหนึ่งที่ ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และมีผลต่อสุขภาพอนามัย มูลฝอยเพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกปีเพราะสาเหตุจากการเพิ่มขึ้นของประชากร และการขยายตัวทางเศรษฐกิจและทางอุตสาหกรรม จึงเป็นปัญหาที่สำคัญที่ชุมชนต้องจัดการและแก้ไข จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษในปี 2558 พบว่าจำนวนปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทยมีจำนวนมากถึง 26.85 ล้านตัน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากชุมชน อุตสาหกรรม และโรงพยาบาล ซึ่งปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในทุกปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ขยะมูลฝอยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากโรงพยาบาล เรียกว่า “ขยะติดเชื้อ” ซึ่งเกิดจากวิธีการและขั้นตอนต่าง ๆ ในการรักษาพยาบาล เช่น เข็มฉีดยา ผ้ากอส สำลี สิ่งขับถ่ายหรือของเหลวที่ออกจากร่างกายผู้ป่วย เป็นต้น จัดว่าเป็นมูลฝอยอันตรายที่ต้องมีการจัดการแยกออกจากมูลฝอยทั่วไปตั้งแต่แหล่งกำเนิด โดยจะต้องมีการจัดเก็บ รวบรวมขนส่งและการกำจัดที่ถูกสุขลักษณะ ในปี 2559 มีขยะติดเชื้อในประเทศไทยประมาณ 55,646 ตัน ส่วนใหญ่อยู่ในภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก ภาคเหนือตามลำดับ เป็นขยะติดเชื้อที่เกิดจากโรงพยาบาลรัฐ 31,601 ตัน (ร้อยละ 56.79) โรงพยาบาลเอกชน 9,486 ตัน (ร้อยละ 17.05) คลินิก 10,691 ตัน (ร้อยละ 19.21) โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลหรือสถานีอนามัย (รพ.สต.) 3,544 ตัน (ร้อยละ 6.37) สถานพยาบาลสัตว์ 321 ตัน (ร้อยละ 0.58) และห้องปฏิบัติการเชื้ออันตราย 3.2 ตันต่อปี (ร้อยละ 0.001) (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อมีแนวโน้มว่าคาดว่าจะมีอัตราเพิ่มขึ้นปีละประมาณร้อยละ 5.5 (ชาติรี ไชยวงศ์, 2553) ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้เสนอให้มีพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 โดยกำหนดให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีอำนาจหน้าที่ในการกำจัดสิ่งปฏิกูล และขยะที่เกิดในเขตท้องถิ่น ครอบคลุมถึงขยะติดเชื้อด้วยประกอบกับกระทรวงสาธารณสุขได้ออกกฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดขยะติดเชื้อ พ.ศ. 2545 กำหนดห้ามถ่ายเททิ้งขยะติดเชื้อในที่สาธารณะ โดยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควบคุมดูแล และบริหารจัดการให้สถานบริการสาธารณสุขจัดการขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมอย่างถูกต้อง สำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชืื่อนั้นส่วนใหญ่จะถูกส่งเข้าเตาเผาในปริมาณ 35,014 ตันต่อปีร้อยละ 65 ของปริมาณขยะติดเชื้อทั้งหมด ประกอบด้วยเตาเผาของโรงพยาบาลปริมาณ 2,493 ตัน เตาเผาขององค์กรส่วนท้องถิ่นจำนวน 10 แห่ง ประมาณ 14,926 ตันต่อปี และเตาเผาเอกชนจำนวน 7 แห่ง ปริมาณ 17,595 ตันต่อปี โดยมีขยะติดเชื้อที่หายไปจากระบบปริมาณ 18,854 ตัน คิดเป็นร้อยละ 35 ซึ่งโรงพยาบาลอาจมีการเผากำจัดเองหรือปะปนไปกับขยะมูลฝอยชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหนึ่งในภูมิภาคที่มีปริมาณขยะติดเชื้อสูงเป็นอันดับที่สองรองจากภาคกลางด้วยปริมาณประมาณ 15,798 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งกรมอนามัยได้รายงานสถานการณ์ปริมาณขยะติดเชื้อตามเขตสุขภาพในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด โดยปริมาณขยะติดเชื้อในเขตสุขภาพที่ 7 (ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม และ ร้อยเอ็ด) มีปริมาณ 4,387 กิโลกรัมต่อวัน เขตสุขภาพที่ 8 (เลย หนองคาย หนองบัวลำภู อุดรธานี บึงกาฬ และ นครพนม) มี 1,818 กิโลกรัมต่อวัน เขตสุขภาพที่ 9 (นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ และ สุรินทร์) มี 7,429 กิโลกรัมต่อวัน และเขตสุขภาพที่ 10 (มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานี และ ศรีสะเกษ) มี 346 กิโลกรัมต่อวัน (กรมอนามัย, 2557) ปริมาณขยะติดเชื้อดังกล่าวเกิดขึ้นจากโรงพยาบาลของรัฐจำนวน 285 แห่ง โรงพยาบาลเอกชนจำนวน 47 แห่ง และโรงพยาบาลชุมชน/คลินิกจำนวน 5,925 แห่ง (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9-12, 2555) ซึ่งขยะติดเชื้อในปริมาณดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนหากกำจัดไม่ถูกวิธี กษิดิ์เดช สืบศิริ (2554) สำนักรวจการบริหารจัดการกับขยะติดเชื้อในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองบัวลำภู หนองคาย และเลย พบว่ามีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งสิ้น 107 แห่ง แต่ละแห่งมีปริมาณขยะติดเชื้อประมาณ 10 ถึง 20 กิโลกรัม/วัน และโรงพยาบาลชุมชนทุกแห่งมีนโยบายในการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผาและมีเตาเผาหลากหลายขนาดทั้งที่สภาพดีและชำรุด โดยมีเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีสภาพดีมีเพียงร้อยละ 22.09 และมีการชำรุดถึงร้อยละ 77.91 เตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนส่วนใหญ่จะมีการซ่อมแซมและบำรุงรักษาน้อยมากเพราะขาดแคลนงบประมาณ รวมถึงไม่มีอะไหล่สำรอง ทำให้โรงพยาบาลหลายแห่งใช้วิธีการเผาบนพื้นและเผากลางแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล โรงพยาบาลส่วนใหญ่จึงได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก สถานบริการสาธารณสุขขนาดเล็กรหรือโรงพยาบาลชุมชนบางส่วนจึงส่งขยะติดเชื้อไปกำจัดร่วมกับโรงพยาบาลของรัฐที่เป็นเครือข่าย อนุชา ศรีบุรีรัมย์ (2556) ได้เสนอแนวทางการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน โดยพิจารณาคัดเลือกขนาดของเตาเผา ที่มีความจุตั้งแต่ 400, 800 และ 1,200 กิโลกรัมต่อเตาต่อวัน และหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ที่เหมาะสมซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงพยาบาลชุมชนใดก็ได้ รวมถึงการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับขนย้ายขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนไปยังเตาเผาขยะ โดยให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนส่ง (ระยะทางหรือเวลาในการขนส่ง) และต้นทุนการดำเนินการ (ค่าเสื่อมราคา ค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงเตา ค่าจ้างพนักงานค่าดำเนินการเผา และค่าน้ำมันเชื้อเพลิง) สำหรับการพิจารณาพื้นที่ที่มีศักยภาพเป็นสถานที่ตั้งศูนย์กำจัดขยะติดเชื้อนั้น อาจพิจารณาโรงพยาบาลชุมชนที่มีศักยภาพรองรับเพียงพอทั้งในด้านพื้นที่ ความพร้อมของบุคลากร และความเหมาะสมทางด้านสภาพแวดล้อมชุมชน

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจเสนอแนวทางการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมจากการแบ่งสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามประกาศกฎกระทรวงบังคับใช้ผังเมืองรวมเมืองของแต่ละจังหวัด โดยคำนึงถึงต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการดำเนินการ ข้อจำกัดทางด้านสภาพแวดล้อมและเวลาในการขนส่งด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีเป้าหมายให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด และพัฒนาวิธีวิธีสถิติสเพื่อแก้ปัญหาการกำจัดขยะติดเชื้อพร้อมการ

จัดเส้นทางขนย้ายขยะติดเชื้อเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ้างบริษัทเอกชนดำเนินการและช่วยลดการแพร่กระจายของเชื้อโรคต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนืออย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีวิธีสถิติสำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง
- 1.2.2 เพื่อแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยวิธีวิธีสถิติที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ปัญหาที่ศึกษาเป็นปัญหาการเลือกที่ตั้งและการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด เลย หนองคาย หนองบัวลำภู อุดรธานี บึงกาฬ นครพนม สกลนคร นครราชสีมา ชัยภูมิ บุรีรัมย์ สุรินทร์ มุกดาหาร ยโสธร อำนาจเจริญ อุบลราชธานีและศรีสะเกษ ซึ่งมีจำนวนโรงพยาบาลเฉพาะในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขจำนวน 325 แห่ง โดยผู้วิจัยจะดำเนินการดังนี้

1.3.1 ออกแบบและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้ง ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยที่ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้ออยู่ในเขตพื้นที่จัดตั้งกิจการประเภอุตสาหกรรมและคลังสินค้าจากการแบ่งสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามประกาศกฎกระทรวงบังคับใช้ผังเมืองรวมเมืองของแต่ละจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งมีทั้งสิ้น 21 ตำแหน่ง และการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.3.2 ประยุกต์ใช้วิธีวิธีสถิติในการแก้ปัญหาปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.3.3 หาระยะทางระหว่างโรงพยาบาลต่าง ๆ โดยใช้ข้อมูลจาก Google Earth

1.3.4 ใช้ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล จากบริษัทเอกชนที่รับกำจัดขยะติดเชื้อและจากโรงพยาบาลเอง

1.3.5 ในการแก้ปัญหาจะใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาณขยะติดเชื้อมาคำนวณหาคำตอบ

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1.4.1 สืบค้น สำนวน และเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับ จำนวน สถานที่ตั้ง นโยบายการกำจัดขยะติดเชื้อ วิธีการกำจัดขยะติดเชื้อ ขนาดเตาเผาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิธีการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) และวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง(Location Routing Problem: LRP) เป็นต้น

1.4.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4.4 แก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้โปรแกรม A Mathematical Programming Language (AMPL)

1.4.5 พัฒนาวีธีวิธีสถิติสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.4.6 แก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้วิธีวิธีสถิติสที่พัฒนาขึ้น

1.4.7 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1.4.8 สรุปผลการวิจัยและให้ข้อเสนอแนะ

1.4.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และการนำเสนองาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและเส้นทางขนพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

1.5.2 ได้อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางขนพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

1.5.3 สามารถนำวิธีการแก้ปัญหาที่ได้จากการวิจัยไปเผยแพร่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาหรือแก้ปัญหาสถานที่ตั้งและการจัดการขนส่งในลักษณะอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต

1.5.4 ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยสามารถเป็นฐานข้อมูลให้หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยอธิบายหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิธีการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) และวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) เทคนิคการหาคำตอบ (Optimization) วิธีฮิวริสติก (Heuristic) วิธีเมตาฮิวริสติก (Meta heuristic) รวมถึงการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะติดเชื้อ

2.1.1 ความหมายและคุณลักษณะของขยะติดเชื้อ (Infectious Waste)

“ขยะติดเชื้อ” หรือ “มูลฝอยติดเชื้อ” จัดเป็นมูลฝอยหรือขยะอันตรายประเภทหนึ่ง เนื่องจากการปนเปื้อนของเชื้อโรค ซึ่งจะก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีการจัดการที่เหมาะสม ในการให้คำจำกัดความของมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันมีการให้ความหมายที่แตกต่างกันออกไปซึ่งส่วนใหญ่มักจะถูกกำหนดขึ้นจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องแต่ละหน่วยงาน อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยความหมายที่กำหนดขึ้นนั้นจะเป็นไปในแนวทางเดียวกันตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

กฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545 ออกตามความในพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ได้กำหนดนิยามของมูลฝอยติดเชื้อไว้ว่า “มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึงมูลฝอยที่มีเชื้อโรคปะปนอยู่ ซึ่งหากสัมผัสหรือใกล้ชิดกับมูลฝอยนั้นแล้วอาจทำให้เกิดโรคได้ ซึ่งกรณีมูลฝอยต่อไปนี้ที่เกิดขึ้นหรือใช้กระบวนการตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์และการรักษาพยาบาล การให้ภูมิคุ้มกันโรคและการทดลองเกี่ยวกับโรค และการตรวจชันสูตรศพหรือการซากสัตว์ รวมทั้งการศึกษาวิจัยเรื่องดังกล่าวให้ถือว่าเป็นมูลฝอยติดเชื้อ

2.1.1.1 ซากหรือชิ้นส่วนของมนุษย์หรือสัตว์ที่เป็นผลมาจากการผ่าตัด การตรวจชันสูตรศพ หรือซากสัตว์ และการใช้สัตว์ทดลอง

2.1.1.2 วัสดุของมีคม เช่น เข็ม ใบมีด กระบอกฉีดยา หลอดแก้วภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ และแผ่นกระจกปิดสไลด์

2.1.1.3 วัสดุซึ่งสัมผัสหรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด ส่วนประกอบของเลือดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเลือด สารน้ำจากร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์ หรือวัคซีนที่ทำจากเชื้อโรคที่มีชีวิต เช่น สำลี ผ้าก๊อช ผ้าต่าง ๆ และท่อต่าง

2.1.1.4 มูลฝอยทุกชนิดที่มาจากห้องรักษาผู้ป่วยติดเชื้อร้ายแรง



ภาพที่ 2.1 ตราหรือสัญลักษณ์สำหรับพิมพ์บนภาชนะบรรจุมูลฝอยติดเชื้อ
ที่มา: กระทรวงสาธารณสุข (2559)

คณะกรรมการอนุสัญญาบาเซลโลน่า ภายใต้คณะกรรมการสิ่งแวดล้อม อ้างถึงใน คณิศร เทียนทองสวัสดิ์ (2552) กล่าวว่า ขยะติดเชื้อ หมายถึงขยะที่เกิดจากการตรวจวินิจฉัย รักษาคนไข้ หรือการใช้สัตว์ทดลองเป็นสารหรือวัตถุที่ไม่ใช้หรือใช้ไม่ได้ ซึ่งมีส่วนประกอบหรือเจือปนด้วยสิ่ง ที่ก่อให้เกิดโรค ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและชีวิตมนุษย์ได้แก่ เนื้อเยื่อ ชิ้นส่วนอวัยวะหรือ สิ่งขับถ่าย ของเหลวจากร่างกายของผู้ป่วย เลือดและผลิตภัณฑ์จากเลือด รวมทั้งสิ่งของหรือเครื่องใช้ สำหรับผู้ป่วยหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวกับสัตว์ทดลองที่ถูกทิ้งจากสถานพยาบาลและสถานประกอบการอื่น ๆ

จากคำจำกัดความของ “มูลฝอยติดเชื้อ” หรือ “ขยะติดเชื้อ” ดังที่กล่าวมาข้างต้น สรุปได้ว่า มูลฝอยติดเชื้อ หมายถึง สิ่งของที่ไม่ต้องการทั้งที่ใช้แล้วและยังไม่ได้ใช้ โดยถูกทิ้งจากสถาน บริการสาธารณสุข ห้องทดลองหรือสถาบันวิจัย ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการทางการแพทย์ การตรวจวินิจฉัย การวิจัยและทดลอง ทั้งจากมนุษย์และสัตว์ โดยสิ่งของดังกล่าวอาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่ และสามารถทำให้เกิดการติดต่อจากการแพร่กระจายของเชื้อโรคแก่ผู้สัมผัส หรือผู้ใกล้ชิดได้

2.1.2 การจัดการขยะติดเชื้อในประเทศไทย

กระทรวงสาธารณสุขมีหน้าที่เป็นผู้รับผิดชอบการจัดการขยะติดเชื้อ โดยกรมอนามัยมี บทบาทและขอบเขตงานด้านวิชาการต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการจัดการขยะติดเชื้อ (อาทิเช่น การเก็บรวบรวม การขนส่ง การทำลายเชื้อ) อย่างถูกต้องเหมาะสมเพื่อประโยชน์ในการ คัดกรองสวัสดิภาพของประชาชน (อำนาจ ยอดนิล, 2553) ทั้งนี้กรมอนามัยได้จัดแนวทางโดยมีข้อ ปฏิบัติซึ่งแบ่งเป็นหลักการดังนี้

2.1.2.1 การจัดเก็บขยะติดเชื้อ

ในการจัดเก็บขยะติดเชื้อจะต้องจำแนกประเภทของขยะติดเชื้อ ธารศ ศรีสถิตย์ (2558) กล่าวว่า การจำแนกขยะติดเชื้อในสถานพยาบาลของประเทศไทยได้แบ่งออกเป็นกลุ่มดังนี้

- (1) ขยะติดเชื้อที่เป็นของแข็ง เช่น สำลี ผ้าก๊อซ กระดาษชำระ
- (2) เศษชิ้นเนื้อหรืออวัยวะ
- (3) ขยะติดเชื้อที่เป็นของมีคม เช่น เข็มฉีดยา ใบมีด หรือของมีคมอื่น ๆ
- (4) กระจกฉีดยาที่เป็นพลาสติก สายน้ำเกลือ ขวดน้ำเกลือ
- (5) ของเสียที่เป็นของเหลว เช่น น้ำเลือด น้ำหนอง

ในการจำแนกขยะติดเชื้อ มีหลักเกณฑ์คือจะต้องมีการจำแนกตั้งแต่จุดกำเนิดขยะติดเชื้อคือ ห้องรักษาโรคหรือวินิจฉัยโรค ในการจำแนกต้องพิจารณาถึงความเป็นอันตรายและวิธีการในการบำบัด โดยใช้ลักษณะที่เห็นได้ชัดเจนหรือแตกต่างจากภาชนะรองรับขยะติดเชื้อทั่วไป ซึ่งปกติจะใช้ถุงพลาสติกสีแดงหรือสีส้มสำหรับรองรับขยะติดเชื้อ โดยถุงดังกล่าวจะต้องป้องกันการรั่วซึมและฉีกขาด จะต้องมีการติดสัญลักษณ์ที่แสดงให้เห็นว่าสำหรับรองรับขยะติดเชื้อไว้ภาชนะด้วยแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.1 ในการแยกเก็บ รวบรวม ขยะติดเชื้อ ณ แหล่งกำเนิดจะต้องทำการแยกขยะติดเชื้อที่มีลักษณะแตกต่างกันทิ้งลงในภาชนะรองรับเฉพาะ ซึ่งภาชนะที่รองรับต้องเป็นภาชนะที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการรั่วไหล แพร่กระจายและผู้ที่ปฏิบัติงานอาจได้รับบาดเจ็บและเชื้อโรคได้ โดยปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงในการคัดเลือกภาชนะรองรับที่เหมาะสม ได้แก่

(1) ชนิดของมูลฝอยติดเชื้อ (Waste Type) เพื่อจัดหาภาชนะรองรับหรือวัสดุที่ใช้ห่อหุ้มที่เหมาะสมกับชนิดของขยะติดเชืื่อนั้น ๆ เช่น ส่วนที่เป็นของเหลว จะต้องใส่ลงในถังรองรับขยะติดเชื้อที่มีฝาปิดอย่างสนิทมิดชิด ไม่มีการรั่วไหล ขยะติดเชื้อที่เป็นของแข็งหรือกึ่งแข็ง เช่น สำลี กระดาษชำระ ผ้าก๊อซฯ ต้องแยกถุงพลาสติกหรือถังรองรับที่เตรียมไว้ (Mantzaras and Voudrias, 2017) ขยะติดเชื้อที่เป็นวัตถุมีคม เช่น เข็มฉีดยา ต้องใส่ในถังรองรับที่แข็งแรง ป้องกันการแทงทะลุ ก่อนนำไปทิ้งลงในถุงพลาสติก สำหรับเข็มฉีดยาอาจใส่ลงในกล่องบรรจุเข็มเฉพาะ และขยะติดเชื้อประเภทเศษอวัยวะ กระดูก ให้ใส่ในถังรองรับหรือแยกใส่ถุงไว้ต่างหาก ดังภาพที่ 2.2

(2) ใช้ภาชนะรองรับที่สามารถเก็บรักษาให้ขยะติดเชื้ออยู่ในสภาพสมบูรณ์ไม่รั่วไหลหรือฉีกขาดระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง เช่นจะต้องใช้ถุงพลาสติกที่ป้องกันการรั่วซึมป้องกันการฉีกขาดและมีสีหรือสัญลักษณ์ที่ชัดเจน ควรปิดปากถุงแต่ละใบให้มิดชิดในระหว่างการเก็บรักษาและการขนส่ง และจะต้องไม่มีการบีบอัดขยะติดเชื้อหรือภาชนะบรรจุก่อนการบำบัด ในการบรรจุขยะติดเชื้อในถุงควรผูกปากถุงให้ห่างจากปากถุงประมาณ 1 ใน 4 ของความยาวถุง เพื่อป้องกันการฉีกขาด



ภาพที่ 2.2 ภาชนะรองรับขยะติดเชื้อ

2.1.2.2 การเคลื่อนย้ายและรวบรวมเพื่อรอทำลาย

แนวทางในการดำเนินงาน อาทิเช่น การกักเก็บขยะติดเชื้อเพื่อรอเคลื่อนย้าย หากภาชนะรองรับขยะติดเชื้อเป็นพลาสติกให้ใช้เพียงครั้งเดียว แล้วทำลายไปพร้อมกับขยะติดเชื้อ หากเป็นถังพลาสติกหรือภาชนะที่ทำด้วยวัสดุทนทานเช่น ถังโลหะ หากนำกลับมาใช้ใหม่จะต้องใช้

ถุงพลาสติกวางซ้อนด้านใน ส่วนตัวถังให้ล้างทำความสะอาดและฆ่าเชื้อ สำหรับสถานที่ใช้กักเก็บขยะติดเชื้อต้องเป็นสถานที่เฉพาะห้ามใช้ร่วมกับขยะทั่วไป ต้องมีสถานที่ตั้งที่เหมาะสม ระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บขยะติดเชื้อเพื่อรอทำลายให้กักเก็บไว้สั้นที่สุด โดยไม่ควรเกิน 3 วัน และระหว่างที่รอการเก็บขนขยะติดเชื้อเพื่อนำไปกำจัดจะต้องดูแลภาชนะรองรับขยะติดเชื้อมิให้มีการฉีกขาดหรือการกัดแทะของสัตว์พาหะนำโรคต่าง ๆ สำหรับการเคลื่อนย้ายขยะติดเชื้อใช้รถเข็นสำหรับเก็บขนขยะเท่านั้น สามารถทำความสะอาดได้ ผิวเรียบและมีช่องระบายน้ำมีผนังทึบและมีฝาปิดที่สามารถป้องกันสัตว์และแมลงเข้าไปในรถได้

2.1.2.3 การขนส่ง การขนส่งขยะติดเชื้อ มีมาตรการโดยทั่วไปเช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายขยะติดเชื้อในสถานบริการ หากจะต้องเพิ่มความระมัดระวังการตกหล่นของถุง รถที่ใช้เก็บขนขยะติดเชื้อต้องเป็นรถเฉพาะเก็บขนขยะติดเชื้อเท่านั้นที่มีปิดมิดชิด ควบคุมอุณหภูมิในรถได้ เมื่อบรรทุกแล้วไม่ทำให้ถุงหรือภาชนะรองรับขยะติดเชื้อแตกหรือฉีกขาด รถเก็บขนต้องมีลักษณะแตกต่างไปจากรถเก็บขนธรรมดา เช่น มีสัญลักษณ์หรือคำเตือนให้รู้ว่าเป็นรถเก็บขนขยะติดเชื้อ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 รถเก็บขนขยะติดเชื้อ

ที่มา: ภัทรภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558)

2.1.2.4 การทำลายเชื้อและการกำจัด การทำลายขยะติดเชื้อเป็นขั้นตอนที่จะทำลายเชื้อให้หมดไป ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ให้ถือเป็นหน้าที่ของสถานบริการหรือเจ้าของกิจการที่จะต้องติดต่อหรือจัดการอย่างใดอย่างหนึ่งทำให้ขยะติดเชื้อได้รับการทำลายอย่างถูกวิธี โดยทั่วไปตามมาตรฐานสากลมีการดำเนินการได้หลายวิธี (สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ, 2559: เว็บไซต์) ได้แก่

1) การเผา (Incineration) เป็นการทำลายเชื้อให้หมดไปและมีส่วนของขี้เถ้าหลงเหลืออยู่ ซึ่งต้องนำไปกำจัดที่บริเวณพื้นที่กำจัดขยะติดเชื้อ (Windfeld and Brook, 2015) การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยการเผาในเตาเผา ให้ใช้เตาเผาที่มีห้องเผาขยะติดเชื้อและห้องเผาควัน การเผาขยะติดเชื้อให้เผาที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 760 องศาเซลเซียส และในการเผาควันให้เผาด้วยอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม จะทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ ทั้งนี้ตามแบบเตาเผาที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนด และในการเผาต้องมีการควบคุมมาตรฐานอากาศเสียที่ปล่อยออกจากเตาเผาตามที่กระทรวงสาธารณสุขกำหนดด้วย

2) การทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ (Steam Sterilization/Auto claving) จะเป็นการฆ่าเชื้อโดยวิธีหนึ่ง เพื่อยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ ด้วยการ ใช้ไอน้ำร้อนอ้อมตัว ภายในถังแรงดัน (มักเรียกว่า Steam Sterilizer หรือ Autoclave หรือ Retort) ณ อุณหภูมิสูงเพียงพอสำหรับทำลายเชื้อโรคในขยะติดเชื้อได้ ระบบทำลายเชื้อด้วยไอน้ำ จะได้ผลดีขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอุณหภูมิ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่ขยะติดเชื้อทุกส่วนจะต้องสัมผัสกับอุณหภูมิที่ต้องการตามระยะเวลาที่กำหนด

3) การใช้สารเคมี (Chemical Disinfection) เป็นการบำบัดเบื้องต้นในกรณีที่กำลังจัดขยะติดเชื้อในสถานที่เป็นวิธีการที่สถานพยาบาลทั้งรัฐและเอกชนใช้มาก่อนวิธีอื่น ส่วนใหญ่จะใช้น้ำยาโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium Hypochloride) ความเข้มข้น 0.1 - 0.5% เทราดบนมูลฝอยติดเชื้อที่ใส่ในถุงพลาสติกแดง จากนั้นปิดปากถุงแล้วนำส่งให้ผู้ประกอบการเทศบาลหรือสุขาภิบาล หรือส่งเข้าเผาในเตาเผา การทำลายเชื้อด้วยวิธีนี้จะมีสารเคมีเจือปนอยู่ ดังนั้น การนำไปกำจัดต่อไป ต้องคำนึงถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องด้วย ส่วนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ นอกสถานที่ด้วยวิธีนี้ ยังไม่เป็นที่ยอมรับกันแพร่หลาย และในประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดใช้จึงไม่สามารถสร้างมาตรฐานวิธีการกำจัดได้ชัดเจน

4) การใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Microwave) การทำลายเชื้อโดยใช้ความร้อน ความร้อนนี้เกิดขึ้นโดยการฉีดยาลองน้ำให้สัมผัสขยะติดเชื้ออย่างทั่วถึง แล้วใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้เกิดความร้อนแก่ละอองน้ำควบคุมการทำลายเชื้อด้วยการตัดย่อยขยะติดเชื้อ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน โดยควบคุมให้ทำงานที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 20 นาที

ทั้งนี้ขยะติดเชื้อจำเป็นที่จะต้องได้รับการทำลายเชื้อก่อนนำไปกำจัดด้วยวิธีปกติ ซึ่งการทำลายเชื้อบางวิธีสามารถทำลายเชื้อและกำจัดหรือแปรสภาพได้ทันที เช่น การเผา แต่อย่างไรก็ตามยังคงเหลือกาก เพื่อนำไปกำจัดขยะติดเชื้อในขั้นสุดท้ายอยู่เช่นกัน ตาม พ.ร.บ. การสาธารณสุข พ.ศ.2535 ที่ได้มอบหมายให้การจัดเป็นหน้าที่ของราชการส่วนท้องถิ่นในการดำเนินการ ดังนั้น ข้อเสนอในการดำเนินการเรื่องนี้ สามารถดำเนินการทั้งในขั้นตอนการทำลายเชื้อและการกำจัดโดย

(1) ราชการส่วนท้องถิ่นดำเนินการเอง โดยจัดให้มีระบบการทำลายเชื้อและกำจัดกากและให้บริการในส่วนท้องถิ่นนั้น

(2) ราชการส่วนท้องถิ่นมอบให้ผู้ใดผู้หนึ่งดำเนินการ เช่น ออจมอบให้สถานบริการดำเนินการเอง จากนั้นต้องมีการกำจัดกากหรือขยะติดเชื้อที่ทำให้ปราศจากเชื้อแล้ว โดย ราชการส่วนท้องถิ่นเอง

(3) ให้เอกชนดำเนินการขออนุญาตดำเนินการโดยเก็บค่าบริการจากสถานบริการ ซึ่งไม่ว่าจะมีการดำเนินการโดยใช้เทคนิคใด จะต้องเป็นไปตามความเหมาะสมในสภาพพื้นที่ และสอดคล้องกับมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข

การกำจัดขยะติดเชื้อสามารถทำได้หลายวิธี แต่การใช้เตาเผาเป็นวิธีที่ได้รับการนิยมนมากที่สุด เนื่องจากสามารถทำลายและลดปริมาณขยะติดเชื้อลงได้มาก หลักการสำคัญของเตาเผา คือ การทำลายของเสียให้สมบูรณ์โดยเหลือกากให้น้อยที่สุด โดยการเปลี่ยนรูปของของเสียให้กลับเป็นของแข็งและก๊าซ เตาเผาขยะติดเชื้อได้ถูกกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทั้งอากาศเสียออกสู่บรรยากาศตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและ

สิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดให้เตาเผามูลฝอยติดเชื้อเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศออกสู่บรรยากาศ พ.ศ. 2546 (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) โดยในประกาศดังกล่าว ได้ให้นิยามของคำว่า “เตาเผาขยะติดเชื้อ” หมายความว่า ระบบหรืออุปกรณ์ใด ๆ ที่ใช้เพื่อกำจัดขยะติดเชื้อด้วยวิธีการเผาไหม้และได้แบ่งเตาเผาขยะติดเชื้อออกเป็น 2 ประเภทคือ เตาเผาขยะติดเชื้อเก่า ซึ่งหมายถึงเตาเผาที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้างหรือเริ่มเดินระบบก่อนวันที่ประกาศนี้มีผลบังคับใช้และเตาเผาใหม่ หมายความว่า เตาเผาที่เริ่มดำเนินการก่อสร้างและเดินระบบตั้งแต่วันที่ถัดจากวันประกาศราชกิจจานุเบกษา โดยมีผลบังคับใช้เมื่อพ้นกำหนด 6 ปี นับตั้งแต่วันที่ถัดจากวันประกาศราชกิจจานุเบกษา สำหรับเตาเผาเก่าและเมื่อพ้น 1 ปี สำหรับเตาเผาใหม่ ราช.ศ.ส.ส. (2558) ได้กล่าวว่าเตาเผาที่นิยมใช้ในการทำลายขยะมูลฝอยติดเชื้อมีดังนี้

(1) แบบ Rotary Kiln เป็นแบบห้องเผาที่สามารถหมุนพลิกได้ตลอดห้องเผา

(2) เตาเผาแบบ Multiple – health incinerator หรือ Multiple chamber

(3) เตาเผาแบบ Fluidized – Bed

องค์ประกอบที่สำคัญของเตาเผาขยะติดเชื้อ ได้แก่

(1) กระบวนการป้อนขยะติดเชื้อ (Feeding process) ซึ่งประกอบด้วย บ่อรับมูลฝอย(storage pit) และระบบป้อนขยะ การส่งขยะติดเชื้อเข้าสู่เตาเผาใช้ปั้นจั่นคีบขยะมูลฝอย (Crane) กรวยและรางรับขยะติดเชื้อ (Hopper & Chute)

(2) กระบวนการเผา (Incineration process) โดยต้องพิจารณาถึงความปั่นป่วนในห้องเผาไหม้ (Furnace turbulence) เวลาสัมผัส(Retention time) อุณหภูมิของการเผาไหม้ (Furnace temperature) อัตราการเผาไหม้ (Burning Rate) และพื้นที่แผงตะกรับ (Grate area)

(3) กระบวนการทำให้ไอเสียเย็นลงและการนำความร้อนไปใช้ประโยชน์

(4) กระบวนการจัดกำจัดไอเสีย(Flu gas treatment process)

(5) กระบวนการบำบัดน้ำเสีย(Wastewater treatment process)

เจริญ ชุมมวล และคณะ (2552) สำรวจรูปแบบการกำจัดขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน 8 จังหวัด ทั้งสิ้น 107 แห่ง โรงพยาบาลแต่ละแห่งมีเตาเผาขยะติดเชื้อเป็นของตัวเอง โดยมีเตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 25, 50, 100 และ 150 กิโลกรัม/ชั่วโมง ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีการใช้งานมากที่สุดคือขนาด 50 กิโลกรัม/ชั่วโมง สถานภาพการทำงานของเตามีสภาพดีใช้งานได้คิดเป็นร้อยละ 18.42 ส่วนเตาที่สภาพชำรุดคิดเป็นร้อยละ 81.58 ต่อมานักวิจัยได้มีการนำปัญหานี้มาแก้ปัญหาด้วยวิธีทางวิศวกรรมในการเลือกตำแหน่งพื้นที่ในการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ พร้อมทั้งเลือกขนาดเตาเผาที่มีความเหมาะสม อนุชา ศรีบุรัมย์ (2556) แก่ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย จำนวนทั้งหมด 107 แห่ง โดยความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 ขนาด คือ ความจุตั้งแต่ 400, 800 และ 1,200 กิโลกรัมต่อวัน และค่าดำเนินการที่พิจารณา 3,569, 4,579 และ 5,543 บาท/วัน ตามลำดับ (ภัทรารณ ศรีเสนพิลา, 2558; ปิยะเชษฐ์ สมนึก, 2559; กฤติกา โภพลรัตน์, 2560) พิจารณาเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย จำนวนทั้งหมด 109 แห่ง โดยพิจารณาจากอัตราความสามารถในการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อเอกชนที่ขนาดความจุ 800, 2,400 และ 4,800 กิโลกรัมต่อวัน ร่วมกับการแก้ปัญหา

การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งโรงพยาบาลชุมชนทั้ง 109 แห่ง ด้วยวิธีฮิวริสติกส์และเมตาฮิวริสติก (นรงค์ วิชาผา, 2560) สัมผัสเกี่ยวกับการดำเนินงานที่ผ่านมาในอดีตพบว่าการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อด้วยเตาเผาภายในโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน เกิดปัญหาที่น่ากังวลหลายประการ เช่น ปัญหามลพิษรบกวนเจ้าหน้าที่และชุมชนรอบข้าง ปัญหาพื้นที่ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อไม่สะดวก และปัญหาการซ่อมแซมเตาเผาไม่ทันเวลา เนื่องจากติดระเบียบราชการในการของบประมาณในการซ่อมแซม เป็นต้น สำหรับปัญหาการใช้บริการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อจากเอกชน พบปัญหาที่น่ากังวล เช่น ปัญหาการมารับมูลฝอยติดเชื้อล่าช้าและปัญหาการไม่มารับมูลฝอยติดเชื้อ เนื่องจากสถานที่กำจัดมูลฝอยติดเชื้อของเอกชนตั้งอยู่ห่างไกลจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ผู้วิจัยจึงพิจารณาพื้นที่ตำแหน่งของเทศบาลที่มีศักยภาพหรือมีความพร้อมจำนวน 6 แห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่เทศบาลเมืองมหาสารคาม เทศบาลเมืองหนองบัวลำภู เทศบาลเมืองกาฬสินธุ์ เทศบาลนครสกลนคร เทศบาลเมืองหนองคาย และเทศบาลเมืองเลย เป็นตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กำจัดขยะติดเชื้อแบบครบวงจร พร้อมทั้งเลือกใช้เทคโนโลยีในแบบเตาเผา ขนาดความจุทั้งหมด 3 ขนาดได้แก่ 1,000, 1,500 และ 3,000 กิโลกรัมต่อวัน มีต้นทุนการก่อสร้างและต้นทุนการดำเนินงาน 231,203, 314,580 และ 554,603 บาทต่อวัน ตามลำดับ สามารถสรุปรายละเอียดของงานวิจัยที่มีการพิจารณาเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อ จำนวนตำแหน่งที่เปิดเตาและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ถูกเลือกลักษณะของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและเลือกขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ผู้วิจัย	โรงพยาบาล ที่รับบริการ (แห่ง)	จำนวน ตำแหน่งที่ เปิดเตา	ขนาดเตาเผา ขยะติดเชื้อที่ถูก เลือก (กิโลกรัมต่อวัน)	ลักษณะของปัญหา	วิธีที่ใช้ในการ หาคำตอบ
อนุชา ศรีบุรัมย์ (2556)	107	3	400 และ 800	เลือกที่ตั้งเตาและจัด เส้นทางยานพาหนะขนส่ง	Ant Colony Optimization
ภัทรภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558)	109	9	800 2,400 และ 4,800	เลือกที่ตั้งเตาและขนาด เตาเผาขยะติดเชื้อ	Particle Swarm Optimization
ปิยเชษฐ์ สมนึก (2559)	109	9	2,400	เลือกที่ตั้งเตาและขนาด เตาเผาขยะติดเชื้อ	ฮิวริสติกส์ที่ พัฒนาขึ้น
กฤติกา โกพลรัตน์ (2560)	109	2	2,400	เลือกที่ตั้งเตาและจัด เส้นทางยานพาหนะขนส่ง	Iterated Local Search
นรงค์ วิชาผา (2560)	107	2	1,000	เลือกที่ตั้งเตาและจัด เส้นทางยานพาหนะ ขนส่ง	The fuzzy analytical hierarchy process and fuzzy goal programming

อย่างไรก็ตามการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยวิธีการเผาจะต้องคำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับชุมชนและสภาพแวดล้อมเป็นอย่างยิ่ง เช่นกลิ่น คิวหรือเศษชี้เถ้าจากการเผาที่อาจตกค้างในแหล่งน้ำหรืออากาศ จึงควรมีการพิจารณาดำเนินงานหรือสถานที่สำหรับการทำลายขยะติดเชื้อดังกล่าวที่เหมาะสม เพื่อมิให้เกิดอันตรายหรือเกิดผลกระทบน้อยที่สุด (Almeida, Rodrigues and Current, 2009)

จันทนา มณีอินทร์ (2556) ศึกษาถึงการจัดการขยะติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นตั้งแต่ นโยบาย การดำเนินการคัดแยก เก็บรวบรวม ขนส่งและกำจัดขยะติดเชื้อดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้ แบบสอบถาม การสังเกตการณ์ในพื้นที่ และการสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง การวิเคราะห์ข้อมูลการจัดการขยะติดเชื้อการวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อ โดยใช้เทคนิค SWOT Analysis ผลการศึกษา พบว่า องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีนโยบายและ ความพร้อม ในการ ดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อเพียงร้อยละ 2.3 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำนวนร้อยละ 81.9 ไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อ มีการคัดแยกขยะติดเชื้อออกจากขยะมูลฝอยชุมชน เพียงร้อยละ 3.7 ซึ่งเป็นการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดร้อยละ 50 คัดแยกโดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นร้อยละ 42.9 และไม่ระบุว่ามี การคัดแยกจากแหล่งใดร้อยละ 7.1 การเก็บรวบรวมและขนส่งขยะติดเชื้อดำเนินการโดยสถานบริการสาธารณสุขร้อยละ 54.9 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นร้อยละ 4.8 เอกชน ร้อยละ 3.2 และไม่มีการเก็บข้อมูลจำนวนร้อยละ 37.1 องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นแบ่งการจัดการขยะติดเชื้อออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็ก ได้แก่องค์กรบริหารส่วนตำบลและเทศบาลตำบล ไม่มีนโยบายการจัดการขยะติดเชื้อ โดยให้สถานบริการพยาบาลเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อเอง เนื่องจากขาดความพร้อมและศักยภาพในการจัดการ และ กฎหมายยกเว้นในส่วนของการดำเนินการเก็บรวบรวม ขนส่ง และกำจัดขยะติดเชื้อ 2) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดกลาง ได้แก่ เทศบาลเมือง ส่วนใหญ่ไม่มีการจัดการขยะติดเชื้อ สถานบริการพยาบาลเป็นผู้รับผิดชอบในการจัดการขยะติดเชื้อของตนเอง มีการออกเทศบัญญัติเพื่อใช้บังคับภายในท้องถิ่นซึ่งขึ้นอยู่ผู้บริหารในการกำหนดนโยบาย ตลอดจนความพร้อมและศักยภาพของ เทศบาลเมืองแต่ละแห่ง 3) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดใหญ่ ได้แก่ เทศบาลนครและองค์การบริหารส่วนจังหวัด ส่วนใหญ่ไม่มีการดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อ มีเพียงบางแห่งที่มีการดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อแบบครบวงจรหรือบางส่วน ซึ่งผู้บริหารเป็นผู้กำหนดนโยบายในการจัดการมูลฝอยติดเชื้อที่ชัดเจน โดยพิจารณาจากความพร้อมและศักยภาพซึ่งส่วนใหญ่ มีศักยภาพเพียงพอในการ ดำเนินการ แต่บางแห่งอาจขาดความพร้อมในการจัดการขยะติดเชื้อที่ กฎหมายให้ทางเลือกในหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตาม องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดใหญ่มีความเหมาะสมสำหรับการจัดระบบการจัดการขยะติดเชื้อแบบครบวงจรมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทั้ง 3 กลุ่ม สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการจัดการขยะติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นประกอบด้วย ปัจจัยภายใน ได้แก่ จำนวนประชากร ปริมาณขยะติดเชื้อ ผู้บริหาร นโยบายการจัดการขยะติดเชื้อกฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับ และความพร้อมและศักยภาพขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและปัจจัยภายนอก ได้แก่ นโยบายการจัดการขยะติดเชื้อของภาครัฐ กฎหมาย ระเบียบ ข้อบังคับ และความร่วมมือจากหน่วยงานภายนอกที่เกี่ยวข้องและประชาชนในท้องถิ่น

