

การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

อนุชา ศรีบุญรัมย์

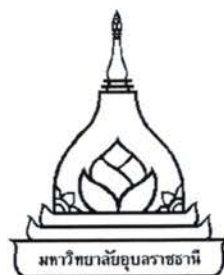
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ.2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**LOCATION SELECTION AND VEHICLE ROUTING FOR
INFECTIOUS WASTE COLLECTION OF COMMUNITY HOSPITALS
IN THE UPPER PART OF NORTHEAST THAILAND**

ANUCHA SRIBURUM

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2013**

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย

ผู้วิจัย ว่าที่ร้อยตรีอนุชา ศรีบุญรัมย์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สิ้นธุเขาวน)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส)

..... กรรมการ

(ดร.ธารชดา พันธุ์นิกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร ภูนิคม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สดสนธิ์)

..... คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้ในด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัย และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ สนับสนุน ให้โอกาส และเป็นแบบอย่างที่ดี แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมถึงการตรวจสอบ และตรวจทานการดำเนินงานการทำวิทยานิพนธ์อย่างสม่ำเสมอ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์กษิ์เดช สิบศิริ หัวหน้างานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และเจ้าหน้าที่ของศูนย์วิศวกรรม การแพทย์ที่ 2 ขอนแก่น ซึ่งเป็นผู้สนับสนุนข้อมูลเป็นอย่างมาก และมีพี่ๆอีกกลุ่มหนึ่งที่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ ไว้ ณ ที่นี้ คือนุศลากรในสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมคณะเทคโนโลยี อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นผู้ที่คอยให้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความรู้ในด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณมารดาและพี่สาว ที่เป็นกำลังใจอันสำคัญยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการสนับสนุนในทุกๆ ด้านเพื่อให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จด้วยดี และนอกจากนี้ยังมีบุคคลที่ เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย



(ว่าที่ร้อยตรีอนุชา ศรีบุญมย์)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย
โดย : อนุชา ศรีบุญมย์
ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ
ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

ศัพท์สำคัญ : ขยะติดเชื้อ เตาเผาขยะ โรงพยาบาลชุมชน การเลือกที่ตั้ง
จัดเส้นทางยานพาหนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และ เลย โดยพิจารณาเฉพาะโรงพยาบาลชุมชนขนาดเตียงไม่เกิน 120 เตียง จำนวนทั้งหมด 107 แห่งวิธีการแก้ปัญหาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อและตำแหน่งที่ตั้ง โดยให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนส่ง และค่าดำเนินการประมวลผลหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo ส่วนที่ 2 คือ จัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ กรณีที่มีตำแหน่งตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมากกว่าหนึ่งแห่งโดยประยุกต์ใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system: ACS)

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ กรณีที่มีตำแหน่งตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมากกว่าหนึ่งแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) รูปแบบปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-HARD) ผลคำตอบจากการประยุกต์ใช้วิธีระบบอาณานิคมมดพบว่า ตำแหน่งที่ตั้งเตา 3 แห่ง ระยะทางรวมเท่ากับ 3,804 กิโลเมตร ตำแหน่งเตาที่โรงพยาบาลเขียงยืน มีโรงพยาบาลที่ส่งขยะมากำจัด 44 แห่ง ใช้ยานพาหนะ 2 คัน ตำแหน่งเตาที่โรงพยาบาลพังโคนมีโรงพยาบาลที่ส่งขยะมากำจัด 40 แห่ง ใช้ยานพาหนะ 2 คัน และตำแหน่งเตาที่โรงพยาบาลเอราวัณมีโรงพยาบาลที่ส่งขยะมากำจัด 20 แห่ง ใช้ยานพาหนะ 1 คัน เวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่ากับ 3.44 นาที

ABSTRACT

TITLE : LOCATION SELECTION AND VEHICLE ROUTING FOR INFECTIOUS
WASTE COLLECTION OF COMMUNITY HOSPITALS IN THE UPPER
PART OF NORTHEAST THAILAND

BY : ANUCHA SRIBURUM

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

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

KEYWORDS : WASTE / INCINERATORS / COMMUNITY HOSPITAL /
LOCATION SELECTION / VEHICLE ROUTING

In this research, we present applied multi-location selection and multi-depot vehicle routing problems (MDVRP) to solve infectious waste collection of community hospitals in the upper part of North-East Thailand that consists of Khon kaen, Kalasin, Maha sarakham, Sakon nakhon, Udon thani, Nong khai, Nong bua lam phu and Loei . There are total 107 hospitals by considering only community hospitals. We divide the problem as two phases. First phase, we select sizes and locations where are infectious waste incinerators by using mathematical model. The objective function is lowest total cost that comprises transportation cost and operating cost and the solution is found by using Lingo. In the second phase, Ant Colony System (ACS) is applied to solve vehicle routing problem in a reasonable computation time.