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือส่วนใหญ่ประสบปัญหาจากกระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อทั้งในส่วนของอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการกำจัด ต้นทุนการกำจัด ตลอดจนปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการกำจัดขยะติดเชื้อ ดังนั้นการที่มีสถานที่กำจัดขยะติดเชื้อตั้งอยู่และให้บริการเผาขยะติดเชื้อในภูมิภาคโดยตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่เหมาะสมจะสามารถลดปัญหาดังกล่าวมาได้ นักวิจัยหลายท่านได้ทำการแก้ไขปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลชุมชนเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน ส่วนใหญ่พิจารณาพื้นที่ที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งของโรงพยาบาล ซึ่งโรงพยาบาลชุมชนส่วนใหญ่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ชุมชนอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมได้ อีกทั้งในส่วนองเตาเผาขยะติดเชื้อมีการพิจารณาขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่แตกต่างกันซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการให้บริการเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในหนึ่งเดือน มีการนำเครื่องมือทางวิศวกรรมต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาและเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การแก้ปัญหาดังกล่าวสอดคล้องและสามารถนำไปใช้ได้จริงในสถานการณ์ปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพิจารณาพื้นที่ที่เหมาะสมในการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ไม่ขัดต่อกฎหมายและไม่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชน พิจารณานาขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อตามความสามารถในการเผาของเตาเผาขยะติดเชื้อเอกชน ตลอดจนจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีระยะทางสั้นที่สุด และมีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด

2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) เหมาะสมของสถานที่ให้บริการ เช่นโรงงาน ศูนย์กระจายสินค้า หรือโรงพยาบาล เป็นต้น เป็นการกำหนดจำนวน ขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเหล่านี้พร้อมทั้งจัดสรรการให้บริการจากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้า ทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกองค์กร เพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทางหรือเวลาในการส่งมอบสินค้าหรือบริการน้อยที่สุด ปรุพท์ มะยะเฉียว (2555) กล่าวว่าในปัจจุบันปัญหา FLP นิยมแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการวิจัยดำเนินงาน ด้วยการจำลองปัญหาและเงื่อนไขในการตัดสินใจในสถานการณ์จริงให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ Barbati (2013) กล่าวว่าวัตถุประสงค์ของการตั้งสถานที่ให้บริการและข้อจำกัดของแต่ละองค์กรแตกต่างกันจึงทำให้รูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความหลากหลายแตกต่างกันไปด้วย หากเป็นวัตถุประสงค์แบบดึง (pull objective) นั่นคือสถานที่ให้บริการนั้นเป็นที่ต้องการของชุมชนหรือบุคคลทั่วไปเช่นโรงเรียน ห้างสรรพสินค้า สถานีรถไฟหรือโรงพยาบาล เป็นต้น ลูกค้าจะถูกดึงเข้าหาสถานที่ให้บริการที่ใกล้ที่สุดหรือหากสถานที่ให้บริการนั้นไม่เป็นที่ต้องการหรือเป็นที่น่ารังเกียจเช่น จุดทิ้งขยะหรือจุดบำบัดของเสียวัตถุประสงค์ของการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการจะเป็นแบบผลัก (push objective) คือสถานที่ให้บริการอยู่ในตำแหน่งที่มีระยะทางห่างจากลูกค้ามากที่สุด ทั้งนี้อาจพิจารณาวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการอื่น ๆ ร่วมด้วยเช่น สภาพการณ์ในการตัดสินใจ (ความแน่นอน ไม่แน่นอนของข้อมูลหรือความเสี่ยง) ช่วงระยะเวลาที่พิจารณาความเหมาะสม จำนวนสถานที่ให้บริการ รูปแบบการ

พิจารณาดำแหน่งที่จะเลือกเป็นสถานที่ตั้ง รูปแบบการให้บริการลูกค้าหรือความหลากหลายของประเภทสินค้าที่สถานที่ให้บริการจะสามารถให้บริการได้ เป็นต้น ปัญหา FLP ที่พิจารณา ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำให้การตัดสินใจและพิจารณาปัจจัยนำเข้าเช่น ตำแหน่งของลูกค้า ต้นทุนการขนส่งหรือความต้องการของลูกค้า เป็นต้น (จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน, 2555) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทย่อยตามวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการดังนี้

2.2.1 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum Facility Location Problems)

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม (ซึ่งหมายถึง ระยะทาง หรือ เวลาในการขนส่ง ซึ่งอาจมีการถ่วงน้ำหนักตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ก็ได้) ระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้าทุกคนมีค่าน้อยที่สุด มีรูปแบบทั่วไปของ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\text{Minimize} \quad \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (2.1)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_j X_j = p \quad (2.2)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad ; \forall i \quad (2.3)$$

$$\sum_i h_i Y_{ij} \leq s_j X_j \quad ; \forall j \quad (2.4)$$

$$X_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (2.5)$$

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

โดยมีข้อมูลนำเข้าคือ

h_i เป็นปริมาณสินค้าหรือบริการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ j

d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างลูกค้าที่อยู่ตำแหน่งที่ i กับสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่ง j

s_j เป็นขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j และ

มีตัวแปรตัดสินใจ คือ

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าเลือกตั้งสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ } j \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

$$Y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าลูกค้าที่ตำแหน่งที่ } i \text{ ได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ } j \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

สมการเป้าหมาย (2.1) เป็นการหาค่าระยะทางรวมระหว่างลูกค้าและสถานที่ให้บริการ
ข้อจำกัด (2.2) เป็นข้อจำกัดในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งให้บริการให้เท่ากับจำนวน
แหล่งให้บริการที่กำหนด (P แห่ง) ข้อจำกัด (2.3) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะ ได้รับการให้บริการจาก
แหล่งให้บริการ ข้อจำกัด (2.4) แสดงถึงว่าลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะรับบริการจากสถานที่ให้บริการที่
ตำแหน่ง j ได้ ก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่ j มีสถานที่ให้บริการตั้งอยู่ และสถานที่ให้บริการจะให้บริการได้
ไม่เกินขีดความสามารถในการให้บริการที่มีอยู่ ถ้าหากสถานที่ให้บริการที่พิจารณานั้นไม่มีข้อจำกัด
ด้านขีดความสามารถในการให้บริการจะแทนสมการนี้ด้วยสมการ $y_{ij} \leq x_j; \forall i, \forall j$ ส่วน สมการที่ (2.5)
และ (2.6) แสดงข้อจำกัดเชิงตัวเลขของ ตัวแปรในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรบริการ

2.2.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการ ของลูกค้า (Covering Problem)

ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับ
บริการได้อย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้ เช่น สถานีดับเพลิง โรงพยาบาล เป็นต้น
(Berman, Drezner and Krass, 2010) ปัญหาประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

2.2.2.1 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนน้อยที่สุด (Set
Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โดยใช้จำนวนหรือต้นทุนใน
การสร้างสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุดเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มลูกค้าทั้งหมด ซึ่งมีแบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์ทั่วไปดังนี้

$$\text{Minimize } \sum_j C_j x_j \quad (2.7)$$

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

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (2.9)$$

โดยมีข้อมูลนำเข้าเพิ่มเติม คือ

C_j เป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานที่ให้บริการ

S เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดหรือระยะเวลานานที่สุดที่ยอมรับได้จากสถานที่
ให้บริการไปยังลูกค้า

N_i เป็นเซตของตำแหน่งที่ตั้งที่อยู่ห่างจากลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ด้วยระยะทาง
ที่ยอมรับได้ (นั่นคือ $N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$)

สมการ (2.7) แสดงเป้าหมายการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเพื่อให้ต้นทุนก่อสร้าง หรือ
จำนวนสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด สมการข้อจำกัด (2.8) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับบริการจาก
สถานที่ให้บริการที่อยู่ภายในระยะทางที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งแห่ง ส่วนสมการข้อจำกัดที่ (2.9) เป็น
ข้อจำกัดเชิงตัวเลข

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

$$\text{Minimize} \quad \sum_i h_i z_i \quad (2.10)$$

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

$$\sum_j x_j = P \quad (2.12)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (2.13)$$

$$z_j \in \{0,1\} \quad ; \forall i \quad (2.14)$$

โดยมีตัวแปรตัดสินใจเพิ่มเติม คือ

$$z_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ } i \text{ ถูกครอบคลุม} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

สมการที่ (2.10) เป็นการครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด โดยมีสมการข้อจำกัด (2.11) รับประกันว่าลูกค้าที่ถูกครอบคลุมจะได้รับการให้บริการจากสถานที่ให้บริการที่ตั้งอยู่ภายในระยะทางที่กำหนด สมการข้อจำกัด (2.12) แสดงถึงข้อจำกัดของจำนวนของตำแหน่งที่ตั้งที่จะถูกเลือกจะมีจำนวนเท่ากับ P แห่งเท่านั้น และ สมการ (2.13) และ (2.14) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข Church and Reville (1974) ได้เสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ได้จากการปรับปรุงรูปสมการ (2.10) ใหม่ให้อยู่ในรูปสมการที่ (2.15)

$$\text{Minimize} \quad \sum_i h_i \bar{z}_i \quad (2.15)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j \in N_i} x_j + \bar{z}_i \geq 1 \quad ; \forall i \quad (2.16)$$

$$\sum_j x_j = P \quad (2.17)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (2.18)$$

$$z_j \in \{0,1\} \quad ; \forall i \quad (2.19)$$

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจใหม่ คือ

$$\bar{z}_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ } i \text{ ถูกครอบคลุม} \\ 0 & \text{ถ้าไม่ใช่} \end{cases}$$

โดยที่ $\bar{z}_i = 1 - z_i$ และมีเป้าหมายให้จำนวนของลูกค้าที่ไม่ถูกครอบคลุมมีจำนวนน้อยที่สุด จากนั้นผ่อนปรนเงื่อนไขที่ (2.16) และ (2.17) ซึ่งจะทำให้สมการเปลี่ยนเป็นปัญหาการกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Problems) และเมื่อแก้ปัญหาด้วยวิธีการสำหรับปัญหาการกำหนดการเชิงเส้นแล้วพบว่ามากกว่า 80% ของปัญหาจะให้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นจำนวนเต็ม

2.2.2.3 ปัญหาระยะทางไกลที่น้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems)

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานที่ให้บริการ P แห่งเพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุดได้อยู่ใกล้สถานที่ให้บริการมากที่สุด โดยทั่วไปจะเรียกปัญหานี้ว่าปัญหา p -Center ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Minimize } D \quad (2.20)$$

$$\text{subject to } \sum_j x_j = P \quad (2.21)$$

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad ; \forall i \quad (2.22)$$

$$Y_{ij} \leq x_j \quad ; \forall i ; \forall j \quad (2.23)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij} \quad ; \forall i \quad (2.24)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad ; \forall j \quad (2.25)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \forall i, \forall j \quad (2.26)$$

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจเพิ่ม คือ D เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดระหว่างลูกค้ากับสถานที่ให้บริการที่อยู่ใกล้ที่สุด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในสมการ (2.20) เป็นการทำให้ระยะทางที่ไกลที่สุดมีค่าน้อยที่สุด ข้อจำกัด (2.21) เป็นข้อจำกัดในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งให้บริการให้เท่ากับจำนวนแหล่งให้บริการที่กำหนด (P แห่ง) ข้อจำกัด (2.22) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับการให้บริการจากแหล่งให้บริการ ข้อจำกัด (2.23) แสดงถึงว่าลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะรับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่ง j ได้ ก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่ j มีสถานที่ให้บริการตั้งอยู่ และสถานที่ให้บริการจะให้บริการได้ไม่เกินขีดความสามารถในการให้บริการที่มีอยู่ในกรณีที่ไม่มี ข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการ สมการ (2.24) เป็นการจำกัดระยะทางที่ไกลที่สุดของลูกค้าและสมการ (2.25) และ (2.26) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2.2.2.4 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่ไม่พึงประสงค์ (Obnoxious Facility Location Problems) สถานที่ให้บริการที่กล่าวถึงในปัญหาข้างต้นนั้น เป็นสถานที่ให้บริการที่มีลักษณะทั่วไปคือ ยิ่งลูกค้าอยู่ใกล้ยิ่งสะดวกและดี แต่ปัญหาในประเภทนี้เกิดขึ้นกรณีที่สถานที่ให้บริการไม่เป็นที่พึงประสงค์ให้มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มลูกค้า เนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของสถานที่ใกล้เคียง แต่ก็ยังเป็นสถานที่ที่มีประโยชน์ และยังคงไม่ต้องการให้อยู่ห่างจากลูกค้าจนเกินไป เนื่องจากเหตุผลด้านต้นทุนการขนส่ง เช่น โรงงานกำจัดขยะ โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์ 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

4) 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

Owen and Darkin (1998) ได้จำแนกลักษณะปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตามลักษณะของสมการเป้าหมายออกเป็น 3 ประเภทคือ ปัญหาปกคลุม (Covering problems) ปัญหาระยะทางเฉลี่ย (Average distance problems) และปัญหาศูนย์กลาง (Center problems) โดย

ปัญหาระยะทางเฉลี่ย (Average distance problems) ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย (Hakimi, 1964) มีชื่อเรียกว่า P-median Problem ปัญหา P-median มีการให้ความสำคัญในเรื่องความสามารถในการส่งสินค้าของจุดกระจายสินค้าที่มีจำกัดและลูกค้ามีความต้องการที่จำกัดเช่นกัน โดยมีรูปแบบทางคณิตศาสตร์ดังนี้

ดัชนี

i ลำดับของแหล่งวัตถุดิบในการผลิตโดยที่ $i = 1, 2, \dots, I$

j ลำดับของจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงานโดยที่ $j = 1, 2, \dots, J$

พารามิเตอร์

P เป็นจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าที่จะตั้ง

d_{ij} ระยะทางระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j

ตัวแปรตัดสินใจ

$Y_i = 1$ เมื่อมีการเปิดศูนย์กระจายสินค้า i

0 เมื่อไม่มีการเปิดศูนย์กระจายสินค้า i

$x_{ij} = 1$ เมื่อมีการส่งหรือรับสินค้าระหว่าง i ไป j

0 เมื่อไม่มีการส่งหรือรับสินค้าระหว่าง i ไป j

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I d_{ij} x_{ij} \quad (2.27)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{j=1}^J x_{ij} \leq Y_i \quad ; \forall i \quad (2.28)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} = 1 \quad ; \forall j \quad (2.29)$$

$$\sum_{i=1}^I Y_i = P \quad ; \forall j \quad (2.30)$$

สมการเป้าหมาย (2.27) เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำสุด สมการข้อจำกัดที่ (2.28) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งวัตถุดิบให้กับโรงงานเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (2.29) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบจะไม่ส่งวัตถุดิบให้โรงงานที่ยังไม่ได้เปิด สมการที่ (2.30) จำนวนโรงงานที่เปิดเท่ากับ P แห่ง จากการวิเคราะห์รูปแบบทางคณิตศาสตร์ศูนย์กระจายสินค้าแบบ P-median คือปัญหาการเลือกตำแหน่งของศูนย์กระจายสินค้าจำนวน P แห่งภายในจำนวนลูกค้า n แห่ง รวมไปถึงการตัดสินใจว่าศูนย์กระจายสินค้า ที่ถูกเลือกจะส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนใดบ้าง โดยให้ระยะทางการขนส่งของรวมจากทุกศูนย์กระจายสินค้าให้กับลูกค้าทุกคนสั้นที่สุด ซึ่งจะสามารถเพิ่มเติมในส่วน

ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในส่วนของค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น ขนาดความจุของโรงงานที่รับได้ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปิดโรงงาน และปริมาณวัตถุดิบที่มีในแหล่งวัตถุดิบนั้น

Luis, Shalhi and Nagy (2009) เสนอความคิดเห็นจากวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง Cooper's alternating transportation-location heuristics ที่มีการเลือกจุดที่ตั้ง (depot) ด้วยกระบวนการสุ่ม โดยเห็นต่างว่าจุดที่ตั้งที่กำหนดขึ้นไม่ควรมีระยะห่างใกล้กับจุดที่ตั้งเดิมหรือจุดอื่น ๆ มากเกินไปเพราะอาจส่งผลถึงต้นทุนการลงทุนและต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้น จึงนำเสนอวิธีการหาเขตต้องห้าม (Region-rejection) ด้วยการหารัศมีเพื่อระบุขอบเขตต้องห้ามของจุดที่ตั้งเดิมและมีเงื่อนไขว่าจุดที่ตั้งใหม่จะต้องอยู่ห่างจากจุดเดิมไม่น้อยกว่ารัศมีนั้น

วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา (2558) พิจารณาเลือกทำเลที่ตั้งของโรงปรับปรุงคุณภาพข้าว ด้วยวิธีการเลือกที่ตั้งตามลักษณะของปัญหาระยะทางเฉลี่ยหรือ P-Median Problem ภายใต้ความไม่แน่นอนในการผลิตข้าวของแต่ละพื้นที่ เนื่องด้วยสภาพภูมิอากาศในแต่ละปีของพื้นที่นั้น ๆ เพื่อให้ระยะทาง (หรือค่าใช้จ่าย) ในการขนส่งโดยรวมต่ำสุด พร้อมทั้งเสนอให้มีการพิจารณาความไม่แน่นอนอื่น ๆ อาทิเช่น ระยะเวลาในการขนส่งข้าวจากแหล่งผลิตไปยังโรงปรับปรุงพันธุ์ข้าวเข้ามาปรับใช้แทนระยะทาง อีกทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะพิจารณาถึงรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งข้าว เพื่อให้ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสมบูรณ์และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้

Almeida and et al. (2009) นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการเลือกสถานที่เพาะขยายอันตรายในประเทศโปรตุเกส โดยใช้แนวคิดแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมหลายวัตถุประสงค์ในการพิจารณาสถานที่เพาะขยายอันตรายและปริมาณขยายอันตรายที่สถานที่นั้น ๆ จะสามารถรองรับได้ ในการเลือกสถานที่เพาะขยายอันตรายมีทั้งสิ้น 5 วัตถุประสงค์แสดงได้ดังนี้

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N I_i y_i \quad (2.31)$$

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อลดต้นทุนในการลงทุนเปิดเตาเผาขยะ i

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N E_i x_i \quad (2.32)$$

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อลดต้นทุนดำเนินการเปิดเตาเผาขยะ i

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^P \frac{n_j f_{ij}}{h} x_i \quad (2.33)$$

วัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น (วัดเป็นค่าเฉลี่ยต่อคน)

$$\text{Minimize } M \quad (2.34)$$

วัตถุประสงค์ที่ 4 เพื่อลดค่าเฉลี่ยผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดในทุกตำบลในเขต Coimbra

$$\text{Minimize } T \quad (2.35)$$

วัตถุประสงค์ที่ 5 เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากสมการข้อจำกัด เช่น

$$x_i \leq L_i y_i \quad i = 1, \dots, N \quad (2.36)$$

เพื่อรับประกันว่าปริมาณขยะที่ดำเนินการเผาจะต้องไม่เกินความสามารถในการเผาขยะของเตาเผาขยะ i กำหนดให้

พารามิเตอร์:

I_i คือ ต้นทุนในการลงทุนเปิดเตาเผาขยะ i

E_i คือ ต้นทุนดำเนินการเปิดเตาเผาขยะ i ใน 1 เดือน

n_j คือ จำนวนผู้อยู่อาศัยในตำบล j ในเขต Coimbra

f_{ij} คือ ค่าเฉลี่ยผลกระทบที่ตำบล j จะได้รับเมื่อมีการเผาขยะที่เตาเผาขยะ i ต่อวัน (1 ต้นต่อวัน)

h คือ จำนวนประชากรทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในเขต Coimbra

x_i คือ ปริมาณขยะ(ต้นต่อวัน)ที่เตาเผาขยะ i สามารถรองรับได้

L_i คือ ปริมาณความจุที่มากที่สุดที่เตาเผาขยะ i จะสามารถรองรับได้

ตัวแปรตัดสินใจ:

y_i เท่ากับ 1 เมื่อมีการเปิดใช้เตาเผาขยะ i

เท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่น ๆ

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือการกำหนดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะแต่ละคัน เพื่อไปบริการลูกค้าที่กำหนดโดยที่ค่าใช้จ่ายหรือระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่น เวลา จำนวนและขีดจำกัดของยานพาหนะ เป็นต้น ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเริ่มต้นมาจาก (Dantzig and Ramser, 1959) ที่ได้นำเสนอรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางด้วยรถบรรทุก (Truck Dispatching Problem) ภายใต้เงื่อนไขรถบรรทุกที่มีขนาดบรรทุกเท่ากันในการขนส่งน้ำมันจากสถานีน้ำมันกลางไปยังสถานีจ่ายน้ำมันย่อยโดยมีระยะทางในการขนส่งต่ำที่สุด ต่อมา (Clarke and Wright, 1964) ได้พัฒนาปัญหานี้ให้เป็นปัญหาที่มีรูปแบบการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเส้นที่มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในด้านลอจิสติกส์และการขนส่ง เช่น การส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าภายใต้เงื่อนไขทางด้านภูมิศาสตร์ ขนาดบรรจุ หรือความต้องการของลูกค้าที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของปัญหา VRP (Vehicle Routing Problem) นักวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจและพัฒนาวิธีการเพื่อแก้ปัญหา VRP และเพิ่มข้อจำกัดต่าง ๆ ตามเหตุการณ์จริงที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะของแต่ละองค์กรมีลักษณะแตกต่างกัน

ออกไป (กาญจนา ลิ้มวัฒนากุล, 2558) ซึ่ง Braekers, Ramaekers and Nieuwenhuyse (2016) อธิบายลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือกที่เป็นไปได้
1. จำนวนของยานพาหนะ (Fleet)	1. จำนวน 1 คัน 2. จำนวนหลายคัน
2. ประเภทของยานพาหนะที่ใช้ (Vehicle Type)	1. ประเภทเดียวกัน 2. หลายประเภท 3. ยานพาหนะแบบพิเศษ
3. จุดจอดรถ (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	1. จำนวน 1 ที่ 2. จำนวนหลายที่
4. ความต้องการในการขนส่ง (Transportation Demand)	1. ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) 2. ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic)
5. ตำแหน่งของความต้องการ (Location of demand)	1. ที่โหนด(at nodes) 2. ที่เส้นเชื่อม(at arcs) 3. ผสม(Mixed)
6. ความจุยานพาหนะ (Vehicle capacity)	1. เท่ากันทุกเส้นทาง 2. ต่างกัน 3. ไม่กำหนด
7. โครงข่าย (Network)	1. ทางอ้อม/ ทางตรง 2. ผสม 3. ประมาณระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean)
8. เวลาสูงสุด (Maximum route time)	1. กำหนดเท่ากันทุกเส้นทาง 2. กำหนดต่างกัน 3. ไม่กำหนด
9. การปฏิบัติงาน (Operation)	1. เก็บขนส่งสินค้าอย่างเดียว 2. ส่งสินค้าอย่างเดียว 3. ผสม
10. ต้นทุน (Cost)	1. ต้นทุนผันแปรหรือระยะทาง 2. ต้นทุนคงที่หรือต้นทุนยานพาหนะ 3. ต้นทุนรวม

ปัญหาการจัดการขนส่งมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งมีชื่อเรียกที่หลากหลาย (Braekers, Ramaekers and Nieuwenhuysse, 2016) เช่น

(1) CVRT: the classical VRP/the capacitate VRP การจัดการเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมที่สุดโดยเป็นการขนส่งเที่ยวเดียว ยานพาหนะขนส่งมีลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกัน และขนส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงแห่งเดียว

(2) VRPTW: VRP with Time windows ปัญหาการส่งสินค้าที่กำหนดเงื่อนไขในการส่งมอบลักษณะของปัญหาคือ มีคลังสินค้าจำนวน 1 แห่ง มีรถบรรทุกสินค้าจำนวน m คันซึ่งเป็นรถประเภทเดียวกัน มีขนาดบรรทุกเท่ากัน บรรทุกสินค้าไม่เกินความสามารถของรถ ออกเดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้าแต่ละแห่งด้วยเวลาที่ไม่เท่ากัน เวลาที่ใช้ในการขนส่งจะต้องไม่เกินเวลาที่กำหนดและจะเดินทางไปถึงลูกค้าเร็วหรือช้ากว่ากำหนดไม่ได้

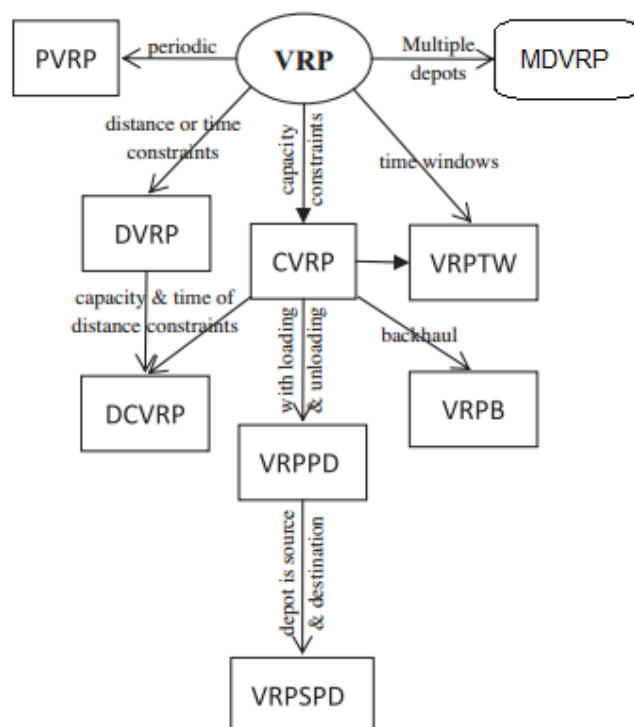
(3) VRPPD: VRP with Pickup and Delivery ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบเก็บคืนและส่งมอบ เมื่อรถบรรทุกทำการรับสินค้าจากจุดรับแล้ว จะต้องไปส่งสินค้ายังลูกค้าเป้าหมายที่ต้องการสินค้าที่กำลังบรรทุกอยู่ก่อนที่จะไปรับสินค้าที่ลูกค้ารายอื่นได้ โดยที่ปัญหาในการจัดส่งสินค้าหนึ่งครั้ง นอกจากจะระบุถึงจุดรับ จุดส่งสินค้าและจำนวนเที่ยวในการขนส่งแล้วอาจระบุเวลาในการรับส่งสินค้าอีกด้วย ซึ่งปัญหารูปแบบนี้จะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายโดยรวมในการจัดส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด

(4) VRPB: VRP with backhauls ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบขนส่งเที่ยวกลับ ซึ่งเป็นปัญหาการส่งสินค้าให้ลูกค้าที่ระยะไกลใช้เวลาในการเดินทางนานและต้องวิ่งกลับด้วยการบรรทุกเที่ยวเปล่า ข้อจำกัดที่สำคัญระหว่างลูกค้าขาไป (linehaul) และลูกค้าขากลับ (backhaul) คือเส้นทางที่ต้องจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าขาไปก่อนลูกค้าขากลับ ปริมาณความต้องการของลูกค้าอาจเป็นการส่งมอบสินค้าหรือเก็บคืนสินค้า เส้นทางที่ใช้จะต้องมีระยะทางสั้นที่สุดและผ่านลูกค้าทุกราย การบรรทุกสินค้าต้องไม่เกินความสามารถของรถบรรทุกโดยไม่สามารถแยกสินค้าหรือทยอยบรรทุกได้

(5) MDVRP: The multi-depot VRP ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีคลังสินค้าหลายแห่ง ลูกค้าจะได้รับบริการจากรถบรรทุกเพียงคันเดียว โดยเส้นทางที่ใช้ต้องเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดและผ่านลูกค้าทุกราย

(6) PVRP: The Periodic VRP ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งแบบมีคาบเวลา ใช้ในการวางแผนการขนส่งสินค้าในบางเวลา หรือในวันที่ต่างกัน ในกรณีนี้ลูกค้าหนึ่งรายสามารถได้รับสินค้าหลายครั้ง หรือในแต่ละวันอาจมีเส้นทางการขนส่งที่ไม่เหมือนกัน

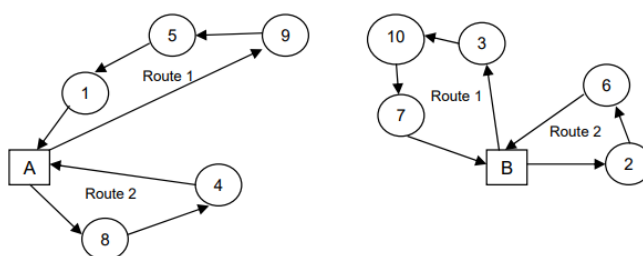
(7) DCVRP: Capacitated and Distance-Constrained VRP ปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบระบุน้ำหนักให้รถบรรทุกทุกคันมีความสามารถในการบรรทุกเท่ากันลูกค้าจะได้รับบริการจากรถบรรทุกเพียงคันเดียว โดยเส้นทางที่ใช้ต้องเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดและผ่านลูกค้าทุกราย



ภาพที่ 2.4 ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง
ที่มา: Jairo et al. (2015)

2.3.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง กรณีมีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (The Multi-Depot Vehicle Routing Problems: MDVRP)

ปัญหา VRP กรณีมีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง หมายถึงกรณีองค์กรธุรกิจมีศูนย์กระจายสินค้าที่ใช้ในการดำเนินการมากกว่าหนึ่งแห่ง พร้อมทั้งมีการวางแผนการใช้เส้นทางขนส่งเพื่อออกไปให้บริการลูกค้า รับหรือส่งสินค้า (Pick-up or Deliveries) เรียกปัญหานี้ว่าปัญหา MDVRP แสดงดังภาพที่ 2.5 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนโดยรวมของการใช้เวลาหรือระยะทางที่ต่ำที่สุดของยานพาหนะทุกคันรวมกัน ปัญหานี้จึงมีความซับซ้อนมากกว่าปัญหา VRP



ภาพที่ 2.5 การจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง กรณีมีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง
ที่มา: Surekha and Sumathi (2011)

Surekha and Sumathi (2011) อธิบายแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา MDVRP ดังนี้

เซต

I คือ เซตของ depot

J คือ เซตของลูกค้า

K คือ เซตของยานพาหนะ(เส้นทาง)

ดัชนี

i คือ depot

j คือ ลูกค้า

k คือ ยานพาหนะ(เส้นทาง)

พารามิเตอร์

N จำนวนยานพาหนะ

C_{ij} ระยะทางระหว่างโหนด i ไป j โดย $i, j \in I \cup J$

v_i ชีตความสามารถให้บริการสูงสุดของ depot i

d_j ความต้องการของลูกค้า j

Q_k ขนาดความจุของรถ(route) K

ตัวแปรตัดสินใจ

$x_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{หากมีการขนส่งจาก } i \text{ ไปจุด } j \text{ ด้วยยานพาหนะ } K \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

$Z_{ij} \begin{cases} 1 & \text{หากลูกค้าที่ } j \text{ ได้รับบริการจาก depot } i \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

U_{lk} ตัวแปรช่วยในการตัดสินใจ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C_{ij} x_{ijk} \quad (2.37)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} = 1 \quad j \in J \quad (2.38)$$

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \leq Q_k \quad k \in K \quad (2.39)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + N x_{ijk} \leq N - 1 \quad l, j \in J, k \in K \quad (2.40)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} x_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} x_{jik} = 0 \quad k \in K, i \in I \cup J \quad (2.41)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1 \quad k \in K \quad (2.42)$$

$$\sum_{j \in J} d_i Z_{ij} \leq V_i \quad i \in I \quad (2.43)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u \in I \cup J} (x_{iuk} + x_{ujk}) \leq 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.44)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.45)$$

$$Z_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in I, j \in J \quad (2.46)$$

$$U_{jk} \geq 0 \quad j \in J, k \in K \quad (2.47)$$

สมการเป้าหมาย (2.37) แสดงวัตถุประสงค์ต้องการลดระยะทางในการขนส่งโดยรวมให้ต่ำที่สุด สมการข้อจำกัดที่ (2.38) เป็นการรับประกันว่าลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะ 1 คันหรือได้รับบริการจาก 1 เส้นทางขนส่งเท่านั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.39) บังคับให้ความต้องการโดยรวมของลูกค้าแต่ละรายจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ สมการข้อจำกัดที่ (2.40) เป็นการกำจัดการเกิดเส้นทางย่อย (sub tour) สมการข้อจำกัดที่ (2.41) แสดงความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันในแต่ละเส้นทาง เมื่อยานพาหนะเดินทางเข้ามายังจุดใด ๆ แล้วต้องมีการเดินทางออกจากจุดนั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.42) ยืนยันว่ามียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด สมการข้อจำกัดที่ (2.43) ปริมาณความต้องการของลูกค้าโดยรวมที่ได้รับบริการจาก depot i จะต้องไม่เกินขีดความสามารถสูงสุดที่ depot i สามารถให้บริการได้ สมการข้อจำกัดที่ (2.44) ลูกค้าที่รับบริการจาก depot i จะต้องอยู่บนเส้นทางที่เชื่อมผ่านระหว่าง depot i กับลูกค้า j เท่านั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.45) และ (2.46) บังคับให้ตัวแปร x_{ijk} และ Z_{ij} เป็นค่าไบนารีเท่านั้นและสมการข้อจำกัดที่ (2.47) บังคับให้ตัวแปรช่วยตัดสินใจมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

สุพรรณ สุตสนธิ (2551) นำเสนอฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยมีเงื่อนไขขนาดรถบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด จากการพัฒนาขั้นตอนการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดที่เรียกว่าระบบมดแบบแม็ก-มิน (Max-Min Ant System: MMAS) ผู้วิจัยสรุปได้ว่าวิธีการที่ทำการพัฒนาสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยมีเงื่อนไขขนาดรถบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด (MDVRP) ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพและเวลาประมวลผลที่เหมาะสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 3% และใช้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 587.41 วินาที หรือ 0.16 ชั่วโมงต่อหนึ่งปัญหา

Surekha and Sumathi (2011) เสนอแนวทางแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งกรณีมีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเส้นทางในการให้บริการลูกค้าทุกรายที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดและมีระยะทางสั้นที่สุดซึ่งมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดบรรจุของรถและระยะเวลาในการขนส่งของยานพาหนะในส่วนของการจัดกลุ่มลูกค้าใช้กฎระยะทางใกล้ depot ที่สุดและจัดเส้นทางด้วย Saving Algorithm และประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์เชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) ในการแก้ปัญหาในการจัดลำดับการขนส่งที่เหมาะสม ผู้วิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอด้วยข้อมูลตัวอย่างจากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าวิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม(ระยะทางและจำนวนยานพาหนะที่ใช้)รวมถึงระยะเวลาใช้ในการคำนวณน้อย

Geetha, Vanathi and Poonthalir (2012) พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งกรณีมีหลายศูนย์กระจายสินค้า โดยใช้แนวคิดการจัดกลุ่มแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster First-Route Second) และวิธีเมตาฮิวริสติกสองวิธีคือ วิธีฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) และวิธีตัดต่อทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) พร้อมทั้งนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาจากการประยุกต์การรวมกันของทั้งสองวิธีข้างต้น เปรียบเทียบผลจากการทดลองทั้งสามวิธี จากผลการทดลองผู้วิจัยเสนอแนวคิดวิธีเมตาฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาประเภท p-median และปัญหาอื่น ๆ ได้

Mirabi, Shokrib and Sadeghieh (2016) นำเสนอรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งกรณีมีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่งที่มีการจำกัดทางด้านของเวลาในการขนส่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง โดยพิจารณาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแต่ละคันเมื่อออกจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งหนึ่งเพื่อกระจายสินค้าไปยังลูกค้าและไม่จำเป็นต้องกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดิม ผู้วิจัยทำการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยเทคนิค Fuzzy C mean และเทคนิค K-mean ร่วมกับวิธีเมตาฮิวริสติกส์เชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีการแก้ปัญหาให้ผลลัพธ์ที่ดีและสามารถนำไปเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่อื่น ๆ ได้

Jairo and et al. (2015) ทำการสำรวจงานวิจัยที่มีแก้ปัญหาการขนส่งแบบมีคลังสินค้าหลายแห่ง (The multi-depot VRP) ในระหว่างปี 1988 ถึง 2014 พบว่าการขนส่งแบบมีคลังสินค้าหลายแห่งจะมีเงื่อนไขในการขนส่งที่แตกต่างกันเช่น มีข้อจำกัดทางด้านเวลา ข้อจำกัดทางด้านขนาดบรรจุและประเภทของยานพาหนะ และการขนส่งแบบเก็บคืนและส่งมอบ เป็นต้น ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งให้ต่ำที่สุด มีการประยุกต์ใช้วิธีแม่นยำตรง (Exact method) ร้อยละ 25 เช่น การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound Method) วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) ร้อยละ 33 เช่น วิธีการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem: TSP) หรือวิธี Greedy Randomized adaptive procedure (GRASP) และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta heuristics) ร้อยละ 42

เช่น วิธีหาบู่ เสรีจ (Tabu Search: TS) วิธีการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) เป็นต้น

2.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งและในขณะเดียวกันก็มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งไปด้วยโดยให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด (Nagy and Salhi, 2007) รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วย โดยหากกำหนดให้ลูกค้าทุกรายเชื่อมต่อกับโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าปัญหานั้นก็จะเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบมาตรฐาน แต่หากกำหนดที่ตั้งของโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้า ตั้งแต่เริ่มต้นปัญหานั้นก็จะมีรูปแบบเป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

จากรูปแบบปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีความซับซ้อน ซึ่งปัญหานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท Nondeterministic Polynomial-Time Hard (NP-Hard) เนื่องจากเป็นกรรวมปัญหา NP-Hard ทั้งสองปัญหาคือปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะรวมเข้าด้วยกัน ซึ่ง Wu et al. (Alumur and Kara, 2007; อ้างอิงจาก Wu et al. 2002) ได้นำเสนอการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ (Perl and Daskin, 1985) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหา LRP ดังนี้

เซต

I เซตของศูนย์กลางการกระจายสินค้า

J เซตของลูกค้า

K เซตของยานพาหนะ(เส้นทาง)

ดัชนี (Index)

i จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้าที่เป็นไปได้

j ลูกค้า

k ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

N จำนวนของลูกค้าทั้งหมด

C_{ij} ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j

G_i ต้นทุนคงที่ของการสร้างศูนย์กระจายสินค้า i

F_k ต้นทุนคงที่ของการใช้ยานพาหนะ k

V_i ความสามารถในการรองรับสินค้าของศูนย์กระจายสินค้า i

d_j ความต้องการของลูกค้า j

Q_k ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากจุด } i \text{ ไปยังจุด } j \text{ บนเส้นทาง } k \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าศูนย์กระจายสินค้า } i \text{ ถูกสร้างขึ้น} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าลูกค้า } j \text{ ถูกกำหนดให้ได้รับการบริการจากศูนย์กระจายสินค้า } i \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

U_{lk} ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary Variable)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i \in I} G_i Y_i + \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} F_k \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \quad (2.48)$$

$$\text{subject to } \sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \quad j \in J \quad (2.49)$$

$$\sum_{j \in J} d_j \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} \leq Q_k \quad k \in K \quad (2.50)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + N X_{ijk} \leq N - 1 \quad i, j \in J \quad k \in K \quad (2.51)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} X_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} X_{jik} = 0 \quad k \in K \quad (2.52)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq 1 \quad k \in K \quad (2.53)$$

$$\sum_{j \in J} d_j Z_{ij} - V_i Y_i \leq 0 \quad i \in I \quad (2.54)$$

$$-Z_{ij} + \sum_{u \in I \cup J} (X_{iuk} + X_{ujk}) \leq 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.55)$$

$$X_{ijk} = \{0, 1\} \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.56)$$

$$Y_i = \{0,1\} \quad i \in I \quad (2.57)$$

$$Z_{ij} = \{0,1\} \quad i \in I, j \in J \quad (2.58)$$

$$U_{ik} \geq 0 \quad i \in I, k \in K \quad (2.59)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.48) คือผลรวมต่ำที่สุดจากผลบวกของต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กระจายสินค้า ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนคงที่ในการใช้ยานพาหนะขนส่ง สมการข้อจำกัดที่ (2.49) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละคนสามารถรับบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.50) เป็นการกำหนดเงื่อนไขว่าปริมาณของสินค้าที่พาหนะคันนั้น ๆ รับผิดชอบจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้า สมการข้อจำกัดที่ (2.51) เป็นสมการเงื่อนไขป้องกันการเกิดซบหัว สมการข้อจำกัดที่ (2.52) เป็นเงื่อนไขที่บังคับให้พาหนะขนส่งเข้าให้บริการที่จุดใดก็ต้องออกจากจุดนั้นเสมอ สมการข้อจำกัดที่ (2.53) พาหนะขนส่งแต่ละคันสามารถทำงานให้กับศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.54) เป็นเงื่อนไขด้านความสามารถในการรองรับความต้องการของลูกค้าของศูนย์กระจายสินค้า สมการข้อจำกัดที่ (2.55) เป็นการจัดสรรลูกค้าให้เข้าใช้บริการในศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงแห่งเดียว หากมีเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า ส่วนสมการข้อจำกัดที่ (2.56) (2.57) และ (2.58) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี สมการข้อจำกัดที่ (2.59) เป็นตัวแปรสนับสนุนที่ต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น ส่วนที่เพิ่มเติมจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของ (Perl and Daskin, 1985) คือ (1) เพิ่มเติมสมการเงื่อนไขที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดซบหัวขึ้นในคำตอบ (สมการที่ 2.51) (2) ไม่มีการนำค่าใช้จ่ายแปรต่อหน่วยของศูนย์กลางการกระจายสินค้ามาพิจารณาในสมการเป้าหมาย ในขณะที่มีการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดส่งของพาหนะขนส่งลงไปแทน และ (3) เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการใช้งานจึงอนุญาตให้ใช้งานพาหนะขนส่งที่มีความสามารถในการบรรทุกแตกต่างกันได้

สรุชา นาคเจริญ (2552) ได้นำเสนอการศึกษาวិธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งในกรณีที่ไม่มีภาระจุดศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุที่เป็นไปได้ (potential depot) เพื่อสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการ เพื่อทำให้เกิดระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการจัดส่งพัสดุต่ำที่สุด โดยการแบ่งกลุ่มผู้ใช้บริการออกเป็นกลุ่มภายใต้ข้อจำกัดของยานพาหนะขนส่งและความต้องการในการใช้บริการจากนั้นจึงหาจำนวนคลังสินค้าพร้อมกำหนดตำแหน่งผู้ใช้บริการที่คลังสินค้าแต่ละแห่งต้องรับผิดชอบด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MDLRP (Multi Depot Location Routing Problem) ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรม LINGO8.0 และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา VRP (Vehicle Routing Problem) โดยโปรแกรม LINGO8.0 เพื่อกำหนดเส้นทางให้กับยานพาหนะขนส่งแต่ละคัน พร้อมทั้งเสนอแนวคิดงานวิจัยในอนาคตให้มีการใช้วิธีการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น และพัฒนาวิธีการจัดกลุ่มผู้ใช้บริการที่ถือเป็นคำตอบเบื้องต้นและส่งผลต่อคำตอบสุดท้ายให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและนำวิธีเชิงฮิวริสติกอื่น ๆ มาประยุกต์ใช้ด้วย