In this problem case, the incinerators are selected to be central more than one that the routing problem is categorized to be MDVRP and the problem complexity is NP-hard. The solution that we found the total distance is 3,804 km and consists of 3 central incinerators located on the Chiang Yun hospital serving 44 hospitals by 2 vehicles, Phang Khon hospital serving 40 hospitals by 2 vehicles and Erwan hospital serving 20 hospitals by single vehicle and the computation time is 3.44 minutes.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขยะติดเชื้อ	4
2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ	5
2.3 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องสำหรับการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ	11
2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง	12
2.5 ลักษณะพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง	17
2.6 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจาย สินค้ากลางเพียงแห่งเดียว	19
2.7 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้าน เวลาในการขนส่ง	22
2.8 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์ กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (MDVRP)	26
2.9 การจำลองพฤติกรรมกรรมการหาอาหารของ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 วิธีการปรับปรุงหรือสลับสับเปลี่ยน	30
2.11 บทสรุป	31
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3.2 กำหนดกรอบ การวิจัย	32
3.3 โรงพยาบาลชุมชนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบนที่ทำการศึกษาวิจัย	34
3.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือก ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ	35
3.5 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมี มากกว่าหนึ่งแห่ง	37
3.6 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด	40
3.7 การปรับปรุงแก้ไขวิธีการหาคำตอบ	60
3.8 บทสรุป	60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 ผลการวิจัย

4.1 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากการสร้าง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	61
4.2 การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง	65
4.3 การประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกวิธีระบบอานานิคมมดแก้ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง	66
4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบจากการประยุกต์ ใช้เมตาฮิวริสติกวิธีระบบอานานิคมมดกับ คำตอบ ของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO	71

5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล	74
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต	75

เอกสารอ้างอิง

77

ภาคผนวก

ก ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน	82
ข โปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดเตาและตำแหน่งที่ตั้ง	88
ค โปรแกรม LINGO การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง	96
ง ผลการประมวลคำตอบ การจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อ จาก C++	99
จ โปรแกรม MINITAB วิเคราะห์ผลหาค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอานานิคมมด	110
ฉ ข้อมูลการเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบระหว่างวิธีการหาคำตอบจาก LINGO กับวิธีเมตาฮิวริสติกวิธีระบบอานานิคมมด ประมวลผลโดย C++ กรณีศึกษา โรงพยาบาล จำนวน 20 แห่ง	115

ประวัติผู้วิจัย

126

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง	15
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP เพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม	27
2.3	การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม	29
3.1	เมตริกซ์ระยะทางของโรงพยาบาลชุมชนจำนวน 10 แห่ง	54
4.1	เมตริกซ์ระยะทางของโรงพยาบาลชุมชน จำนวน 107 แห่ง	61
4.2	ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นของโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่ง	62
4.3	รายละเอียดของลักษณะของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ	62
4.4	ค่าใช้จ่ายของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ	62
4.5	ผลคำตอบการแบ่งกลุ่มโรงพยาบาลชุมชนที่ส่งขยะติดเชื้อให้ดำเนินงานเตาเผาโดยโปรแกรม LINGO 11	63
4.6	ผลคำตอบจากปัญหาการเลือกขนาดเตาและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ	65
4.7	การกำหนดปัจจัยและรายละเอียดของช่วงการตั้งค่าปัจจัยต่างๆ	67
4.8	ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	68
4.9	ตำแหน่งที่ 58 โรงพยาบาลเชียงใหม่ เตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 1,600 กิโลกรัม/เตา	69
4.10	ตำแหน่งที่ 80 โรงพยาบาลพังโคนเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 1,600 กิโลกรัม/เตา	69
4.11	ตำแหน่งที่ 107 โรงพยาบาลเอราวัณ เตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม/เตา	69
4.12	สรุปผลการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่ง	70
4.13	ผลวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 ในการจัดเส้นทางยานพาหนะ	72
4.14	ผลการวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้เมตริกซ์จัดเส้นทางยานพาหนะโดยใช้ C++	72
4.15	สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีระบบอาณานิคมมด กับผลโปรแกรม LINGO 11	72

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ภาพรวมแนวคิดเชิงระบบของการจัดการ โลจิสติกส์	13
2.2 ลักษณะปัญหา VRP โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง	14
2.3 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางเดินสำหรับพนักงานขาย (The Traveling Salesman Problem (TSP)	17
2.4 ข่ายงานการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง	19
2.5 เงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง	23
2.6 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี 2-Opt	30
2.7 2-opt อัลกอริทึม	30
3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการดำเนินการวิจัย	33
3.2 แผนที่เขตพื้นที่	34
3.3 ข่ายงานของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง	37
3.4 รหัสเทียมของขั้นตอนวิธีระบบอาณานิคม	42
3.5 ระบบอาณานิคม สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง	44
3.6 กำหนดค่าเข้าประจำการที่ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ	45
3.7 ขั้นตอนมดสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข	45
3.8 แบบวิธีลำดับขั้น (Sequential method)	46
3.9 การใช้วิธีอินเซิร์ช (Insertion algorithm)	47
3.10 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย (Improvement solutions)	49

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.11	เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ Move Exchanges ฮิวริสติก
3.12	ตัวดำเนินการ Move Exchanges
3.13	เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ 2-Opt
3.14	ตัวดำเนินการ 2-Opt
3.15	วงกลมความน่าจะเป็นสะสมหรือวงกลมรูเลตเสี่ยงทายเพื่อเลือกโรงพยาบาลในการเชื่อมต่อ
4.1	ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผล โปรแกรม LINGO 11 ปัญหาการเลือกขนาดและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ
4.2	ผลคำตอบในการจัดกลุ่มของปัญหาการเลือกขนาดและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน
4.3	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กับจำนวน 3 ปัจจัยการทดลอง
4.4	ผลคำตอบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย
4.5	การเปรียบเทียบการประมวลผลการค้นหาคำตอบของจำนวนรอบกระทำซ้ำกับระยะทางที่ลดลง ของการประยุกต์ใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันประชากรประเทศไทยและประชากรโลกมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี แม้ว่าความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์จะมีมากขึ้นแต่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลกลับมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากร การรักษาผู้ป่วยจากเจ้าหน้าที่และแพทย์ในโรงพยาบาลซึ่งต้องใช้วัสดุสำหรับการรักษาผู้ป่วยที่ติดเชื้อเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีขยะของเสียเกิดขึ้นจากโรงพยาบาลที่เรียกว่า ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Hospital Waste) ซึ่งจัดเป็นขยะอันตราย (Hazardous waste) ประเภทหนึ่ง เนื่องจากขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลมีการปนเปื้อนของเชื้อโรค ซึ่งก่อให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อมได้หากไม่มีวิธีการจัดการที่เหมาะสม