นรงค์ วิชาผา (2560) ศึกษาการหาสถานที่ตั้งศูนย์กำจัดมูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมซึ่งกำหนดให้เป็นตำแหน่งของเทศบาลในพื้นที่นั้น ๆ โดยใช้ตัวแบบผสมผสานการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Hybrid

Goal Programming: HGP) ซึ่งเป็นการผสมผสานกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิภังค์ (Fuzzy Analytic Hierarchy Process: FAHP) กับวิธีการโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (Goal Programming: GP) และตัวแบบผสมผสานการโปรแกรมเชิงเป้าหมายแบบวิภังค์ (Hybrid Fuzzy Goal Programming: HFGP) (บูรณาการระหว่างกระบวนการวิเคราะห์ลำดับชั้นเชิงวิภังค์ (FAHP) กับการโปรแกรมเชิงเป้าหมายแบบวิภังค์ (FGP)) และทำการจัดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับเทศบาลที่ถูกเลือกโดยใช้วิธีเมเมติกอัลกอริทึมซึ่งผสมผสานระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) กับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ 3 วิธีคือ 2-Opt-move Insertion-move และ λ -interchange-move ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบ HGP และ HFGP สามารถใช้เป็นแนวทางในการเลือกสถานที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับกำจัดขยะติดเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมเมติกอัลกอริทึมสามารถจัดเส้นทางขนส่งให้กับสถานที่ตั้งที่ถูกเลือกได้ และเป็นการกำหนดจำนวนยานพาหนะน้อยสุดและค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำสุดภายใต้สถานการณ์จริงในกรณีศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Contardo, Cordeau, and Gendron (2014) นำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา LRP ด้วยการประยุกต์ใช้วิธี GRASP ร่วมกับเทคนิคคอลัมน์เจเนอเรชัน (Column Generation) การดำเนินการแก้ปัญหาใช้หลักการของวิธี GRASP และ Local Search ในการหากลุ่มของจุดที่ตั้งและลูกค้าที่รับบริการ จากนั้นประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer-Linear Program) ในการจัดเส้นทางขนส่งปรับปรุงเส้นทางด้วยด้วยเทคนิคคอลัมน์เจเนอเรชัน (Column Generation) ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอมีคุณภาพมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

Gao and et al. (2016) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดในการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เช่นเส้นทางจราจรที่ไม่แน่นอน (Random traffics factor) ความหนาแน่นของยานพาหนะและเส้นทางจราจรที่ไม่แน่นอนแบบวนซ้ำ (Cyclic traffics) ที่มีบางช่วงเวลาเส้นทางนั้นมีความหนาแน่นของรถสูง โดยใช้วิธีการจัดกลุ่ม K-mean Algorithm ร่วมกับวิธีอาณานิคมมด (KACO) ในการแก้ปัญหาซึ่งพิจารณารูปแบบการอพยพของมดใน 3 รูปแบบ คือ Random Immigrants, Elitism-Based Immigrants และ Memory-Based Immigrants เพื่อเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและจัดเส้นทางยานพาหนะภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีการที่ใช้รูปแบบ Random Immigrants ให้ผลที่ค่อนข้างเสถียรภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบซ้ำ ๆ หากพิจารณาในระยะยาววิธีการที่ใช้รูปแบบ Memory-Based Immigrants จะให้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนภายใต้การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี KACO กับวิธีเมตาฮิวริสติกส์อื่น ๆ เช่นวิธีการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) วิธีทาบู (Tabu search: TS) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) วิธี Population Ant Colony (P-ACO) และวิธี Max-min Ant System (MMAS) พบว่า การใช้ K-mean ร่วมกับ ACO นั้นได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธี SA และ GA เพราะสามารถปรับความเข้มข้นของฟีโรโมนในการเดินทางของมดทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความเหมาะสมที่สุด และได้นำเสนอวิจัยในอนาคตให้เพิ่มความหลากหลายของรูปแบบการอพยพ (Immigrant) และในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงเช่นระยะเวลาในการขนส่ง (Time window) เป็นต้นเพื่อให้ครอบคลุมสภาพความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

Schneider and Drexl (2017) ได้สำรวจงานวิจัยที่มีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ พบว่าวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหา ยังคงมุ่งเน้นในเรื่องของต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด การดำเนินการส่วนใหญ่เป็นการเลือกเปิดศูนย์กระจายสินค้าและจัดสรรลูกค้าสำหรับรับบริการพร้อมทั้งจัดเส้นทางการขนส่ง วิธีเมตฮิวริสติกส์ เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Algorithm) วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure และวิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) เป็นต้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นจำนวนมากซึ่ง วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำในการค้นหาหรือเลือกจุดที่ตั้งที่มีศักยภาพ ปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่มีการพิจารณาศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problems) การแก้ปัญหาของนักวิจัยมีการพัฒนาจากเดิมในการสำรวจของ (Nagy and Salhi, 2007) คือมีการนำวิธีการหาคำตอบหลายวิธีมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.5 เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสม

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดใหญ่และมีลำดับการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่มีความซับซ้อนแบบโพลิโนเมียล (Polynomial) หมายความว่า เมื่อจำนวนหรือขนาดของปัญหามากขึ้น ความซับซ้อนทางเวลาในการคำนวณก็จะมากขึ้นตามไปด้วย แต่จะมากแบบโพลิโนเมียล เช่น เมื่อขนาดของปัญหาเป็น n และวิธีการคำนวณใด ๆ ที่มีระยะเวลาในการคำนวณเป็น n^2 จะเรียกลำดับการคำนวณนั้นว่าเป็นแบบโพลิโนเมียล ในขณะที่หากความซับซ้อนทางเวลาที่ใช้ในการคำนวณตามลำดับขั้นตอนใด ๆ เพิ่มขึ้น วิธีการแบบอื่น ๆ ที่มีลักษณะการเพิ่มอย่างรวดเร็วจะเรียกลำดับคำนวณแบบนี้ว่า นอนโพลิโนเมียลอัลกอริทึม (Non-Polynomial Algorithm) ปัญหาที่ยังไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนทางเวลาเป็น Polynomial Time จะเรียกปัญหานี้ว่าปัญหาเอ็นพี (NP-Problem) การหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาอาจเป็นรูปแบบของคำตอบที่ต้องการค่าที่มากที่สุด (Maximization Problem) ตัวอย่างเช่น ต้องการหากำไรสูงสุดหรืออาจเป็นรูปแบบของคำตอบที่ต้องการค่าที่น้อยที่สุด (Minimization Problem) ตัวอย่างเช่น ต้องการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุด ปัญหาประเภท Combinatorial Optimization นั้นสามารถพบได้ทั่วไปในปัญหาโลจิสติกส์ และวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายได้แก่ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) หรือวิธีแก้ปัญหาที่เป็นแบบฮิวริสติกส์ (Heuristics Method)

2.5.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method)

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่มีความซับซ้อนในการคำนวณและใช้เวลาในการคำนวณสูง หากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถทำได้ในเชิงปฏิบัติ เทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้ เช่น วิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and bound method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้หลักการของการตัดทอนการแฉกนับ วิธีการนี้ประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือการแตกกิ่ง (Branching) คือกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นปัญหาย่อย 2 ปัญหาหรือมากกว่า ส่วนการจำกัดเขต (Bounding) คือกระบวนการหาค่าของขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่กำหนดให้ ในระหว่างขั้นตอนของการแตกกิ่ง จะมีการแทนที่ปัญหาเริ่มต้นด้วยเซต

ของปัญหาใหม่ที่มีลักษณะดังนี้ ประการแรกปัญหาดั้งเดิมจะถูกแตกออกเป็นหลายปัญหาย่อยที่ไม่เกิดขึ้นร่วมกันและมีการแจกแจงทั้งหมดที่เป็นไปได้ ประการที่สองคือปัญหาย่อยเหล่านี้จะเป็นกรณีหนึ่งของปัญหาเดิมที่หาคำตอบได้แล้วบางส่วน สุดท้ายปัญหาย่อยเหล่านี้จะมีขนาดเล็กกว่าปัญหาเดิม

2.5.2 วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic Method)

ฮิวริสติก (Heuristics) เป็นวิธีการค้นหาผลเฉลยของปัญหาภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสมและไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขทุกเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปวิธีฮิวริสติกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบของแต่ละปัญหานั้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้หาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ในบางครั้งปัญหาในการตัดสินใจที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นอาจไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ เพราะว่าปัญหานั้น มีตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนมาก ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัย เช่น วิธี Saving, Matching Based, Nearest Insertion, Nearest Neighbor และ Local Search เป็นต้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาให้มีความยืดหยุ่นสูงและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เรียกว่าวิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic) (Blum and Roli, 2003) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกส์ไว้ดังนี้ (1) เมตาฮิวริสติก มีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (2) เมตาฮิวริสติก มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดในระยะเวลาที่เหมาะสม (3) วิธีเมตาฮิวริสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน เช่น วิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) การเลือกคำตอบด้วยวิธีการวงกลมรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นต้น (4) เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายวิธีเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (5) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา (6) เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้น ในการจดจำคำตอบเดิมเพื่อให้การค้นหาคำตอบไม่ซ้ำที่เดิม ระบุพันธ์ ปีตาเคโส (2554) อธิบายลักษณะการออกแบบฮิวริสติกโดยอาศัยหลักการเมตาฮิวริสติกได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงเนื่องจากคำตอบที่ได้จากวิธีนี้ได้ผลที่เหมาะสม แก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วและสามารถใช้งานได้ง่าย เช่น (1) วิธีการที่เกิดขึ้นจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เช่นวิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม(Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น (Simulated Algorithm) (2) วิธีที่ไม่ได้เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาเฉพาะที่วนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข(Variable Neighborhood Search) เป็นต้น (3) วิธีที่ใช้ประชากรหรือไม่ใช้ประชากร (Population or Non Population Based Heuristic) วิธีการใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ ส่วนวิธีการที่ไม่ใช้ประชากรหรือวิธีการแบบทราเจกทอรี (Trajectory Method) ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (4) วิธีสมการเป้าหมายคงที่หรือไม่คงที่ (Dynamic or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆเกิดขึ้นหรือไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย ในกรณีที่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น

การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบมีการชี้นำ (Guided Local Search) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาคำตอบต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เป็นต้น

กาญจนา เศรษฐนันท์ (2558) นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกส์ในงานอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เพื่อศึกษาหาตำแหน่งและขนาดของสถานีขนถ่ายที่เหมาะสมที่สุดให้เกิดต้นทุนการขนส่งและการจัดตั้งจุดรวบรวมผลผลิตมีค่าต่ำที่สุด โดยต้นทุนการขนส่งจะประกอบด้วย (1) การขนส่งอ้อยจากแปลงอ้อยไปยังจุดรวบรวมและ (2) ต้นทุนเครื่องจักรและอุปกรณ์ (3) ต้นทุนดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ขนถ่าย จากนั้นสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ที่เรียกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยอาศัยการเลียนแบบพฤติกรรมด้านการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เพื่อพัฒนาประชากรรุ่นต่อไปให้มีคุณลักษณะที่ดีขึ้นซึ่งเป็นหลักการเดียวกันในการปรับปรุงคำตอบที่ต้องการค้นหาคำตอบ (Solution) ให้ดีขึ้นจนเข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการจัดการปัญหาดังกล่าวพบว่าช่วยลดต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการก่อสร้างสถานีขนถ่าย รวมถึงเกิดการจัดสรรอุปกรณ์การขนถ่ายในแต่ละสถานีได้อย่างเพียงพอต่อการเข้ามารับบริการ

ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2555) ประยุกต์ใช้อาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) และการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี การย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) การย้ายลูกคาระหว่างเส้นทาง Crossover-Move) และการสลับสองตำแหน่ง (2-opt) ในการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะให้เหมาะสมมีระยะทางสั้นที่สุดกรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่มจำกัด ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดว่าการต้องการของลูกค้าที่กำหนดขึ้นมาในงานวิจัยนี้ อาจมีผลต่อการประมวลผลและประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา เนื่องจากค่าความต้องการของลูกค้าเป็นพารามิเตอร์อีกหนึ่งตัวที่ต้องใช้ในการประมวลผลหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง หากทำการประมาณค่าความต้องการของลูกค้าผิดพลาดการนำผลเฉลยที่ได้ไปใช้งานจริงอาจไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังนั้นจึงควรพิจารณาและกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหาประเภทนี้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะ และงานวิจัยในอนาคตอาจพัฒนาวิธี Differential Evolution Algorithm แก้ปัญหาการเลือกสถานที่และจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับวิธีอาณานิคมมดมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายค่าด้วยกันที่มีผลต่อการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่แตกต่างกันอาจมีค่าที่แตกต่างกันด้วย จึงควรทดสอบเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมกับปัญหานั้น

ภาณุวัฒน์ สิมะลี และวลัยลักษณ์ อัคริวงศ์ (2558) หาตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยงานกลาง (Window) ของศูนย์กระจายเหรียญกษาปณ์ โดยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีเมตาฮิวริสติก 2 วิธี ได้แก่ Tabu Search และ Max-Min Ant System ใช้ระยะเวลาการคำนวณหาคำตอบและผลรวมของระยะทางทั้งหมดเป็นตัวเปรียบเทียบคำตอบของวิธีการหาคำตอบทั้งสองวิธี โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนศูนย์กระจายเหรียญกษาปณ์จำนวนทั้งสิ้น 40 แห่งและสามารถให้บริการลูกค้าได้ในรัศมี 80 กิโลเมตร ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางแต่ละแห่งจากกรมการขนส่งทางบก ผลการวิจัยพบว่าวิธีเมตาฮิวริสติกแบบ Tabu Search ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบน้อยกว่า

วิธีเมตาฮิวริสติกแบบ Max-Min Ant System แต่ค่าผลรวมของระยะทางทั้งหมด วิธีเมตาฮิวริสติกแบบ Max-Min Ant System ให้ค่าที่ดีกว่าวิธีเมตาฮิวริสติกแบบ Tabu Search

2.5.2.1 The Greedy Randomized Adaptive Search Procedure: GRASP

The Greedy Randomized Adaptive Search Procedure เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการหาคำตอบด้วยวิธี Greedy Randomized มีกระบวนการวนรอบซ้ำ โดยในแต่ละรอบการวนซ้ำประกอบไปด้วยการสร้างบัญชีรายชื่อเพื่อสุ่มเลือกคำตอบมาเป็นคำตอบเริ่มต้นและทำการปรับปรุงคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด Feo and Resende (1995) กล่าวว่า การหาคำตอบด้วยวิธี GRASP มีองค์ประกอบ 2 ระยะ คือระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) และระยะการค้นหาคำตอบ (Local search) โดยประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคำตอบและคำตอบที่ดีที่สุดถือว่าเป็นผลลัพธ์สุดท้าย วิธีการ GRASP ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคำตอบที่เหมาะสมเชิงการจัดการ (Combination Optimization) สามารถหาคำตอบที่ดีโดยใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำและมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการแก้ไขปัญหามารูปแบบต่าง ๆ ได้สะดวก รวมถึงการใช้หน่วยความจำที่ไม่สูงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกอื่น ๆ ซึ่ง Prins, Prodhon and Wolfler (2006) กล่าวว่าวิธี GRASP ได้รับการพัฒนามาจากแนวคิดการใช้เส้นทางที่เชื่อมโยงกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดเส้นทางขนส่ง โดยในส่วนหนึ่งของระยะโครงสร้างมีการพัฒนาวิธีการสุ่มจาก Clarke และ Wright algorithm (RECWA) ที่มีการจัดสรรลูกค้าให้ได้รับบริการจากจุดกระจายสินค้าที่ใกล้ที่สุด ส่วนจุดกระจายสินค้าที่อยู่ไกลให้ปิดการให้บริการ เพื่อให้ได้เส้นทางให้บริการที่เหมาะสมที่สุดทำการสุ่มเลือกลูกค้าจากบัญชีรายชื่อลูกค้าที่อยู่ใกล้จุดให้บริการและจะหยุดการสุ่มเลือกลูกค้าเข้ามายังเส้นทางก็ต่อเมื่อขัดแย้งกับเงื่อนไขของขนาดบรรทุกยานพาหนะหรือมีต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้นจากนั้นปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการสลับตำแหน่งลูกค้าหรือการสลับกลุ่มเป็นต้น จากการทบทวนวรรณกรรม (Feo and Resende, 1995) แสดงรหัสเทียมของวิธี GRASP ดังภาพที่ 2.6 และสรุปขั้นตอนของหาคำตอบของกระบวนการ GRASP ดังนี้

```

procedure grasp ()
1   InputInstance ();
2   for GRASP stopping criterion not satisfied  $\rightarrow$ 
3       ConstructGreedyRandomizedSolution (Solution);
4       LocalSearch (Solution);
5       UpdateSolution (Solution, BestSolutionFound);
6   rof;
7   return (BestSolutionFound)
end grasp;

```

ภาพที่ 2.6 รหัสเทียมของวิธี GRASP

ที่มา: Feo and Resende (1995)

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลที่นำเข้าของปัญหาเช่น จำนวนลูกค้า ความจุของยานพาหนะ ระยะทางและความต้องการของลูกค้าแต่ละราย เป็นต้น ขั้นตอนที่ 2-6 เริ่มกระบวนการวิง

วนหาคำตอบซึ่งจะหยุดเมื่อเข้าสู่เกณฑ์การหยุดเช่น จำนวนการวนรอบซ้ำ หรือการเจอคำตอบที่ดีที่สุด เป็นต้น ขั้นตอนที่ 3 สร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction phase) ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ (Local search phase) จากคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีฮิวริสติกส์ เช่น การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchanges) วิธีย้ายตำแหน่ง (Move operator) ขั้นตอนที่ 5 อัปเดต (Update) คำตอบและให้ $k=k+1$ ขั้นตอนที่ 7 คำนาคำตอบ

ในระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction Phase) กระบวนการวิ่งวนซ้ำของการหาคำตอบ จะพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible Solution) การเลือกเส้นทางและปรับปรุงเส้นทางของลูกค้ายเมื่อพบคำตอบที่ดีในแต่ละการวิ่งวนรอบของการกระทำซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาลูกค้าทั้งหมดจากบัญชีรายชื่อลูกค้า (Restricted Candidate List: RCL) มีขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น ดังนี้ และแสดงรหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะเวลาการสร้างคำตอบเริ่มต้นดังภาพที่ 2.7 ขั้นตอนที่ 1 สร้างวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นเช่น เลือกลูกค้าด้วยวิธีการสุ่ม โดยพิจารณาถึงต้นทุนต่าง ๆ ซึ่งอาจหมายถึงระยะทางหรือตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า เป็นต้น ขั้นตอนที่ 2 มีการวนรอบซ้ำจะเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2-7 จะหยุดเมื่อเข้าสู่เกณฑ์ที่กำหนดไว้ ขั้นตอนที่ 3 สร้างบัญชีรายชื่อ ขั้นตอนที่ 4 มีการสุ่มเลือกคำตอบที่ดีจากบัญชีรายชื่อ ขั้นตอนที่ 5 นำคำตอบที่สุ่มได้มาสร้างเป็นเซตคำตอบใหม่ ขั้นตอนที่ 6 อัปเดตคำตอบ และขั้นตอนที่ 7 คำนาคำตอบ

```

procedure ConstructGreedyRandomizedSolution (Solution)
1   Solution = {};
2   for Solution construction not done  $\rightarrow$ 
3       MakeRCL (RCL);
4        $s = \text{SelectElementAtRandom}(\text{RCL})$ ;
5       Solution = Solution  $\cup \{s\}$ ;
6       AdaptGreedyFunction (s);
7   rof;
end ConstructGreedyRandomizedSolution;

```

ภาพที่ 2.7 รหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะเวลาการสร้างคำตอบเริ่มต้น

ที่มา: Feo and Resende (1995)

ในระหว่างการปรับปรุงคำตอบ (Local Search Phase) จะนำคำตอบเริ่มต้นมาปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้น โดยความหมายของการปรับปรุงคำตอบในระบบการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าจะหมายถึงการได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด และมีระยะเวลาในการรอคอยก่อนที่จะส่งสินค้าเพิ่มมากขึ้นโดยการเปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางที่ได้ในแต่ละรอบพิจารณาจากระยะทางรวมเป็นอันดับแรก ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์หลักของการวิจัย โดยที่เส้นทางขนส่งที่มีระยะทางรวมที่ต่ำกว่าถือว่าเป็นเส้นทางที่ดีกว่า สำหรับในกรณีที่ระยะทางรวมในขนส่งที่เท่ากันจะพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ถัดมาเช่น ระยะเวลาในการรอคอยก่อนส่งสินค้า ถ้าเส้นทางที่มีระยะเวลาในการรอคอยก่อนส่งสินค้านานกว่าจะถือว่าเป็นเส้นทางที่ดีกว่า เพราะจะทำให้มีเวลาในการรอคอยข้อมูลของสินค้าที่อาจจะเข้ามาในระบบได้มากขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ และแสดงรหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะเวลาปรับปรุงคำตอบดังภาพที่ 2.8 ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำตอบเริ่มต้นจากระยะสร้างคำตอบเริ่มต้น ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากเซตของคำตอบเริ่มต้นด้วยการปรับปรุงคำตอบโดยใช้หลักการ Local Search ขั้นตอนที่ 3 ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด และขั้นตอนที่ 4 คำนวณคำตอบ

```

procedure local( $P, N(P), s$ )
1   for  $s$  not locally optimal  $\rightarrow$ 
2       Find a better solution  $t \in N(s)$ ;
3       Let  $s = t$ ;
4   rof;
5   return( $s$  as local optimal for  $P$ )
end local;

```

ภาพที่ 2.8 รหัสเทียมของวิธี GRASP ระยะการปรับปรุงคำตอบ
ที่มา: Feo and Resende (1995)

จากกระบวนการของวิธี GRASP ดังข้างต้น Blum and Roli (2003) ได้ให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับข้อได้เปรียบของวิธี GRASP กับวิธีเมตาฮิวริสติกส์อื่น ๆ ว่า วิธี GRASP เป็นวิธีการที่มีขั้นตอนดำเนินการไม่ซับซ้อน อาศัยเพียงพื้นที่ของหน่วยความจำเพื่อเก็บข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละรอบการวนซ้ำ จึงใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็วและสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ ในปี 2010 Resende and Ribeiro ได้กล่าวว่า ข้อได้เปรียบที่วิธี GRASP สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดนั้นมาจากในกระบวนการใช้พารามิเตอร์จำนวนน้อยแต่ส่งผลถึงคุณภาพคำตอบที่ดี เช่น พารามิเตอร์ในสำหรับกำหนดขนาดของบัญชีรายชื่อ(Restricted Candidate List: RCL) ซึ่งจะมีผลต่อขนาดพื้นที่ที่ใช้ในการหาคำตอบ และมีการเปลี่ยนแปลงในรอบการวนซ้ำทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย นำไปสู่การหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

ฐิติพันธ์ คำอ้ายวัฒนา (2553); จิตตวีร์ ศรีปฐมสวัสดิ์ (2554) ประยุกต์ใช้ GRASP ในการค้นหาคำตอบระยะทางการขนส่งที่สั้นที่สุด วิธีดำเนินการประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการสร้างคำตอบเริ่มต้นและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบใช้สองวิธีคือวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งของลูกค้า (Swap customer) และวิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้าข้ามเส้นทาง (Move exchanges) พร้อมทั้งให้ข้อสรุปว่าวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาการขนส่งอีกหลายรูปแบบ

วัฏชรินทร์ เผ่าภูรี (2554) สร้างและพัฒนาฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงหลายชนิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวมให้ต่ำที่สุด โดยจัดเส้นทางรถด้วยวิธี GRASP และทำการสลับจุดขนส่งด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt ในการปรับปรุงคุณภาพคำตอบเพื่อลดระยะทางรวมให้ได้มากที่สุด

Peiro, Corberan and Marti (2014) นำเสนอวิธีฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการหาจำนวนศูนย์การกระจายสินค้า การจัดสรรลูกค้าสำหรับเข้ารับบริการและการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยประยุกต์ใช้วิธี GRASP ในการแก้ปัญหา ซึ่งในกระบวนการสร้างคำตอบเบื้องต้นแบ่งออกเป็นขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกหาจำนวนศูนย์การกระจายสินค้าที่ต้องการเปิดจำนวน p แห่ง ขั้นตอน

สองจัดสรรลูกค้าเข้ารับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งและขั้นตอนที่สามจัดเส้นทางการขนส่ง ในส่วนของระยะการปรับปรุงคำตอบใช้วิธีการปรับเปลี่ยนตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าและการปรับเปลี่ยนลูกค้า เพื่อให้ได้ต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดจากนั้นเปรียบเทียบคำตอบกับการแก้ปัญหาด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GA และ VNS ผู้วิจัยได้แสดงความคิดเห็นว่าวิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นมีกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่ดีมากเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ

Duhamel and et al. (2010) นำเสนอวิธีการเพื่อเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและจัดสรรลูกค้าเข้ารับบริการจากศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งพร้อมทั้งจัดเส้นทางการขนส่ง โดยประยุกต์ใช้วิธี GRASP ร่วมกับวิธีการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี Evolution Local Search: ELS โดยมีการนำเส้นทางเริ่มต้นที่ได้จากระยะการสร้างคำตอบเริ่มต้นของวิธี GRASP มาทำการแยกออกเป็นเส้นทางย่อยและทำการจัดเส้นทางย่อยใหม่ ด้วยหลักการ route- first- cluster second ผ่านกระบวนการผ่าเหล่า(mutation)และทำการปรับปรุงคำตอบอีกครั้ง วิธีการที่นำเสนอนี้จะทำให้ได้จุดเปิดศูนย์กระจายสินค้าที่มีศักยภาพและเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมที่มีต้นทุนการดำเนินการและต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด

Lui, Ramli and Saputra (2014) ศึกษาศักยภาพวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ในการแก้ปัญหการเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่งและจัดสรรลูกค้าเข้ารับบริการภายใต้เงื่อนไขขนาดบรรจุของศูนย์กระจายสินค้า โดยการทำการทดลองเปรียบเทียบศักยภาพของวิธีการด้วยการใช้ข้อมูลตัวอย่างจากการทบทวนวรรณกรรมที่ลักษณะของปัญหาไม่มีการพิจารณาขนาดบรรจุของศูนย์กระจายสินค้าและดำเนินการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น α ด้วยวิธีการ Linear Function, Convex Function และ Concave Function ในเฟสโครงสร้างเพื่อหาคำตอบเริ่มต้นแล้วจึงเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ผลจากการแก้ปัญหาพบว่าการแก้ปัญหด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น α ด้วยวิธีการต่าง ๆ ก็ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในด้านของเวลาในการคำนวณที่สั้นและความคลาดเคลื่อนของวิธีการน้อยไม่ว่าจะทดสอบกับปัญหขนาดเล็หรือปัญหขนาดใหญ

Sharif and Salari (2015) พัฒนาวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP สำหรับแก้ปัญหการขนส่งเวชภัณฑ์ในสถานการณ์บรรเทาสาธารณภัยให้ประชาชนได้รับการบรรเทาอย่างทั่วถึง ในขั้นเริ่มต้นมีการกำหนดจำนวนศูนย์รับเวชภัณฑ์และจัดเส้นทางการขนส่งด้วยแนวคิดวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการหลายวิธีเช่นการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 ตำแหน่ง และ 2 ตำแหน่ง การปิดหรือเพิ่มจำนวนจุดรับเวชภัณฑ์ การสลับเส้นทางการขนส่งและการจัดสรรจุดรับเวชภัณฑ์ในเส้นทางนั้น ๆ ใหม่

Lui, Ramli and Lin (2016) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหการเลือกที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่งและจัดสรรลูกค้าเข้ารับบริการภายใต้เงื่อนไขขนาดบรรจุของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งที่แตกต่างกัน ซึ่งพัฒนามาจาก Lui, Ramli and Saputra (2014) โดยใช้กฎระยะทางไกลที่สุด(Furthest Distance Route)เป็นตัวกำหนดเริ่มต้นและประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ในการหาคำตอบประกอบกับตั้งข้อสังเกตว่าสถานที่ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าไม่ควรอยู่ใกล้กันเกินไปจึงประยุกต์ใช้แนวคิดเขตต้องห้าม(restricted regions)ที่ใช้เกณฑ์การหารัศมีระยะห่างระหว่าง

ศูนย์กระจายสินค้าร่วมด้วยเพื่อให้ได้สถานที่ที่มีศักยภาพมากที่สุด พร้อมทั้งจัดสรรลูกค้าผู้รับบริการที่เหมาะสม

Colmenar et al. (2016) อธิบายว่าวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP สามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพโดยประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ในการหาสถานที่ตั้งสำหรับสถานที่ไม่พึงประสงค์ โดยคัดเลือกสถานที่ไม่พึงประสงค์จำนวน p แห่ง พิจารณาระยะทางรวมของระยะทางที่มากที่สุดระหว่างลูกค้าแต่ละแห่งกับสถานที่ไม่พึงประสงค์ นำผลลัพธ์เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่มีการคำนวณจากวิธี branch and cut method ร่วมกับวิธีเมตาฮิวริสติกส์ tabu search ในปี 1990 พบว่าผลลัพธ์จากวิธี GRASP ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและใช้เวลาในการประมวลผลที่น้อยกว่า

Expósito-Márquez et al. (2019) ได้ออกแบบเส้นทางการเก็บขยะรีไซเคิลในเมือง La Palma ประเทศสเปน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถเก็บขยะรีไซเคิลได้มากที่สุดต่อเที่ยว ผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ในการออกแบบเส้นทางเก็บขยะ โดยในกระบวนการสร้างคำตอบเริ่มต้นพิจารณาระยะทางและปริมาณขยะรีไซเคิลของแต่ละจุดเก็บขน สร้างบัญชีรายชื่อเพื่อสุ่มเลือกจุดเก็บขนเข้ามายังเส้นทางการเก็บขยะรีไซเคิล และประยุกต์ใช้ The lin-Kernighan heuristics ในกระบวนการปรับปรุงคำตอบ ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการดำเนินการในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ในแต่ละเที่ยวการเก็บขยะรีไซเคิลสามารถได้ในปริมาณที่มากกว่า ใช้เวลาและมีระยะทางในการเก็บขยะรีไซเคิลที่น้อยกว่า ทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บขยะรีไซเคิลลงและมีการบริหารจัดการการเก็บขยะรีไซเคิลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

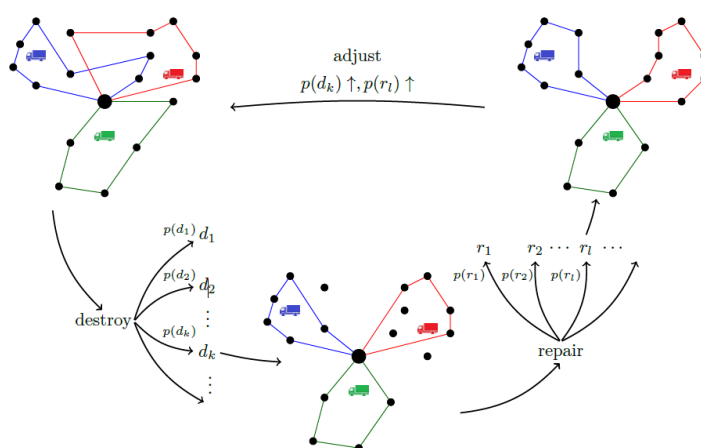
นอกจากนี้วิธีเมตาฮิวริสติกส์ GRASP ยังมีนักวิจัยหลายรายนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการฮิวริสติกส์แบบอื่น ๆ หรือวิธีเมตาฮิวริสติกส์ เพื่อทำการแก้ปัญหาในลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ที่ได้ให้คำตอบและมีระยะเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสม ตลอดจนมีขั้นตอนการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อนสามารถทำการแก้ปัญหาหรือค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกส์แบบอื่น ๆ ในส่วนของกระบวนการปรับปรุงคำตอบของวิธี GRASP อาจใช้วิธี Local Search ในรูปแบบต่าง ๆ ในการหาคำตอบในพื้นที่ระยะใกล้เคียงเพื่อปรับปรุงให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่รวดเร็ว แต่หากปัญหามีขนาดใหญ่มีพื้นที่ในการหาคำตอบขนาดใหญ่ วิธีการ Large Neighborhood Search(LNS), Very Large Scale Neighborhood Search (VLNS), Variable Neighborhood Search (VNS) และ Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) สามารถแก้ปัญหาหรือปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้นได้

2.5.2.2 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้

วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) ถูกพัฒนามาจากวิธีการสืบค้นข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search) โดย Ropke and Pisinger (2006) ในปี 2006 มีวิธีการแก้ปัญหาโดยหลักการการทำลายและการสร้างใหม่(ruin-and-recreate principle) Schirmpf and et al. (2000) องค์ประกอบของวิธี ALNS แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 2.9 ส่วนแรก เป็นการเปลี่ยนแปลงคำตอบเริ่มต้นโดยการทำลายคำตอบเริ่มต้นแล้วจึงทำการซ่อมแซมใส่กลับเข้าไปใหม่เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม ทั้งวิธีการทำลายและวิธีการซ่อมแซมจะถูกกำหนดไว้เป็นเซตแล้วใช้วิธีการสุ่มเลือกในแต่ละรอบของการค้นหา ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการปรับค่าน้ำหนัก ซึ่งการปรับค่าน้ำหนักส่งผลให้การหาคำตอบที่มี

ประสิทธิภาพมากขึ้นและสามารถเชื่อถือได้ว่าวิธีการหาคำตอบที่ไม่มีประสิทธิภาพจะไม่ถูกเลือกมาใช้ หรือมีโอกาสที่จะถูกเลือกน้อยกว่าหรือการเลือกตำแหน่งพื้นที่ที่จะค้นหาคำตอบที่ดีจะสามารถนำไปสู่ การปรับปรุงคำตอบที่ดีได้ ในช่วงของการดำเนินการกระบวนการหาคำตอบจะมีการปรับค่าน้ำหนัก เป็นระยะ ในการดำเนินการปรับปรุงคำตอบจะประกอบด้วยการวนรอบซ้ำกำหนดเป็น P_u ครั้ง ซึ่งการ เลือกฮิวริสติกส์ในการทำลายและซ่อมแซมในแต่ละรอบของการวนซ้ำจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่ใช้ปรับ ค่า ซึ่ง $D = \{d_i | i=1, \dots, k\}$ โดย k เป็นเซตของฮิวริสติกส์การทำลายและ $R = \{r_i | i=1, \dots, l\}$ โดย l คือเซตของฮิวริสติกส์การซ่อมแซม ในการปรับปรุงคำตอบรอบแรกจะกำหนดให้มีค่าน้ำหนัก เท่ากัน ซึ่ง $w(d_i)$ และ $w(r_i)$ คือน้ำหนักของฮิวริสติกส์การทำลายและฮิวริสติกส์การซ่อมแซม ตามลำดับ การหาความน่าจะเป็นของฮิวริสติกส์แสดงดังสมการที่ 2.60

$$P(r_i) = \frac{w(r_i)}{\sum_{j=1}^l w(r_j)}, P(d_i) = \frac{w(d_i)}{\sum_{j=1}^k w(d_j)} \quad (2.60)$$



ภาพที่ 2.9 รูปแบบการค้นหาคำตอบของวิธี ALNS
ที่มา: Schrimpf and et al. (2000)

การทำลายและการซ่อมแซม (Destroying and Repairing)

1) ฮิวริสติกส์การทำลาย (Destroy heuristics)

1.1) ระดับของการทำลายแทนด้วย d เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงก่อนการนำมา แก้ปัญหา Schrimpf and et al. (2000) อธิบายถึงกลยุทธ์การกำหนดระดับของการทำลาย ได้แก่

1.1.1) ตั้งค่าระดับการทำลายที่คงที่

1.1.2) เพิ่มระดับการทำลายขึ้นเรื่อย ๆ จาก $d_{\min}$ ถึง $d_{\max}$

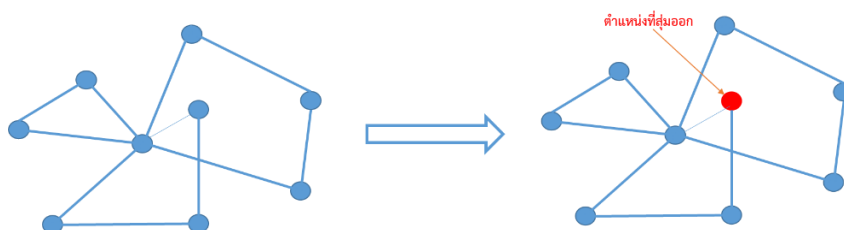
1.1.3) ลดระดับการทำลายขึ้นเรื่อย ๆ จาก $d_{\max}$ ถึง $d_{\min}$

1.1.4) การเลือกกระดัดการทำลายโดยสุ่มจาก $[d_{\min, \max}]$ ทุก ๆ การวนรอบซ้ำ

1.1.5) กำหนดระดับการทำลายจาก $[d_{\min, \max}]$ ตามประวัติของข้อมูลที่สามารถหาคำตอบได้ดีที่สุด

1.2) การกำหนดกลยุทธ์ในการทำลายส่งผลถึงการเลือกฮิวริสติกส์และประสิทธิภาพของคำตอบ ฮิวริสติกส์ที่มีการนำมาใช้ในวิธี ALNS อย่างแพร่หลายมีดังนี้

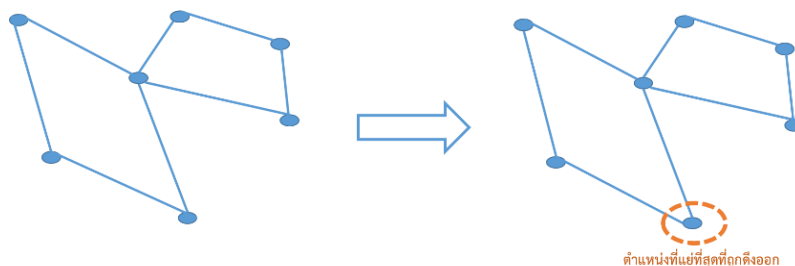
1.2.1) Random Removal เป็นการทำลายแบบสุ่มย้ายคำตอบออกจากคำตอบเดิมเป็นวิธีการที่ง่ายและไม่ซับซ้อน มีการกระจายความเสี่ยงและหลีกเลี่ยงการเกิด local optima แต่ฮิวริสติกส์นี้อาจมีการสุ่มเอาคำตอบที่เหมาะสมออกจากคำตอบเดิม (Koc, 2016; Chen and et al., 2018; Lui and et al., 2019) แสดงดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Random removal

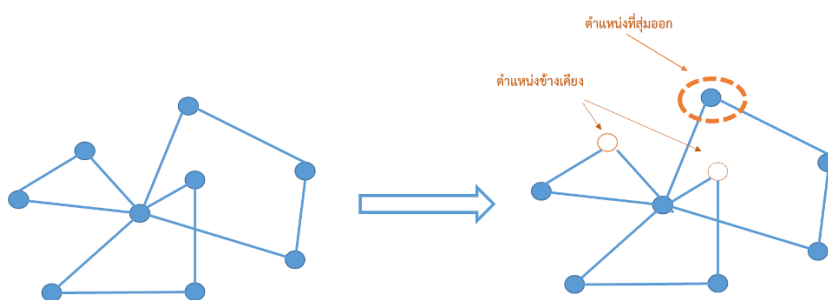
1.2.2) Worst Removal เป็นการทำลายแบบการนำส่วนที่แย่ที่สุดออกจากคำตอบเดิม (Dayarian and et al., 2016) เช่น ส่วนที่มีต้นทุนสูงที่สุดหรือส่วนที่มีระยะทางมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนรวมเพิ่มขึ้น (Chen and et al., 2018; Lui and et al., 2019) เพื่อให้คำตอบมีต้นทุนต่ำที่สุด มีการคำนวณต้นทุนเปรียบเทียบเมื่อเอาส่วนที่แย่ที่สุดออกไป ดังสมการ 2.61 กำหนดให้ ลูกค่า $k(k \in R)$ เมื่อ J_k คือส่วนต่างของค่าใช้จ่ายหรือต้นทุน $F(s)$ คือต้นทุนเดิม และ $F_{-k}(s)$ คือต้นทุนที่ไม่มีลูกค่า k ในคำตอบนั้น ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 2.11

$$J_k = F(s) - F_{-k}(s) \quad (2.61)$$



ภาพที่ 2.11 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Worst Removal

1.2.3) Relate Removal เป็นการทำลายโดยพิจารณาตำแหน่งของลูกค้าหรือสถานที่ที่ใกล้เคียงกันที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งสถานที่ที่ถูกกำหนดให้ถูกทำลายออกไป เพื่อช่วยให้การซ่อมแซมคำตอบมีโอกาสหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ง่ายขึ้น (Dayarian and et al., 2016) (Chen and et al., 2018; Lui and et al., 2019) แสดงดังภาพที่ 2.12

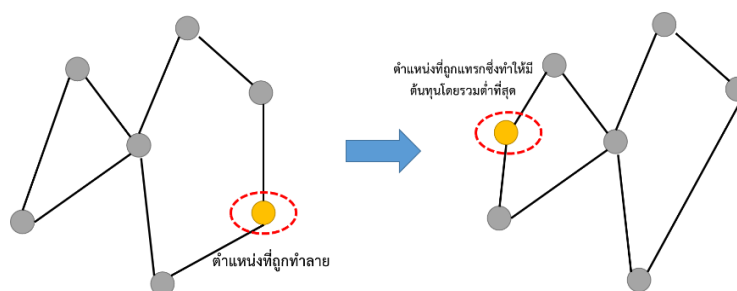


ภาพที่ 2.12 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Relate Removal

2) ฮิวริสติกส์การซ่อมแซม (Destroy heuristics)