งานวิจัยของชาติรี ไชยวงศ์ (2553) ได้กล่าวว่า ประเทศไทยมีสถานพยาบาล ทั้งที่เป็นของรัฐและเอกชนจำนวนมากกว่า 37,000 แห่ง ซึ่งมีจำนวนเตียงประมาณ 140,000 เตียง มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ ประมาณ 23,7255 ตันหรือวันละ 65 ตัน อัตราการเกิดมูลฝอยติดเชื้อเฉลี่ย 0.54 กิโลกรัมต่อเตียงต่อวัน ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นปีละประมาณร้อยละ 5.5 ซึ่งก่อให้เกิดความเสี่ยงกับประชากรเพิ่มขึ้น จึงทำให้หน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้องได้เสนอให้มีพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ.2535 โดยกำหนดให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีอำนาจหน้าที่ในการกำจัดสิ่งปฏิกูลและขยะที่เกิดขึ้นในเขตท้องถิ่น ครอบคลุมถึงขยะติดเชื้อด้วย ประกอบกับกระทรวงสาธารณสุขได้ออกกฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดขยะติดเชื้อ พ.ศ. 2545 กำหนดห้ามถ่ายเททั้งขยะติดเชื้อในที่สาธารณะ โดยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควบคุมดูแล และบริหารจัดการให้สถานบริการสาธารณสุขจัดการขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมอย่างถูกต้อง

กษิณีเดช สิบศิริ (2554) ได้ทำการสำรวจการบริหารจัดการกับขยะติดเชื้อในพื้นที่สาธารณสุขเขต 6 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย มีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งสิ้น 107 แห่ง โรงพยาบาลทุกแห่งจะมีการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผา โดยที่เตาเผาที่ใช้จะมีการซ่อมแซมบำรุงรักษาน้อยมากเนื่องจากงบประมาณในการซ่อมแซมน้อย ไม่มีอะไหล่สำรอง โดยเฉพาะอุปกรณ์หัวเผามี จำนวนที่ชำรุดมากที่สุด ทำให้โรงพยาบาลหลายแห่งใช้วิธีเผาฝังและ

เผากลางแจ้ง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล จากการสำรวจพบว่าโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาด ทั้งที่สภาพดีและชำรุด โดยเตาเผาขยะติดเชื้อในปัจจุบันที่มีสภาพดีมีเพียงร้อยละ 22.09 และพบว่ามีชำรุดถึงร้อยละ 77.91 โดยขั้นตอนการกำจัดขยะติดเชื้อเริ่มจากการคัดแยกขยะติดเชื้อออกจากขยะทั่วไปก่อนจากนั้นนำไปทำลายต่อไป โดยโรงพยาบาลชุมชนมีปริมาณขยะติดเชื้อ 10-20 กิโลกรัม/วัน โรงพยาบาลส่วนใหญ่ได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองภายในโรงพยาบาล เนื่องจากเตาเผาชำรุดและขาดงบประมาณในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งต้องการงบประมาณค่อนข้างสูง

จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัย จะเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการเลือกขนาดเตาและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อพร้อมกับการจัดเส้นทางของรถเก็บขยะติดเชื้อพร้อมทั้งสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกขนาดเตาและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ เพื่อแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะติดเชื้อ แทนการมีเตาเผาที่ชำรุด และใช้งานไม่ได้ ที่มีในโรงพยาบาลหลายแห่ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ้างให้เอกชนนำไปกำจัดและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และการบริหารจัดการ เพื่อให้เกิดการประหยัดที่สุด หรือมีต้นทุนการดำเนินงานต่ำสุด ให้กับโรงพยาบาลชุมชนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อเลือกขนาดและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.2.2 เพื่อพัฒนาใช้วิธีการฮิวริสติกในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ปัญหาที่ศึกษาเป็นปัญหาการเลือกที่ตั้งและการจัดเส้นทางของรถเก็บขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 107 แห่ง จากโรงพยาบาลใน 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย โดยผู้วิจัยจะทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกขนาดเตาเผาและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้ออยู่ตำแหน่งเดียวกับโรงพยาบาลชุมชนและการจัดเส้นทางของรถเก็บขยะติดเชื้อ โดยการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกประเภทอาณานิคมมด (Ant Colony

Optimization: ACO) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางรถขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.4.2.1 ปัญหาการเลือกขนาดเตาและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ Facility Location Problems

1) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

2) หาคำตอบที่ดีที่สุด จากปัญหา Facility Location Problems โดยใช้

โปรแกรม LINGO 11

1.4.2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งขยะติดเชื้อ

ประยุกต์ใช้เมทาฮิวริสติกประเภทอาณานิคมมด (Ant Colony

Optimization: ACS) ปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Local search) ด้วยวิธี 2-opt และ Move exchange อัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อที่มีตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะมากกว่า 1 แห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP)