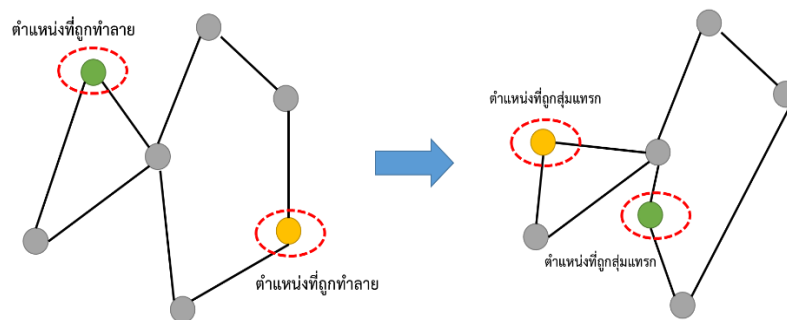
การซ่อมแซมคำตอบมีลักษณะตรงข้ามกับการทำลาย คือมีการนำบางส่วนหรือบางลูกค้าใส่กลับเข้าไปในคำตอบที่ถูกทำลาย ฮิวริสติกส์ของการซ่อมแซมมีความซับซ้อนและใช้เวลาดำเนินการค่อนข้างนานกว่าฮิวริสติกส์การทำลาย แต่ก็ยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการ Branch and Bound ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในการทำซ้ำครั้งเดียวแต่จะใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน วิธีการซ่อมแซมคำตอบที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายยกตัวอย่างเช่น

2.1) Greedy Insertion เป็นการซ่อมแซมโดยแทรกลูกค้าในตำแหน่งที่ส่งผลให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด วิธีนี้ใช้เวลาค่อนข้างนานเพราะมีการแทรกในทุกตำแหน่งของคำตอบเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Koc, 2016) แสดงดังภาพที่ 2.13



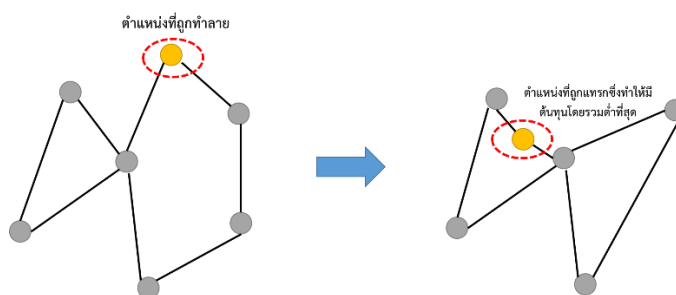
ภาพที่ 2.13 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy Insertion

2.2) Random Insertion วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เป็นการซ่อมแซมโดยการสุ่มแทรกลูกค้าในตำแหน่งใด ๆ โดยไม่คำนึงถึงต้นทุน แต่จะต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น ละเมิดปริมาณบรรทุกของยานพาหนะ หรือละเมิดระยะทางรวมที่กำหนด เป็นต้น (Koc, 2016; Praseeratasang and et al., 2019) แสดงดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random Insertion

2.3) Arbitrary Insertion เป็นการซ่อมแซมที่คล้ายคลึงกับวิธี Greedy Insertion เช่นเดียวกัน โดยทำการแทรกในทุกตำแหน่งที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้และเปรียบเทียบเลือกตำแหน่งที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary Insertion

3) การปรับน้ำหนัก (Weight Adjustment: w)

การปรับน้ำหนักของฮิวริสติกส์การทำลายและการซ่อมแซม เป็นการเพิ่มความน่าจะเป็นในการหาคำตอบที่ดีที่สุด การปรับน้ำหนักของฮิวริสติกส์สามารถดำเนินการได้ 2 กรณี คือ กรณีแรกอัปเดตน้ำหนักในการวนรอบซ้ำทุกครั้ง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้น้ำหนักของฮิวริสติกส์มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และอาจจะต้องใช้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยเนื่องจากต้องคำนวณความน่าจะเป็นของฮิวริสติกส์สำหรับการวนรอบซ้ำครั้งถัดไป กรณีที่สองคือการวนรอบซ้ำของอัลกอริทึมจำนวน P_u ครั้ง จากนั้นจึงปรับค่าน้ำหนัก วิธีนี้จะส่งผลให้เวลาในการประมวลผลคำตอบสั้นลง ในการปรับค่าน้ำหนัก มีการกำหนดให้ $w(h)$ คือน้ำหนักของฮิวริสติกส์ h ซึ่งใช้กับทั้งการทำลายและการซ่อมแซม และ P_u คือรอบในการวนรอบซ้ำหรือจำนวนการวนรอบซ้ำที่ดำเนินการก่อนที่จะมีการปรับค่าใหม่ จำนวนครั้งที่มีการหาคำตอบของฮิวริสติกส์ h ในระหว่างการวนรอบซ้ำของ P_u เรียกว่า $u(h)$ ส่วน $s(h)$ ของ h จะมีค่าเริ่มต้นจากศูนย์และเปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบของการวนรอบซ้ำ ซึ่งมีผลต่อพารามิเตอร์ในการกำหนดค่าน้ำหนักของ operator ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีคือ

δ_1 คำตอบใหม่คือคำตอบที่ดีที่สุด New global best

δ_2 คำตอบใหม่คือคำตอบที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบัน

δ_3 คำตอบใหม่มีค่าไม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันแต่ได้รับการยอมรับคำตอบ

δ_4 คำตอบใหม่มีค่าไม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันและถูกปฏิเสธ

และ $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3 > \delta_4 \geq 0$ สามารถคำนวณค่าน้ำหนักได้จากสมการที่ 2.62

$$w(h) = \begin{cases} (1-P)w(h) + P \frac{s(h)}{u(h)}, & \text{if } u(h) > 1 \\ (1-p)w(h) & , \text{if } u(h) > 0 \end{cases} \quad (2.62)$$

4) การยอมรับคำตอบ (Acceptance criterion)

Azi, Gendreau and Potvin (2014); วรพจน์ ศิริรักษ์ (2561); Lui Tao. and Xie (2019) อธิบายว่าการยอมรับคำตอบด้วยวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจาก วิธี SA อาจจะยอมรับคำตอบที่แย่ลงมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปพัฒนาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดต่อไปได้ ในการพิจารณาว่าจะยอมรับคำตอบหรือไม่ยอมรับคำตอบที่แย่ลงนั้น ใช้หลักการความน่าจะเป็น (Probability) $p = e^{\frac{Z(s') - Z(s)}{KT}}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของคำตอบ $Z(s), Z(s')$ และอุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิจะลดลงตามจำนวนรอบการค้นหาและจะหยุดเมื่ออุณหภูมิเทียบเท่าอุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิที่กำหนดหรือด้วยเหตุผลอื่น ๆ จะสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้

วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ และเป็นที่ยอมรับในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในหลายรูปแบบ เช่น ปัญหาการจัดตารางการผลิต ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง เป็นต้น กรอบการทำงานของวิธี ALNS ประกอบไปด้วยขั้นตอนและวิธีการที่นำมาใช้มากมายดังที่อธิบายข้างต้น ทำให้ ALNS มีลักษณะเด่นหลายประการเช่น 1) หาคำตอบในพื้นที่ขนาดใหญ่และใช้พื้นที่หาคำตอบที่หลากหลายซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสพบคำตอบที่ดี 2) ใช้วิธีการสุ่มเพื่อเลือกวิธีฮิวริสติกทำลายคำตอบและวิธีฮิวริสติกซ่อมแซมคำตอบ ซึ่งทำให้ได้คำตอบจำนวนมากที่แตกต่างกัน และ 3) มีการปรับค่าน้ำหนักของวิธีฮิวริสติกทำลายคำตอบและวิธีฮิวริสติกซ่อมแซมคำตอบในแต่ละรอบการวนซ้ำ เพื่อปรับพื้นที่ในการหาคำตอบ ทั้งนี้ลักษณะเด่นเหล่านี้จึงทำให้ ALNS มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Pisinger and Ropke, 2010)

Qu and Bard (2012) วางแผนการจัดเส้นทางรถเก็บและจัดส่งสินค้า (The pickup and delivery problem) ประจำวัน โดยประยุกต์ใช้หลักการของวิธี GRASP ในการสร้างเส้นทางเริ่มต้นโดยเปลี่ยนแปลงให้มีการแทรกลูกค้าและกำจัดลูกค้าออกจากเส้นทางนั้น ๆ และใช้วิธีการ ALNS ในระยะปรับปรุงคำตอบซึ่งใช้วิธีทำลายคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ Shaw removal heuristic, Random removal heuristic และ Route random sweep heuristic ใช้วิธีในการซ่อมแซมคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ Greedy insertion heuristic, Regret-k insertion heuristic และ Random insertion

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีเมตาฮิวริสติกส์ทั้งสองวิธีสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลอย่างรวดเร็ว

Azi, Gendreau and Potvin (2014) ประยุกต์ใช้ ALNS ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะให้บริการขนส่งสินค้าที่มีการเฝ้าเสี่ยงภัยในกรณีที่มีหลายเส้นทาง ซึ่งมีข้อจำกัดทางด้านเวลาในการขนส่งสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถให้บริการลูกค้าได้มากที่สุดแต่มีต้นทุนในการเดินทางต่ำที่สุด ซึ่งใช้วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) ในส่วนของหลักการทำลายและซ่อมแซมคำตอบในการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการทำลาย 4 วิธีคือ Random Removal, Worst Removal, Static-related, Removal และ Time-related Removal ใช้วิธีการซ่อมแซม 3 วิธี Greedy insertion, Regret insertion และ Noise Insertion ผลลัพธ์สามารถนำไปแก้ปัญหาและเป็นประโยชน์ต่อการจัดการการดำเนินงานในส่วนอื่น ๆ ได้อีกด้วย

Chen and et al. (2018) แก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตโดยนำเสนอเมตาฮิวริสติกส์ที่ประยุกต์ใช้ ALNS ภายใต้ข้อจำกัดจำนวนยานพาหนะและระยะเวลาในการเดินทางให้น้อยที่สุด โดยมีการเทียบเคียงผลลัพธ์กับข้อมูลกรณีศึกษาอื่น ๆ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ดี ใช้ยานพาหนะในการดำเนินงานน้อยลงกว่าผลที่ได้จากอัลกอริทึมเดิม ใช้ระยะทางในการขนส่งที่สั้นลงและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีจากกรณีศึกษาที่นำมาเทียบเคียง

Gu and et al. (2019) นำเสนอฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการขนส่งกรณีที่ถูกค้ามีความต้องการสินค้าหลายชนิด การขนส่งสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันจึงจำเป็นต้องไปส่งให้ลูกค้าหลายรายในระยะเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยมีวัตถุประสงค์ในการให้บริการลูกค้าได้มากที่สุดและทันเวลา

Liu, Tao and Xie (2019) แก้ปัญหาการจัดตารางการเดินทางภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาในการขนส่งและความต้องการในการรับบริการของลูกค้า โดยนำเสนอ mix-integer programming model โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) โดยใช้วิธีการทำลาย 3 วิธีคือ Customer Related removal, Customer Worst removal และ Customer Random removal ใช้วิธีการซ่อมแซม 2 วิธี Customer Best insertion และ Regret insertion ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถให้บริการลูกค้าตามเวลาที่กำหนดไว้และสามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างทั่วถึง

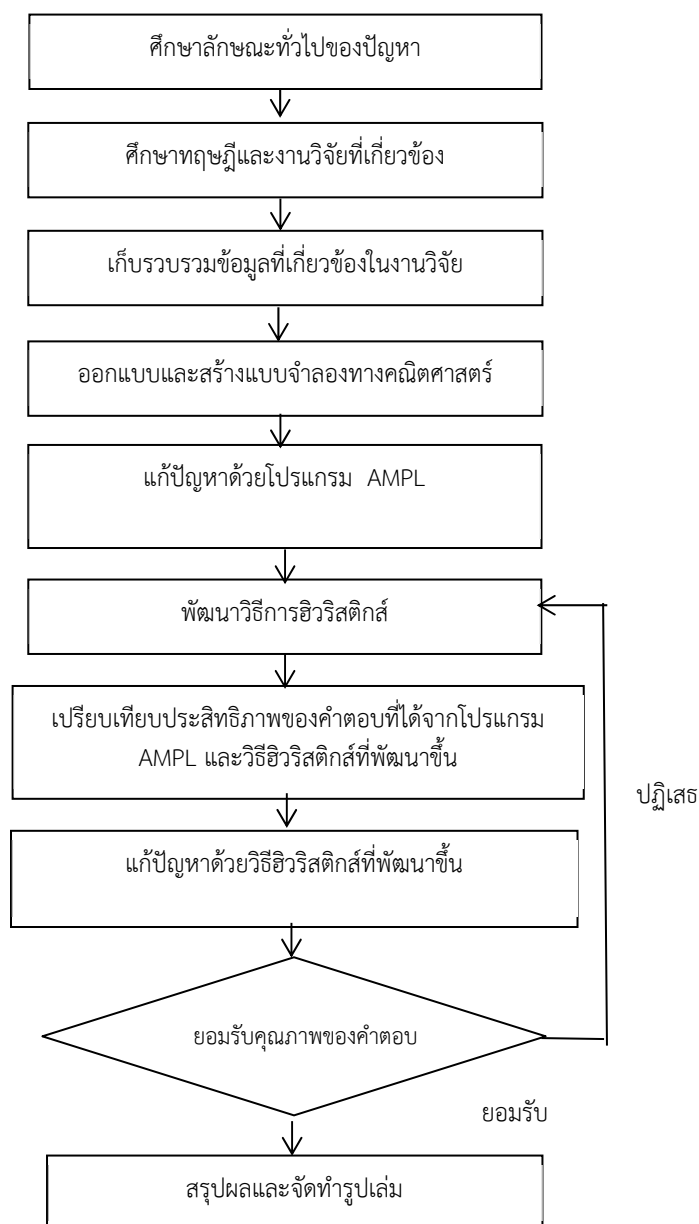
ในขณะเดียวกัน Praseeratasang and et al. (2019) นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและการมอบหมายงานในฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อ เพื่อให้มีกำไรสูงสุด ในการทำงานของฟาร์มมีหลายปัจจัยในที่ส่งผลกระทบต่อผลกำไรที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะการวางแผนการผลิตในส่วนของต้นทุนการขายและการขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) จำนวน 3 รูปแบบ คือ ALNS1, ALNS2 และ ALNS3 ในการแก้ปัญหา ผลปรากฏว่า วิธี ALNS1 ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและใช้เวลาในการประมวลผลที่สั้นที่สุด ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มกำไรให้กับฟาร์มไก่ได้ถึง 5.74%

จากการทบทวนวรรณกรรมจะเห็นได้ว่า วิธี GRASP และ วิธี ALNS เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ นักวิจัยหลายท่านนำไปแก้ปัญหาต่าง ๆ อีกทั้งมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีตลอดจนการนำไปใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์หรือเมตาฮิวริสติกส์อื่น ๆ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการคำนวณสั้นที่สุด ในงานวิจัยนี้เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน ดังนั้นในการแก้ปัญหานี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกแนวทางของวิธี GRASP และ ALNS มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เหมาะสม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัยในการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ผู้วิจัยจึงกำหนดวิธีดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนต่อไปนี้แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหา

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขทั้งสิ้น 325 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อเกิดขึ้นประมาณ 15,798 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งโรงพยาบาลส่วนใหญ่มีนโยบายในการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการใช้บริการบริษัทเอกชนในราคากิโลกรัมละ 12 ถึง 16 บาท ซึ่งนับว่าเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมของโรงพยาบาลสูงขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาปัญหาเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ในการเลือกเปิดตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม จากการแบ่งสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินตามประกาศกฎกระทรวงบังคับใช้ผังเมืองรวมเมืองของแต่ละจังหวัดและสามารถเปิดดำเนินการจำนวนกี่แห่งก็ได้ ตำแหน่งที่ตั้งแต่ละแห่งสามารถเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อได้เพียงเครื่องเดียวและขนาดเดียวเท่านั้น และโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะส่งขยะติดเชื้อไปยังตำแหน่งที่ตั้งที่เปิดดำเนินการเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ในงานวิจัยนี้อ้างอิงขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อจาก ภัทรภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) ซึ่งเป็นเตาเผาขยะติดเชื้อที่ได้มาตรฐานและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมและนิยมใช้ในบริษัทเอกชน เตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 ขนาด คือเตาเผาที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งเตาเผาขยะติดเชื้อทุกขนาดสามารถเปิดใช้งานได้นานต่อเนื่องกันหลายชั่วโมง ในส่วนของการจัดเส้นทางรถเก็บขนขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ยานพาหนะจะเดินทางเก็บขยะติดเชื้อทั้งหมดของโรงพยาบาลแต่ละแห่งและส่งไปกำจัดที่ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อดำเนินการเผา โดยโรงพยาบาลที่ใช้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อจะมีความถี่ในการส่งขยะติดเชื้อไปกำจัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับนโยบายการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลนั้น ๆ ในการจำลองรูปแบบคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางรถเก็บขนขยะติดเชื้อเพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการเปิดดำเนินการเตาเผา โดยต้นทุนรวมประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายคงที่และแปรผันในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อที่รับมารวมกันเพื่อรอเผาครั้งเดียวให้หมดภายในเดือนนั้น ๆ ค่าใช้จ่ายคงที่และแปรผันของยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อ และค่าใช้จ่ายในส่วนของผลกระทบต่อชุมชนหากมีการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งนั้น ๆ (ค่าโทษ)

3.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) และวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) เป็นต้น ซึ่งแสดงรายละเอียดในบทที่ 2

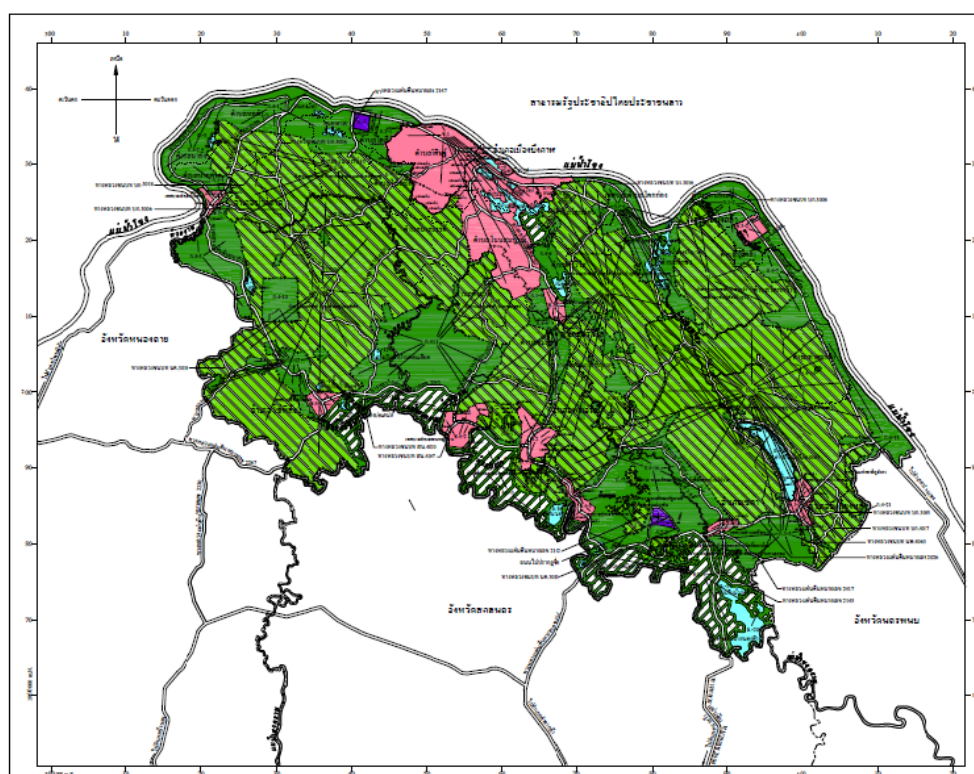
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยทั้ง 20 จังหวัด ทั้งสิ้น 325 แห่ง รายละเอียดแสดงดัง

ภาคผนวก ก ประกอบไปด้วย จังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ ชัยภูมิ นครราชสีมา นครพนม บุรีรัมย์ มหาสารคาม มุกดาหาร ยโสธร ร้อยเอ็ด เลย ศรีสะเกษ สกลนคร สุรินทร์ หนองคาย หนองบัวลำภู อำนาจเจริญ อุบลราชธานี อุบลราชธานี และบึงกาฬ ซึ่งข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมส่วนหนึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด ส.เรืองโรจน์สระบุรี บริษัท โซติธูรณ์พิบูลย์ จำกัดและเทศบาลนครวารินชำราบ ข้อมูลที่ได้รับความอนุเคราะห์ เช่น ปริมาณขยะติดเชื้อที่รับไปกำจัดของแต่ละโรงพยาบาล ความถี่ในการรับขยะติดเชื้อเพื่อไปกำจัด อัตราค่าใช้จ่ายในการให้บริการต่อครั้ง อัตราค่าขนส่งต่อกิโลเมตร เป็นต้น

3.3.1 ข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งและพื้นที่ที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้สืบค้นและรวบรวมข้อมูลในประกาศกฎกระทรวงบังคับใช้ผังเมืองรวมเมืองของแต่ละจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้ง 20 จังหวัด โดยพิจารณาเฉพาะพื้นที่ที่สามารถจัดตั้งกิจการประเภทอุตสาหกรรมและคลังสินค้าได้เท่านั้น (พื้นที่สีม่วง) ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.2 ซึ่งตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาและเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีทั้งสิ้น 21 แห่ง แสดงดังตารางที่ 3.1



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างแผนผังการใช้ประโยชน์ที่ดินตามที่จำแนกประเภทท้ายกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวมจังหวัดบึงกาฬ พ.ศ. 2560

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาและเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับที่	จังหวัด	พิกัด
1	นครราชสีมา 1	14.851234, 101.897627
2	นครราชสีมา 2	14.765099, 102.077813
3	นครราชสีมา 3	14.911558, 102.174795
4	นครราชสีมา 4	15.743358, 102.312164
5	บึงกาฬ 1	18.406793, 103.502252
6	บึงกาฬ 2	17.944626, 103.872304
7	กาฬสินธุ์	16.458425, 104.054722
8	ศรีสะเกษ	14.772124, 104.715207
9	ร้อยเอ็ด 1	16.114448, 103.638984
10	ร้อยเอ็ด 2	16.381295, 104.009559
11	หนองคาย	17.732577, 102.751581
12	หนองบัวลำภู 1	16.973393, 102.312913
13	หนองบัวลำภู 2	16.898915, 102.244530
14	หนองบัวลำภู 3	17.287260, 102.249381
15	อุดรธานี	17.285393, 102.898530
16	อำนาจเจริญ 1	15.968649, 104.643355
17	อำนาจเจริญ 2	15.850468, 104.816537
18	สุรินทร์	14.836820, 103.613293
19	เลย	17.699057, 101.414337
20	ขอนแก่น	16.671478, 102.737230
21	บุรีรัมย์	14.985093, 102.795346

3.3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อ

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้ง 325 แห่ง โดยใช้แบบสอบถามข้อมูลโรงพยาบาล เช่น ปริมาณขยะมูลฝอยติดเชื้อต่อเดือน พื้นที่ในการจัดเก็บขยะมูลฝอยติดเชื้อ เตาเผาขยะติดเชื้อโรงพยาบาล เป็นต้น รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ง ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการและกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อโรงพยาบาล
ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	รหัส	โรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	พื้นที่รวบรวมขยะติดเชื้อ (ตารางเมตร)	เตาเผาขยะ	วิธีการกำจัด	ความถี่ในการกำจัด (ครั้ง/เดือน)
1	H01	โรงพยาบาลชุมพลบุรี					
2	H02	โรงพยาบาลลำดวน					
3	H03	โรงพยาบาลสำโรงทาบ					
4	H04	โรงพยาบาลท่าตูม					
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.
325	H325	โรงพยาบาล 50 พรรษามหาชริาลงกรณ					

3.3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับเตาเผาขยะติดเชื้อ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยอ้างอิงข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อจาก ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) โดยเตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันมีหลายขนาด แบ่งประเภทตามความสามารถในการเผา (กิโลกรัมต่อหน่วยเวลา) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 ขนาดคือ เตาเผาที่มีความสามารถในการเผาขยะติดเชื้อ 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งอ้างอิงตามข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการเผาขยะติดเชื้อเอกชน รายละเอียดเตาเผาแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเตาเผาขยะติดเชื้อ

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)

3.3.4 ข้อมูลค่าใช้จ่าย

สำหรับงานวิจัยนี้ค่าใช้จ่ายในการเปิดตำแหน่งที่ตั้งและจัดเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ ประกอบไปด้วย 5 ส่วนที่สำคัญคือ

3.3.4.1 ค่าใช้จ่ายคงที่สำหรับดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ประกอบไปด้วยค่าจ้างพนักงานในการดำเนินการเผา ค่าเสื่อมราคาเตาเผา และค่าบำรุงเตา

3.3.4.2 ค่าใช้จ่ายแปรผันในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ประกอบไปด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงในการเผา ค่าสาธารณูปโภค โดยต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันสำหรับดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้อ้างอิงข้อมูลจากจาก ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558) แสดงดังตารางที่ 3.4

3.3.4.3 ต้นทุนคงที่ขนส่งขยะติดเชื้อ พิจารณาค่าใช้จ่ายสำหรับยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อประกอบไปด้วย ค่าประกันภัย ค่าภาษีประจำปี

3.3.4.4 ต้นทุนแปรผันในการขนส่งขยะติดเชื้อ ประกอบไปด้วยค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษายานพาหนะ เป็นต้น โดยขึ้นอยู่กับระยะทางในการขนส่งซึ่งคำนวณจากพิกัดที่ตั้งโรงพยาบาลประมวผลด้วย Google map ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตรแสดงดังภาคผนวก ค

3.3.4.5 ค่าใช้จ่ายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น (ค่าโทษ) หากมีการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งใด พิจารณาจากค่ารักษาพยาบาลสิทธิ์ประกันสุขภาพโดยเฉลี่ยต่อคนของจำนวนประชากรในรัศมี 5 กิโลเมตร (สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน, 2559) ณ ตำแหน่งใด ๆ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.4 ค่าใช้จ่ายคงที่และแปรผัน ในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ

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

หมายเหตุ: ค่าเสื่อมราคา คัดจากราคาเตา (บาท)/อายุการใช้งาน (วัน) ค่าจ้างพนักงานคิดจากค่าแรง 350 บาท/วัน/คน มีพนักงานทั้งสิ้น 3 คน

ที่มา: ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา (2558)

3.4 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากการวิเคราะห์สถานการณ์ทั่วไปของปัญหา ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางของการขนส่งขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้ดังนี้

3.4.1 ดัชนี

i, j	ดัชนีโรงพยาบาล $i, j = 1, 2, \dots, n$ ($n = 325$)
p	ดัชนีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ $p = 1, 2, \dots, m$ ($m = 21$)
v	ดัชนียานพาหนะ (เพื่อการขนส่ง) $v = 1, 2, \dots, V$
k	ดัชนีของเตาเผาขยะติดเชื้อแบบต่าง ๆ แบบเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง แบบเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง แบบเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีอัตราการเผาสูงสุด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง

3.4.2 เซต

P	คือเซตของตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ
I	คือเซตของโรงพยาบาล
V	คือเซตของยานพาหนะ
K	คือเซตของขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

3.4.3 พารามิเตอร์

d_{ij}	ระยะทางการขนส่งจากโหนด i ไป j (กิโลเมตร)
c_k	ค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อแบบที่ k (บาทต่อเดือน)
λ_i	ปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาล i (กิโลกรัมต่อเดือน)
b_k	อัตราการเผาสูงสุดต่อชั่วโมงของเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)
o_k	ค่าใช้จ่ายแปรผันในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ k (บาทต่อชั่วโมง)
z	ค่าใช้จ่ายโดยรวม (บาทต่อเดือน)
a	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่ง (บาทต่อกิโลเมตร)
q_v	ความจุของยานพาหนะ v (กิโลกรัมต่อเที่ยว)
S	ค่ารักษาพยาบาลสิทธิ์ประกันสุขภาพโดยเฉลี่ยต่อคน (บาทต่อคนต่อเดือน)
l_p	จำนวนประชากรที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งเปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อ
p	พิจารณาจำนวนประชากรในรัศมี 5 กิโลเมตรจากตำแหน่งที่เปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อ (คน)
f_v	ค่าใช้จ่ายคงที่ของยานพาหนะ v (บาทต่อเที่ยวต่อเดือน)
β_i	ความถี่ในการเดินทางไปรับขยะติดเชื้อโรงพยาบาล i (ครั้งต่อเดือน)
t	จำนวนชั่วโมงต่อเดือนที่สามารถเปิดดำเนินการเตาเผาขยะ (720 ชั่วโมงต่อเดือน)
A	ระยะทางการเดินทางสูงสุดที่อนุญาตให้ยานพาหนะ v ทำการขนส่ง (750 กิโลเมตรต่อคันต่อเที่ยว)

3.4.4 ตัวแปรตัดสินใจ

$$\begin{aligned}
 X_{ijv} & \begin{cases} 1 & \text{เมื่อยานพาหนะมีการเดินทางไปเก็บขยะติดเชื้อจากโหนด } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{สำหรับกรณีอื่น ๆ} \end{cases} \\
 Y_p & \begin{cases} 1 & \text{หากเปิดดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง } p \\ 0 & \text{สำหรับกรณีอื่น ๆ} \end{cases} \\
 N_{kp} & \begin{cases} 1 & \text{หากใช้เตาเผาขยะติดเชื้อแบบ } k \text{ ที่ตำแหน่ง } p \\ 0 & \text{สำหรับกรณีอื่น ๆ} \end{cases} \\
 R_{ip} & \begin{cases} 1 & \text{เมื่อโรงพยาบาลที่ } i \text{ รับบริการกำจัดขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง } p \\ 0 & \text{สำหรับกรณีอื่น ๆ} \end{cases} \\
 L_{ipv} & \begin{cases} 1 & \text{ยานพาหนะ } v \text{ เดินทางไปโรงพยาบาล } i \text{ และตำแหน่งเตาเผาขยะที่ } p \\ & (i, p \text{ อยู่บนเส้นทางเดียวกันของยานพาหนะ } v) \\ 0 & \text{สำหรับกรณีอื่น ๆ} \end{cases} \\
 h_{kp} & \text{จำนวนชั่วโมงต่อเดือนที่เปิดเดินเครื่องเตาเผาขยะติดเชื้อแบบ } k \text{ ที่ตำแหน่ง } p
 \end{aligned}$$

3.4.5 ตัวแปรช่วยตัดสินใจ

$$U_{iv} \quad \text{ค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อกำจัดเส้นทางเดินวนรอบหรือทัวร์ย่อย (Subtour)}$$

3.4.6 สมการเป้าหมาย

$$Min Z = \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} c_k N_{kp} + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{v \in V} f_v X_{ipv} + \sum_{p \in P} \sum_{k \in K} h_{kp} o_k N_{kp} + \sum_{v \in V} \sum_{i \in I \cup P} \sum_{j \in I \cup P} a_{ij} d_{ij} X_{ijv} + \sum_{p \in P} s_l Y_p \quad (3.1)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{p \in P} Y_p \geq 1 \quad (3.2)$$

$$\sum_{k \in K} N_{kp} = Y_p \quad \forall p \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in I \cup P} X_{ijv} = \sum_{j \in I \cup P} X_{jiv} \quad \forall i, \forall v \quad (3.4)$$

$$R_{ip} \leq Y_p \quad \forall i, \forall p, i \in I \quad (3.5)$$

$$\sum_{p \in P} R_{ip} = 1 \quad \forall i \quad (3.6)$$

$$R_{ip} L_{ipv} = \sum_{j \in I} x_{jpv} \sum_{j \in I \cup P} x_{ijv} \quad \forall i, \forall p, \forall v, i \in I, p \in P, v \in V \quad (3.7)$$

$$L_{ipv} = \sum_{j \in I} x_{jpv} \sum_{j \in I \cup P} x_{ijv} \quad \forall i, \forall p, \forall v, i \in I, p \in P, v \in V \quad (3.8)$$

$$X_{iiv} = 0 \quad \forall i, \forall v, i \in I, v \in V \quad (3.9)$$

$$\sum_{k \in K} b_k (h_{kp} - 6) N_{kp} \geq \sum_{i \in I} \lambda_i R_{ip} \quad \forall p \quad (3.10)$$

$$0 \leq h_{kp} \leq t N_{kp} \quad \forall k, \forall p, k \in K \quad (3.11)$$

$$\sum_{i \in I} R_{ip} \geq Y_p \quad \forall p \quad (3.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{v \in V} X_{ipv} \geq Y_p \quad \forall p \quad (3.13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{v \in V} X_{piv} \geq Y_p \quad \forall p \quad (3.14)$$

$$X_{piv} \leq Y_p \quad \forall i, \forall p, \forall v, i \in I, p \in P, v \in V \quad (3.15)$$

$$X_{ipv} \leq Y_p \quad \forall i, \forall p, \forall v, i \in I, p \in P, v \in V \quad (3.16)$$

$$\sum_{i \in I \cup P} \sum_{p \in P} X_{ipv} \leq 1 \quad \forall v, v \in V \quad (3.17)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{i \in I \cup P} X_{piv} \leq 1 \quad \forall v, v \in V \quad (3.18)$$

$$\sum_{j \in I \cup P} \sum_{v \in V} X_{ijv} = \beta_i \quad \forall i, i \in I, i \neq j \quad (3.19)$$

$$\sum_{j \in I \cup P} \sum_{v \in V} X_{jiv} = \beta_i \quad \forall i, i \in I, i \neq j \quad (3.20)$$

$$\sum_{i \in I \cup P} \sum_{j \in I} \left[\left(\frac{\lambda_j}{\beta_j} \right) X_{ijv} \right] \leq q_v \quad \forall v, v \in V, i \neq j \quad (3.21)$$

$$\sum_{i \in I \cup P} \sum_{j \in I \cup P} d_{ij} X_{ijv} \leq A \quad \forall v, v \in V \quad (3.22)$$

$$U_{iv} - U_{jv} + nx_{ijv} \leq n-1 \quad \forall i, \forall j, \forall v, i \in I, j \in I, v \in V \quad (3.23)$$

$$U_{iv} \geq 0 \quad \forall i, \forall v, i \in I, v \in V \quad (3.24)$$

$$X_{ijv} \in \{0,1\} \quad (3.25)$$

$$Y_p \in \{0,1\} \quad (3.26)$$

$$R_{ip} \in \{0,1\} \quad (3.27)$$

$$N_{kp} \in \{0,1\} \quad (3.28)$$

สมการที่ (3.1) คือสมการเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งเป็นผลรวมของค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายคงที่ของยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายแปรผันในการเปิดใช้เตาเผาขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายแปรผันของยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อ และค่าโทษเมื่อเปิดเตาเผาขยะ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (3.2) เป็นการรับประกันว่ามีการเปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้ออย่างน้อย 1 ตำแหน่ง ข้อจำกัดที่ (3.3) กำหนดว่าตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อจะต้องเลือกใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.4) สำหรับโหนดใด ๆ หากยานพาหนะคันนั้นวิ่งเข้าแล้วก็ต้องวิ่งออกด้วย ข้อจำกัดที่ (3.5) กำหนดว่าโรงพยาบาลจะต้องรับบริการเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.6) กำหนดว่าโรงพยาบาลแต่ละแห่งจะเข้ารับบริการเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.7) และ (3.8) เป็นการรับประกันว่ายานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อแต่ละคันเมื่อเก็บขนขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลใด ๆ แล้วจะต้องไปส่งขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผา แห่งเดียวเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.9) เป็นการรับประกันว่าเมื่อมีการรับขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลใด ๆ แล้ว จะไม่มีการย้อนมารับขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลเดิมอีก ข้อจำกัดที่ (3.10) กำหนดให้จำนวนชั่วโมงในการดำเนินการเผาที่ตำแหน่งเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อจะต้องสามารถเผาขยะติดเชื้อในปริมาณที่รับมาทั้งหมดได้ ข้อจำกัดที่ (3.11) กำหนดว่าการเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งเปิดให้บริการ จะต้องดำเนินการเดินเครื่องเตาเผาต่อเนื่องไม่เกินกว่า 720 ชั่วโมงต่อเดือน ข้อจำกัดที่ (3.12) เป็นการรับประกันว่าที่ตำแหน่งเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ จะต้องมีการให้บริการโรงพยาบาลอย่างน้อยหนึ่งแห่ง ข้อจำกัดที่ (3.13), (3.14) กำหนดว่าหากมีการเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งใด จะต้องมีส่วนเส้นทางยานพาหนะเข้า - ออกถึงตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อนั้น อย่างน้อย 1 เส้นทาง ข้อจำกัดที่ (3.15), (3.16) เป็นการรับประกันว่าหากไม่มีการเปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งใดจะไม่มีรถขนส่งขยะติดเชื้อใด ๆ เข้าและออกจากตำแหน่งนั้น ๆ ข้อจำกัดที่ (3.17), (3.18) กำหนดว่ายานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อแต่ละคันสามารถดำเนินการให้กับตำแหน่งที่เปิดให้บริการเตาเผาขยะติดเชื้อได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น และในแต่ละเส้นทางรถเก็บขนจะต้องมีตำแหน่ง

ที่เปิดให้บริการเฉพาะเพียงแห่งเดียวเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.19), (3.20) เป็นการกำหนดให้โรงพยาบาลแต่ละแห่งได้รับการเก็บขนขยะติดเชื้อตามจำนวนความถี่ที่โรงพยาบาลนั้น ๆ กำหนดไว้ ข้อจำกัดที่ (3.21) กำหนดให้ในแต่ละเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ ปริมาณขยะจะต้องไม่เกินปริมาณความจุของยานพาหนะ ข้อจำกัดที่ (3.22) กำหนดให้ยานพาหนะแต่ละคันทำการขนส่งขยะติดเชื้อไม่เกิน 750 กิโลเมตรต่อเที่ยว ข้อจำกัดที่ (3.23) เป็นการกำหนดว่าไม่มีการเกิดเส้นทางย่อย ข้อจำกัดที่ (3.24) เป็นตัวแปรสนับสนุนการตัดสินใจที่ต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น ข้อจำกัดที่ (3.25), (3.26), (3.27) และ (3.28) เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจว่ามีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หรือ 1

3.5 แก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้โปรแกรม AMPL

ผลการแก้ไขปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นที่เรียบร้อยแล้วจึงนำไปแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขนขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยด้วยโปรแกรม AMPL ในการแก้ปัญหทำการดำเนินการแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 ขนาดตามขนาดจำนวนโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อ ได้แก่ปัญหขนาดเล็ก คือจังหวัดหนองบัวลำภู มีโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อจำนวน 6 แห่ง มีตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อได้จำนวน 3 แห่ง ปัญหขนาดกลาง คือจังหวัดร้อยเอ็ด มีโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อจำนวน 20 แห่ง มีตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจำนวน 2 แห่ง และปัญหขนาดใหญ คือทั้ง 20 จังหวัดทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อจำนวน 325 แห่ง มีตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 21 แห่ง รายละเอียดตำแหน่งให้บริการและโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อแสดงดังภาคผนวก ก ทำการประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง Intel® Core™ i5-8300H-CPU@2.30GHz หน่วยความจำ 16 GB ซึ่งโปรแกรม AMPL จะแสดงผลในรูปแบบ global optimal ในการดำเนินการแก้ปัญหกรณีศึกษาทั้ง 3 ขนาด ดำเนินการโดยไม่จำกัดเวลาในการประมวลผลและพบว่าในปัญหบางกรณีการแก้ปัญหแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ไม่สามารถให้คำตอบในรูปแบบ global optimal หรือบางกรณีไม่สามารถแสดงค่าคำตอบได้และใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 150 ชั่วโมง ผู้วิจัยจึงดำเนินการกำหนดเวลาในการประมวลผลที่ 10 ชั่วโมงเพื่อให้โปรแกรม AMPL สามารถแสดงค่าคำตอบในรูปแบบคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม AMPL กับปัญหากรณีศึกษาขนาดต่าง ๆ

ปัญหา	ตำแหน่ง เปิดเตา	ขนาดเตาเผา (กิโลกรัม/ ชั่วโมง)	จำนวนรถ ที่ใช้ (คัน)	เส้นทางและโรงพยาบาลรับบริการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา ในการเผา (ชั่วโมง/ เดือน)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	สถานะ
ขนาดเล็ก	P12	300	8	route 1 P12-H312-P12 route 2 P12-H124-H312-P12 route 3 P12-H312-H126-H123-H127-H125-P12 route 4 P12-H312-H127-H123-H126-H125-P12 route 5 P12-H125-H124-H126-H127-H123-H312-P12 route 6 P12-H124-H312-H127-H123-H126-P12 route 7 P12-H312-P12 route 8 P12-H124-H312-H125-P12	1,448.63	36.70	2,398,645.61	Feasible
ขนาด กลาง	P10	300	10	route 1 P10-H158-H150-P10 route 2 P10-H145-H162-H156-H149-H150-H158-H152-P10 route 3 P10-H146-H154-H149-H157-H155-H306-H159-P10 route 4 P10-H152-H160-H306-H158-H151-P10	4,365.84	162.247	2,988,262.683	Feasible

ตารางที่ 3.5 ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม AMPL กับปัญหากรณีศึกษาขนาดต่าง ๆ (ต่อ)

ปัญหา	ตำแหน่ง เปิดเตา	ขนาดเตาเผา (กิโลกรัม/ ชั่วโมง)	จำนวนรถ ที่ใช้ (คัน)	เส้นทางและโรงพยาบาลรับบริการ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา ในการเผา (ชั่วโมง/ เดือน)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	สถานะ
				route 5 P10-H150-H158-H152-H163-H149-H145-H306- H151-H146-P10 route 6 P10-H145-H162-H154-H156-H149-H150-H151- H148-H160-H306-H161-H152-H163-H153- H157-P10 route 7 P10-H155-H147-H306-H159-H160-H161-H148- H153-H163-H157-H162-H154-P10 route 8 P10-H146-H156-H154-H160-H159-H161-H148- H153-H163-H157-H147-H155-H306-H162-P10 route 9 P10-H306-H147-P10 route 10 P10-H145-H156-H159-H306-H161-H151- H148-H153-H155-H147-H146-P10				
ขนาดใหญ่	ไม่สามารถหาคำคำตอบได้							



```
Console
<terminated> AMPL (07 Apr 20 13:16:56)
ampl: model Thesis11_2.mod;
ampl: data Full_scale.dat;
ampl: option solver baron;
ampl: solve;
Error executing "solve" command:

Bug: Too much memory used -- 41345897496 bytes; couldn't get 32800 more.
```

ภาพที่ 3.3 การแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยโปรแกรม AMPL

จากตารางที่ 3.5 แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL ในปัญหาขนาดเล็ก คือจังหวัดหนองบัวลำภู มีตำแหน่งที่เหมาะสมในเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ คือตำแหน่ง P12 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอศรีบุญเรือง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการเผา 36.70 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 8 เส้นทาง มีระยะทางรวมในการเก็บขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 1,448.63 กิโลเมตร มีต้นทุนรวม 2,398,645.61 บาทต่อเดือน และแสดงผลคำตอบในรูปแบบ Feasible solution ในปัญหขนาดกลางคือจังหวัดร้อยเอ็ด โปรแกรม AMPL แสดงผลคำตอบในรูปแบบ Feasible solution มีตำแหน่งที่เหมาะสมในการเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ คือตำแหน่ง P10 เขตพื้นที่อำเภอโพนทอง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้เวลาในการเผา 162.247 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 10 เส้นทาง มีระยะทางรวมในการเก็บขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 4,365.84 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนรวม 2,988,262.683 บาทต่อเดือน ผลการแก้ปัญหาทั้งขนาดเล็กและขนาดกลางใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 20 ชั่วโมง ส่วนปัญหขนาดใหญ่อุปสรรคการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ภาพที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าโปรแกรม AMPL จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ทดสอบจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปัญหากรณีศึกษามีตัวแปรจำนวนมาก (ปัญหขนาดใหญ่อีกทั้งลักษณะของปัญหามีความซับซ้อนทั้งในส่วนของจำนวนของเตาเผาขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล ดังนั้นโปรแกรม AMPL จึงต้องใช้หน่วยความจำในการประมวลผลจำนวนมาก จากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ในปัญหากรณีศึกษาทั้ง 3 ขนาดดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า โปรแกรม AMPL มีข้อจำกัดในการประมวลผลและเมื่อนำมาแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขนาดปัญหากรณีศึกษาที่มีความซับซ้อนจะไม่สามารถแสดงคำตอบในรูปแบบ global optimal ได้และใช้เวลาในการประมวลผลมาก อีกทั้งเมื่อปัญหากรณีศึกษามีจำนวนตัวแปรและความซับซ้อนมากขึ้นโปรแกรม AMPL ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย จึงจำเป็นต้องใช้วิธีฮิวริสติกส์หรือเมตฮิวริสติกส์ในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน มีตัวแปรจำนวนมากดังเช่นปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งจะกล่าวถึงในบทถัดไป

บทที่ 4

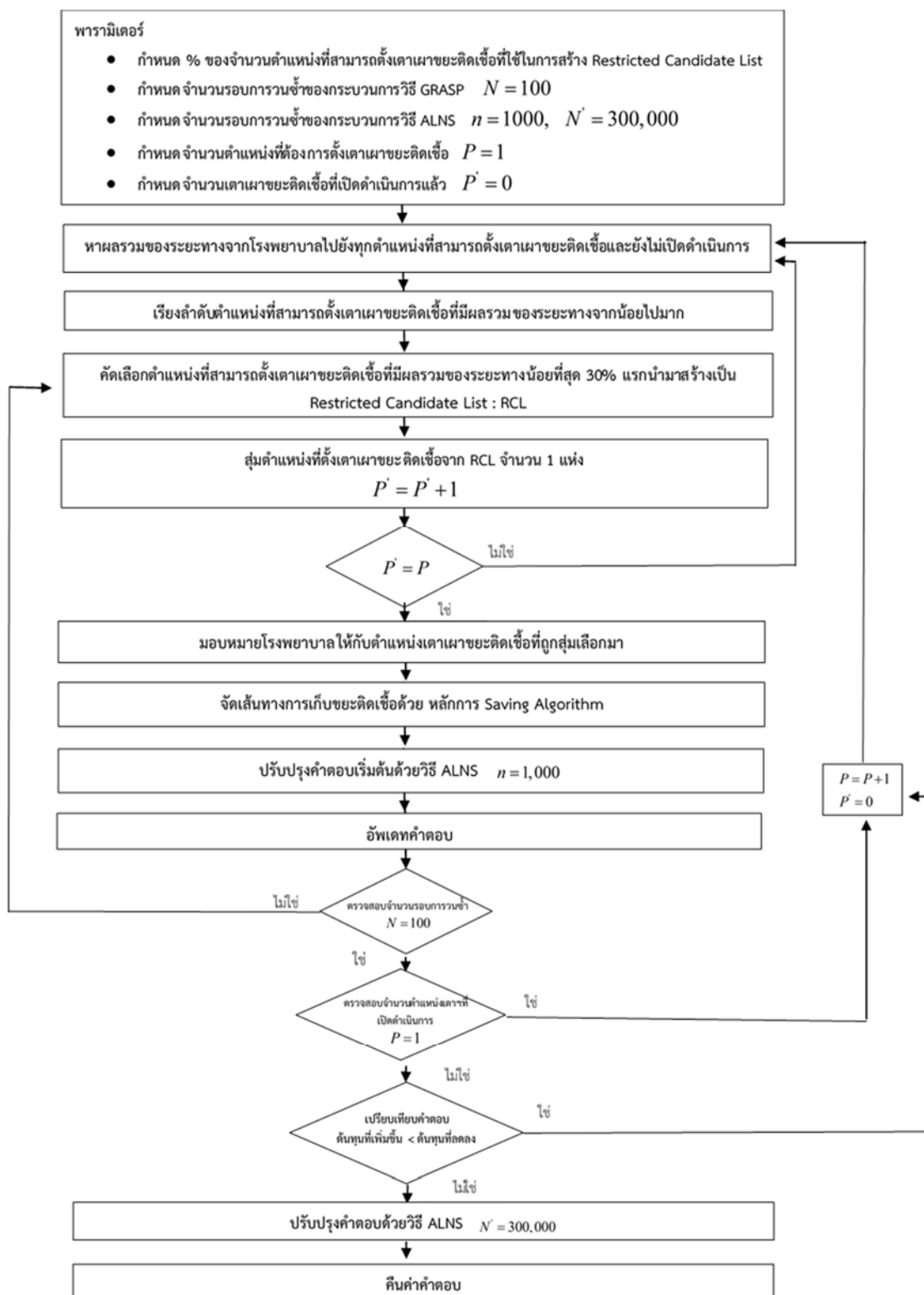
การออกแบบพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์

ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ การหาคำตอบของโปรแกรมสำเร็จรูป AMPL อาจใช้เวลาในการประมวลผลนานและไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ งานวิจัยนี้จึงออกแบบพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว โดยประยุกต์ใช้หลักการของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) และหลักการของวิธี Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) เพื่อให้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด

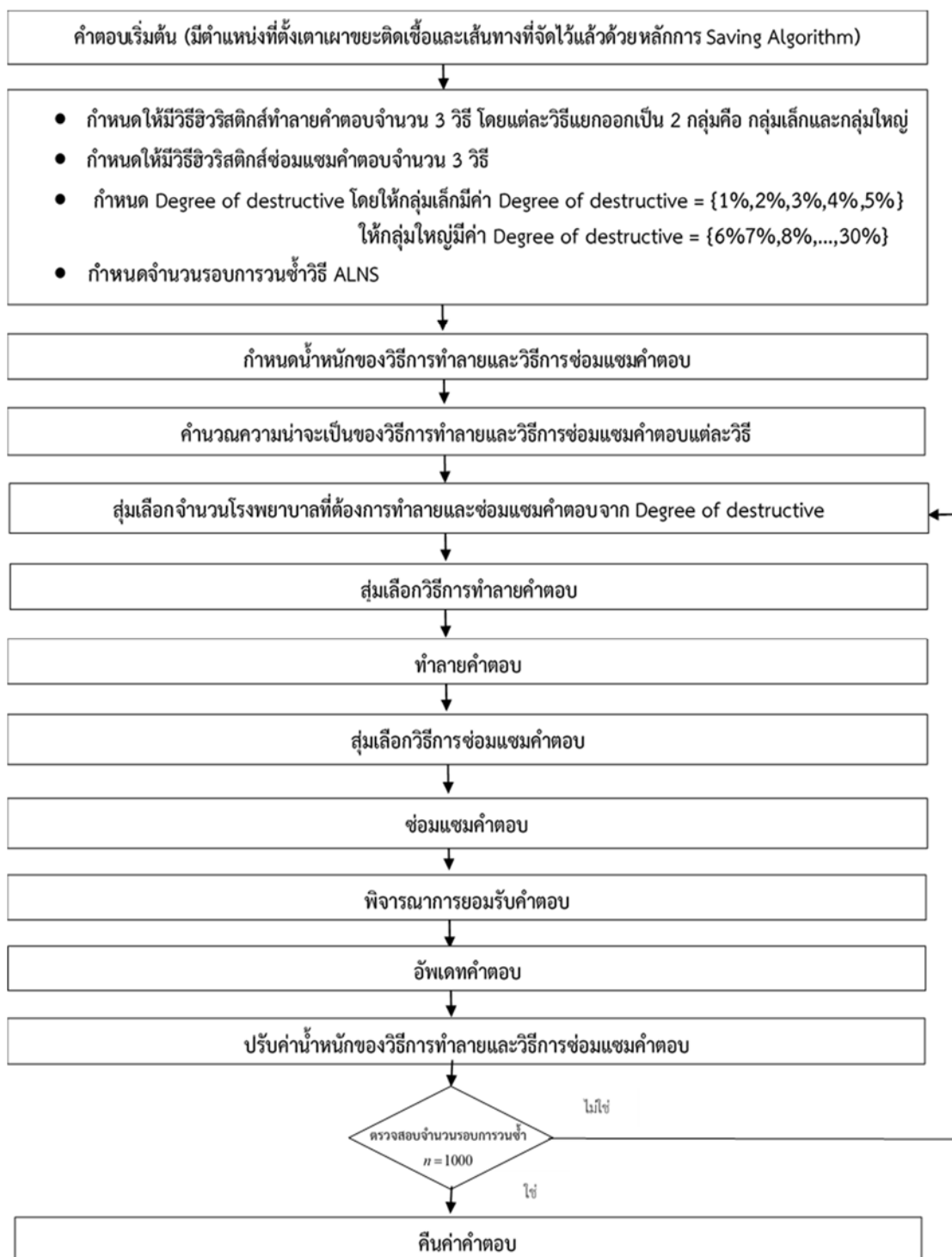
4.1 การออกแบบพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์

4.1.1 ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีฮิวริสติกส์

วิธีฮิวริสติกส์ที่ออกแบบพัฒนา (Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search: GRALNSP) มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งจัดว่าเป็นปัญหาขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนและมีตัวแปรจำนวนมาก เพื่อให้ได้ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว หลักการของวิธี GRALNSP แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ในส่วนแรกประยุกต์ใช้หลักการของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) ในการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อโดยมีองค์ประกอบในการทำงานแต่ละรอบแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือการสร้างคำตอบเบื้องต้น (Construction Phase) และการปรับปรุงคำตอบ โดยประยุกต์ใช้วิธี Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) ในส่วนของการปรับปรุงคำตอบ ซึ่งแสดงขั้นตอนในการดำเนินการของวิธี GRALNSP ดังภาพที่ 4.1 และขั้นตอนดำเนินการของวิธี ALNS แสดงดังภาพที่ 4.2 เนื่องจากในส่วนแรก (GRASP) มีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยการทวนซ้ำในกระบวนการหาคำตอบจำนวนหลายรอบส่งผลให้ได้คำตอบที่แตกต่างกันจำนวนมาก จึงคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากส่วนแรกนี้เข้าสู่กระบวนการในส่วนที่สองคือทำการ Local search ด้วยวิธี ALNS ซ้ำอีกครั้งเพื่อปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้ดียิ่งขึ้น โดยวิธี ALNS ยังคงมีวิธีการทำลายและวิธีการซ่อมแซมคำตอบเช่นเดิม



ภาพที่ 4.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธี GRALNSP



ภาพที่ 4.2 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการของวิธี ALNS

วิธีการ GRALNS มีข้อมูลที่นำเข้าเพื่อประมวลผลประกอบไปด้วยพิกัดตำแหน่งพื้นที่ที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อได้จำนวน 21 ตำแหน่ง จำนวนโรงพยาบาลที่รับบริการจำนวน 325 แห่ง ขนาดความจุของยานพาหนะ 10,000 กิโลกรัมต่อคัน ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลถึงโรงพยาบาล และระยะทางระหว่างโรงพยาบาลถึงตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อได้แสดงดังภาคผนวก ค ระยะทางที่ยานพาหนะสามารถเก็บขยะติดเชื้อ 750 กิโลเมตรต่อคันต่อเที่ยว ปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล ความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อในแต่ละเดือนตามนโยบายของแต่ละโรงพยาบาล แสดงดัง ภาคผนวก ก และต้นทุนคงที่และแปรผันของการดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อและยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อ ตลอดจนค่าใช้จ่ายในส่วนของผลกระทบต่อชุมชนหากมีการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งนั้น ๆ (ค่าโทษ) มีการกำหนดพารามิเตอร์ ได้แก่ กำหนดสัดส่วนของจำนวนตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อเพื่อใช้ในการสร้าง Restricted Candidate List กำหนดจำนวนการวนรอบซ้ำในกระบวนการ GRASP กำหนดจำนวนการวนรอบซ้ำของกระบวนการ ALNS ทั้งในส่วนปรับปรุงคำตอบในกระบวนการ GRASP และส่วนของการปรับปรุงคำตอบที่ได้หลังจากกระบวนการของจากวิธี GRASP แล้ว ตลอดจนกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ต้องการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจำนวนตำแหน่งที่ตั้ง

เตาเผาขยะติดเชื้อแล้ว ทั้งนี้เพื่อให้พารามิเตอร์เหล่านี้เป็นส่วนที่สร้างความหลากหลายของคำตอบเพื่อนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด การดำเนินการตามวิธีการ GRALNS สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

4.1.1.1 ส่วนที่ 1 สร้างคำตอบเริ่มต้นและปรับปรุงคำตอบ

การค้นหาตำแหน่งและจำนวนที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ

ขั้นตอนนี้มีการกำหนดให้ N เป็นจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด ($N = 325$) และ n เป็นจำนวนตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ มีกระบวนการดังนี้

1) กำหนดให้มีตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ 1 แห่ง

ระยะที่ 1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

1.1) สำหรับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อทั้ง 21 แห่งให้พิจารณาเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ 1 แห่ง หรือ $n = 1$ โดยเริ่มจากตำแหน่งที่ 1 แล้วเปลี่ยนไปเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อตำแหน่งถัด ๆ ไปจนพิจารณาครบทั้ง 21 แห่ง สำหรับตำแหน่งที่พิจารณาเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ 1 แห่งนี้ ให้หาผลรวมระยะทางจากตำแหน่งนั้นไปยังโรงพยาบาลทุกแห่งหรือโรงพยาบาลจำนวน $\left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil$

1.2) เรียงลำดับตำแหน่งที่มีค่าระยะทางรวมที่คำนวณจากข้อ 1 จากน้อยไปมาก

1.3) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30% แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 1 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่มจากบัญชีรายชื่อที่ 1 จำนวน 1 ตำแหน่ง เพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งแรก (P1)

1.4) จัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลไปยังตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อโดยใช้หลักการ Saving Algorithm โดยมีเงื่อนไขยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อมีขนาดบรรทุกได้ไม่เกิน 10,000 กิโลกรัมต่อคัน มีระยะทางการเก็บขยะติดเชื้อไม่เกิน 750 กิโลเมตรต่อคันต่อเที่ยว และมีการเก็บขยะติดเชื้อตามความถี่ที่โรงพยาบาลแต่ละแห่งกำหนดในหนึ่งเดือน

1.5) กำหนดขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผา
ระยะที่ 2 การปรับปรุงคำตอบ

1.6) ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive large neighborhood search: ALNS) แสดงขั้นตอนดังภาพที่ 4.2 ในการกำหนดระดับของการทำลายคำตอบ (Degree of Destructive: d) คือการกำหนดจำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องการทำลายทำลายออกจากเส้นทางคำตอบ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับระดับการทำลายคำตอบสูงสุด ในสัดส่วนร้อยละ 20, 30, 40 และ 50 ของจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด โดยทำการทดลองนำไปใช้ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาแล้วจึงเปรียบเทียบต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ระดับการทำลายคำตอบในสัดส่วนต่าง ๆ ผลปรากฏว่า ระดับของการทำลายคำตอบที่ทดลองในสัดส่วนร้อยละ 40 และ 50 ให้ค่าคำตอบคือต้นทุนรวมที่สูงกว่าเมื่อทำการทดลองที่สัดส่วนระดับการทำลายร้อยละ 20 และ 30 ที่ให้ค่าคำตอบใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ระดับการทำลายคำตอบสูงสุดในสัดส่วนร้อยละ 30 โดยมีวิธีวิธิตกสในการทำลายคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ Random Removal, Worst Removal และ Relate Removal แต่เนื่องจากปัญหากรณีศึกษาเป็นปัญหามาตรฐานใหญ่และมีตัวแปรจำนวนมาก การแบ่งกลุ่มวิธีวิธิตกสในการทำลายคำตอบจะเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ เช่น หากทำการสุ่มเลือกได้วิธีทำลายคำตอบที่อยู่ในกลุ่มที่ต้องการทำลายโรงพยาบาลจำนวนน้อย การหาคำตอบจะอยู่ในบริเวณพื้นที่ขนาดเล็ก ส่งผลทำให้เส้นทางคำตอบเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อทำการซ่อมแซมคำตอบ ในขณะที่หากทำการสุ่มเลือกได้วิธีการทำลายคำตอบที่อยู่ในกลุ่มที่ต้องการทำลายโรงพยาบาลจำนวนมากจะมีพื้นที่ในการหาคำตอบขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงเส้นทางคำตอบมากเมื่อทำการซ่อมแซมคำตอบ และอาจพบคำตอบที่ดีในรูปแบบ Global Optimal ได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบเพื่อหาวิธีการทำลายคำตอบที่เหมาะสมสามารถนำไปสู่การให้ผลคำตอบที่มีคุณภาพ โดยพิจารณาวิธีการทำลายคำตอบจำนวน 2 กรณีคือ กรณีการแบ่งกลุ่มวิธีวิธิตกสที่ใช้ในการทำลายคำตอบซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มเล็ก (Small Group) และกลุ่มใหญ่ (Large Group) ให้มีสัดส่วนจำนวนโรงพยาบาลที่ต้องการทำลายแตกต่างกัน และกรณีที่ไม่มีแบ่งกลุ่มวิธีวิธิตกสที่ใช้ในการทำลายคำตอบซึ่งให้มีสัดส่วนจำนวนโรงพยาบาลที่ต้องการทำลายไม่เกินร้อยละ 30 ของจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบคำตอบ (ต้นทุนรวม) ที่เกิดขึ้น การทดสอบทั้งสองกรณีใช้วิธีวิธิตกสในการทำลายคำตอบ จำนวน 3 วิธีดังอธิบายข้างต้นและใช้วิธีวิธิตกสในการซ่อมแซมคำตอบจำนวน 3 วิธี ได้แก่ Random Insertion, Arbitrary Insertion และ Greedy Insertion แล้วจึงดำเนินการทดสอบโดยแก้ปัญหากรณีศึกษาจำนวน 25 กรณี ซึ่งในแต่ละกรณีมีจำนวนข้อมูลนำเข้าคือจำนวนโรงพยาบาลให้บริการเผาขยะติดเชื้อที่ไม่เท่ากัน ผลคำตอบแสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ข ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาในกรณีศึกษาขนาดเล็กที่มีโรงพยาบาลให้บริการเผาขยะติดเชื้อจำนวนน้อย (กรณีที่ 1-15) มีผลคำตอบไม่แตกต่างกัน สืบเนื่องจากข้อมูลมีขนาดเล็ก การทำลายคำตอบจึงส่งผลกระทบต่อเส้นทางคำตอบเดิมเพียงเล็กน้อย และเมื่อทำการซ่อมแซมคำตอบจึงส่งผลให้สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดได้ง่าย ดังนั้นการแบ่งกลุ่มหรือไม่แบ่งกลุ่มวิธีวิธิตกสในการทำลายสำหรับกลุ่มข้อมูลหรือกรณีศึกษาขนาดเล็กจึงไม่ส่งผลกระทบต่อคำตอบที่ดีที่สุดมีค่าแตกต่างกัน ในขณะที่กรณีศึกษาขนาดใหญ่หรือกลุ่มข้อมูลขนาดใหญ่ขึ้น (กรณีที่ 16 - 25) การแบ่งกลุ่มวิธีวิธิตกสในการทำลายคำตอบเป็นการเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ซึ่งอาจพบคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อมีการทำลายโรงพยาบาลเพียงเล็กน้อยหรืออาจพบคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อมีการทำลายโรงพยาบาลจำนวนมาก ทำให้คำตอบที่ได้ (ต้นทุนรวม) มีความแตกต่างกัน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มวิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายคำตอบส่งผลให้ได้คำตอบที่ดีกว่า (ต้นทุนรวมต่ำกว่า) การแก้ปัญหาโดยไม่มีการแบ่งกลุ่มวิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายคำตอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การแบ่งกลุ่มวิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายคำตอบมาแก้ปัญหา และกำหนดระดับของการทำลายคำตอบ (Degree of Destructive : d) ของวิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายคำตอบทั้งสองกลุ่มดังนี้

วิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายกลุ่มเล็ก (Small Group) ได้แก่ Small Random Removal, Small Worst Removal และ Small Relate Removal โดยกำหนด Degree of Destructive (d) ให้มีค่า 1% - 5% ของจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด เมื่อเทียบเป็นจำนวนโรงพยาบาลจะมีค่า {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17} และ

วิธีอิวิริสติกส์ในการทำลายคำตอบกลุ่มใหญ่ (Large Group) ได้แก่ Large Random Removal, Large Worst Removal และ Large Relate Removal กำหนด Degree of Destructive (d) ให้มีค่า เท่ากับ 6% - 30% ของจำนวนโรงพยาบาลทั้งหมด เมื่อเทียบเป็นจำนวนโรงพยาบาลจะมีค่า {20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70, 72, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 100}

1.7) คำนวณต้นทุนรวม

1.8) ดำเนินการวนรอบซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จำนวน 100 รอบ

2) กำหนดให้มีตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผชยะติดเชื่อ 2 แห่ง
ระยะที่ 1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

2.1) โรงพยาบาลรับบริการเผชยะติดเชื่อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีทั้งสิ้น 325 แห่ง กำหนดให้คำนวณหาผลรวมระยะทางของโรงพยาบาล 163 แห่งหรือโรงพยาบาลจำนวน $\left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil$ แห่ง ไปยังทุกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผชยะติดเชื่อทั้ง 21 แห่ง

2.2) เรียงลำดับตำแหน่งที่มีค่าระยะทางรวมที่คำนวณจากข้อ 1 จากน้อยไปมาก

2.3) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผชยะติดเชื่อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30% แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 1 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่มจากบัญชีรายชื่อที่ 1 จำนวน 1 ตำแหน่ง เพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผชยะติดเชื่อแห่งแรก (P1) ในรอบนี้

2.4) ตัดตำแหน่ง P1 และ โรงพยาบาล 163 แห่งที่นำมาคิดระยะทางรวมในขั้นตอน 1 ออก ซึ่งจะคงเหลือโรงพยาบาล 162 แห่ง หรือโรงพยาบาลจำนวน $N - \left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil$ แห่งและ

ตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผชยะติดเชื่อจำนวน 20 แห่ง นำมาคำนวณหาระยะทางรวมใหม่ โดยแต่ละตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผชยะติดเชื่อจะคิดระยะทางรวมจากโรงพยาบาลที่เหลือ แล้วจึงเรียงลำดับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผชยะติดเชื่อที่มีระยะทางรวมจากน้อยไปมาก

2.5) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30% แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 2 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่มจากบัญชีรายชื่อที่ 2 จำนวน 1 ตำแหน่ง เพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งที่สอง (P2) ในรอบนี้

2.6) เมื่อทราบตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ P1 และ P2 แล้ว จึงมอบหมายโรงพยาบาลรับบริการ โดยพิจารณาระยะทางระหว่างโรงพยาบาลกับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ใกล้ที่สุด เช่น โรงพยาบาล H01 มีระยะห่างจากตำแหน่ง P1 และ P2 เท่ากับ 35 และ 50 กิโลเมตรตามลำดับ จึงมอบหมายให้โรงพยาบาล H01 รับบริการเผาขยะติดเชื้อจากตำแหน่ง P1 เป็นต้น

2.7) เมื่อทราบตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อและโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อแล้วจึงดำเนินการจัดเส้นทางรถโดยสารโดยใช้หลักการ Saving Algorithm ซึ่งมีเงื่อนไขให้ยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อมีขนาดบรรทุกได้ไม่เกิน 10,000 กิโลกรัม มีระยะทางการเก็บขยะติดเชื้อไม่เกิน 750 กิโลเมตรต่อเที่ยว และมีการเก็บขยะติดเชื้อตามความถี่ที่โรงพยาบาลแต่ละแห่งกำหนด

2.8) กำหนดขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะที่ 2 การปรับปรุงคำตอบ

2.9) ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี ALNS

2.10) คำนวณต้นทุนรวม

2.11) ดำเนินการวนรอบซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จำนวน 100 รอบ

2.12) เปรียบเทียบต้นทุนรวมเมื่อเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 1 แห่ง กับต้นทุนรวมเมื่อเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 2 แห่ง โดยพิจารณาผลต่างของต้นทุนการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อและผลต่างของต้นทุนยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อ โดยหากผลต่างที่เพิ่มขึ้นของต้นทุนการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ น้อยกว่า ผลต่างที่ลดลงของต้นทุนยานพาหนะ ให้ดำเนินการพิจารณาการเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งที่ 3 แต่หากผลต่างที่เพิ่มขึ้นของต้นทุนการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ มากกว่า ผลต่างที่ลดลงของต้นทุนยานพาหนะ ให้หยุดการพิจารณาเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ในกรณีที่สามารถพิจารณาการเปิดตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งนี้ ดำเนินการดังนี้

3) กำหนดให้มีตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ 3 แห่ง
ระยะที่ 1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

3.1) โรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีทั้งสิ้น 325 แห่ง กำหนดให้คำนวณหาผลรวมระยะทางของโรงพยาบาล 109 แห่งหรือโรงพยาบาลจำนวน $\left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil$ แห่ง ไปยังทุกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อทั้ง 21 แห่ง

3.2) เรียงลำดับตำแหน่งที่มีค่าระยะทางรวมที่คำนวณจากข้อ 1 จากน้อยไปมาก

3.3) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30% แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 1 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่ม

จากบัญชีรายชื่อที่ 1 จำนวน 1 ตำแหน่ง เพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งแรก (P1) ในรอบนี้

3.4) ตัดตำแหน่ง P1 และ โรงพยาบาล 109 แห่งที่นำมาคิดระยะทางรวมในขั้นตอน 1 ออก ซึ่งจะคงเหลือโรงพยาบาล 216 แห่ง หรือโรงพยาบาลจำนวน $N - \left\lceil \frac{N}{n} \right\rceil$ และตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อจำนวน 20 แห่ง นำมาคำนวณหาผลรวมของระยะทางอีกครั้ง โดยแต่ละตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อจะคิดระยะทางรวมจาก 109 (จาก 216) โรงพยาบาล แล้วจึงเรียงลำดับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมจากน้อยไปมาก

3.5) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30% แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 2 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่มจากบัญชีรายชื่อที่ 2 จำนวน 1 ตำแหน่งเพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งที่สอง (P2) ในรอบนี้

3.6) ตัดตำแหน่ง P2 และ โรงพยาบาล 109 แห่งที่นำมาคิดระยะทางรวมในขั้นตอน 4 ออก ซึ่งจะคงเหลือโรงพยาบาล 109 แห่ง และตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อจำนวน 19 แห่ง นำมาคำนวณหาผลรวมของระยะทาง โดยแต่ละตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อจะคิดระยะทางรวมจาก 109 โรงพยาบาล แล้วจึงเรียงลำดับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมจากน้อยไปมาก

3.7) คัดเลือกตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุด 30%แรก มาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 3 (Restricted Candidate List: RCL) จากนั้น ทำการสุ่มจากบัญชีรายชื่อที่ 3 จำนวน 1 ตำแหน่งเพื่อเลือกเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งที่สาม (P3) ในรอบนี้

3.8) เมื่อทราบตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ P1, P2 และ P3 แล้ว จึงมอบหมายโรงพยาบาลรับบริการ โดยพิจารณาระยะทางระหว่างโรงพยาบาลกับตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ใกล้ที่สุด

3.9) เมื่อทราบตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อและโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อแล้วจึงดำเนินการจัดเส้นทางรถโดยสารโดยใช้หลักการ Saving Algorithm โดยมีเงื่อนไขให้ยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อมีขนาดบรรทุกได้ไม่เกิน 10,000 กิโลกรัม มีระยะทางการเก็บขยะติดเชื้อไม่เกิน 750 กิโลเมตรต่อเที่ยวและมีการเก็บขยะติดเชื้อตามความถี่ที่โรงพยาบาลแต่ละแห่งกำหนด

3.10) กำหนดขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เปิดให้บริการเผาขยะที่ 2 การปรับปรุงคำตอบ

3.11) ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี ALNS

3.12) คำนวณต้นทุนรวม

3.13) ดำเนินการวนรอบซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จำนวน 100 รอบ

3.14) เปรียบเทียบต้นทุนรวมเมื่อเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 1, 2 และ 3 แห่ง หากมีการพิจารณาการเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อแห่งที่ 4 ก็จะดำเนินการซ้ำเดิมจากการพิจารณาเปิดตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อมากขึ้น แต่หากไม่มีการ

พิจารณาเปิดตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อเพิ่มเติมจึงหยุดการค้นหาตำแหน่งและจำนวนสถานที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ แล้วจึงพิจารณาเปรียบเทียบเส้นทางคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด จากนั้นจึงนำคำตอบที่ดีที่สุดในส่วนนี้ไปปรับปรุงคำตอบอีกครั้ง เพื่อให้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิมในส่วนที่ 2

4.1.1.2 ส่วนที่ 2 ปรับปรุงคำตอบซ้ำ

ในส่วนนี้ดำเนินการปรับปรุงคำตอบที่ดีที่สุดจากส่วนที่ 1 ด้วยวิธีการหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive large neighborhood search: ALNS) ประกอบไปด้วยวิธีการทำลาย และวิธีการซ่อมแซมคำตอบเช่นเดิม

4.1.2 ตัวอย่างการดำเนินการของวิธี GRALNSP

สมมติให้มีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ 2 แห่ง คือ P01 และ P02 มีโรงพยาบาลให้บริการเผาขยะติดเชื้อจำนวน 5 แห่ง ได้แก่ H01, H02, H03, H04 และ H05 มีปริมาณขยะติดเชื้อ 1,200, 600 1,800, 600 และ 1,000 กิโลกรัมต่อเดือน ตามลำดับ มีความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อ โรงพยาบาล H01, H02, H03 และ H04 มีจำนวน 1 ครั้งต่อเดือน และ H05 มีจำนวน 2 ครั้งต่อเดือน และกำหนดให้มีระยะทางระหว่างโรงพยาบาลและตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อมีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลและตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่งสิ้นสุด	ตำแหน่งเริ่มต้น						
	H01	H02	H03	H04	H05	P01	P02
H01	0	32	50	76	48	59	110
H02	31	0	81	93	65	76	127
H03	50	81	0	61	73	84	108
H04	76	93	61	0	29	34	54
H05	48	65	74	29	0	9	62
P01	59	76	84	34	9	0	62
P02	110	127	108	55	62	62	0

กำหนดให้มีตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อ 1 แห่ง

4.1.2.1 กำหนดให้ P01 และ P02 สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อและกำหนดให้ทุกโรงพยาบาลรับบริการจากทุกจุดเปิด คำนวณหาผลรวมของระยะทางจากโรงพยาบาลไปยังทั้ง 2 ตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ

นั่นคือ P01 มีระยะทางรวมจากทุกโรงพยาบาล (ไป-กลับ) เท่ากับ 1,054 กิโลเมตร

P02 มีระยะทางรวมจากทุกโรงพยาบาล (ไป-กลับ) เท่ากับ 1,844 กิโลเมตร

สามารถเรียงลำดับระยะทางรวมจากน้อยไปมากได้คือ P01 และ P02

4.1.2.2 คัดเลือกตำแหน่งที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุดมา 30% ในตัวอย่างนี้ คือ 1 ตำแหน่งมาสร้างบัญชีรายชื่อที่ 1 (RCL 1) นั่นคือ $RCL\ 1 = \{P01\}$ เนื่องจากในบัญชีรายชื่อมีเพียง P01 ตำแหน่งเดียวจึงไม่มีการสับด้วยความน่าจะเป็น ดังนั้น P01 จึงเป็นตำแหน่งที่เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อเพลิงที่ 1

4.1.2.3 มอบหมายโรงพยาบาลรับบริการจากตำแหน่ง P01 โดยใช้หลักการ Saving Algorithm โดยแสดงระยะทางระหว่างโรงพยาบาลกับตำแหน่ง P01 และปริมาณขยะติดเชื้อเพลิงต่อเดือนของแต่ละโรงพยาบาล ดังตารางที่ 4.2 และใช้สูตร $D_{ij} = D_{0i} + D_{0j} - D_{ij}$ ในการคำนวณหาค่าความประหยัด (saving cost) โดยค่าความประหยัดในตัวอย่างนี้ใช้ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลกับโรงพยาบาลและโรงพยาบาลกับตำแหน่งจุดเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อเพลิงในการพิจารณา ยกตัวอย่างการคำนวณ เช่น

$$\begin{aligned} D_{ij} &= D_{0i} + D_{0j} - D_{ij} \\ D_{H02,H01} &= D_{P01,H02} + D_{P01,H01} - D_{H02,H01} \\ D_{H02,H01} &= 76 + 59 - 31 = 104 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความประหยัด (saving cost) จากนั้นเรียงลำดับ saving cost ที่มีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุด แล้วจึงจัดเส้นทางเริ่มต้นจากคู่ที่มีค่า saving cost สูงสุดจากนั้นจึงค่อย ๆ แทรกโรงพยาบาลให้ครบในเส้นทางนั้น ๆ โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.2 ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลและตำแหน่ง P01

ตำแหน่ง สิ้นสุด	ตำแหน่งเริ่มต้น						ปริมาณขยะ (กิโลกรัม/เดือน)
	P01	H01	H02	H03	H04	H05	
P01	0						
H01	59	0					1,200
H02	76	31	0				600
H03	84	50	81	0			1,800
H04	34	76	93	61	0		600
H05	9	48	65	74	29	0	1,000

ตารางที่ 4.3 ค่าความประหยัด (saving cost)

ตำแหน่ง สิ้นสุด	ตำแหน่งเริ่มต้น					
	P01	H01	H02	H03	H04	H05
P01	0					
H01		0				
H02		104	0			
H03		93	79	0		
H04		17	17	57	0	
H05		20	20	19	14	0

จากตารางที่ 4.2 คู่ของโรงพยาบาลที่มีค่าความประหยัดสูงสุดที่สุดคือ $D_{H02,H01} = 104$ จึงนำมาใช้เป็นเส้นทางเริ่มต้น จะได้ P01-H02-H01-P01 มีระยะทางรวม 187 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 1,800 กิโลกรัม ทำการแทรก โรงพยาบาลคู่ที่มีความประหยัดสูงรองลงมานั้นคือ $D_{H03,H01}$ โดยแทรก H03 ให้เชื่อมต่อกับ H01 จะได้เส้นทาง P01-H02-H03-H01-P01 มีระยะทางรวม 266 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 3,600 กิโลกรัม และเส้นทาง P01-H02-H01-H03-P01 มีระยะทางรวม 242 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 3,600 กิโลกรัม

ดังนั้น จึงเลือกเส้นทาง P01-H02-H01-H03-P01 เป็นเส้นทางเริ่มต้นในรอบถัดไป
ทำการแทรก โรงพยาบาลคู่ที่มีความประหยัดสูงรองลงมานั้นคือ $D_{H04,H03}$ โดยแทรก H04 ให้เชื่อมต่อกับ H03 จะได้เส้นทาง P01-H02-H01-H04-H03-P01 มีระยะทางรวม 329 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 4,200 กิโลกรัม และเส้นทาง P01-H02-H01-H03-H04-P01 มีระยะทางรวม 253 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 4,200 กิโลกรัม

ดังนั้น จึงเลือกเส้นทาง P01-H02-H01-H03-H04-P01 เป็นเส้นทางเริ่มต้นในรอบถัดไป

ทำการแทรก โรงพยาบาลคู่ที่มีความประหยัดสูงรองลงมานั้นคือ $D_{H05,H02}$ โดยแทรก H05 เชื่อมกับ H02 จะได้เส้นทาง P01-H05-H02-H01-H03-H04-P01 มีระยะทางรวม 327 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 4,700 กิโลกรัม และเส้นทาง P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01 มีระยะทางรวม 335 กิโลเมตร ปริมาณขยะ 4,700 กิโลกรัม

ดังนั้น จึงเลือกเส้นทาง P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01 เป็นเส้นทางในการเก็บขนขยะติดเชื้อ เนื่องจากมีระยะทางรวมต่ำที่สุดและมีการเก็บขนขยะติดเชื้อไม่เกินขนาดบรรทุกของยานพาหนะ และโรงพยาบาล H05 มีความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 2 ครั้งต่อเดือน ดังนั้น เส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ จะต้องใช้ยานพาหนะเก็บขนจำนวน 2 คันต่อเดือน โดยใช้เส้นทาง

P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01 และ P01-H05-P01 และกำหนดให้ใช้เตาเผาขยะขนาด 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในการเผาขยะติดเชื้อ และใช้เวลาในการเผาขยะติดเชื้อทั้งหมด 23 ชั่วโมงต่อเดือน

4.1.2.3 ปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธี ALNS จากเส้นทางเริ่มต้น คือ P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01 มีระยะทางรวม 335 กิโลเมตร และ P01-H05-P01 มีระยะทางรวม 18 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือก Repair operator โดยในรอบแรกจะกำหนดให้ Destroy operator และ Repair operator มีค่าน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 1 แสดงดังตารางที่ 4.4 และกำหนดให้ Degree of Destructive (d) ในตัวอย่าง มีค่าดังนี้

กลุ่มวิธีการทำลาย Small Random, Removal Small Worst Removal และ Small Relate Removal มีค่า {1, 2}

ให้กลุ่มวิธีการทำลาย Large Random Removal, Large Worst Removal และ Large Relate Removal มีค่าเท่ากับ {3, 4, 5}

ตารางที่ 4.4 กำหนดค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small Random Removal (d_1)	1	Random insertion (r_1)	1
Small Worst Removal (d_2)	1	Arbitrary insertion (r_2)	1
Small Relate Removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	1
Large Random Removal (d_4)	1		
Large Worst Removal (d_5)	1		
Large Relate Removal (d_6)	1		

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ operator จากสมการที่ 2.60 ในบทที่ 2 ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำนวณได้จาก

$$P(d_i) = \frac{w(d_i)}{\sum_{j=1}^l w(d_j)} \quad \text{และ} \quad P(r_i) = \frac{w(r_i)}{\sum_{j=1}^k w(r_j)}$$

แทนค่าจะได้ความน่าจะเป็นแสดงดังตารางที่ 4.5

$$\begin{aligned}
 P(d_1) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \\
 P(d_2) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \\
 P(d_3) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \\
 P(d_4) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \\
 P(d_5) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \\
 P(d_6) &= \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6}
 \end{aligned}
 \quad \text{และ} \quad
 \begin{aligned}
 P(r_1) &= \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3} \\
 P(r_2) &= \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3} \\
 P(r_3) &= \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3}
 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.5 ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
(d_1)	1	0.167	0.167	(r_1)	1	0.33	0.33
(d_2)	1	0.167	0.333	(r_2)	1	0.33	0.67
(d_3)	1	0.167	0.500	(r_3)	1	0.33	1.00
(d_4)	1	0.167	0.667				
(d_5)	1	0.167	0.833				
(d_6)	1	0.167	1.00				
รวม		1.00				1.00	

ทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลขระหว่าง (0,1) ซึ่งสมมติทำการสุ่มเลือกได้ดังนี้

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.15 : $d_i = d_1$ (วิธีการ Small Random Removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.60 : $r_i = r_2$ (วิธีการ Arbitrary insertion)

เมื่อสุ่ม $d_i = d_1$ จะทำการสุ่มตัวเลขในระหว่าง {1,2} สมมติว่าสุ่มได้เลข 1 นั่นคือ จะมีการทำลายโรงพยาบาลในเส้นทางเริ่มต้นจำนวน 1 แห่งด้วยวิธีการ Small Random Removal และทำการซ่อมแซมเส้นทางด้วยวิธีการ Arbitrary insertion โดยโรงพยาบาลแห่งเดียวกันกับที่ทำลายไป
ขั้นตอนที่ 3 การทำลายและซ่อมแซมเส้นทางเริ่มต้น จากเส้นทางเริ่มต้นหรือคำตอบเริ่มต้น

$$S' = P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01 \text{ และ } S' = P01-H05-P01$$

มีระยะทาง 353 กิโลเมตร และมีต้นทุนรวม $Z(S') = 111,341.46$ บาทต่อเดือน
วิธีการ Small Random Removal มีขั้นตอนการดำเนินการคือ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ I คือ เซตของโรงพยาบาลทั้งหมด = {H01, H02, H03, H04, H05}

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มจำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลายจาก Degree of destructive โดยกำหนดให้ Q คือ จำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลาย

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสุ่มเลือกโรงพยาบาลจาก เซต I ตามจำนวน Q

ขั้นตอนที่ 4 ทำลายโรงพยาบาลที่เลือก

สมมติว่าทำการสุ่มได้โรงพยาบาล H04 ให้ทำลายโรงพยาบาล H04 ออกจากเส้นทางเริ่มต้นจะได้ $S = P01-H02-H05-H01-H03-P01$ และ $S = P01-H05-P01$ และซ่อมแซมด้วยวิธี Arbitrary insertion คือการนำโรงพยาบาล H04 กลับเข้าไปแทรกในทุกตำแหน่งของคำตอบ แสดงขั้นตอนดำเนินการดังนี้และตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบดังตารางที่ 4.6

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มโรงพยาบาลจากเซตของโรงพยาบาลที่ถูกทำลายที่ละ 1 แห่งตามลำดับจนครบทุกโรงพยาบาล

ขั้นตอนที่ 2 นำโรงพยาบาลที่สุ่มได้เป็นลำดับแรกเข้าแทรกในเส้นทางคำตอบที่ถูกทำลายจากนั้นคำนวณต้นทุนรวม แล้วจึงคัดเลือกเส้นทางคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 3 นำโรงพยาบาลที่สุ่มได้เป็นลำดับที่สองเข้าแทรกในเส้นทางคำตอบเริ่มต้นในขั้นตอนที่ 1 จากนั้นคำนวณต้นทุนรวม แล้วจึงคัดเลือกเส้นทางคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดมา แล้วดำเนินการแทรกโรงพยาบาลที่เหลือตามลำดับของการสุ่มตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 และคัดเลือกเส้นทางคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นคำตอบ