1.4.4 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิจัย ปรับปรุง

1.4.5 สรุปและเสนอแนะ

1.4.6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.5.2 ได้เส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.5.3 ได้วิธีการฮิวริสติกในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

1.5.4 เป็นข้อมูลสำหรับงานวิจัยอื่นในอนาคต

บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการและทฤษฎีที่ผู้วิจัยได้กล่าวถึง ที่เกี่ยวข้องสำคัญๆ กับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวกับการจัดการขยะติดเชื้อ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ และปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

2.1 คุณลักษณะทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับขยะติดเชื้อ

2.1.1 คำจำกัดความของขยะติดเชื้อ (Definition of infectious waste)

ขยะติดเชื้อ (Infectious waste) ในทางวิชาการแล้วแบ่งขยะประเภทใหญ่ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 หมายถึง ขยะที่มีเชื้อโรค (Pathogens) ที่มีความเข้มข้นจำนวนมากพอ เมื่อสัมผัสแล้วสามารถทำให้เป็นโรคได้ เช่น ขยะจากผู้ป่วยติดเชื้อ ขยะที่ได้จากห้องผ่าตัด ขยะจากห้องปฏิบัติการเพาะเชื้อ ส่วนขยะประเภทที่ 2 หมายถึง ขยะที่มีพยาธิสภาพ (Pathological waste) เช่น พวกร่างเนื้อเยื่อ อวัยวะ ชิ้นส่วนของร่างกาย ทารกไร้ชีพ (Fetus) ซากสัตว์ เลือดและของเหลวจากร่างกาย ฯลฯ ได้มีหลายหน่วยงานและนักวิจัยได้ให้คำจำกัดความขยะติดเชื้อแตกต่างกัน ขาวบ้างสั้นบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะมีความหมายใกล้เคียงกัน ดังจะเห็นได้จากแหล่งข้อมูลและงานของนักวิจัยหลายท่านซึ่งต่อไปนี้จะเป็นการยกข้อความบางส่วนของคำว่าขยะติดเชื้อที่ได้จากการสำรวจงานของแต่ละท่านดังต่อไปนี้

องค์การอนามัยโลก (WHO),(2551) ได้ให้ความหมายของขยะจากโรงพยาบาล (Hospital waste) ดังนี้ “ขยะหรือของเสียที่มีแหล่งกำเนิดมาจากโรงพยาบาลซึ่งเกิดจากการแพทย์ การรักษาพยาบาล การทันตกรรม การเภสัชกรรม สัตวแพทย์ หรือการปฏิบัติเกี่ยวกับการตรวจ วินิจฉัย การบำบัดรักษาและการทำวิจัย” แต่ในปี 1994 WHO ก็ได้มีการปรับความหมายสั้นและกระชับขึ้นดังนี้ ขยะติดเชื้อหมายถึง “ของเสียทุกชนิดที่ทำให้เกิดโรคติดเชื้อจากไวรัส แบคทีเรีย หรือพยาธิ ค่อมมนุษย์”

United State Environmental Protection Agency (U.S.EPA),(2012) ได้ให้คำจำกัดความ ขยะติดเชื้อ ดังนี้ “ขยะที่ทำให้เกิดโรค คือขยะติดเชื้อ และเป็นขยะที่มีเชื้อโรคไวรัส ที่มีความรุนแรง ที่ทำให้ผู้สัมผัสเกิดโรคติดเชื้อ”

ความหมายขยะติดเชื่อ โดยกรมควบคุมมลพิษหมายถึง “สิ่งของเครื่องใช้ต่าง ๆ ที่สัมผัสกับผลิตผลของคนไข้โรคติดเชื่อทั่วไปและ โรคติดเชื่ออันตรายในสถานพยาบาลได้แก่เลือด น้ำเหลือง หนอง เสมหะ อุจจาระ และอื่น ๆ”

สุดท้าย กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ได้มีแนวคิดเพื่อให้การให้คำจำกัดความเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั่วประเทศจึงได้ ได้แต่งตั้ง คณะทำงานกำหนดแนวทางการจัดการให้คำจำกัดความว่าของ ขยะติดเชื่อดังนี้“ขยะที่เป็นผลมาจาก กระบวนการให้การรักษายาบาลและการตรวจวินิจฉัยการให้ภูมิคุ้มกันโรค การศึกษาวิจัยที่ ดำเนินการทั้งในมนุษย์และสัตว์ซึ่งเป็นเหตุอันควรสงสัยว่ามีหรืออาจมีเชื้อโรค”

2.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ (Facility Location Problems)

เป็นปัญหา FLP ที่เลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมโดยพิจารณาเวลาใดเวลาหนึ่งที่ทำการตัดสินใจและพิจารณาปัจจัยนำเข้าเช่นความต้องการของลูกค้าตำแหน่งของลูกค้าต้นทุนการขนส่ง เป็นต้นเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและมีค่าคงที่ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาพื้นฐานปัญหานี้สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทย่อยตามวัตถุประสงค์ในการตั้งสถานที่ให้บริการดังต่อไปนี้

2.2.1 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum Facility Location Problems)