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary insertion

เส้นทาง (S')	ระยะทาง	เส้นทาง (S')	ระยะทาง	ผลรวมระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $Z(S')$
P01-H04-H02-H05-H01-H03-P01	375	P01-H05-P01	18	393	111,542.61
P01-H02-H04-H05-H01-H03-P01	380	P01-H05-P01	18	398	111,567.18
P01-H02-H05-H04-H01-H03-P01	380	P01-H05-P01	18	398	111,567.17
P01-H02-H05-H01-H04-H03-P01	361	P01-H05-P01	18	379	111,473.03

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary insertion (ต่อ)

เส้นทาง (S')	ระยะทาง	เส้นทาง (S')	ระยะทาง	ผลรวมระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $Z(S')$
P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01	335	P01-H05-P01	18	353*	111,341.46 *
P01-H02-H05-H01-H03-P01	324	P01-H04-H05-P01	72	396	111,555.73
P01-H02-H05-H01-H03-P01	324	P01-H05-H04-P01	72	396	111,555.73

ดังนั้นเลือกเส้นทาง $S' = \text{P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01}$, $S' = \text{P01-H05-P01}$ เป็นคำตอบ เนื่องจากมีต้นทุนรวม $Z(S') = 111,341.46$ ซึ่งต่ำที่สุด และมีค่าเท่ากับ $Z(S)$

ขั้นตอนที่ 4 การยอมรับคำตอบ ใช้หลักการ Simulated Annealing (SA) ในการพิจารณา

หาก $Z(S') \geq Z(S)$: ไม่ยอมรับคำตอบ ให้กลับไปยังคำตอบเริ่มต้นแล้วทำการเริ่มสุ่มวิธีการทำลายและวิธีการซ่อมแซม และหาคำตอบใหม่อีกครั้ง

หาก $Z(S') \leq Z(S)$: ยอมรับคำตอบและให้ค่า $S = S'$ เพื่อนำไปคำนวณและเปรียบเทียบคำตอบในรอบถัดไป และหาก $Z(S') < Z(S_{\min})$ ให้ตั้งค่า $S_{\min} = S$

หาก $Z(S') > Z(S)$: ยอมรับคำตอบและตั้งค่า $S = S'$ ด้วยความน่าจะเป็น

$$p = e^{-\frac{Z(S') - Z(S)}{kT}}$$

จากตัวอย่าง $Z(S') \leq Z(S)$ จึงยอมรับคำตอบใหม่และให้ค่า $S = S'$ และค่าของ $Z(S') < Z(S_{\min})$ (New Global best) จึงให้ค่า $S_{\min} = S$

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight: w) และปรับความน่าจะเป็นของ operators

กำหนดให้ $\lambda \in \{0,1\}$ คือพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความไวในการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนัก โดยที่ δ คือพารามิเตอร์ในการกำหนดค่าน้ำหนักของ operator

δ_1 หากคำตอบใหม่เป็น New Global best ให้มีค่าเท่ากับ 4

δ_2 หากคำตอบใหม่ดีขึ้นกว่าคำตอบปัจจุบัน ให้มีค่าเท่ากับ 3

δ_3 หากคำตอบใหม่ไม่ดีขึ้นกว่าคำตอบปัจจุบันแต่ได้รับการยอมรับคำตอบ ให้มีค่าเท่ากับ 2

δ_4 หากคำตอบใหม่ไม่ดีขึ้นกว่าคำตอบปัจจุบันและไม่ได้ยอมรับคำตอบ ให้มีค่าเท่ากับ 1

และ $\delta_1 > \delta_2 > \delta_3 > \delta_4 \geq 0$

คำนวณค่าน้ำหนัก (w) จากสมการ
การทำลาย

$$w(d_i) = \lambda w(d_i) + (1 - \lambda) \delta_i$$

การซ่อมแซม

$$w(r_i) = \lambda w(r_i) + (1 - \lambda) \delta_i$$

จากตัวอย่าง $Z(S') \leq Z(S)$ เป็น New Global best (เนื่องจากการหาคำตอบรอบที่ 1) ดังนั้น $\delta = \delta_1 = 4$ และกำหนดค่า $\lambda = 0.3$ ในทุกรอบการคำนวณสามารถแทนค่าและแสดงการปรับค่าน้ำหนักดังตารางที่ 4.7

$$w(d_1) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(4) = 3.1$$

$$w(r_2) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(4) = 3.1$$

ตารางที่ 4.7 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small Random Removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	1
Small Worst Removal (d_2)	1	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small Relate Removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	1
Large Random Removal (d_4)	1		
Large Worst Removal (d_5)	1		
Large Relate Removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดและดำเนินการปรับค่าน้ำหนักแล้วเป็นการเสร็จสิ้นการคำนวณในรอบที่ 1 จึงเริ่มกระบวนการวนรอบซ้ำในรอบที่ 2 ซึ่งดำเนินการในขั้นตอนที่ 1-5 เช่นเดิม

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือก Repair operator โดย Destroy operator และ Repair operator มีค่าน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 4.7

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ operator แทนค่าจะได้ความน่าจะเป็นดังตารางที่ 4.8

$$P(d_1) = \frac{3.1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.383$$

$$P(d_2) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_3) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_4) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_5) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_6) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(r_1) = \frac{1}{1+3.1+1} = 0.20$$

$$\text{และ } P(r_2) = \frac{3.1}{1+3.1+1} = 0.61$$

$$P(r_3) = \frac{1}{1+3.1+1} = 0.20$$

ตารางที่ 4.8 ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
(d_1)	3.1	0.383	0.383	(r_1)	1	0.196	0.196
(d_2)	1	0.123	0.506	(r_2)	3.1	0.608	0.804
(d_3)	1	0.123	0.630	(r_3)	1	0.196	1.000
(d_4)	1	0.123	0.753				
(d_5)	1	0.123	0.877				
(d_6)	1	0.123	1.000				
รวม		1.00				1.00	

ทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลขระหว่าง (0, 1) ซึ่งสมมติทำการสุ่มเลือกได้ดังนี้

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.50: $d_i = d_2$ (วิธีการ Small Worst Removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.87: $r_i = r_3$ (วิธีการ Greedy insertion)

d สุ่มได้ตัวเลข 2 นั่นคือ มีโรงพยาบาลจำนวน 2 แห่ง ในการทำลายและซ่อมแซม
ขั้นตอนที่ 3 การทำลายและซ่อมแซมคำตอบที่ดีที่สุดจากรอบที่ 1 คือ

เส้นทาง $S = P01-H02-H05-H01-H03-H04-P01$ และ $S = P01-H05-P01$

มีระยะทางรวม 353 กิโลเมตร มีต้นทุนรวม 111,341.46 บาทต่อเดือน

จากการสุ่มเลือกค่าตัวเลขดังข้างต้นจะได้ว่ามีการทำลาย 2 โรงพยาบาล ด้วยวิธี

Large Worst Removal มีขั้นตอนการทำลายดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ I = เซตของโรงพยาบาลทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มจำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลายจาก Degree of destructive โดยกำหนดให้ Q คือ จำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลาย

ขั้นตอนที่ 3 ทหาระยะทางของโรงพยาบาลแต่ละแห่งกับตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะ ติดเชื้อโดยเรียงลำดับโรงพยาบาลที่มีระยะห่างจากมากไปน้อย พิจารณาโรงพยาบาลที่มีระยะห่างจาก ตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่มากที่สุด 30% ของโรงพยาบาลทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 4 สุ่มเลือกโรงพยาบาลในกลุ่ม 30% ของโรงพยาบาลทั้งหมดตาม จำนวน Q ที่กำหนดไว้ด้วยวิธี weight probability

ขั้นตอนที่ 5 ทำลายโรงพยาบาลที่ถูกเลือกออกจากเส้นทางนั้น ๆ

ในตัวอย่างนี้จำนวนโรงพยาบาล 30% ของโรงพยาบาลทั้งหมด มีจำนวน 2 แห่ง นั่นคือ H03 และ H02 จะได้เส้นทาง $S = P01-H05-H01-H04-P01$ และ $S = P01-H05-P01$ แล้วจึง ซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion โดยมีขั้นตอนดังนี้และแสดงวิธีการซ่อมแซมดังตารางที่ 4.9

ขั้นตอนที่ 1 ทำการแทรกโรงพยาบาลที่ถูกทำลายทีละแห่งเข้าไปยังเส้นทาง คำตอบ โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนด ในตัวอย่างนี้คือทำการแทรก H03 เข้าไปในเส้นทางคำตอบและ คำนวณต้นทุนรวม และแทรก H02 ในเส้นทางคำตอบและคำนวณต้นทุนรวม

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนรวมของการแทรกโรงพยาบาลแต่ละแห่งแล้ว คัดเลือกเส้นทางคำตอบที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ทำการแทรกโรงพยาบาลที่เหลือทีละแห่ง ดำเนินการ ตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 จนครบจำนวนโรงพยาบาลที่ถูกทำลายและเลือกเส้นทางคำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion

เส้นทาง (s')	ระยะทาง	เส้นทาง(s')	ระยะทาง	ผลรวม ระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $z(s')$
แทรก H03					
P01-H03-H05-H01 - H04-P01	317	P01-H05-P01	18	335	111,252.42
P01-H05-H03-H01 - H04-P01	243	P01-H05-P01	18	261	110,882.57
P01-H05-H01- H03- H04-P01	203	P01-H05-P01	18	221	110,679.64 *
P01-H05-H01 -H04- H03-P01	279	P01-H05-P01	18	297	111,060.34
P01-H05-H01 -H04- P01	168	P01-H03-H05- P01	167	335	111,251.36

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion (ต่อ)

เส้นทาง (s')	ระยะทาง	เส้นทาง(s')	ระยะทาง	ผลรวม ระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $z(s')$
P01-H05-H01 -H04-P01	168	P01-H05-H03-P01	167	335	111,251.36
แทรก H02					
P01- H02 -H05-H01 -H04-P01	301	P01-H05-P01	18	319	111,168.17
P01-H05- H02 -H01 -H04-P01	217	P01-H05-P01	18	235	110,748.29
P01-H05-H01- H02 -H04-P01	217	P01-H05-P01	18	235	110,748.29
P01-H05-H01-H04- H02 -P01	303	P01-H05-P01	18	321	111,180.81
P01-H05-H01 -H04-P01	168	P01- H02 -H05-P01	151	319	111,171.36
P01-H05-H01 -H04-P01	168	P01-H05- H02 -P01	151	319	111,170.66
$s' = \text{P01-H05-H01-H03-H04-P01}$, $s' = \text{P01-H05-P01}$ มีต้นทุนต่ำที่สุดจึงนำมาเป็นเส้นทางเริ่มต้นเพื่อแทรก H02 เข้าไปในเส้นทาง					
P01- H02 -H05-H01-H03-H04-P01	335	P01-H05-P01	18	353	111,341.46
P01-H05- H02 -H01-H03-H04-P01	251	P01-H05-P01	18	269	110,923.57 *
P01-H05-H01- H02 -H03-H04-P01	265	P01-H05-P01	18	283	110,996.06
P01-H05-H01- H03- H02 -H04-P01	316	P01-H05-P01	18	334	111,251.03
P01-H05-H01- H03-H04- H02 -P01	364	P01-H05-P01	18	382	111,493.67
P01-H05-H01- H03-H04-P01	203	P01- H02 -H05-P01	151	354	111,354.27
P01-H05-H01- H03-H04-P01	203	P01-H05- H02 -P01	151	354	111,356.27

ดังนั้นเลือกเส้นทาง $S' = P01-H05-H02-H01-H03-H04-P01$, $S' = P01-H05-P01$ มีระยะทางรวม 269 กิโลเมตรและมีต้นทุนรวม 110,923.57 บาทต่อเดือน เป็นคำตอบ เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การยอมรับคำตอบ ใช้หลักการ Simulated Annealing (SA) ในการพิจารณา

จากตัวอย่าง $Z(S') \leq Z(S)$ จึงยอมรับคำตอบใหม่และให้ค่า $S = S'$ และค่าของ $Z(S') < Z(S_{\min})$ จึงให้ค่า $S_{\min} = S$

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight: w) ให้ δ มีค่าเท่ากับ 3 จะได้ค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่แสดงดังสมการ และแสดงการปรับค่าน้ำหนักดังตาราง 4.10

$$w(d_2) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(3) = 2.4$$

$$w(r_3) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(3) = 2.4$$

ตารางที่ 4.10 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small Random Removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	1
Small Worst Removal (d_2)	2.4	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small Relate Removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	2.4
Large Random Removal (d_4)	1		
Large Worst Removal (d_5)	1		
Large Relate Removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดและดำเนินการปรับค่าน้ำหนักแล้วเป็นการเสร็จสิ้นการคำนวณในรอบที่ 2 จึงเริ่มกระบวนการวนรอบซ้ำในรอบที่ 3 ซึ่งดำเนินการในขั้นตอนที่ 1 - 5 เช่นเดิม

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือก Repair operator โดย Destroy operator และ Repair operator มีค่าน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 4.10

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ operator แทนค่าจะได้ความน่าจะเป็นดังตารางที่ 4.11

$$\begin{aligned}
 P(d_1) &= \frac{3.1}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.326 \\
 P(d_2) &= \frac{2.4}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.253 \\
 P(d_3) &= \frac{1}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.105 \\
 P(d_4) &= \frac{1}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.105 \\
 P(d_5) &= \frac{1}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.105 \\
 P(d_6) &= \frac{1}{3.1+2.4+1+1+1+1} = 0.105 \\
 P(r_1) &= \frac{1}{1+3.1+2.4} = 0.154 \\
 P(r_2) &= \frac{3.1}{1+3.1+2.4} = 0.631 \\
 P(r_3) &= \frac{2.4}{1+3.1+2.4} = 0.369
 \end{aligned}$$

และ

ตารางที่ 4.11 ค่าความน่าจะเป็นของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
(d_1)	3.1	0.326	0.326	(r_1)	1	0.154	0.154
(d_2)	2.4	0.253	0.579	(r_2)	3.1	0.477	0.631
(d_3)	1	0.105	0.684	(r_3)	2.4	0.369	1.000
(d_4)	1	0.105	0.789				
(d_5)	1	0.253	0.894				
(d_6)	1	0.105	1.000				
รวม		1.000				1.000	

ทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลขระหว่าง (0,1) ซึ่งสมมติทำการสุ่มเลือกได้ดังนี้

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.62: $d_i = d_3$ (วิธีการ Small Related Removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.15 : $r_i = r_1$ (วิธีการ Random Insertion)

d สุ่มได้ตัวเลข 1 นั่นคือโรงพยาบาล จำนวน 1 แห่ง ที่จะมีการทำลายและ

ซ่อมแซม

ขั้นตอนที่ 3_การทำลายและซ่อมแซมเส้นทางเริ่มต้น จากเส้นทางเริ่มต้นหรือ

คำตอบเริ่มต้น

เส้นทาง $S = P01-H05-H02-H01- H03-H04-P01$

และ $S = P01-H05-P01$

มีระยะทางรวม 269 กิโลเมตร มีต้นทุนรวม $Z(S)$ 110,923.57 บาทต่อเดือน

จากการสุ่มเลือกค่าตัวเลขตั้งข้างต้นจะได้ว่ามีการทำลาย 1 โรงพยาบาล ด้วยวิธี Small Related Removal มีขั้นตอนการทำลายดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ I = เซตของโรงพยาบาลทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสุ่มจำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลายจาก Degree of destructive โดยกำหนดให้ Q คือ จำนวนโรงพยาบาลที่จะต้องถูกทำลาย

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกโรงพยาบาลจากเซต I มา 1 แห่ง

ขั้นตอนที่ 4 เรียงลำดับระยะทางระหว่างโรงพยาบาลที่เหลือกับโรงพยาบาลที่สุ่มเลือกจากขั้นตอนที่ 3 โดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก พิจารณาโรงพยาบาลที่มีระยะใกล้กับโรงพยาบาลที่สุ่มเลือกจากขั้นตอนที่ 3 ที่มากที่สุด 30% แรก และสุ่มเลือกโรงพยาบาลในกลุ่ม 30% ของโรงพยาบาลทั้งหมดตามจำนวน Q ที่กำหนดไว้ด้วยวิธี weight probability

ขั้นตอนที่ 5 ทำลายโรงพยาบาลที่ถูกเลือกออกจากเส้นทางนั้น ๆ

สมมติโรงพยาบาลที่สุ่มเลือกคือ H02 แล้วจึงเรียงลำดับโรงพยาบาลที่มีระยะทางใกล้กับ H02 จากน้อยไปมาก นั่นคือ H02-H01-H05-H03-H04 จากนั้นทำการสุ่มโรงพยาบาลด้วยหลักการ weight probability มา 1 แห่ง สมมติสุ่มเลือกได้ H01 ซึ่งการทำลายด้วยวิธี Small Related Removal จะได้เส้นทาง $S = P01-H05-H02-H03-H04-P01$, $S = P01-H05-P01$ และ ซ่อมแซมด้วยวิธีการ Random Insertion ดังนี้ และแสดงการคำนวณดังตารางที่ 4.12

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ Q = เซตของโรงพยาบาลที่ถูกสุ่มเลือกเพื่อทำลาย

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มเลือกโรงพยาบาลจากเซต Q มา 1 แห่ง

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกตำแหน่งที่จะแทรกโรงพยาบาลที่สุ่มได้จากขั้นตอนที่ 2 ในเส้นทางนั้น ๆ โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 แทรกโรงพยาบาลในตำแหน่งที่สุ่มเลือกได้

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random Insertion

เส้นทาง (S')	ระยะทาง	เส้นทาง (S')	ระยะทาง	ผลรวมระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $Z(S')$
P01-H05-H02-H03-H04-H01-P01	352	P01-H05-P01	18	370	111,424.58
P01 -H05-H01-H02-H03-H04-P01	265	P01-H05-P01	18	283	110,992.06
P01-H01H05-H02 -H03-H04-P01	349	P01-H05-P01	18	367	111,411.95
P01-H05-H02-H03-H01-H04-P01	251	P01-H05-P01	18	269	110,921.57 *
P01-H05-H02-H01-H03-H04-P01	251	P01-H05-P01	18	269	110,921.57 *

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random Insertion (ต่อ)

เส้นทาง (S')	ระยะทาง	เส้นทาง (S')	ระยะทาง	ผลรวมระยะทาง	ต้นทุนรวม (บาท) $Z(S')$
P01-H05-H02- H03-H04-P01	251	P01-H01-H05-P01	117	368	111,414.91
P01-H05-H02- H03-H04-P01	251	P01-H05-H01-P01	117	368	111,415.66

จากตาราง 4.12 พบว่ามีคำตอบที่ดีที่สุด 2 คำตอบ คือ $S' = \text{P01-H05-H02-H03-H01-H04-P01}$, $S' = \text{P01-H05-P01}$ และ $S' = \text{P01-H05-H02-H01-H03-H04-P01}$, $S' = \text{P01-H05-P01}$ เนื่องจากมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด สมมติในตัวอย่างนี้เลือกคำตอบที่ 1 เป็นคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจะเป็นเส้นทางเริ่มต้นในการปรับปรุงคำตอบรอบถัดไป

ขั้นตอนที่ 4 การยอมรับคำตอบ ใช้หลักการ Simulated Annealing (SA) ในการพิจารณา

จากตัวอย่าง $Z(S') \leq Z(S)$ จึงยอมรับคำตอบใหม่และให้ค่า $S = S'$ และค่าของ $Z(S') < Z(S_{\min})$ จึงให้ค่า $S_{\min} = S$

แต่สมมติว่า $Z(S') = 110,992.06$, $Z(S) = 110,923.57$ แสดงให้เห็นว่า

$Z(S') > Z(S)$ ทดสอบการยอมรับคำตอบด้วยความน่าจะเป็น $p = e^{\frac{-(Z(S')-Z(S))}{kT}}$ เมื่อแทนค่าจะได้ $p = e^{\frac{-(110992.06-110923.57)}{3*80}}$ จะได้ค่าเท่ากับ 0.7517 จากนั้นสุ่มตัวเลขที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ สมมติได้ตัวเลข $0.701 < P$ จึงให้ยอมรับ S' แต่หากสุ่มตัวเลขที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ สมมติได้ตัวเลข $0.924 > P$ จะไม่ยอมรับ S' และใช้ S เป็นคำตอบ

ขั้นตอนที่ 5 ปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight :w) ให้ δ มีค่าเท่ากับ 3 จะได้ค่าน้ำหนักที่ปรับใหม่แสดงดังสมการ และแสดงการปรับค่าน้ำหนักดังตาราง 4.13

$$w(d_3) = 0.3(1) + (1-0.3)(3) = 2.4$$

$$w(r_1) = 0.3(1) + (1-0.3)(3) = 2.4$$

ตารางที่ 4.13 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 4

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small Random Removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	2.4
Small Worst Removal (d_2)	2.4	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small Relate Removal (d_3)	2.4	Greedy insertion (r_3)	2.4
Large Random Removal (d_4)	1		
Large Worst Removal (d_5)	1		
Large Relate Removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดและดำเนินการปรับค่าน้ำหนักแล้วเป็นการเสร็จสิ้นการคำนวณในรอบที่ 3 จึงเริ่มกระบวนการวนรอบซ้ำในรอบที่ 4 ซึ่งดำเนินการในขั้นตอนที่ 1-5 เช่นเดิม ทำการวนรอบซ้ำเฉพาะขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ 4.1.2.3 จำนวน 1,000 รอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

4.1.2.4 คำนวณต้นทุนรวม โดยต้นทุนรวมในรอบนี้มีค่าเท่ากับ 110,921.57 บาท

4.1.2.5 ดำเนินการวนรอบซ้ำในขั้นตอน 4.1.2.2 จำนวน 100 รอบ

ในรอบนี้การเปิดตำแหน่งให้บริการเผายะติตเชื้อ 1 แห่ง มีต้นทุนรวม 110,921.57 บาทต่อเดือน สามารถจำแนกเป็นต้นทุนในการเปิดเตาเผายะติตเชื้อ 93,708 บาท และต้นทุนยานพาหนะ 17,214 บาท และสมมติให้การเปิดตำแหน่งให้บริการเผายะติตเชื้อ 2 แห่ง มีต้นทุนรวม 202,416 บาทต่อเดือน จำแนกเป็นต้นทุนในการเปิดเตาเผายะติตเชื้อ 187,416 บาท และต้นทุนยานพาหนะ 15,000 บาท จะเห็นได้ว่าต้นทุนในการเปิดเตาเผายะติตเชื้อ เพิ่มขึ้น 93,708 บาท และต้นทุนยานพาหนะลดลง 2,214 บาท ซึ่งส่วนต่างที่เพิ่มขึ้นของต้นทุนในการเปิดเตาเผายะติตเชื้อ มากกว่า ส่วนต่างที่ลดลงของต้นทุนยานพาหนะ จึงหยุดการพิจารณาการเปิดตำแหน่งให้บริการเตาเผายะติตเชื้อเพิ่มในรอบนี้ และนำคำตอบที่ได้จากการเปิดตำแหน่งให้บริการเผายะติตเชื้อ 1 แห่ง เป็นคำตอบ

4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP ในงานวิจัยนี้หมายถึงการประเมินศักยภาพของวิธีการทางด้านผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธี GRALNSP กับผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมวลผลผ่านโปรแกรม AMPL เนื่องด้วยปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางรถเก็บขยะติตเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากโดยเฉพาะในส่วนของการจัด

เส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อ สืบเนื่องจากความถึในการเก็บขยะติดเชื้อต่อเนื่องตามนโยบายของแต่ละโรงพยาบาลที่แตกต่างกันและความหลากหลายของประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อที่ ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบ โดยสร้างปัญหาตัวอย่างจำนวน 15 กรณี แสดงรายละเอียดดังภาคผนวก จ ซึ่งในแต่ละกรณีมีข้อมูลนำเข้าที่แตกต่างกันได้แก่ จำนวนตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีทั้ง 1, 2 และ 3 แห่ง ประเภทของเตาเผาขยะติดเชื้อมี 3 ประเภทตามอัตราการเผาสูงสุดคือ 100, 300 และ 600 กิโลกรัมต่อชั่วโมงและจำนวนโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ ได้แก่กลุ่มโรงพยาบาล 5-8 แห่ง กลุ่มโรงพยาบาล 10 แห่งและกลุ่มโรงพยาบาล 20 แห่ง สำหรับความถึในการเก็บขยะติดเชื้อเป็นส่วนหนึ่ง ที่ส่งผลให้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลมีความซับซ้อน โดยในสถานการณ์จริงจะมีการเก็บขยะติดเชื้อโดยเฉลี่ยที่ 4 ครั้งต่อเดือนสำหรับโรงพยาบาลชุมชนและ 8 ครั้งต่อเดือนสำหรับโรงพยาบาลทั่วไป ดังนั้นในปัญหาตัวอย่างจึงมีการทดสอบความถึหลายรูปแบบ เช่น ความถึ 1 และ 2 ครั้งต่อเดือน ความถึ 2 และ 4 ครั้งต่อเดือนและความถึ 4 และ 8 ครั้งต่อเดือน เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้วิธี GRALNSP ถูกออกแบบและพัฒนาโดยใช้ภาษา C++ และประมวลผลผ่านโปรแกรม Visual studio 2019 ในการหาค่าของคำตอบ การเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธี GRALNSP และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL แสดงดังตารางที่ 4.16 พบว่าผลการหาคำตอบด้วยวิธี GRALNSP ในปัญหาตัวอย่างกลุ่มโรงพยาบาล 5-8 แห่ง (Case1, Case2) ทั้งสองวิธีให้ค่าคำตอบไม่แตกต่างกัน โดยโปรแกรม AMPL ที่ให้ค่าคำตอบในรูปแบบ Global optimal แต่วิธี GRALNSP ใช้เวลาประมวลผลในการพบคำตอบที่ดีที่สุดน้อยกว่าและเมื่อเปรียบเทียบผลคำตอบกับปัญหาตัวอย่างกลุ่มโรงพยาบาล 5-8 แห่ง ที่มีความถึในการเก็บขยะติดเชื้อมากขึ้นคือ 2, 4 และ 4, 8 ครั้งต่อเดือน (Case3-Case6) การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ให้ค่าคำตอบในรูปแบบ Upper bound และใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 20 ชั่วโมง อีกทั้งการให้คำตอบคือต้นทุนรวมและใช้เวลาประมวลผลเพื่อที่จะพบคำตอบที่ดีที่สุดของทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบคำตอบในกลุ่มโรงพยาบาล 10 แห่งและกลุ่มโรงพยาบาล 20 แห่ง (Case7-Case14) ซึ่งการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ไม่สามารถให้คำตอบในรูปแบบ Global optimal ได้เช่นเดียวกัน ซึ่งการให้คำตอบของทั้งสองวิธีแสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมมีความแตกต่างกันและวิธี GRALNSP ยังคงใช้เวลาประมวลผลเพื่อที่จะพบคำตอบที่ดีที่สุดน้อยกว่า จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนมากขึ้น การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ไม่สามารถให้คำตอบในรูปแบบ Global optimal ได้ และใช้เวลาในการพบคำตอบที่ดีที่สุดมาก ในขณะที่วิธี GRALNSP สามารถให้คำตอบที่ดีกว่าและใช้เวลาในการพบคำตอบที่ดีที่สุดสั้นกว่า จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP สามารถสรุปได้ว่า วิธี GRALNSP มีประสิทธิภาพสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดีและใช้เวลาในการพบคำตอบที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว จากนั้นผู้วิจัยได้นำคำตอบทั้ง 15 กรณีที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และวิธี GRALNSP มาทดสอบทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของคำตอบและความแตกต่างของระยะเวลาในการพบคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยวิธีทางสถิติ Paired t-test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ โดยแสดงสมมติฐานในการทดสอบและการวิเคราะห์ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนรวมดังนี้

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_{d1} &= 0 \\ H_1 : \mu_{d1} &\neq 0 \end{aligned}$$

สมมติฐานการทดสอบ

โดยที่ μ_{d1} คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างต้นทุนรวมที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของต้นทุนรวมที่คำนวณได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และวิธี GRALNSP

Detail	N	Mean	StDev	SE Mean	P-Value
AMPL	15	2781731	344848	89039	0.080
GRALNSP	15	2757356	352954	91132	
Difference	15	24375	50099	12935	

จากตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของต้นทุนรวมที่คำนวณได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP ด้วย Paired t-test พบว่าค่า P-Value จากการทดสอบมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ จึงยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรอง นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างต้นทุนรวมที่แก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ สำหรับการเปรียบเทียบความแตกต่างของระยะเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP แสดงดังตารางที่ 4.15 และมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

$$\begin{aligned} H_0 : \mu_{d2} &= 0 \\ H_1 : \mu_{d2} &\neq 0 \end{aligned}$$

โดยที่ μ_{d2} คือค่าเฉลี่ยของผลต่างเวลาในการประมวลผลที่หาคำตอบที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเวลาที่หาคำตอบที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และวิธี GRALNSP

Detail	N	Mean	StDev	SE Mean	P-Value
AMPL	15	37602	26656	6882	0.00
GRALNSP	15	8	3	1	
Difference	15	37594	26655	6882	

จากตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของเวลาในการประมวลผลที่พบคำตอบที่ดีที่สุดจากแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP ด้วย Paired t-test พบว่าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักและยอมรับสมมติฐานรอง นั่นคือค่าเฉลี่ยผลต่างของเวลาในการประมวลผลที่พบคำตอบที่ดีที่สุดจากแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบความแตกต่างของคำตอบจากแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของวิธี GRALNSP ผู้วิจัยจึงนำวิธี GRALNSP มาใช้ในการแก้ปัญหากรณีศึกษา คือปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยแก้ปัญหาในรูปแบบรายจังหวัดและในภาพรวม 20 จังหวัด ตารางที่ 4.17 แสดงผลการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือกรณีจังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดบึงกาฬและจังหวัดร้อยเอ็ด กรณีจังหวัดหนองบัวลำภูมีตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม คือตำแหน่ง P12 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอศรีบุญเรือง ใช้เตาขยะติดเชื้อเผาขนาดอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อจำนวน 6 แห่ง ใช้เวลาในการเผาขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 36.7 ชั่วโมงต่อเดือน มีการเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 2 เส้นทาง มีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 2,398,382.22 บาทต่อเดือน ใช้เวลาในการประมวลผล 14.10 วินาที จังหวัดบึงกาฬมีตำแหน่งที่ให้ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมคือตำแหน่ง P06 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอเซกา มีโรงพยาบาลรับบริการ 8 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้เวลาในการเผาขยะติดเชื้อ 41 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ 2 เส้นทาง มีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 1,661,712.36 บาทต่อเดือน ใช้เวลาในการประมวลผล 15.80 วินาที จังหวัดร้อยเอ็ด มีตำแหน่งที่ถูกคัดเลือกให้ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อคือตำแหน่ง P10 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอโพนทอง มีโรงพยาบาลรับบริการทั้งสิ้น 20 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดอัตราการเผาสูงสุด 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง ใช้เวลาในการเผาขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 162.25 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ 2 เส้นทาง คิดเป็นต้นทุนรวมทั้งสิ้น 2,963,074.758 บาทต่อเดือน และใช้เวลาในการประมวลผล 17.20 วินาที สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยทั้ง 20 จังหวัด กรณีศึกษา ดังที่กล่าวในบทที่ 3 ถึงผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ประมวลผลด้วยโปรแกรม AMPL ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาและแสดงค่าคำตอบได้ สืบเนื่องจากจำนวนตัวแปรและความซับซ้อนของปัญหาประกอบกับเงื่อนไขของโปรแกรมที่จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำของอุปกรณ์ประมวลผลที่มากขึ้นแสดงดังภาพที่ 3.3 ผู้วิจัยจึงนำวิธี GRALNSP มาแก้ปัญหการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในลำดับต่อไป เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบปัญหาตัวอย่างด้วยแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP

ตัวอย่าง	ข้อมูลนำเข้า				ผลลัพธ์จากโปรแกรม AMPL			ผลลัพธ์จากวิธี GRALNSP		ร้อยละ ผลต่าง ต้นทุนรวม (%)
	จุด เปิด (แห่ง)	ประเภท ของเตาเผา ขยะติดเชื้อ	จำนวน โรงพยาบาล รับบริการ	ความถี่ใน การเก็บ ขยะฯ	สถานะ	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	เวลาที่พบ คำตอบ ที่ดีที่สุด (วินาที)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	เวลาที่พบ คำตอบที่ดี ที่สุด(วินาที)	
Case 1	1	2	5	1, 2	Global optimal	2,828,235	9.70	2,828,235	3.65	-
Case 2	2	2	5	1, 2	Global optimal	2,828,235	12.90	2,828,235	8.17	-
Case 3	2	1, 2, 3	5	2, 4	Upper bound	2,840,478	8,397.73	2,840,467	7.85	0.0004
Case 4	2	1, 2, 3	5	4, 8	Upper bound	2,876,775	27,002.09	2,876,718	7.01	0.0020
Case 5	2	1, 2, 3	8	4, 8	Upper bound	1,662,983	72,865.64	1,661,712	8.11	0.0764
Case 6	3	1, 2, 3	6	4, 8	Upper bound	2,398,646	51,634.44	2,239,838	14.87	6.6207
Case 7	2	2	10	1, 2	Upper bound	2,841,654	65,603.86	2,841,654	6.64	0.0000
Case 8	2	1, 2	10	1, 2	Upper bound	2,952,729	7,072.52	2,876,717	8.5	2.5743
Case 9	2	1, 2, 3	10	1, 2	Upper bound	2,841,654	5,134.09	2,841,654	9.77	0.0000
Case 10	2	1, 2, 3	10	2, 4	Upper bound	2,860,168	65,570.17	2,859,890	7.23	0.0097
Case 11	2	1, 2, 3	10	4, 8	Upper bound	2,900,769	58,346.41	2,896,360	9.8	0.1520
Case 12	2	1, 2, 3	20	2, 4	Upper bound	2,887,482	50,660.16	2,885,064	8.68	0.0837
Case 13	2	1, 2, 3	20	1, 2	Upper bound	2,875,008	45,699.64	2,874,408	3.58	0.0209
Case 14	2	1, 2, 3	20	4, 8	Upper bound	2,988,263	49,696.95	2,874,408	3.58	3.8101
Case 15	2	1, 2, 3	20	2, 4	Upper bound	3,142,889	56,318.23	3,134,985	6.24	0.2515

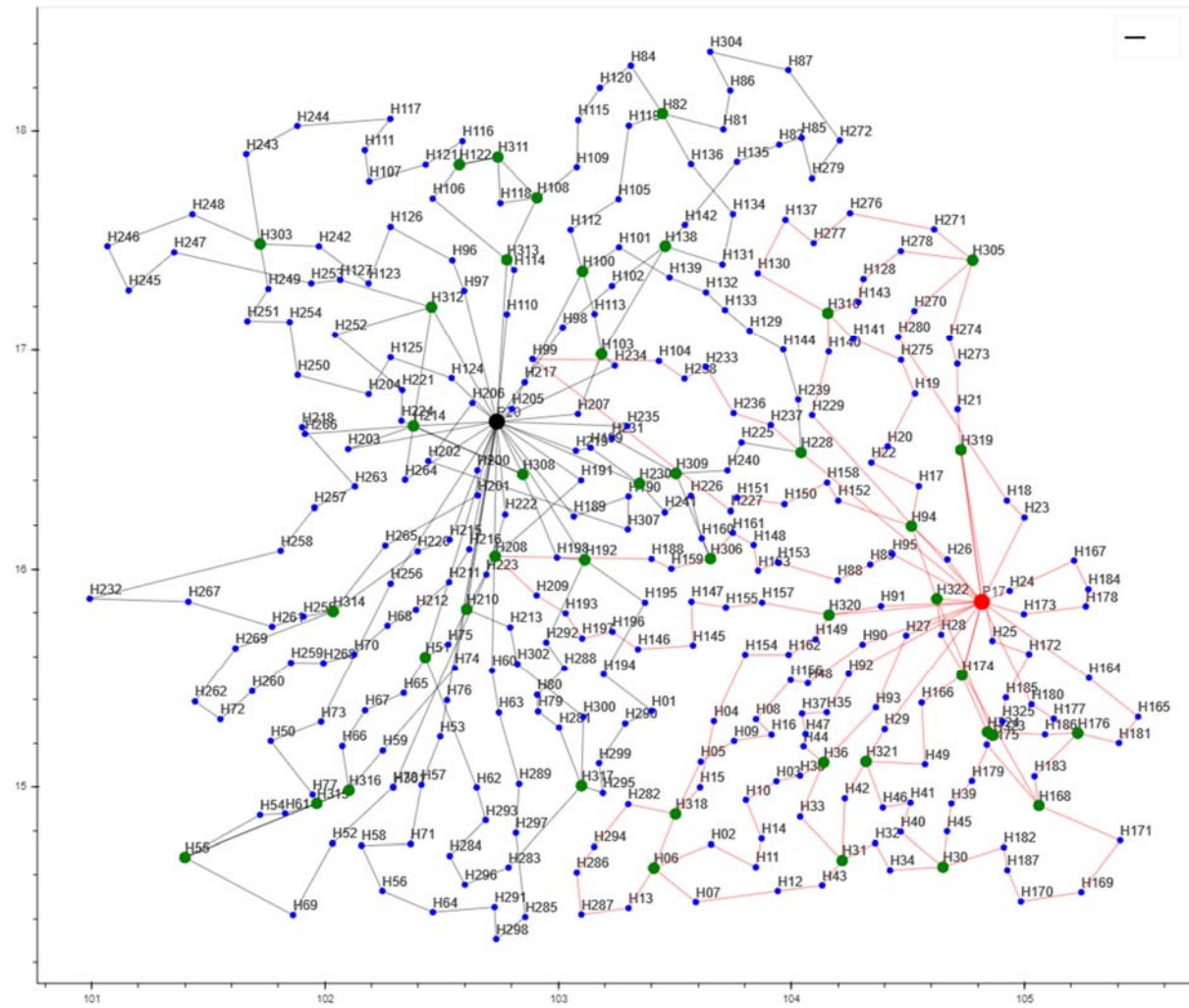
ตารางที่ 4.17 ผลการแก้ปัญหาด้วยวิธีวิธี GRALNSP กรณีศึกษาจังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดบึงกาฬและจังหวัดร้อยเอ็ด

จังหวัด	จำนวน โรงพยาบาล รับบริการ	ตำแหน่ง ที่ตั้งเตาฯ	ประเภท เตาเผาฯ (กิโลกรัมต่อ ชั่วโมง)	เวลาในการ เผาต่อเดือน (ชั่วโมง)	เส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณขยะ ติดเชื้อ ต่อเที่ยว (กิโลกรัม)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
หนองบัวลำภู	6	P12	300	36.7	Route: P12 - H123 - H127 - H126 - H312 - H124 - P12	272.51	1,477.50	2,398,382.22
					Route: P12 - H125 - H312 - P12	74.32	825.00	
บึงกาฬ	8	P06	300	41	Route 1: P6 - H81 - H86 - H82 - H84 - H304 - H87 - H85 - H83 - P6	295.23	2,482.50	1,661,712.36
					Route 2: P6 - H82 - P6	132.96	142.50	
ร้อยเอ็ด	20	P10	300	162.25	Route 1: P10 - H158 - H152 - H150 - H148 - H306 - H161 - P10	178.26	4698.75	2,963,074.758
					Route 2: P10 - H151 - H160 - H306 - H159 - H155 - H147 - H146 - H145 - H154 - H156 - H162 - H149 - H157 - H163 - H153 - P10	447.88	7,019.78	

4.3 การแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP จะเห็นได้ว่าสามารถแก้ปัญหากรณีศึกษาได้จริง จึงนำวิธีการดังกล่าวมาแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เพื่อให้มีตำแหน่งเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อพร้อมกับเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อที่เหมาะสมตลอดจนมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ข้อมูลนำเข้าประกอบไปด้วยตำแหน่งที่มีศักยภาพในการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจำนวน 21 แห่ง และโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจำนวน 325 แห่ง รายละเอียดดังภาคผนวก ก และภาคผนวก ข ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหากรณีศึกษาแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.18 – 4.21 และรูปแบบเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแสดงดังภาพที่ 4.3 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อและรูปแบบเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยจุดวงกลมสีดำคือตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ P17 มีโรงพยาบาลรับบริการคือจุดสีน้ำเงินและเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อคือเส้นทางสีดำ ส่วนจุดวงกลมสีส้มคือตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ P20 มีเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อคือเส้นทางสีส้ม สำหรับจุดสีเขียวหมายถึงโรงพยาบาลที่มีความถี่ในการจัดเก็บขยะติดเชื้อ 8 ครั้งต่อเดือนซึ่งจะปรากฏในเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อ 2 เส้นทาง

จากตารางที่ 4.18–4.21 แสดงผลการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและการจัดเส้นทางสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยมีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมจำนวน 2 แห่ง คือ P17 และ P20 ซึ่งตำแหน่ง P17 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอบุพผราชนก จ.จังหวัดอำนาจเจริญ มีโรงพยาบาลรับบริการทั้งสิ้น 138 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมงในการเผาขยะติดเชื้อปริมาณ 303,148.84 กิโลกรัมต่อเดือนซึ่งใช้เวลาในการเผาทั้งสิ้น 513.89 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ จำนวน 10 เส้นทาง แต่ละเส้นทางมีการเก็บขยะติดเชื้อ 4 ครั้งต่อเดือน นั่นคือมีการใช้ยานพาหนะในการเก็บขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 40 เที่ยวต่อเดือน มีระยะทางในการเก็บขยะติดเชื้อโดยรวม 24,055.24 กิโลเมตรต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนรวมทั้งสิ้น 2,774,149.68 บาทต่อเดือน สำหรับตำแหน่ง P20 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น มีโรงพยาบาลรับบริการทั้งสิ้น 187 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมงในการเผาขยะติดเชื้อปริมาณ 416,831.60 กิโลกรัมต่อเดือน ใช้เวลาในการเผาขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 709.57 ชั่วโมงต่อเดือน มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ จำนวน 15 เส้นทางซึ่งแต่ละเส้นทางมีการเก็บขยะติดเชื้อ 4 ครั้งต่อเดือนนั่นคือมีการใช้ยานพาหนะในการเก็บขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 60 เที่ยวต่อเดือน มีระยะทางในการเก็บขยะติดเชื้อโดยรวม 38,401.48 กิโลเมตรต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนรวมทั้งสิ้น 3,494,820.72 บาทต่อเดือน โดยผลลัพธ์ดังกล่าวคือตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและมีเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เหมาะสมซึ่งมีต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด 6,268,970.41 บาทต่อเดือน



ภาพที่ 4.3 ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP

ตำแหน่งที่ตั้งเตาฯ	ประเภทเตาเผาฯ	เวลาในการเผา (ชั่วโมง/เดือน)	เส้นทางการเก็บขนขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P17	600	513.89	Route 1: P17, H228, H237, H236, H233, H238, H104, H99, H227, H151, H150, H158, H152-H94, H26, P17	4	2,687.88	16,567.52	2,774,149.68
			Route 2: P17, H91, H320, H157, H155, H147, H145, H146, H196, H197, H193, H209, H208, H188, H159, H306, H161, H148, H163, H153, H88, H89, H95, P17	4	2,664.92	36,381.52	
			Route 3: P17, H90, H48, H156, H8, H16, H9, H5, H318, H282, H294, H286, H287, H13, H6, H2, H11, H14, H10, H3, H38, H36, H93, H27, P17	4	2,993.44	37,530.40	
			Route 4: P17, H23, H18, H280, H270, H305, H278, H128, H143, H310, H140, H229, P17	4	2,422.72	20,995.64	
			Route 5: P17, H320, H149, H162, H154, H4, H15, H318, H6, H7, H12, H43, H31, H42, H321, H29, P17	4	2,396.12	39,487.40	

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP (ต่อ)

ตำแหน่ง ที่ตั้งเตาฯ	ประเภท เตาเผาฯ	เวลาใน การเผา (ชั่วโมง/ เดือน)	เส้นทางการเก็บขนขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยว การเก็บขน ขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/ เดือน)	ปริมาณขยะ ติดเชื้อ (กิโลกรัม/ เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P17	600	513.89	Route 6: P17, H322, H94, H17, H22, H20, H19, H275, H141, H310, H130, H137, H277, H276, H271, H305, H274, H273, H21, H319, P17	4	2,719.36	34,613.84	
			Route7: P17, H92, H35, H37, H47, H44, H36, H33, H31, H32, H34, H30, H45, H39, H179, H323, H325, H185, H172, H25, H319, P17	4	2,821.80	39,034.52	
			Route 8: P17, H180, H177, H176, H186, H324, H175, H168, H171, H169, H170, H187, H182, H30, H40, H41, H46, H321, H49, H166, H174, P17	4	2,656.84	37,174.00	
			Route 9: P17, H164, H165, H181, H176, H183, H168, H28, H322, H323, H324, H174, P17	4	2,084.40	38,108.00	
			Route10: P17, H173, H178, H184, H167, H24, P17	4	607.76	3,256.00	
Total					24,055.24	303,148.84	2,774,149.68

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP (ต่อ)

ตำแหน่งที่ตั้งเตาฯ	ประเภทเตาเผาฯ	เวลาในการเผา (ชั่วโมง/เดือน)	เส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P20	600	709.57	Route 1: P20, H235, H231, H309, H306, H160, H226, H241, H230, H199, H219, P20	4	1,523.32	27,213.04	3,494,820.72
			Route 2: P20, H189, H190, H307, H202, H206, P20	4	1,307.76	22,843.20	
			Route 3: P20, H60, H63, H289, H297, H285, H298, H291, H64, H56, H58, H71, H57, H53, H76, P20	4	2,936.04	27,558.60	
			Route 4: P20, H74, H59, H316, H315, H55, H69, H52, H78, H301, H223, H222, P20	4	2,924.40	28,946.84	
			Route 5: P20, H51, H65, H67, H66, H316, H55, H54, H61, H315, H77, H50, H73, H256, P20	4	2,968.60	38,229.00	
			Route 6: P20, H234, H103, H138, H131, H134, H136, H82, H84, H120, H115, H109, H108, H118, H311, H122, H106, H313, H114, H110, P20	4	2,905.84	37,551.00	

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP (ต่อ)

ตำแหน่งที่ตั้งเตาฯ	ประเภทเตาเผาฯ	เวลาในการเผา (ชั่วโมง/เดือน)	เส้นทางการเก็บขนขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P20			Route 7: P20, H210, H75, H51, H62, H293, H284, H296, H283, H317, H295, H299, H290, H1, H194, H195, H192, P20	4	2,979.68	28,704.76	
			Route 8: P20, H312, H127, H253, H247, H245, H246, H248, H303, H242, H123, H126, H96, H97, P20	4	2,687.56	15,921.92	
			Route 9: P20, H216, H211, H212, H68, H70, H268, H259, H260, H72, H262, H269, H314, H220, H215, P20	4	2,317.44	27,174.00	
			Route 10: P20, H200, H201, H265, H314, H255, H261, H267, H232, H258, H257, H263, H218, H266, H214, P20	4	2,876.08	33,960.00	

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP (ต่อ)

ตำแหน่งที่ตั้งเตาฯ	ประเภทเตาเผาฯ	เวลาในการเผา (ชั่วโมง/เดือน)	เส้นทางการเก็บขนขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P20			Route 11: P20, H205, H217, H100, H112, H105, H119, H82, H81, H86, H304, H87, H272, H279, H85, H83, H135, H142, H138, H102, H98, P20	4	2,899.52	20,925.00	
			Route 12: P20, H124, H125, H204, H250, H254, H251, H249, H303, H243, H244, H117, H111, H107, H121, H116, H122, H311, H108, H313, P20	4	2,951.24	34,180.20	
			Route 13: P20, H191, H208, H210, H213, H302, H300, H317, H281, H79, H80, H288, H292, H192, H198, H308, P20	4	2,363.88	33,346.36	
			Route 14: P20, H207, H103, H113, H100, H101, H139, H132, H133, H129, H144, H239, H228, H225, H240, H309, H230, P20	4	2,287.20	19,717.04	

ตารางที่ 4.18 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GRALNSP (ต่อ)

ตำแหน่งที่ตั้งเตาฯ	ประเภทเตาเผาฯ	เวลาในการเผา (ชั่วโมง/เดือน)	เส้นทางการเก็บขนขยะติดเชื้อ	จำนวนเที่ยวการเก็บขนขยะติดเชื้อ (เที่ยว/เดือน)	ระยะทาง (กิโลเมตร/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ต้นทุนรวม (บาทต่อเดือน)
P20			Route 15: P20, H203, H214, H308, H224, H221, H252, H312, H264, P20	4	2,472.92	20,560.64	
รวม					38,401.48	416,831.60	3,494,820.72
ต้นทุนรวมทั้งสิ้น							6,268,970.41

จากการแสดงผลการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยด้วยวิธี GRALNSP สามารถสรุปรายละเอียดของต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นเมื่อดำเนินการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมในพื้นที่จังหวัดอำนาจเจริญและจังหวัดขอนแก่น แสดงดังตารางที่ 4.22 ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมทั้งสองแห่งใช้เตาเผาขยะติดเชื้อประเภทเดียวกันแต่จะเห็นได้ว่าต้นทุนในส่วนการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของตำแหน่งในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมีค่าสูงกว่าต้นทุนการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของตำแหน่งในพื้นที่จังหวัดอำนาจเจริญ ซึ่งเป็นผลมาจากมีประชากรจำนวนมากที่อาศัยอยู่ใกล้เคียงบริเวณตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อภายในรัศมี 5 กิโลเมตร ดังนั้นจึงส่งผลให้มีค่าโสหุ้ยที่สูงขึ้นตามไปด้วย อีกทั้งมีโรงพยาบาลรับบริการเผาขยะติดเชื้อจากตำแหน่งในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมากกว่าตำแหน่งให้บริการเผาขยะติดเชื้อในเขตพื้นที่จังหวัดอำนาจเจริญจึงส่งผลให้ต้นทุนในส่วนยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อของตำแหน่งในพื้นที่จังหวัดขอนแก่นมีค่าสูงกว่าเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.19 รายละเอียดต้นทุนรวมของตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสม

ที่ตั้งเตาเผา ขยะติดเชื้อ	ต้นทุนเมื่อตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ		ต้นทุนยานพาหนะ เก็บขยะติดเชื้อ		รวม
	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนแปรผัน	ต้นทุนคงที่	ต้นทุนแปรผัน	
อำเภอ ปทุมราชวงศา จังหวัด อำนาจเจริญ	1,864,772.53	471,747.35	317,353.20	120,276.30	2,774,149.38
อำเภอน้ำพอง จังหวัด ขอนแก่น	2,175,398.78	651,384.65	476,029.80	192,007.50	3,494,820.72
รวม					6,268,970

จากการสอบถามโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ใช้บริการบริษัทเอกชนในการขนส่งและกำจัดขยะติดเชื้อในราคากิโลกรัมละ 12-16 บาท ซึ่งคิดเป็นต้นทุนต่อหน่วยโดยเฉลี่ยที่ 14 บาทต่อกิโลกรัม จึงนำมาคำนวณต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นโดยพบว่ามีต้นทุนรวม 10,078,600 บาทต่อเดือน จึงนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธี GRALNSP ที่มีต้นทุนรวมจากการกำจัดขยะติดเชื้อ 6,268,970 บาทต่อเดือน ซึ่งเมื่อพิจารณาต้นทุนต่อหน่วยพบว่ามีต้นทุนในการกำจัดขยะติดเชื้อ 8.71 บาทต่อกิโลกรัม นั่นคือมีต้นทุนรวมที่ลดลงจากการใช้บริการกำจัดขยะติดเชื้อจากบริษัทเอกชนจำนวน 3,809,630 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นร้อยละ 37.8 แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.20 การเปรียบเทียบต้นทุนต่อหน่วยในการกำจัดขยะติดเชื้อ

การกำจัดขยะติดเชื้อ	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะติดเชื้อ (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุนรวม (บาท/เดือน)	ส่วนต่าง
บริษัทเอกชน	719,900	14	10,078,600	(-) 3,809,630 ร้อยละ 37.8
GRALNSP	719,900	8.71	6,268,970	

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แนวคิดของการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย คือการใช้ข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดสามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์ในการกำจัดขยะติดเชื้อของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ ผลการเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และการวัดประสิทธิภาพของคำตอบของการแก้ปัญหาแสดงในบทที่ 4 และในบทนี้จะเป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัยดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการหาคำตอบสำหรับการแก้ไขปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยมีต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยปัญหานี้จัดเป็นปัญหาแบบยาก (NP-Hard) เนื่องจากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนที่ประกอบไปด้วยปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและปัญหาการจัดเส้นทางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล ซึ่งจะใช้เวลาในการแก้ปัญหาค่อนข้างนาน การใช้วิธีการแม่นยำ (Exact Method) ในการแก้ปัญหานี้อาจกระทำไม่ได้ยาก หรือไม่สามารถกระทำได้เลยเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มขึ้นหรือปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น เป็นต้น ดังนั้นการใช้วิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบของฮิวริสติกส์ (Heuristic) หรือเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic) จึงมีความเหมาะสมและสามารถหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว จากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อการพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่าเพื่อให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพจึงมีการประยุกต์วิธีฮิวริสติกส์ต่าง ๆ ร่วมกันตามความเหมาะสมกับลักษณะของปัญหา สำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) ร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) ในส่วนของการปรับปรุงคำตอบ ในการออกแบบและพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ ในชื่อวิธี Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search Procedure (GRALNSP) ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว

5.1.1 สรุปผลการทดสอบวิธี GRALNSP

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP จะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างจำนวน 15 กรณี ที่มีขนาดและความซับซ้อนของปัญหาแตกต่างกัน นั่นคือ ได้แก่ จำนวนตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อและประเภทของเตาเผาขยะติดเชื้อ เป็นต้น แล้วจึงเปรียบเทียบผลคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งประมวลผลโดยโปรแกรม AMPL และเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลที่พบคำตอบที่ดีที่สุด โดยในกลุ่มปัญหาที่มีโรงพยาบาลรับบริการ 5-8 แห่ง มีความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อ 1 และ 2 ครั้งต่อเดือน ทั้งสองวิธีให้คำตอบไม่

แตกต่างกัน การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL สามารถให้ค่าคำตอบในรูปแบบ Global optimal แต่วิธี GRALNSP ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดน้อยกว่า เมื่อเพิ่มความซับซ้อนในการเก็บขยะติดเชื้อคือให้มีความถี่ในการเก็บขยะติดเชื้อ 2,4 และ 4,8 ครั้งต่อเดือน การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ให้ค่าคำตอบในรูปแบบ Feasible และใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 20 ชั่วโมง เช่นเดียวกันกับการเปรียบเทียบคำตอบในกลุ่มโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ 10 และ 20 แห่ง การแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และวิธี GRALNSP ให้ผลคำตอบและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยวิธี GRALNSP สามารถให้ผลคำตอบที่ดีกว่าและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดรวดเร็วกว่า การทดสอบความแตกต่างของคำตอบจากการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL และ วิธี GRALNSP ด้วยการทดสอบทางสถิติ Paired t-test แสดงให้เห็นว่าต้นทุนรวมที่ได้จากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เวลาในการประมวลผลที่หาคำตอบที่ดีที่สุดของทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธี GRALNSP มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว จึงนำมาใช้ในการแก้ปัญหาของกรณีศึกษาต่อไป

5.1.2 สรุปผลการแก้ปัญหากรณีศึกษา

การแก้ปัญหากรณีศึกษา ดังที่แสดงผลลัพธ์ในบทที่ 3 แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม AMPL ไม่สามารถแก้ปัญหากรณีศึกษาที่มีตัวแปรจำนวนมากและมีความซับซ้อนได้ ดังนั้นจึงใช้วิธี GRALNSP ในการแก้ปัญหา ซึ่งคำตอบแสดงให้เห็นว่ามีตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่เหมาะสมจำนวน 2 แห่ง คือ P17 และ P20 ซึ่งตำแหน่ง P17 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอบุพราวงศา จังหวัดอำนาจเจริญ มีโรงพยาบาลรับบริการ 138 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมง ในการเผาขยะติดเชื้อ มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ จำนวน 10 เส้นทาง ใช้ยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 40 คันต่อเดือน มีระยะทางในการเก็บขยะติดเชื้อโดยรวม 24,055.24 กิโลเมตรต่อเดือน โดยมีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 2,774,149.68 บาทต่อเดือน สำหรับตำแหน่ง P20 ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น มีโรงพยาบาลรับบริการทั้งสิ้น 187 แห่ง ใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาด 600 กิโลกรัม/ชั่วโมงในการเผาขยะติดเชื้อ มีเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อ จำนวน 15 เส้นทาง ใช้ยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อจำนวน 60 คันต่อเดือน มีระยะทางในการเก็บขยะติดเชื้อโดยรวม 38,401.48 กิโลเมตรต่อเดือน โดยมีต้นทุนรวมทั้งสิ้น 3,494,820.72 บาทต่อเดือน โดยผลลัพธ์ดังกล่าวคือตำแหน่งที่สามารถเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อและเส้นทางในการเก็บขยะติดเชื้อโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เหมาะสมที่มีต้นทุนโดยรวมที่ต่ำที่สุด 6,268,970.41 บาทต่อเดือน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์กับการแก้ไขปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ดังนั้นเพื่อให้การแก้ปัญหามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอแนะนำเสนอแนวทางในการศึกษาและแนวทางการดำเนินงานที่จะทำในอนาคตเพิ่มเติมดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาการจัดตารางการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในรูปแบบของการเก็บขยะติดเชื้อต่อสัปดาห์ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้จริง

5.2.2 ควรมีการพิจารณาทางด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่มีการขนส่งขยะติดเชื้อร่วมด้วยเพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

5.2.3 การกำหนดพิกัดของตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อควรคำนึงถึงข้อจำกัดของพื้นที่บริเวณตำแหน่งนั้น ๆ ร่วมด้วย เช่น ระยะห่างจากแหล่งน้ำหรือตำแหน่งใด ๆ อาจไม่มีเส้นทางในการขนส่งซึ่งอาจไม่เหมาะสมในการตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ เป็นต้น

5.2.4 วิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นอาจมีการประยุกต์ใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) ที่สามารถประมวลผลในรูปแบบของรูปภาพร่วมด้วย เพื่อเอื้ออำนวยต่อการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต

5.2.5 วิธีฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง (Location Routing Problem) ในลักษณะอื่น ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกระทรวงสาธารณสุขเรื่อง ตราหรือสัญลักษณ์สำหรับพิมพ์บน
ภาชนะบรรจุมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2546. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข, 2559.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. รายงานสถานการณ์มลพิษของ
ประเทศไทย ปี 2558. กรุงเทพฯ: หั่วใหญ่, 2558.
- _____. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพฯ: หั่วใหญ่, 2559.
- กฤติกา โกพลรัตน์. การเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาและการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับ
การเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2560.
- กษิต์เดช สืบศิริ. การสำรวจการจัดการเตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนในพื้นที่ภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี, 2554.
- กาญจนา เศรษฐนันท์. เมตาฮีริสติกส์และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม (Metaheuristics
and Applications for Industry). ขอนแก่น: คลังนานาวิทยา, 2558.
- กาญจนา ลิ้มวัฒนากุล. การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าและการจัดการพื้นที่รถบรรทุก 4 ล้อ
สำหรับขนส่งน้ำมันหล่อลื่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีมหานคร, 2558.
- คณิศร เทียนทองสวัสดิ์. พฤติกรรมการจัดการขยะติดเชื้อของเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลนครปฐม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาสังคมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยมหิดล, 2552.
- จิตตวิทย์ ศรีปฐมสวัสดิ์. การประยุกต์วิธีGRASP (Greedy Randomized Adaptive Search
Procedure) เพื่อจัดเส้นทางรถขนส่งที่เหมาะสม กรณีศึกษาโรงงานผลิตอลูมิเนียมเส้น.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, 2554.
- จันทนา มณีอินทร์. การจัดการมูลฝอยติดเชื้อขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, 2556.
- จันทร์ศิริ สิงห์เลื่อน. “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด
(Facility Locations Selection using Exact Algorithms)”, วิศวกรรมสาร มก.
78(24): 32-45; ตุลาคม – ธันวาคม, 2555.
- เจริญ ชุมมวล และคณะ. “การสำรวจการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในเขตพื้นที่ภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน”, วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2(1): 39-45;
มกราคม-มิถุนายน; 2552.
- ชาติรี ไชยวงศ์. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการฝึกอบรมการป้องกันและระงับการแพร่
เชื้ออันตรายที่อาจเกิดจากขยะติดเชื้อ. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข, 2553.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมด กรณีศึกษาบริษัทเจียร์นัยน้ำดื่ม จำกัด”, **วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น**. 17(5): 706-714; กันยายน-ตุลาคม, 2555.
- ฐิตินันท์ คำอ้ายวัฒนา. การประยุกต์เทคนิค Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่เหมาะสมในระบบมัลติคัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2553.
- ธเรศ ศรีสถิต. **วิศวกรรมการจัดการมูลฝอยชุมชน**. กรุงเทพฯ: โกบอล กราฟฟิค, 2558.
- นรงค์ วิชาผา. การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมและจัดเส้นทางขนส่งสำหรับศูนย์กำจัดมูลฝอยติดเชื้อ: กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2560.
- ปรุพห์ มะยะเฉียว. การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายวัตถุประสงค์และหลายลำดับชั้นในโซ่อุปทาน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มในเขตพัฒนาเฉพาะกิจ จังหวัดชายแดนภาคใต้. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.
- ปิยะเชษฐ์ สมนึก. การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- ภาณุวัฒน์ สิมมะลี และวลัยลักษณ์ อัครธีรวงศ์. “การศึกษาเปรียบเทียบระบบมดแบบแม็กซ์-มินและการค้นหาตาปูสำหรับการกำหนดตำแหน่งศูนย์กระจายเหรียญกษาปณ์”, **วารสารวิชาการ Thai VCML**. 8(1): 118; มิถุนายน, 2558.
- ภัทราภรณ์ ศรีเสนพิลา. วิธีการฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่ตั้งและการเลือกเตาเผากรณีศึกษาการกำจัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2558.
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, **วิธีการเมตาฮิวริสติกส์เพื่อการแก้ปัญหาการวางแผนผลิตและการจัดการโลจิสติกส์**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.
- วรพจน์ ศิริรักษ์. การจัดเส้นทางรถท่องเที่ยวและหาที่ตั้งจุดจำหน่ายสินค้าสนับสนุนการท่องเที่ยว: กรณีศึกษาจังหวัดเชียงราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2561.
- วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา. “วิธีแบบ P-Median สำหรับการเลือกที่ตั้งสำหรับโรงงานปรับปรุงคุณภาพข้าว”, **วารสารวิชาการ Thai VCML**. 8(1): 98; มิถุนายน, 2558.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วัชรินทร์ เผ่าภูรี. การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งหลายขนาดบรรทุกและหลายช่องบรรจุสำหรับน้ำมันหลายชนิดโดยใช้วิธีฮิวริสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2554.
- สโรชา นาคเจริญ. วิธีการแก้ปัญหาการกำหนดสถานที่ตั้งและเส้นทางเดินรถสำหรับคลังสินค้าหลายแห่งของผู้ให้บริการจัดส่งพัสดุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.
- สุพรรณ สุตสนธิ์. ฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยมีเงื่อนไขขนาดรถบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.
- สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน. ระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการรับฟังความคิดเห็นในการออกระเบียบ ข้อบังคับ ประกาศ หรือข้อกำหนดของคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน พ.ศ. 2560. กรุงเทพฯ: สำนักงานกำกับกิจการพลังงาน, 2559.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9-12. (2555). แผนการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ. 2556-2559. อุตรธานี: สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 9-12, 2555.
- สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ. (2557). “การทำลายเชื้อและการกำจัดขยะติดเชื้อ”, หลักเกณฑ์และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย. <http://infofile.pcd.go.th/waste/topic15.pdf?CFID=19440059&CFTOKEN=14202960>. 20 กันยายน, 2559.
- อนุชา ศรีบุญรัมย์. การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.
- อำนาจ ยอดนิล. การจัดการมูลฝอยติดเชื้อในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2553
- Almeida, L., Rodrigues, J. and Current, J. “A multi objective modeling approach to locating incinerators”. *Socio-Economic Planning Sciences*. 43(2): 111-120; January, 2009.
- Alumur, S. and Kara, B. “A new model for the hazardous waste location-routing problem”, *Computers & Operation Research*. 34(5): 1406-1423; May, 2007.
- Azi, N., Gendreau, M. and Potvin, J. “An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes”, *Computers & Operation Research*. 41(1): 1-173; January, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Barbati, M. **Models and Algorithms for Facility Location Problems with Equity Considerations**. Doctor's Thesis: University of Naples Federico, 2013.
- Berman, O., Drezner, Z. and Krass, D. "Generalized coverage: new developments in covering location models", **Computer & Operations Research**. 37(10): 1675–1687; October, 2010.
- Blum, C. and Roli, A. "Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison", **ACM Computing Surveys**. 35(3): 268–308; September, 2003.
- Braekers, K., Ramaekers, K. and Nieuwenhuys, I. "The vehicle routing problem: State of the art classification and review", **Computers & Industrial Engineering**. 99(1): 300–313; September, 2016.
- Chen, S. and et al. "An adaptive large neighborhood search heuristic for dynamic vehicle routing problems", **Computers and Electrical Engineering**. 67(12): 569–607; Springer, 2018.
- Church, R. and ReVelle, C. "Maximal Covering Location Problem", **Papers of the Regional Science Association**. 32(1): 101–118; January, 1974.
- Clarke, G. and Wright, J. W. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points", **Operations Research**. 12(4): 568–582; September, 1964.
- Colmenar, J. M. and et al. "Advanced greedy randomized adaptive search procedure for the obnoxious p-median problem", **European Journal of Operational Research**. 252(2): 432–442; July, 2016.
- Contardo, C., Cordeau, J.-F. and Gendron, B. "A GRASP+ ILP-based metaheuristic for the capacitated location-routing problem", **Journal of Heuristics**. 20(1): 1–3; February, 2014.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J. H. "The truck dispatching problem", **Management Science**. 6(1): 80–92; February, 1959.
- Dayarian, I. and et al. "An adaptive large-neighborhood search heuristic for a multi-period vehicle routing problem", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**. 95(C): 95–123; November, 2016.
- Duhamel, C. and et al. "A GRASPxELS approach for the capacitated location-routing problem". **Computers & Operations Research**. 37(11): 1912– 1923, November, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Expósito-Márquez, A. and et al. “Greedy randomized adaptive search procedure to design waste collection routes in La Palma”, **Computers & Industrial Engineering**. 137(1): 106047; November, 2019.
- Feo, T. A. and Resende, M. G. C. “Greedy Randomized Adaptive Search Procedures”, **Journal of Global Optimization**. 6(2): 109-133; March, 1995.
- Gao, S. and et al. “Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem”, **Applied Mathematics and Computation**. 285(1): 149-173; July, 2016.
- Geetha, S. Vanathi, P.T. and Poonthalir, G. “Metaheuristic approach for the multi-depot vehicle routing problem”, **Applied Artificial Intelligence Conference**. 26(9): 878-901; October, 2012.
- Gu, W. and et al. “Adaptive large neighborhood search for the commodity constrained split delivery VRP”, **Computers and Operations Research**. 112(1): 104761; December, 2019.
- Hakimi, S. L. “Optimum location of switching centers and absolute centers and medians of a graph”, **Operations Research**. 12(3): 450-459; June, 1964.
- Jairo, R. M. and et al. “A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots”, **Computers & Industrial Engineering**. 79(1): 115-120; June, 2015.
- Koç, C. “A unified-adaptive large neighborhood search metaheuristic for periodic location-routing problems”, **Transportation Research Part C**. 68(C): 265–284; July, 2016.
- Liu, R., Tao, Y. and Xie, X. “An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and synchronized visits”, **Computers and Operations Research**. 101(1): 250–262; January, 2019.
- Lui, M., Ramli, M and Lin, A. “A Greedy Heuristic Algorithm for solving the Capacitated Planar Multi-facility Location-Allocation Problem”, **The 4th International Conference on Quantitative Sciences and Its Applications (ICOQSIA 2016)**. p.16–18. Bangi, Selangor: Universiti Kebangsaan Malaysia, 2016.
- Lui, M., Salhi, S. and Nagy, G. “Region-rejection based heuristics for the capacitated multi-source Weber problem”, **Computers and Operations Research**. 36(6): 2007-2017; June, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Luis, M., Ramli, F. M. and Saputra, S. R. “Efficient GRASP Based Heuristics for the Capacitated Continuous Location-Allocation Problem”, **International Conference on Mathematics, Engineering and Industrial Applications 2014 (ICoMEIA 2014)**. p.1-9. Penang, Malaysia: CoMEIA, 2014.
- Mantzaras, G. and Voudrias, E. A. “An optimization model for collection, haul, transfer, treatment and disposal of infectious medical waste: Application to a Greek region”, **Waste management**. 69(6): 518-534; November, 2017.
- Mirabi, M., Shokri, N. and Sadeghieh, A. “Modeling and Solving the Multi-depot Vehicle Routing Problem with Time Window by Considering the Flexible End Depot in Each Route”, **International Journal of Supply and Operations Management**. 3(3): 1373-1390; November, 2016.
- Nagy, G. and Salhi, S. “Location-routing: Issues, models and methods”, **European Journal of Operational Research**. 177(2): 649–672; March, 2007.
- Owen, S. H. and Daskin, M. S. “Strategic Facility Location: A Review”, **European Journal of operational Research**. 111(2): 423-447; February, 1998.
- Peiro, J., Corberan, A. and Marti, R. “GRASP for the uncapacitated r-allocation p-hub median peoblem”, **Computers & Operation Research**. 43(1): 50-60; March, 2014.
- Perl, J. and Daskin, M. S. “A warehouse location-routing problem”, **Transportation Research**. 19(5): 381-396; October, 1985.
- Pisinger, D. and Ropke, S. “Large Neighborhood Search”, Cited Gendreau, M. and Potvin, J. Y. (eds). “Handbook of Metaheuristics”, **International Series in Operations Research & Management Science**. 146(1): 399-419; Springer, 2010.
- Praseeratasang, N. and et al. “Adaptive Large Neighborhood Search to Solve Multi-Level Scheduling and Assignment Problems in Broiler Farms”, **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**. 5(1): 37-44; June, 2019.
- Prins, C., Prodhon, C. and Wolfler, C. R. “Solving the capacitated location-routing problem by a GRASP complemented by a learning process and a path relinking”, **4OR - A Quarterly Journal of Operations Research**. 4(3): 221–238; July, 2006.
- Qu, Y. and Bard, J. F. “A GRASP with adaptive large neighborhood search for pickup and delivery problems with transshipment”, **Computers & Operations Research**. 39(10): 2439-2456; October, 2012.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Ropke, S. and Pisinger, D. “An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows”, **Transportation Science**. 40(4): 455–72; November, 2006.
- Sharif, M. and Salari, M. “A GRASP algorithm for a humanitarian relief transportation problem”, **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 39(10): 259-269; October, 2015.
- Schneider, M. and Drexel, M. “A survey of the standard location-routing problem”, **Annals of Operations Research**. 259(1): 389-414; December, 2017.
- Schrimpf, J, and et al. “Record Breaking Optimization Results Using the Ruin and Recreate Principle”, **Journal of Computational Physics**. 159(2): 139-171; April, 2000.
- Surekha, P. and Sumathi, A. “Solution To Multi-Depot Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithms”, **World Applied Programming Journal**. 1(3): 118-131; August, 2011.
- Windfeld, E. S. and Brooks, M. S. L. “Medical waste management–A review”, **Journal of environmental management**. 163(1): 98-108; August, 2015.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
1	H01	โรงพยาบาลชุมพลบุรี	สุรินทร์	750	4
2	H02	โรงพยาบาลท่าตูม	สุรินทร์	900	4
3	H03	โรงพยาบาลจอมพระ	สุรินทร์	600	4
4	H04	โรงพยาบาลปราสาท	สุรินทร์	1,260	4
5	H05	โรงพยาบาลกาบเชิง	สุรินทร์	960	4
6	H06	โรงพยาบาลรัตนบุรี	สุรินทร์	17,070	8
7	H07	โรงพยาบาลสนม	สุรินทร์	1,110	4
8	H08	โรงพยาบาลศีขรภูมิ	สุรินทร์	1,500	4
9	H09	โรงพยาบาลสังขะ	สุรินทร์	900	4
10	H10	โรงพยาบาลลำดวน	สุรินทร์	1,350	4
11	H11	โรงพยาบาลสำโรงทาบ	สุรินทร์	900	4
12	H12	โรงพยาบาลบัวเชด	สุรินทร์	750	4
13	H13	โรงพยาบาลพนมดงรัก	สุรินทร์	900	4
14	H14	โรงพยาบาลศรีณรงค์	สุรินทร์	286	4
15	H15	โรงพยาบาลเขวาสินรินทร์	สุรินทร์	300	4
16	H16	โรงพยาบาลโนนนารายณ์	สุรินทร์	750	4
17	H17	โรงพยาบาลนิคมคำสร้อย	มุกดาหาร	465	4
18	H18	โรงพยาบาลดอนตาล	มุกดาหาร	606	4
19	H19	โรงพยาบาลดงหลวง	มุกดาหาร	2,100	4
20	H20	โรงพยาบาลคำชะอี	มุกดาหาร	603	4
21	H21	โรงพยาบาลห้วยใหญ่	มุกดาหาร	354	4
22	H22	โรงพยาบาลหนองสูง	มุกดาหาร	440	4
23	H23	โรงพยาบาลขามเฒ่า	อำนาจเจริญ	555	4
24	H24	โรงพยาบาลปทุมราชวงศา	อำนาจเจริญ	643	4
25	H25	โรงพยาบาลพนา	อำนาจเจริญ	535	4
26	H26	โรงพยาบาลเสนางคนิคม	อำนาจเจริญ	520	4
27	H27	โรงพยาบาลหัวตะพาน	อำนาจเจริญ	1,500	4
28	H28	โรงพยาบาลลืออำนาจ	อำนาจเจริญ	494	4
29	H29	โรงพยาบาลยางชุมน้อย	ศรีสะเกษ	1,200	4
30	H30	โรงพยาบาลกันทรารมย์	ศรีสะเกษ	3,628	8
31	H31	โรงพยาบาลกันทรลักษณ์	ศรีสะเกษ	2,754	8
32	H32	โรงพยาบาลขุนันท์	ศรีสะเกษ	755	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
33	H33	โรงพยาบาลไพรบึง	ศรีสะเกษ	1,268	4
34	H34	โรงพยาบาลปรางค์กู่	ศรีสะเกษ	1,435	4
35	H35	โรงพยาบาลขุนหาญ	ศรีสะเกษ	1,963	4
36	H36	โรงพยาบาลราศรีไศล	ศรีสะเกษ	2,493	8
37	H37	โรงพยาบาลอุทุมพรพิสัย	ศรีสะเกษ	352	4
38	H38	โรงพยาบาลบึงบูรพ์	ศรีสะเกษ	830	4
39	H39	โรงพยาบาลห้วยทับทัน	ศรีสะเกษ	900	4
40	H40	โรงพยาบาลโนนคูณ	ศรีสะเกษ	1,386	4
41	H41	โรงพยาบาลศรีรัตนะ	ศรีสะเกษ	804	4
42	H42	โรงพยาบาลน้ำเกลี้ยง	ศรีสะเกษ	831	4
43	H43	โรงพยาบาลวังหิน	ศรีสะเกษ	839	4
44	H44	โรงพยาบาลภูสิงห์	ศรีสะเกษ	474	4
45	H45	โรงพยาบาลเมืองจันทร์	ศรีสะเกษ	687	4
46	H46	โรงพยาบาลเบญจลักษณ์ เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	ศรีสะเกษ	449	4
47	H47	โรงพยาบาลพยุห์	ศรีสะเกษ	170	4
48	H48	โรงพยาบาลโพธิ์ศรีสุวรรณ	ศรีสะเกษ	319	4
49	H49	โรงพยาบาลศีลาลาด	ศรีสะเกษ	1,800	4
50	H50	โรงพยาบาลด่านขุนทด	นครราชสีมา	3,000	4
51	H51	โรงพยาบาลบัวใหญ่	นครราชสีมา	6,828	8
52	H52	โรงพยาบาลปักธงชัย	นครราชสีมา	2,100	4
53	H53	โรงพยาบาลพิมาย	นครราชสีมา	2,700	4
54	H54	โรงพยาบาลสีคิ้ว	นครราชสีมา	3,150	4
55	H55	โรงพยาบาลปากช่องนานา	นครราชสีมา	6,000	8
56	H56	โรงพยาบาลครบุรี	นครราชสีมา	2,400	4
57	H57	โรงพยาบาลจักราช	นครราชสีมา	1,444	4
58	H58	โรงพยาบาลโชคชัย	นครราชสีมา	2,100	4
59	H59	โรงพยาบาลโนนสูง	นครราชสีมา	2,400	4
60	H60	โรงพยาบาลประทาย	นครราชสีมา	6,000	4
61	H61	โรงพยาบาลสูงเนิน	นครราชสีมา	138	4
62	H62	โรงพยาบาลห้วยแถลง	นครราชสีมา	3,000	4
63	H63	โรงพยาบาลชุมพวง	นครราชสีมา	2,100	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
64	H64	โรงพยาบาลเสิงสาง	นครราชสีมา	1,800	4
65	H65	โรงพยาบาลคง	นครราชสีมา	1,800	4
66	H66	โรงพยาบาลโนนไทย	นครราชสีมา	1,680	4
67	H67	โรงพยาบาลขามสะแกแสง	นครราชสีมา	3,000	4
68	H68	โรงพยาบาลแก้งสามนาง	นครราชสีมา	780	4
69	H69	โรงพยาบาลวังน้ำเขียว	นครราชสีมา	1,500	4
70	H70	โรงพยาบาลบ้านเหลื่อม	นครราชสีมา	1,500	4
71	H71	โรงพยาบาลหนองบุญมาก	นครราชสีมา	1,800	4
72	H72	โรงพยาบาลเทพารักษ์	นครราชสีมา	2,100	4
73	H73	โรงพยาบาลพระทองคำ	นครราชสีมา	1,800	4
74	H74	โรงพยาบาลสีดา	นครราชสีมา	270	4
75	H75	โรงพยาบาลบัวลาย	นครราชสีมา	1,200	4
76	H76	โรงพยาบาลโนนแดง	นครราชสีมา	1,065	4
77	H77	โรงพยาบาลขามทะเลสอ	นครราชสีมา	1,800	4
78	H78	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติท่าช้าง	นครราชสีมา	1,800	4
79	H79	โรงพยาบาลลำทะเมนชัย	นครราชสีมา	900	4
80	H80	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเจ้า 100 ปี	นครราชสีมา	1,500	4
81	H81	โรงพยาบาลพรเจริญ	บึงกาฬ	600	4
82	H82	โรงพยาบาลโซพิสัย	บึงกาฬ	1,140	8
83	H83	โรงพยาบาลเซกา	บึงกาฬ	2,280	4
84	H84	โรงพยาบาลปากคาด	บึงกาฬ	1,800	4
85	H85	โรงพยาบาลบึงโขงหลง	บึงกาฬ	660	4
86	H86	โรงพยาบาลศรีวิไล	บึงกาฬ	720	4
87	H87	โรงพยาบาลบุ่งคล้า	บึงกาฬ	300	4
88	H88	โรงพยาบาลทรายมูล	ยโสธร	559	4
89	H89	โรงพยาบาลกุดชุม	ยโสธร	808	4
90	H90	โรงพยาบาลเขื่อนแก้ว	ยโสธร	1,133	4
91	H91	โรงพยาบาลป่าติ้ว	ยโสธร	606	4
92	H92	โรงพยาบาลมหาชนะชัย	ยโสธร	530	4
93	H93	โรงพยาบาลค้อวัง	ยโสธร	542	4
94	H94	รพร.เลิงนกทา	ยโสธร	2,105	8