เป็นปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่งโดยมี วัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวม (ซึ่งหมายถึงระยะทางหรือเวลาในการขนส่งซึ่ง อาจมีการถ่วงน้ำหนักตามความต้องการของลูกค้าหรือไม่ก็ได้) ระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้า ทุกคนมีค่าน้อยที่สุดมีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

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

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

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

$$\sum_i w_i y_{ij} \leq s_j x_j \quad ; \forall j \quad (2.4)$$

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

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

โดยมีข้อมูลนำเข้า คือ

- w_i เป็นปริมาณสินค้าหรือบริการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i
 d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างลูกค้าที่อยู่ตำแหน่งที่ i กับสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j
 s_j เป็นขีดความสามารถในการให้บริการของสถานที่ให้บริการที่อยู่ตำแหน่งที่ j
 และมีตัวแปรตัดสินใจ คือ
 $x_j = 1$ ถ้าเลือกตั้งสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j ถ้าไม่ใช่ $x_j = 0$
 $y_{ij} = 1$ ถ้าลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่งที่ j ถ้า
 ไม่ใช่ $y_{ij} = 0$

สมการเป้าหมาย (2.1) เป็นการหาค่าระยะทางรวมระหว่างลูกค้าและสถานที่
 ให้บริการ สมการข้อจำกัด (2.2) เป็นข้อจำกัดในการเลือกจำนวนตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งให้บริการ
 ให้เท่ากับจำนวนแหล่งให้บริการที่กำหนด (P แห่ง) สมการข้อจำกัด (2.3) รับประกันว่าลูกค้าทุกคน
 จะได้รับการให้บริการจากแหล่งให้บริการ สมการข้อจำกัด (2.4) แสดงถึงว่าลูกค้าที่ตำแหน่ง i จะรับ
 บริการจากสถานที่ให้บริการที่ตำแหน่ง j ได้ก็ต่อเมื่อตำแหน่งที่ j มีสถานที่ให้บริการตั้งอยู่และ
 สถานที่ให้บริการจะให้บริการได้ไม่เกินขีดความสามารถในการให้บริการที่มีอยู่ถ้าหากสถานที่
 ให้บริการที่พิจารณานั้นไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการจะแทนสมการนี้ด้วย
 สมการ $y_{ij} \leq x_j, \forall i, \forall j$ ส่วนสมการที่ (2.5-2.6) แสดงข้อจำกัดเชิงตัวเลขของตัวแปรในการเลือก
 ตำแหน่งที่ตั้งและการจัดสรรบริการหากพิจารณตำแหน่งที่ตั้งเป็นพิกัดใดจุดบนพื้นระนาบปัญหา
 เป็นที่รู้จักกันในชื่อปัญหาเวเบอร์ (Weber Problems) โดยระยะทางระหว่างสถานที่ให้บริการกับ
 ลูกค้า (d_{ij}) จะถูกพิจารณาเป็นฟังก์ชันของระยะทาง

หากพิจารณตำแหน่งที่ตั้งเป็นจุดที่ถูกคัดเลือกมาเบื้องต้น (ซึ่งมีจำนวนมากกว่า P
 จุด) ที่จะเป็นตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่งระยะทาง d_{ij} จะสามารถกำหนดค่าได้
 จากระยะทางจริงซึ่งเป็นค่าคงที่ (ไม่ใช่ฟังก์ชัน) ปัญหานี้รู้จักกันในชื่อปัญหา p -Median ซึ่งถูก
 พัฒนาขึ้นโดย Hakimi ในปีค.ศ.1964 โดยได้พิจารณาในกรณีที่สถานที่ให้บริการไม่มีข้อจำกัดด้าน
 ขีดความสามารถในการให้บริการเนื่องจากระยะทางที่พิจารณาเป็นค่าคงที่ทำให้ปัญหา (1) เป็น
 ปัญหาการหาค่าการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming Problem) ดังนั้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดก็
 คือวิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch-and-Bound Algorithm) ที่พัฒนาวิธีการหาขอบเขตบน
 และขอบเขตล่างของปัญหาย่อยด้วยการผ่อนปรนปัญหาแบบลากรางเจียน (Lagrangian
 Relaxation) หรือการแปลงเป็นปัญหาคู่ควบ (Dual Formulation) และวิธีการแตกกิ่งและพิจารณา
 ค่าตัวแปร (Branch-and-Price)

2.2.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้า (Covering Problem)

เป็นปัญหาที่มามีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับบริการได้อย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้เช่นสถานีดับเพลิงโรงพยาบาลเป็นต้นโดยในที่นี้การให้บริการจะครอบคลุมความต้องการของลูกค้าก็ต่อเมื่อสถานที่ให้บริการอยู่ห่างจากลูกค้าในระยะที่กำหนดไว้หรือลูกค้าสามารถเดินทางมารับบริการได้ในระยะเวลาที่กำหนดปัญหาประเภทนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

2.2.2.1 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนน้อยที่สุด (Set Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการโดยใช้จำนวนหรือต้นทุนในการสร้างสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุดเพื่อให้ครอบคลุมกลุ่มลูกค้าทั้งหมด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั่วไปดังนี้

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

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

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

โดยมีข้อมูลนำเข้าเพิ่มเติม คือ

- c_j เป็นค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสถานที่ให้บริการ
- s เป็นระยะทางที่ไกลที่สุดหรือระยะเวลานานที่สุดที่ยอมรับได้จากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้า
- N_i เป็นเซตของตำแหน่งที่ตั้งที่อยู่ห่างจากลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ด้วยระยะทางที่ยอมรับได้(นั่นคือ $N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}$)