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
95	H95	โรงพยาบาลไทยเจริญ	ยโสธร	423	4
96	H96	โรงพยาบาลกุดจับ	อุดรธานี	1,500	4
97	H97	โรงพยาบาลหนองวัวซอ	อุดรธานี	1,500	4
98	H98	โรงพยาบาลกุมภวาปี	อุดรธานี	1,200	4
99	H99	โรงพยาบาลโนนสะอาด	อุดรธานี	750	4
100	H100	โรงพยาบาลหนองหาน	อุดรธานี	1,890	8
101	H101	โรงพยาบาลทุ่งฝน	อุดรธานี	495	4
102	H102	โรงพยาบาลไชยวาน	อุดรธานี	480	4
103	H103	โรงพยาบาลศรีธาตุ	อุดรธานี	1,200	8
104	H104	โรงพยาบาลวังสามหมอ	อุดรธานี	600	4
105	H105	รพร.บ้านดุง	อุดรธานี	600	4
106	H106	โรงพยาบาลบ้านผือ	อุดรธานี	1,950	4
107	H107	โรงพยาบาลน้ำโสม	อุดรธานี	1,200	4
108	H108	โรงพยาบาลเพ็ญ	อุดรธานี	1,560	8
109	H109	โรงพยาบาลสร้างคอม	อุดรธานี	1,500	4
110	H110	โรงพยาบาลหนองแสง	อุดรธานี	1,500	4
111	H111	โรงพยาบาลนาูง	อุดรธานี	450	4
112	H112	โรงพยาบาลพิบูลย์รักษ์	อุดรธานี	480	4
113	H113	โรงพยาบาลกุมแก้ว	อุดรธานี	1,800	4
114	H114	โรงพยาบาลประจักษ์ศิลปาคม	อุดรธานี	1,350	4
115	H115	โรงพยาบาลโพนพิสัย	หนองคาย	1,800	4
116	H116	โรงพยาบาลศรีเชียงใหม่	หนองคาย	600	4
117	H117	โรงพยาบาลสังคม	หนองคาย	450	4
118	H118	โรงพยาบาลสระใคร	หนองคาย	1,500	4
119	H119	โรงพยาบาลเฝ้าไร่	หนองคาย	600	4
120	H120	โรงพยาบาลรัตนวาปี	หนองคาย	201	4
121	H121	โรงพยาบาลโพธิ์ตาก	หนองคาย	900	4
122	H122	รพร.ท่าบ่อ	หนองคาย	9,000	8
123	H123	โรงพยาบาลนากลาง	หนองบัวลำภู	1,500	4
124	H124	โรงพยาบาลโนนสัง	หนองบัวลำภู	960	4
125	H125	โรงพยาบาลศรีบุญเรือง	หนองบัวลำภู	1,800	4
126	H126	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	หนองบัวลำภู	750	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
127	H127	โรงพยาบาลนาหวัง เฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา	หนองบัวลำภู	1,200	4
128	H128	โรงพยาบาลกุสุมาลย์	สกลนคร	2,100	4
129	H129	โรงพยาบาลกุดบาก	สกลนคร	600	4
130	H130	โรงพยาบาลพระอาจารย์ฝั้นฯ	สกลนคร	2,100	4
131	H131	โรงพยาบาลพังโคน	สกลนคร	4,050	4
132	H132	โรงพยาบาลวาริชภูมิ	สกลนคร	1,086	4
133	H133	โรงพยาบาลนิคมน้ำอูน	สกลนคร	1,800	4
134	H134	โรงพยาบาลวานรนิวาส	สกลนคร	900	4
135	H135	โรงพยาบาลคำตากล้า	สกลนคร	900	4
136	H136	โรงพยาบาลบ้านม่วง	สกลนคร	1,200	4
137	H137	โรงพยาบาลอากาศอำนวย	สกลนคร	907	4
138	H138	รพร.สว่างแดนดิน	สกลนคร	2,100	8
139	H139	โรงพยาบาลส่องดาว	สกลนคร	615	4
140	H140	โรงพยาบาลเต่างอย	สกลนคร	1,500	4
141	H141	โรงพยาบาลโคกศรีสุพรรณ	สกลนคร	1,800	4
142	H142	โรงพยาบาลเจริญศิลป์	สกลนคร	1,800	4
143	H143	โรงพยาบาลโพนนาแก้ว	สกลนคร	2,100	4
144	H144	โรงพยาบาลพระอาจารย์แบนฯ	สกลนคร	588	4
145	H145	โรงพยาบาลเกษตรวิสัย	ร้อยเอ็ด	1,200	4
146	H146	โรงพยาบาลปทุมรัตน์	ร้อยเอ็ด	600	4
147	H147	โรงพยาบาลจตุรพักตรพิมาน	ร้อยเอ็ด	900	4
148	H148	โรงพยาบาลธวัชบุรี	ร้อยเอ็ด	1,200	4
149	H149	โรงพยาบาลพนมไพร	ร้อยเอ็ด	600	4
150	H150	โรงพยาบาลโพนทอง	ร้อยเอ็ด	2,400	4
151	H151	โรงพยาบาลโพธิ์ชัย	ร้อยเอ็ด	2,100	4
152	H152	โรงพยาบาลหนองพอก	ร้อยเอ็ด	750	4
153	H153	โรงพยาบาลเสลภูมิ	ร้อยเอ็ด	2,400	4
154	H154	โรงพยาบาลสุวรรณภูมิ	ร้อยเอ็ด	2,400	4
155	H155	โรงพยาบาลเมืองสรวง	ร้อยเอ็ด	464	4
156	H156	โรงพยาบาลโพนทราย	ร้อยเอ็ด	600	4
157	H157	โรงพยาบาลอาจสามารถ	ร้อยเอ็ด	1,500	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
158	H158	โรงพยาบาลเมยวดี	ร้อยเอ็ด	1,800	4
159	H159	โรงพยาบาลศรีสมเด็จ	ร้อยเอ็ด	390	4
160	H160	โรงพยาบาลจังหาร	ร้อยเอ็ด	480	4
161	H161	โรงพยาบาลเชียงขวัญ	ร้อยเอ็ด	600	4
162	H162	โรงพยาบาลหนองฮี	ร้อยเอ็ด	1,800	4
163	H163	โรงพยาบาลทุ่งเขาหลวง	ร้อยเอ็ด	600	4
164	H164	โรงพยาบาลศรีเมืองใหม่	อุบลราชธานี	600	4
165	H165	โรงพยาบาลโขงเจียม	อุบลราชธานี	352	4
166	H166	โรงพยาบาลเขื่องใน	อุบลราชธานี	1,785	4
167	H167	โรงพยาบาลเขมราฐ	อุบลราชธานี	1,272	4
168	H168	รพร.เดชอุดม	อุบลราชธานี	3,300	8
169	H169	โรงพยาบาลนาจะหลวย	อุบลราชธานี	900	4
170	H170	โรงพยาบาลน้ำยืน	อุบลราชธานี	780	4
171	H171	โรงพยาบาลบุณฑริก	อุบลราชธานี	1,500	4
172	H172	โรงพยาบาลตระการพืชผล	อุบลราชธานี	2,441	4
173	H173	โรงพยาบาลกุดข้าวปุ้น	อุบลราชธานี	425	4
174	H174	โรงพยาบาลม่วงสามสิบ	อุบลราชธานี	1,632	8
175	H175	โรงพยาบาลวารินชำราบ	อุบลราชธานี	3,600	4
176	H176	โรงพยาบาลพิบูลมังสาหาร	อุบลราชธานี	2,442	8
177	H177	โรงพยาบาลตาลสุม	อุบลราชธานี	452	4
178	H178	โรงพยาบาลโพธิ์ไทร	อุบลราชธานี	574	4
179	H179	โรงพยาบาลสำโรง	อุบลราชธานี	700	4
180	H180	โรงพยาบาลดอนมดแดง	อุบลราชธานี	349	4
181	H181	โรงพยาบาลสิรินธร	อุบลราชธานี	365	4
182	H182	โรงพยาบาลทุ่งศรีอุดม	อุบลราชธานี	900	4
183	H183	โรงพยาบาลนาเยีย	อุบลราชธานี	2,400	4
184	H184	โรงพยาบาลนาตาล	อุบลราชธานี	342	4
185	H185	โรงพยาบาลเหล่าเสือโก้ก	อุบลราชธานี	247	4
186	H186	โรงพยาบาลสว่างระวีวงศ์	อุบลราชธานี	468	4
187	H187	โรงพยาบาลน้ำขุ่น	อุบลราชธานี	1,500	4
188	H188	โรงพยาบาลแกดำ	มหาสารคาม	2,100	4
189	H189	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	มหาสารคาม	900	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
190	H190	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	มหาสารคาม	600	4
191	H191	โรงพยาบาลเชียงยืน	มหาสารคาม	1,110	4
192	H192	โรงพยาบาลบรบือ	มหาสารคาม	2,640	8
193	H193	โรงพยาบาลนาเชือก	มหาสารคาม	990	4
194	H194	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	มหาสารคาม	1,200	4
195	H195	โรงพยาบาลวาปีปทุม	มหาสารคาม	1,200	4
196	H196	โรงพยาบาลนาตูม	มหาสารคาม	1,800	4
197	H197	โรงพยาบาลยางสีสุราช	มหาสารคาม	1,500	4
198	H198	โรงพยาบาลกุตุรัง	มหาสารคาม	1,800	4
199	H199	โรงพยาบาลชื่นชม	มหาสารคาม	1,800	4
200	H200	โรงพยาบาลบ้านฝาง	ขอนแก่น	1,800	4
201	H201	โรงพยาบาลพระยืน	ขอนแก่น	1,500	4
202	H202	โรงพยาบาลหนองเรือ	ขอนแก่น	450	4
203	H203	โรงพยาบาลชุมแพ	ขอนแก่น	1,800	4
204	H204	โรงพยาบาลสีชมพู	ขอนแก่น	750	4
205	H205	โรงพยาบาลน้ำพอง	ขอนแก่น	1,500	4
206	H206	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	ขอนแก่น	1,500	4
207	H207	รพ.ภ.ระนวน	ขอนแก่น	1,500	4
208	H208	โรงพยาบาลบ้านไผ่	ขอนแก่น	2,100	8
209	H209	โรงพยาบาลเปือยน้อย	ขอนแก่น	600	4
210	H210	โรงพยาบาลพล	ขอนแก่น	1,800	8
211	H211	โรงพยาบาลแวงใหญ่	ขอนแก่น	900	4
212	H212	โรงพยาบาลแวงน้อย	ขอนแก่น	900	4
213	H213	โรงพยาบาลหนองสองห้อง	ขอนแก่น	900	4
214	H214	โรงพยาบาลภูเวียง	ขอนแก่น	2,100	8
215	H215	โรงพยาบาลมัญจาคีรี	ขอนแก่น	1,200	4
216	H216	โรงพยาบาลชนบท	ขอนแก่น	1,500	4
217	H217	โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	ขอนแก่น	1,500	4
218	H218	โรงพยาบาลภูผาม่าน	ขอนแก่น	1,800	4
219	H219	โรงพยาบาลซำสูง	ขอนแก่น	1,800	4
220	H220	โรงพยาบาลโคกโพธิ์ชัย	ขอนแก่น	45	4
221	H221	โรงพยาบาลหนองนาคำ	ขอนแก่น	900	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
222	H222	โรงพยาบาลสิรินธร	ขอนแก่น	1,800	4
223	H223	โรงพยาบาลโนนศิลา	ขอนแก่น	1,800	4
224	H224	โรงพยาบาลเวียงเก่า	ขอนแก่น	1,500	4
225	H225	โรงพยาบาลนามน	กาฬสินธุ์	900	4
226	H226	โรงพยาบาลกมลาไสย	กาฬสินธุ์	1,500	4
227	H227	โรงพยาบาลร่องคำ	กาฬสินธุ์	900	4
228	H228	โรงพยาบาลกุฉินารายณ์	กาฬสินธุ์	3,500	8
229	H229	โรงพยาบาลเขาวง	กาฬสินธุ์	550	4
230	H230	โรงพยาบาลยางตลาด	กาฬสินธุ์	2,500	8
231	H231	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	กาฬสินธุ์	750	4
232	H232	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	กาฬสินธุ์	1,500	4
233	H233	โรงพยาบาลคำม่วง	กาฬสินธุ์	1,500	4
234	H234	โรงพยาบาลท่าคันโท	กาฬสินธุ์	1,800	4
235	H235	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	กาฬสินธุ์	1,500	4
236	H236	โรงพยาบาลสมเด็จ	กาฬสินธุ์	1,200	4
237	H237	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	กาฬสินธุ์	1,200	4
238	H238	โรงพยาบาลสามชัย	กาฬสินธุ์	45	4
239	H239	โรงพยาบาลนาคู	กาฬสินธุ์	600	4
240	H240	โรงพยาบาลดอนจาน	กาฬสินธุ์	900	4
241	H241	โรงพยาบาลฆ้องชัย	กาฬสินธุ์	1,800	4
242	H242	โรงพยาบาลนาด้วง	เลย	393	4
243	H243	โรงพยาบาลเชียงคาน	เลย	470	4
244	H244	โรงพยาบาลปากชม	เลย	620	4
245	H245	รพร.ด่านซ้าย	เลย	1,200	4
246	H246	โรงพยาบาลนาแห้ว	เลย	1,800	4
247	H247	โรงพยาบาลภูเรือ	เลย	259	4
248	H248	โรงพยาบาลท่าลี่	เลย	720	4
249	H249	โรงพยาบาลวังสะพุง	เลย	1,800	4
250	H250	โรงพยาบาลภูกระดึง	เลย	2,100	4
251	H251	โรงพยาบาลภูหลวง	เลย	2,700	4
252	H252	โรงพยาบาลผาขาว	เลย	1,500	4
253	H253	โรงพยาบาลเอราวัณ	เลย	2,100	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
254	H254	โรงพยาบาลหนองหิน	เลย	2,100	4
255	H255	โรงพยาบาลบ้านเขว้า	ชัยภูมิ	3,000	4
256	H256	โรงพยาบาลคอนสวรรค์	ชัยภูมิ	2,100	4
257	H257	โรงพยาบาลเกษตรสมบูรณ์	ชัยภูมิ	1,950	4
258	H258	โรงพยาบาลหนองบัวแดง	ชัยภูมิ	1,950	4
259	H259	โรงพยาบาลจัตุรัส	ชัยภูมิ	1,749	4
260	H260	โรงพยาบาลบำเหน็จณรงค์	ชัยภูมิ	1,800	4
261	H261	โรงพยาบาลหนองบัวระเหว	ชัยภูมิ	1,200	4
262	H262	โรงพยาบาลเทพสถิต	ชัยภูมิ	1,800	4
263	H263	โรงพยาบาลภูเขียว เฉลิมพระเกียรติ	ชัยภูมิ	4,500	4
264	H264	โรงพยาบาลบ้านแท่น	ชัยภูมิ	1,800	4
265	H265	โรงพยาบาลแก้งคร้อ	ชัยภูมิ	1,710	4
266	H266	โรงพยาบาลคอนสาร	ชัยภูมิ	900	4
267	H267	โรงพยาบาลภักดีชุมพล	ชัยภูมิ	2,100	4
268	H268	โรงพยาบาลเนินสง่า	ชัยภูมิ	900	4
269	H269	โรงพยาบาลซับใหญ่	ชัยภูมิ	3,000	4
270	H270	โรงพยาบาลปลาปาก	นครพนม	510	4
271	H271	โรงพยาบาลท่าอุเทน	นครพนม	1,500	4
272	H272	โรงพยาบาลบ้านแพง	นครพนม	1,500	4
273	H273	รพ.ธาตุพนม	นครพนม	1,800	4
274	H274	โรงพยาบาลเรณูนคร	นครพนม	900	4
275	H275	โรงพยาบาลนาแก	นครพนม	450	4
276	H276	โรงพยาบาลศรีสงคราม	นครพนม	1,350	4
277	H277	โรงพยาบาลนาหว้า	นครพนม	108	4
278	H278	โรงพยาบาลโพนสวรรค์	นครพนม	1,800	4
279	H279	โรงพยาบาลนาทม	นครพนม	240	4
280	H280	โรงพยาบาลวังยาง	นครพนม	90	4
281	H281	โรงพยาบาลคูเมือง	บุรีรัมย์	1,200	4
282	H282	โรงพยาบาลกระสัง	บุรีรัมย์	450	4
283	H283	โรงพยาบาลนางรอง	บุรีรัมย์	900	4
284	H284	โรงพยาบาลหนองกี่	บุรีรัมย์	900	4
285	H285	โรงพยาบาลประโคนชัย	บุรีรัมย์	1,860	4

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
286	H286	โรงพยาบาลสตึก	บุรีรัมย์	3,090	4
287	H287	โรงพยาบาลนาโพธิ์	บุรีรัมย์	1,200	4
288	H288	โรงพยาบาลหนองหงส์	บุรีรัมย์	1,440	4
289	H289	โรงพยาบาลพลับพลาชัย	บุรีรัมย์	1,650	4
290	H290	โรงพยาบาลห้วยราช	บุรีรัมย์	1,800	4
291	H291	โรงพยาบาลชำนิ	บุรีรัมย์	690	4
292	H292	โรงพยาบาลโนนดินแดง	บุรีรัมย์	600	4
293	H293	โรงพยาบาลแคนดง	บุรีรัมย์	900	4
294	H294	โรงพยาบาลบ้านด่าน	บุรีรัมย์	600	4
295	H295	โรงพยาบาลละหานทราย	บุรีรัมย์	930	4
296	H296	โรงพยาบาลบ้านกรวด	บุรีรัมย์	721	4
297	H297	โรงพยาบาลพุทไธสง	บุรีรัมย์	900	4
298	H298	โรงพยาบาลโนนสุวรรณ	บุรีรัมย์	1,050	4
299	H299	โรงพยาบาลเฉลิมพระเกียรติ	บุรีรัมย์	900	4
300	H300	โรงพยาบาลบ้านใหม่ไชยพจน์	บุรีรัมย์	816	4
301	H301	โรงพยาบาลลำปลายมาศ	บุรีรัมย์	930	4
302	H302	โรงพยาบาลปะคำ	บุรีรัมย์	630	4
303	H303	โรงพยาบาลเลย	เลย	3,000	8
304	H304	โรงพยาบาลบึงกาฬ	บึงกาฬ	3,000	4
305	H305	โรงพยาบาลนครพนม	นครพนม	3,468	8
306	H306	โรงพยาบาลร้อยเอ็ด	ร้อยเอ็ด	24,090	8
307	H307	โรงพยาบาลมหาสารคาม	มหาสารคาม	19,393	4
308	H308	โรงพยาบาลขอนแก่น	ขอนแก่น	21,021	8
309	H309	โรงพยาบาลกาฬสินธุ์	กาฬสินธุ์	8,576	8
310	H310	โรงพยาบาลสกลนคร	สกลนคร	18,902	8
311	H311	โรงพยาบาลหนองคาย	หนองคาย	3,000	8
312	H312	โรงพยาบาลหนองบัวลำภู	หนองบัวลำภู	3,000	8
313	H313	โรงพยาบาลอุดรธานี	อุดรธานี	18,000	8
314	H314	โรงพยาบาลชัยภูมิ	ชัยภูมิ	18,000	8
315	H315	โรงพยาบาลเทพรัตนนครราชสีมา	นครราชสีมา	3,000	8
316	H316	โรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา	นครราชสีมา	47,387	8
317	H317	โรงพยาบาลบุรีรัมย์	บุรีรัมย์	17,340	8

ตารางที่ ก.1 รหัส รายชื่อโรงพยาบาล ปริมาณขยะติดเชื้อและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

ที่	รหัส	ชื่อโรงพยาบาล	จังหวัด	ปริมาณ (กิโลกรัม/เดือน)	ความถี่ (ครั้ง/เดือน)
318	H318	โรงพยาบาลสุรินทร์	สุรินทร์	16,878	8
319	H319	โรงพยาบาลมุกดาหาร	มุกดาหาร	7,200	8
320	H320	โรงพยาบาลยโสธร	ยโสธร	8,093	8
321	H321	โรงพยาบาลศรีสะเกษ	ศรีสะเกษ	12,000	8
322	H322	โรงพยาบาลอำนาจเจริญ	อำนาจเจริญ	7,800	8
323	H323	โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์	อุบลราชธานี	34,620	8
324	H324	โรงพยาบาลพระศรีมหาโพธิ์	อุบลราชธานี	18,000	8
325	H325	โรงพยาบาล ๕๐ พรรษา มหาวชิราลงกรณ์	อุบลราชธานี	1,230	4

ภาคผนวก ข
ตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อและค่าโທးในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ของประเทศไทย

ตารางที่ ข.1 ตำแหน่งที่สามารถเปิดให้บริการเผาขยะติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

รหัส	อำเภอ	จังหวัด	พิกัด	ค่าโทษ(บาทต่อเดือน)
P01	สูงเนิน	ตำแหน่งนครราชสีมา1	14.8512340915632, 101.897627179463	1,827,770.03
P02	ปักธงชัย	ตำแหน่งนครราชสีมา2	14.7650993568318, 102.077813657065	1,382,002.36
P03	เมือง	ตำแหน่งนครราชสีมา3	14.9115588603195, 102.174795040697	5,684,458.40
P04	แก้งสามนาง	ตำแหน่งนครราชสีมา4	15.7433586058562, 102.312164574113	7,074,203.01
P05	เมือง	ตำแหน่งบึงกาฬ1	18.4067937090046, 103.502252703989	1,694,409.94
P06	เซกา	ตำแหน่งบึงกาฬ2	17.9446265911282, 103.872304531741	1,504,598.82
P07	กุฉินารายณ์	ตำแหน่งกาฬสินธุ์	16.4584256816259, 104.054722805284	1,710,101.36
P08	เบญจลักษณ์	ตำแหน่งศรีสะเกษ	14.7721242820836, 104.715207301957	2,275,055.97
P09	จังหาร	ตำแหน่งร้อยเอ็ด1	16.1144485791138, 103.638984398722	4,842,080.73
P10	โพนทอง	ตำแหน่งร้อยเอ็ด2	16.3812959365464, 104.009559497097	2,734,802.24
P11	สระใคร	ตำแหน่งหนองคาย	17.7325771455568, 102.75158159708	2,561,574.74
P12	ศรีบุญเรือง	ตำแหน่งหนองบัวลำภู1	16.9733934087304, 102.312913139187	2,245,426.31
P13	ศรีบุญเรือง	ตำแหน่งหนองบัวลำภู2	16.8989152661296, 102.244530847352	2,245,426.31
P14	นากลาง	ตำแหน่งหนองบัวลำภู3	17.2872602920648, 102.249381475629	2,360,349.68
P15	เมือง	ตำแหน่งอุดรธานี	17.2853934294424, 102.898530359307	3,347,007.52
P16	เมือง	ตำแหน่งอำนาจเจริญ1	15.968649427471, 104.643355335075	3,256,504.14
P17	ปทุมราชวงศา	ตำแหน่งอำนาจเจริญ2	15.8504689492322, 104.816537153004	1,749,724.53
P18	เมือง	ตำแหน่งสุรินทร์	14.8368201024758, 103.613293165624	4,920,568.30
P19	ท่าลี่	ตำแหน่งเลย	17.699057, 101.414337	786,212.79
P20	น้ำพอง	ตำแหน่งขอนแก่น	16.671478, 102.73723	2,060,350.78
P21	ลำปลายมาศ	ตำแหน่งบุรีรัมย์	14.985093, 102.795346	2,920,601.99

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ระยะทางโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ของประเทศไทย

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างตารางเมตริกเมตริกซ์ระยะทางโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ที่	โรงพยาบาล	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	325
		ชุมพลบุรี	ลำดวน	ลำโรงทาน	ท่าตูม	จอมพระ	ปราสาท	กาบเชิง	รัตนบุรี	สนม	ศีขรภูมิ	สังขะ	บัวเชด	พนมดงรัก	ศรีณรงค์	เขวาสินรินทร์	โนนนาายณ์	นิคมคำสร้อย	...	๐ พรรษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ
1	ชุมพลบุรี	0	112.938	98.928	39.269	61.787	104.686	131.022	55.407	57.229	98.3	138.409	155.617	157.736	123.28	80.814	66.11	193.579	...	204.869
2	ลำดวน	113.685	0	53.438	74.532	53.353	45.049	41.086	77.156	70.461	35.291	25.489	42.697	73.065	38.216	41.052	82.892	246.295	...	191.317
3	ลำโรงทาน	98.916	53.453	0	67.099	41.72	84.491	89.967	44.992	38.297	18.44	59.515	75.817	123.102	46.233	42.61	30.41	202.527	...	128.747
4	ท่าตูม	39.219	73.755	67.132	0	22.605	86.114	112.45	23.611	20.989	59.118	99.226	116.434	124.725	84.098	41.631	34.314	171.829	...	157.657
5	จอมพระ	62.621	52.558	41.78	23.469	0	64.917	91.253	47.014	26.792	35.189	78.029	95.237	103.528	60.169	20.434	49.362	195.231	...	181.312
6	ปราสาท	104.638	44.533	85.249	82.192	61.013	0	27.468	108.967	85.516	67.102	49.654	64.298	39.783	67.324	53.177	114.703	253.955	...	212.979
7	กาบเชิง	136.361	40.489	89.355	107.316	86.137	32.985	0	113.073	106.378	71.208	40.417	42.314	46.084	58.087	73.836	118.809	279.079	...	205.235
8	รัตนบุรี	55.393	77.154	42.604	23.577	46.095	108.192	113.668	0	19.167	44.954	83.216	99.518	146.803	69.934	65.122	13.107	188.003	...	136.726
9	สนม	57.215	77.047	35.766	24.025	25.896	89.406	115.742	23.81	0	38.116	76.378	92.68	128.017	63.096	44.923	24.903	189.825	...	152.995
10	ศีขรภูมิ	98.322	35.289	18.262	59.169	35.207	66.327	71.803	44.974	38.279	0	41.351	57.653	104.938	28.069	24.445	47.716	218.311	...	144.676
11	สังขะ	139.156	25.489	59.399	100.003	78.824	50.171	43.398	83.117	76.422	41.253	0	17.787	75.378	17.77	68.003	88.853	259.449	...	166.407
12	บัวเชด	157.629	43.962	77.073	118.476	91.024	66.061	46.1	100.791	94.096	58.927	19.051	0	83.203	35.444	85.677	106.527	277.123	...	169.836
13	พนมดงรัก	142.486	73.066	123.097	120.039	98.86	39.151	40.029	146.815	123.363	104.95	75.377	82.343	0	93.047	91.024	152.551	291.802	...	240.195
14	ศรีณรงค์	123.29	38.216	46.224	84.137	60.175	67.885	61.112	69.942	63.247	28.078	17.877	34.179	93.092	0	54.828	75.678	246.274	...	155.494
15	เขวาสินรินทร์	81.714	44.922	42.573	42.561	21.382	57.281	83.617	66.107	45.885	24.427	70.393	87.601	95.892	49.407	0	64.577	214.324	...	169.463
16	โนนนาายณ์	66.096	82.907	30.41	34.28	48.466	113.945	119.421	13.107	25.046	47.894	88.969	105.271	152.556	75.687	64.575	0	169.319	...	135.772
17	นิคมคำสร้อย	194.614	246.514	203.565	172.845	195.363	258.873	285.209	188.983	190.805	219.455	260.53	276.832	297.484	247.248	214.39	170.388	0	...	144.535
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
325	๕๐ พรรษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ	207.936	193.864	132.768	160.523	183.041	215.96	209.181	139.635	155.861	148.659	168.952	165.611	241.161	158.382	173.449	138.638	148.374	...	0

ภาคผนวก ง

แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ของประเทศไทย และแบบสอบถามบริษัทเอกชนกำจัดขยะติดเชื้อ



แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจาก โรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล เพื่อการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยข้อมูลแบบสอบถามจะนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น

ทั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

คำชี้แจง

1. โปรดกรอกข้อมูลและทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้ครบถ้วน
2. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 ส่วน
 - ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
 - ส่วนที่ 2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่ตั้งโรงพยาบาล
 - ส่วนที่ 3 การกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อ
3. ข้อมูลที่ได้รับจากท่านจะถูกเก็บเป็นความลับ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อโรงพยาบาล
.....
2. ที่ตั้งโรงพยาบาล
.....
3. ชื่อผู้ตอบแบบสอบถาม.....ตำแหน่ง.....
เบอร์โทรศัพท์.....E-Mail.....

ส่วนที่ 2 ลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่ตั้งโรงพยาบาล

- 2.1 โรงพยาบาลของท่านตั้งอยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำหรือไม่
☐ ตั้งอยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำ..... ☐ มิได้ตั้งอยู่ในบริเวณลุ่มแม่น้ำใด ๆ
- 2.2 โรงพยาบาลของท่านตั้งอยู่ใกล้กับโบราณสถานหรือไม่
☐ ตั้งอยู่ใกล้กับโบราณสถานไม่ถึง 1 กิโลเมตร
☐ ตั้งอยู่ใกล้กับโบราณสถานมากกว่า 1 กิโลเมตรแต่ไม่เกิน 2 กิโลเมตร
☐ ตั้งอยู่ใกล้กับโบราณสถานมากกว่า 2 กิโลเมตร
☐ มิได้ตั้งอยู่ใกล้กับโบราณสถานใด ๆ
- 2.3 โรงพยาบาลของท่านตั้งอยู่ใกล้กับชุมชนหรือไม่
☐ ตั้งอยู่บริเวณชุมชน
☐ ตั้งอยู่ห่างจากชุมชน น้อยกว่า 1 กิโลเมตร
☐ ตั้งอยู่ห่างจากชุมชน มากกว่า 1 กิโลเมตร แต่ไม่เกิน 2 กิโลเมตร
☐ ตั้งอยู่ห่างจากชุมชน มากกว่า 2 กิโลเมตร
- 2.4 โรงพยาบาลของท่านตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์หรือโรงไหมหินหรือไม่
☐ ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอุตสาหกรรม.....
ระยะห่างจากโรงพยาบาลประมาณ..... กิโลเมตร
☐ มิได้ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์หรือโรงไหมหิน

ส่วนที่ 3 การจัดการและการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อ

- 3.1 ในแต่ละวัน โรงพยาบาลของท่านมีปริมาณขยะมูลฝอยติดเชื้อประมาณ..... กิโลกรัม/วัน
- 3.2 โรงพยาบาลของท่านมีพื้นที่สำหรับรวบรวมขยะติดเชื้อรอกำจัด..... ตารางเมตร
พื้นที่ของโรงพยาบาลที่ใช้เก็บรวบรวมขยะติดเชื้อ สามารถเก็บรวบรวมขยะติดเชื้อได้สูงสุด
.....กิโลกรัม
- 3.3 โรงพยาบาลของท่านมีเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อหรือไม่และสภาพการใช้งานเป็นอย่างไร
☐ มีเตาเผาขยะ ขนาดบรรจุ.....กิโลกรัม
อายุการใช้งาน.....ปี สภาพดีใช้งานได้
☐ มีเตาเผาขยะ ขนาดบรรจุ.....กิโลกรัม
อายุการใช้งาน.....ปี สภาพชำรุดเล็กน้อย ใช้งานได้
☐ มีเตาเผาขยะ ขนาดบรรจุ.....กิโลกรัม
อายุการใช้งาน.....ปี สภาพชำรุด ใช้งานไม่ได้
☐ ไม่มีเตาเผาขยะ (ไม่ต้องตอบคำถามข้อ 3.4-3.9)
- 3.4 ในการเผาขยะติดเชื้อ 1 ครั้ง ใช้เวลาในการดำเนินการก่อนเริ่มเผา.....ชั่วโมง และ
ใช้เวลาในการเผารวมทั้งสิ้น.....ชั่วโมง/ครั้ง
- 3.5 โรงพยาบาลของท่านมีความถี่ในการเผาขยะติดเชื้อ.....ครั้ง/สัปดาห์

- 3.6 เตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลของท่านมีระบบบำบัดอากาศหรือไม่
☐ มีระบบบำบัดอากาศ คือ ระบบ.....
☐ ไม่มีระบบบำบัดอากาศ
- 3.7 ในการเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลของท่านมีเจ้าหน้าที่ในดำเนินการเผาขยะ จำนวน คน
- 3.8 ในการเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลของท่านมีเจ้าหน้าที่ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านสิ่งแวดล้อมในการควบคุมดูแลหรือไม่
☐ มี จำนวนคน
☐ ไม่มี
- 3.9 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเผาขยะติดเชื้อ..... บาท/ครั้ง
 สามารถจำแนกได้ดังนี้
 1. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงลิตร/ครั้ง
 2. ค่าจ้างพนักงาน.....บาท/ชั่วโมง จำนวน.....คน
 โดยทำงานชั่วโมง/วัน
 3. อื่น ๆ โปรดระบุ

- 3.10 ท่านคิดว่าโรงพยาบาลหรือพื้นที่ในตำบลที่โรงพยาบาลของท่านตั้งอยู่เหมาะสมที่จะเป็นศูนย์กลางการกำจัดขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลของท่านและจากโรงพยาบาลชุมชนใกล้เคียงหรือไม่ โดยมีการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลอื่น ๆ ที่มาให้บริการ
☐ เหมาะสม เนื่องจาก.....

☐ ไม่เหมาะสม เนื่องจาก.....

- 3.11 หากไม่มีเตาเผาขยะภายในโรงพยาบาล โรงพยาบาลของท่านมีวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้ออย่างไร
☐ กำจัดเอง ด้วยวิธีอื่น ๆ คือ.....
☐ ส่งไปกำจัดร่วมกับโรงพยาบาล.....
 ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง.....บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร
☐ จ้างบริษัทเอกชนในการกำจัด ชื่อบริษัท.....
 โดยมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดบาท/กิโลกรัม

**** กรุณาส่งแบบสอบถามกลับมาที่ Siwaporn.k29@gmail.com
 ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการให้ความอนุเคราะห์



แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

เรื่อง การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ จากโรงพยาบาลชุมชนใน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

วัตถุประสงค์ของแบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล เพื่อการศึกษาของนักศึกษาระดับปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยมีวัตถุประสงค์ในการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยข้อมูลแบบสอบถามจะนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น

ทั้งนี้ ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างยิ่งที่กรุณาสละเวลาให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามมา ณ โอกาสนี้

คำชี้แจง

1. โปรดกรอกข้อมูลและทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างให้ครบถ้วน
2. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 ส่วน
ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป
ส่วนที่ 2 ข้อมูลยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อ
ส่วนที่ 3 ปริมาณและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื้อ
3. ข้อมูลที่ได้รับจากท่านจะถูกเก็บเป็นความลับ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อหน่วยงาน/บริษัทเก็บขนขยะติดเชื้อ.....
2. ที่ตั้ง.....
3. ชื่อผู้ตอบแบบสอบถาม.....ตำแหน่ง.....
เบอร์โทรศัพท์.....E-Mail.....

ส่วนที่ 2 ข้อมูลยานพาหนะเก็บขนขยะติดเชื้อ

1. ประเภทยานพาหนะ

☐ รถบรรทุก.....ล้อ	ขนาดบรรทุก.....ตัน
☐ รถกึ่งพ่วง	ขนาดบรรทุก.....ตัน
☐ รถลากจูง	ขนาดบรรทุก.....ตัน

- ☐ อื่น ๆ โปรดระบุ.....ขนาดบรรจุ.....ตัน
2. ภาชนะที่ใช้บรรจุ.....ขนาดบรรจุ.....กิโลกรัม
3. ปริมาณขยะติดเชื่อที่สามารถบรรจุได้.....กิโลกรัมต่อคัน
4. ปริมาณการบรรจุทุกขยะติดเชื่อในแต่ละครั้ง
- ☐ เต็มขนาดบรรจุ
- ☐ ไม่เต็มขนาดบรรจุ ปริมาณ.....กิโลกรัม
5. จำนวนพนักงานขับรถ.....คน/คัน ค่าจ้าง/เงินเดือน.....บาท/เดือน
จำนวนพนักงานเก็บขน.....คน/คัน ค่าจ้าง/เงินเดือน.....บาท/เดือน
6. ค่าภาษี/ค่าประกันภัยยานพาหนะ.....บาท/คัน/ปี
7. ค่าบำรุงรักษายานพาหนะ.....บาท/คัน/ปี
8. ค่าเสื่อมราคายานพาหนะ.....บาท/คัน/ปี
9. ค่าเช่า/ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ GPS.....บาท/เครื่อง/เดือน
10. อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันยานพาหนะ.....บาท/กิโลเมตร/ลิตร
11. ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ สำหรับยานพาหนะในการเก็บขนขยะติดเชื่อ
-
-
-
-
-

ส่วนที่ 3 ปริมาณและความถี่ในการเก็บขนขยะติดเชื่อ

***สามารถตอบเฉพาะข้อมูลของโรงพยาบาลที่ทำสัญญากับบริษัท

3.1 โรงพยาบาลทั่วไป/โรงพยาบาลประจำจังหวัด

ที่	จังหวัด	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะที่เก็บขน (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการเก็บขน (ครั้งต่อเดือน)
1	เลย	โรงพยาบาลเลย		
2	บึงกาฬ	โรงพยาบาลบึงกาฬ		
3	นครพนม	โรงพยาบาลนครพนม		
4	ร้อยเอ็ด	โรงพยาบาลร้อยเอ็ด		
5	มหาสารคาม	โรงพยาบาลมหาสารคาม		
6	ขอนแก่น	โรงพยาบาลขอนแก่น		
7	กาฬสินธุ์	โรงพยาบาลกาฬสินธุ์		
8	สกลนคร	โรงพยาบาลสกลนคร		
9	หนองคาย	โรงพยาบาลหนองคาย		
10	หนองบัวลำภู	โรงพยาบาลหนองบัวลำภู		

ที่	จังหวัด	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะที่เก็บขน (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการเก็บขน (ครั้งต่อเดือน)
11	อุดรธานี	โรงพยาบาลอุดรธานี		
12	ชัยภูมิ	โรงพยาบาลชัยภูมิ		
13	นครราชสีมา	โรงพยาบาลเทพรัตน์ นครราชสีมา		
		โรงพยาบาลมหาราช นครราชสีมา		
14	บุรีรัมย์	โรงพยาบาลบุรีรัมย์		
15	สุรินทร์	โรงพยาบาลสุรินทร์		
16	มุกดาหาร	โรงพยาบาลมุกดาหาร		
17	ยโสธร	โรงพยาบาลยโสธร		
18	ศรีสะเกษ	โรงพยาบาลศรีสะเกษ		
19	อำนาจเจริญ	โรงพยาบาลอำนาจเจริญ		
20	อุบลราชธานี	โรงพยาบาลสรรพสิทธิ ประสงค์		
		โรงพยาบาลพระศรีมหา โพธิ์		
		โรงพยาบาล๕๐ พรรษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ		

3.2 โรงพยาบาลชุมชน

จังหวัด.....			
ที่	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะที่เก็บขน (กิโลกรัมต่อเดือน)	ความถี่ในการเก็บขน (ครั้งต่อเดือน)
1			
2			
3			
4			
5			

ภาคผนวก จ
รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาทั้ง 15 กรณีที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
ของวิธี GRALNSP

ตารางที่ จ.1 รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP

กรณีศึกษา	ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ		ประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายละเอียดของโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ	
	รหัส	จังหวัด		ความถี่ในการกำจัด (ครั้ง/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)
Case 1	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	300	H145(1), H146(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600),H162(1800), H163(1600),H306(1000)
Case 2	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	300	H145(1), H146(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600),H162(1800), H163(1600),H306(1000)
	P10	อ.พนทอง จ.ร้อยเอ็ด	300		
Case 3	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(2), H146(2), H162(2), H163(2), H306(4)	H145(1200), H146(600),H162(1800), H163(1600),H306(1000)
	P10	อ.พนทอง จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600		
Case 4	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(4), H146(4), H162(4), H163(4), H306(8)	H145(1200), H146(600),H162(1800), H163(1600),H306(1000)
	P10	อ.พนทอง จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600		
Case 5	P05	อ.เมือง จ.บึงกาฬ	100,300,600	H81(4), H82(8), H83(4), H84(4), H85(4), H86(4), H87(4), H304(8)	H81(600), H82(1140), H83(2280), H84(1800), H85(660), H86(720), H87(300), H304(3000)
	P06	อ.เซกา จ.บึงกาฬ	100,300,600		
Case 6	P12	อ.ศรีบุญเรือง จ.หนองบัวลำภู	100,300,600	H123(4), H124(8), H125(4), H126(4), H127(4), H312(8)	H123(1500), H124(960), H125(1800), H126(750), H127(1200), H312(3000)
	P13	อ.ศรีบุญเรือง จ.หนองบัวลำภู			
	P14	อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู			
Case 7	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	300	H145(1), H146(1), H147(1), H148(1), H149(1), H150(1), H151(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.พนทอง จ.ร้อยเอ็ด			

ตารางที่ จ.1 รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP (ต่อ)

กรณีศึกษา	ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ		ประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายละเอียดของโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ	
	รหัส	จังหวัด		ความถี่ในการกำจัด (ครั้ง/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)
Case 8	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300	H145(1), H146(1), H147(1), H148(1), H149(1), H150(1), H151(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			
Case 9	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(1), H146(1), H147(1), H148(1), H149(1), H150(1), H151(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			
Case 10	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(2), H146(2), H147(2), H148(2), H149(2), H150(2), H151(2), H162(2), H163(2), H306(4)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			
Case 11	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(4), H146(4), H147(4), H148(4), H149(4), H150(4), H151(4), H162(4), H163(4), H306(8)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			

ตารางที่ จ.1 รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP (ต่อ)

กรณีศึกษา	ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ		ประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายละเอียดของโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ	
	รหัส	จังหวัด		ความถี่ในการกำจัด (ครั้ง/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)
Case 12	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(2), H146(2), H147(2), H148(2), H149(2), H150(2), H151(2), H152(2), H153(2), H154(2), H155(2), H156(2), H157(2), H158(2), H159(2), H160(2), H161(2), H162(2), H163(2), H306(4)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H152(750), H153(2400), H154(2400), H155(464), H156(800), H157(1500), H158(18000), H159(390), H160(480), H161(600), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			
Case 13	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(1), H146(1), H147(1), H148(1), H149(1), H150(1), H151(1), H152(1), H153(1), H154(1), H155(1), H156(1), H157(1), H158(1), H159(1), H160(1), H161(1), H162(1), H163(1), H306(2)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H152(750), H153(2400), H154(2400), H155(464), H156(800), H157(1500), H158(18000), H159(390), H160(480), H161(600), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			
Case 14	P09	อ.จันทรา จ.ร้อยเอ็ด	100,300,600	H145(4), H146(4), H147(4), H148(4), H149(4), H150(4), H151(4), H152(4), H153(4), H154(4), H155(4), H156(4), H157(4), H158(4), H159(4), H160(4), H161(4), H162(4), H163(4), H306(8)	H145(1200), H146(600), H147(900), H148(1200), H149(600), H150(2400), H151(2100), H152(750), H153(2400), H154(2400), H155(464), H156(800), H157(1500), H158(18000), H159(390), H160(480), H161(600), H162(1800), H163(600), H306(1000)
	P10	อ.โพนทอง จ.ร้อยเอ็ด			

ตารางที่ จ.1 รายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี GRALNSP (ต่อ)

กรณีศึกษา	ตำแหน่งที่สามารถตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ		ประเภทเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณา (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	รายละเอียดของโรงพยาบาลที่รับบริการเผาขยะติดเชื้อ	
	รหัส	จังหวัด		ความถี่ในการกำจัด (ครั้ง/เดือน)	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/เดือน)
Case 15	P18	อ.เมือง จ.สุรินทร์	100,300,600	H01(2), H02(2), H03(2), H04(2), H05(2), H06(4), H07(2), H08(2), H09(2), H10(2), H294(2), H295(2), H296(2), H297(2), H298(2), H299(2), H300(2), H301(2), H302(2), H317(4)	H01(750), H02(900), H03(600), H04(1260), H05(960), H06(17070), H07(1110), H08(1500), H09(900), H10(1350), H294(600), H295(930), H296(720), H297(900), H298(1050), H299(900), H300(815), H301(930), H302(630), H317(17340)
	P21	อ.ลำปลายมาศ จ.บุรีรัมย์			

ภาคผนวก ฉ

ผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีอิวิรติกส์ในการทำลายคำตอบระหว่าง
กรณีที่มีการแบ่งกลุ่มวิธีอิวิรติกส์ในการทำลายคำตอบและกรณีที่ไม่มีการแบ่งกลุ่ม
วิธีอิวิรติกส์ในการทำลายคำตอบ

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบประสิทธิภาพฮิวริสติกส์ในการทำลายคำตอบทั้ง 2 กรณี

ลำดับที่	จำนวนโรงพยาบาล	ต้นทุนรวม(บาท/เดือน)		
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	ผลต่าง
Case 1	5	2,828,234.92	2,828,234.92	-
Case 2	5	2,828,234.92	2,828,234.92	-
Case 3	5	2,840,466.67	2,840,466.67	-
Case 4	5	2,876,718.00	2,876,718.00	-
Case 5	8	1,661,712.00	1,661,712.00	-
Case 6	6	2,239,838.00	2,239,838.00	-
Case 7	10	2,841,654.00	2,841,654.00	-
Case 8	10	2,876,717.00	2,876,717.00	-
Case 9	10	2,841,654.00	2,841,654.00	-
Case 10	10	2,859,890.00	2,859,890.00	-
Case 11	10	2,896,360.00	2,896,360.00	-
Case 12	20	2,885,064.00	2,885,064.00	-
Case 13	20	2,874,408.00	2,874,408.00	-
Case 14	20	2,874,408.00	2,874,408.00	-
Case 15	20	3,134,984.73	3,134,984.73	-
Case 16	100	6,352,580.44	6,371,103.84	(18,523.40)
Case 17	120	6,352,580.44	6,393,384.49	(40,804.05)
Case 18	140	6,352,580.44	6,393,810.63	(41,230.19)
Case 19	160	6,352,580.44	6,393,384.49	(40,804.05)
Case 20	180	6,352,580.44	6,393,384.49	(40,804.05)
Case 21	200	6,352,580.44	6,371,103.84	(18,523.40)

ตารางที่ ฌ.1 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีสถิติสัในการทำลายค่าตอบทั้ง 2 กรณี (ต่อ)

ลำดับที่	จำนวนโรงพยาบาล	ต้นทุนรวม(บาท/เดือน)		
		กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	ผลต่าง
Case 22	220	6,352,580.44	6,393,384.49	(40,804.05)
Case 23	260	6,352,580.44	6,393,384.49	(40,804.05)
Case 24	280	6,347,288.83	6,371,103.84	(23,815.01)
Case 25	300	6,352,338.76	6,371,103.84	(18,765.08)

หมายเหตุ: ** กรณีที่ 1 หมายถึงกรณีที่มีการแบ่งกลุ่มวิธีวิธีสถิติสัในการทำลายค่าตอบ
 กรณีที่ 2 หมายถึงกรณีที่ไม่มีกรแบ่งกลุ่มวิธีวิธีสถิติสัในการทำลายค่าตอบ
 ผลต่างของต้นทุนรวม มีค่าเท่ากับ ต้นทุนรวมกรณีที่ 1 - ต้นทุนรวมกรณีที่ 2

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวศิวพร สุกสี
วัน/เดือน/ปี เกิด	29 พฤษภาคม พ.ศ. 2529
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2555 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2556 - ปัจจุบัน สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
ตำแหน่ง	อาจารย์