สมการ (2.7) แสดงเป้าหมายการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเพื่อให้ต้นทุนก่อสร้างหรือจำนวนสถานที่ให้บริการน้อยที่สุดสมการข้อจำกัด (2.8) รับประกันว่าลูกค้าทุกคนจะได้รับบริการจากสถานที่ให้บริการที่อยู่ภายในระยะทางที่กำหนดอย่างน้อยหนึ่งแห่งส่วนสมการข้อจำกัดที่ (2.9) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

2.2.2.2 ปัญหาครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด (Maximal Covering Problem) เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งให้กับสถานที่ให้บริการจำนวน P แห่งเพื่อให้สามารถครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด ซึ่งมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{Maximize} \quad \sum_i w_i z_i \quad (2.10)$$

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

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

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

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

โดยมีตัวแปรตัดสินใจเพิ่มเติม คือ

$z_i = 1$ ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ถูกครอบคลุม

$z_i = 0$ ถ้าไม่ใช่

สมการที่ (2.10) เป็นการครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้มากที่สุด โดยมีสมการข้อจำกัด (2.11) รับประกันว่าลูกค้าที่ถูกครอบคลุมจะได้รับการให้บริการจากสถานที่ให้บริการที่ตั้งอยู่ภายในระยะทางที่กำหนด สมการข้อจำกัด (2.12) แสดงถึงข้อจำกัดของจำนวนของตำแหน่งที่ตั้งที่จะถูกเลือกจะมีจำนวนเท่ากับ P แห่งเท่านั้น และสมการ(2.13-2.14) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลขเนื่องจากปัญหา (2.7) และ (2.10) เป็นปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้กันทั่วไปก็คือ วิธีการแตกกิ่ง และจำกัดขอบเขต แต่สำหรับปัญหา (2.10) นั้น ได้เสนอวิธีการที่มีประสิทธิภาพที่ได้มาจากการสังเกตว่าหากจัด รูปสมการ (2.10) ใหม่ให้อยู่ในรูปสมการ (2.15)

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

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

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

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

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

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจใหม่คือ

$\bar{z}_i = 1$ ถ้าความต้องการของลูกค้าที่ตำแหน่งที่ i ถูกครอบคลุม

$\bar{z}_i = 0$ ถ้าไม่ใช่

โดยที่ $\bar{z}_i = 1 - z_i$ และมีเป้าหมายให้จำนวนของลูกค้าที่ไม่ถูกครอบคลุมมีจำนวนน้อยที่สุดจากนั้นผ่อนปรนเงื่อนไขที่ (2.18-2.19) ซึ่งจะทำให้ปัญหาเป็นกำหนดการเชิงเส้น (Linear

Programming Problems) และเมื่อแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการสำหรับปัญหาคำหนดการเชิงเส้นแล้วพบว่ากว่า 80% ของปัญหาจะให้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นจำนวนเต็มแต่หากคำตอบยังไม่เป็นจำนวนเต็มก็จะใช้เทคนิคการตรวจสอบค่าจำนวนเต็ม (Method of Inspection) ทำให้ตัวแปรเหล่านั้นเป็นจำนวนเต็ม ซึ่งวิธีนี้ให้คำตอบที่ดีที่สุดได้รวดเร็วกว่าการใช้วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขตมาก

2.2.3 ปัญหาระยะทางไกลที่สุดน้อยที่สุด (Minimax Facility Location Problems)

เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานที่ให้บริการ 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 สมการ (2.21)-(2.23) แสดงเงื่อนไขเดียวกันกับสมการ (2.2)-(2.4) ในกรณีที่ไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการ ของสถานที่ให้บริการ สมการ (2.24) เป็นการจำกัดระยะทางที่ไกลที่สุดของลูกค้าและสมการ (2.25)-(2.26) เป็นข้อจำกัดเชิงตัวเลข

ปัญหานี้มักพบในกรณีที่ต้องการประกันความเสี่ยงในการเข้าถึงสถานที่ให้บริการของลูกค้าที่อยู่ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินซึ่งจะไม่เหมือนกับกรณีที่พิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ โดยทั่วไปเช่นคลังสินค้าศูนย์การค้าเป็นต้นเหมือนในประเภทที่ 2.2.1 และแม้จะมีเป้าหมายที่คล้ายคลึงกับปัญหาประเภท 2.2.2 แต่กลับพิจารณาในมุมมองตรงกันข้ามคือแทนที่จะกำหนดระยะครอบคลุมที่ยอมรับได้เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนของสถานที่ให้บริการหรือจำนวนลูกค้าที่ถูกครอบคลุมความต้องการกลับเป็นการกำหนดจำนวนสถานที่ให้บริการมาเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งที่จะทำให้ระยะครอบคลุมของลูกค้าที่อยู่

ห่างไกลจากสถานที่ให้บริการที่ใกล้ที่สุดมีค่าต่ำที่สุดสำหรับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาประเภทนี้ที่อยู่ในรูปแบบทั่วไปยังมีจำนวนน้อยมากวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดส่วนใหญ่จะเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาเฉพาะซึ่งเกิดจากการกำหนดสมมติฐานเพิ่มเติมเช่น M.Jaeger และ J.Goldberg ได้พัฒนาวิธีเครือข่ายแบบต้นไม้ (Tree Networks) ในการแก้ปัญหาย่อย (Sub-problem) ของปัญหา p-Center ภายใต้สมมติฐานที่ว่าสถานที่ให้บริการแต่ละแห่งสามารถตั้งอยู่บนตำแหน่งเดียวกันได้และลูกค้าแต่ละคนมีความต้องการสินค้าเท่ากัน ($w_i = 1, \forall i$) ซึ่งต่อมา T.Ilhan and M.C. Pinar ได้พัฒนาวิธีการที่สามารถใช้ได้กับปัญหา p-Center ทั่วไปที่ไม่มีข้อจำกัดด้านขีดความสามารถในการให้บริการแต่เนื่องจากยังไม่สอดคล้องกับปัญหาจริงที่สถานที่ให้บริการมักจะมีขีดความสามารถในการให้บริการจำกัด Ozsoy และ Pinar จึงได้ปรับปรุงวิธีการของ T.Ilhan และ M.C. Pinar โดยนำเสนอการจัดรูปแบบปัญหาย่อยซึ่งเป็นปัญหา Set Covering ขึ้นมาใหม่แล้วแก้ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปแทนซึ่งก็ให้คำตอบที่ดีที่สุดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งต่อมา M.A. Sambola และคณะ Ozsoy และ Pinar ได้เสนอปัญหาเสริม (Auxiliary Problems) และใช้เทคนิค Lagrangean Dual เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแก้ปัญหาลงซึ่งผลการคำนวณของ Ozsoy และ Pinar พบว่าวิธีการนี้ให้คำตอบที่ดีที่สุดได้เร็วกว่าวิธีการของ M.A. Sambola มาก

2.2.4 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่ไม่พึงประสงค์ (Obnoxious Facility Location

Problems)

สถานที่ให้บริการที่กล่าวถึงในปัญหาข้างต้นนั้นเป็นสถานที่ให้บริการที่มีลักษณะทั่วไปคือยิ่งลูกค้าอยู่ใกล้ยิ่งสะดวกและดีแต่ปัญหาในประเภทนี้เกิดขึ้นกรณีที่สถานที่ให้บริการไม่เป็นที่พึงประสงค์ให้มีที่ตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มลูกค้าเนื่องจากอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพหรือสวัสดิภาพของสถานที่ใกล้เคียงแต่ก็เป็นสถานที่ที่มีประโยชน์และยังคงไม่ต้องการให้อยู่ห่างจากลูกค้าจนเกินไปเนื่องจากเหตุผลด้านต้นทุนการขนส่งเช่น โรงงานกำจัดขยะ โรงงานไฟฟ้านิวเคลียร์บ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้นปัญหาลักษณะนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการคล้ายคลึงกับปัญหาประเภท 2.2.1-2.2.3 แต่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในทิศทางตรงกันข้ามได้แก่

2.2.4.1 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ระยะทางรวมระหว่างสถานที่ให้บริการกับลูกค้ามีค่ามากที่สุดแต่อยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด (Maxisum Facility Location Problems)

2.2.4.2 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้มีลูกค้าอยู่ในพื้นที่รอบสถานที่ให้บริการน้อยที่สุด (Minimum Covering Problems)

2.2.4.3 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ใกล้ที่สุดมีระยะห่างจากสถานที่ให้บริการมากที่สุด (Maximin Facility Location Problem) เป็นต้น

2.2.5 ปัญหาอื่นๆ

ปัญหาที่ขยายผลมาจากปัญหาทั้ง 4 ประเภทข้างต้นมีความหลากหลายตามรายละเอียดเพิ่มเติมของปัญหา ยกตัวอย่างเช่นกรณีที่สถานที่ให้บริการที่พิจารณาให้บริการหรือขายสินค้าที่มีความหลากหลาย (Multi commodity) หรือกรณีที่มีการส่งมอบสินค้าในหลายระดับ (Multi-level) เช่นอาจมีสินค้าบางส่วนถูกส่งมอบโดยตรงจากโรงงานไปยังลูกค้าและอาจมีบางส่วนถูกส่งจากโรงงานไปยังศูนย์กระจายสินค้าก่อนแล้วจึงกระจายสินค้าจากศูนย์นี้ไปยังลูกค้าอีกครั้งหนึ่งหรือในกรณีที่มิเป้าหมายในการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งสถานที่ให้บริการมากกว่าหนึ่ง (Multi-objective) หรือปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเพื่อให้ต้นทุนรวมเช่นด้านการก่อสร้างการดำเนินการและการขนส่งต่ำที่สุด (Fixed Charged Facility Location Problems) เป็นต้น

2.3 ต้นทุนที่เกี่ยวข้องสำหรับการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

2.3.1 ต้นทุนของการขนส่ง (Cost of Transportation)

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะของกิจกรรมที่เกิดขึ้นส่งผลให้เกิดต้นทุน ดังนี้

2.3.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆตามการผลิต ไม่ว่าจะทำการผลิตหรือไม่ผลิตก็ตาม ต้นทุนนี้จะเกิดขึ้นเป็นจำนวนที่คงที่ ต้นทุนนี้ถึงแม้จะมีการผลิตเป็นจำนวนมากหรือจำนวนน้อยเพียงใด ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในอัตราเท่าเดิมอยู่ตลอดเวลา เช่น ค่าเช่าที่ดินอาคาร ค่าประกันภัย ค่าทะเบียนยานพาหนะ ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนประจำ ค่าใบอนุญาตเข้าสถานที่ เป็นต้น ในบางครั้งต้นทุนประเภทนี้อาจเรียกชื่อได้อีกอย่างอื่นอีก เช่น ต้นทุนคงที่ (Constant Cost) หรือต้นทุนค่าใช้จ่าย (Overhead Cost) ต้นทุนชนิดนี้ แม้จะให้บริการมากน้อยเพียงใดหรือไม่ได้ให้บริการเลย ก็ต้องเสียเป็นจำนวนเท่ากัน เป็นต้น

2.3.1.2 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิต อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่นได้อีก คือต้นทุนดำเนินงาน (Operation Cost) ถ้าให้บริการขนส่งมากต้นทุนชนิดนี้ก็จะมากด้วย ถ้าผลิตบริการขนส่งน้อยต้นทุนนี้ก็น้อย ถ้าไม่ได้ให้บริการเลยก็ไม่ต้องจ่ายต้นทุนนี้เลย ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นต้น

2.3.1.3 ต้นทุนรวม (Total Cost หรือ Joint Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยรวมเอาต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรมารวมกัน ถือเป็นต้นทุนของการบริการทั้งหมด ในการ

ขนส่งถือว่าเป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับการขนส่งสินค้า โดยไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าต้นทุนของการขนส่งสินค้าหรือบริการแต่ละอย่างแต่ละประเภทนั้นเป็นเท่าใด เช่น การขนส่งทางรถไฟ โดยรถขบวนหนึ่งอาจมีทั้งผู้โดยสารสินค้าและบริการอยู่ในขบวนเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะเป็นต้นทุนร่วมกัน เพราะไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าเป็นต้นทุนในการขนส่งผู้โดยสาร หรือเป็นต้นทุนสำหรับการขนส่งสินค้าและบริการ เป็นต้น ดังนั้นต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งเที่ยวหนึ่ง ก็ควรจะแบ่งสรรไปยังสินค้าแต่ละชนิดที่ขนส่งในเที่ยวนั้น การที่ต้องแบ่งสรรต้นทุนเช่นนี้ก็จะเป็นภาระกับธุรกิจ เพื่อจะได้ทราบว่าสินค้าแต่ละประเภทที่ดำเนินการอยู่นั้นมีต้นทุนและให้กำไรเพียงใด ต้นทุนรวมที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน เช่น ค่าน้ำมันซึ่งอาจคิดเฉลี่ยค่าน้ำมันแต่ละเที่ยวไปตามน้ำหนักบรรทุกสินค้า เป็นต้น

2.3.3 ต้นทุนการเผาขยะติดเชื้อ (Cost of the Infectious Waste Incinerators)

ประกอบด้วย

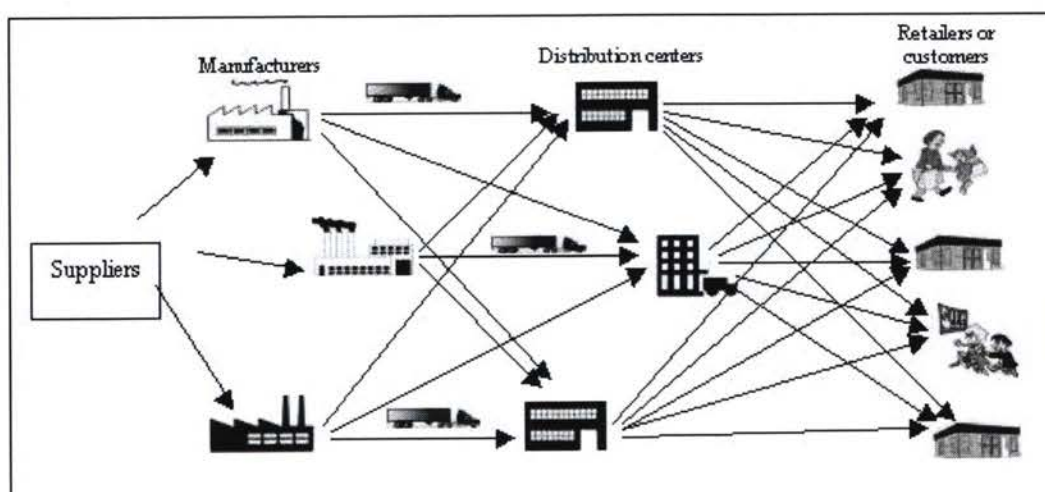
2.3.3.1 ต้นทุนค่าแรง (Labor cost) หมายถึง ค่าเงินเดือน ค่าล่วงเวลา ค่ารักษาพยาบาลของ เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบเผามูลฝอยติดเชื้อ ต้นทุนค่าแรงงาน ได้แก่ เงินเดือน (Wage and Salary) ที่จ่ายเป็นเดือนคงที่ (Fix) และค่าแรงอื่นๆที่จ่าย เช่น ค่าล่วงเวลา หรือ OT ซึ่งแต่ละเดือนจะรับไม่เท่ากัน แล้วแต่ว่าจะอยู่มากน้อยในแต่ละเดือน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

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

2.3.3.3 ต้นทุนค่าดำเนินการ (Operating Cost) ส่วนใหญ่จะเป็นต้นทุนคงที่และลดได้ยาก เช่น ค่าลงทุน ค่าจ้างต่างๆ ค่าสาธารณูปโภค รวมถึงค่าเสื่อมราคาของครุภัณฑ์ หรือสิ่งก่อสร้าง คัดจ่ายเป็นปีตามอายุการใช้งาน ต้นทุนค่าเสื่อมราคาถือเป็น Operating Cost

2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP)

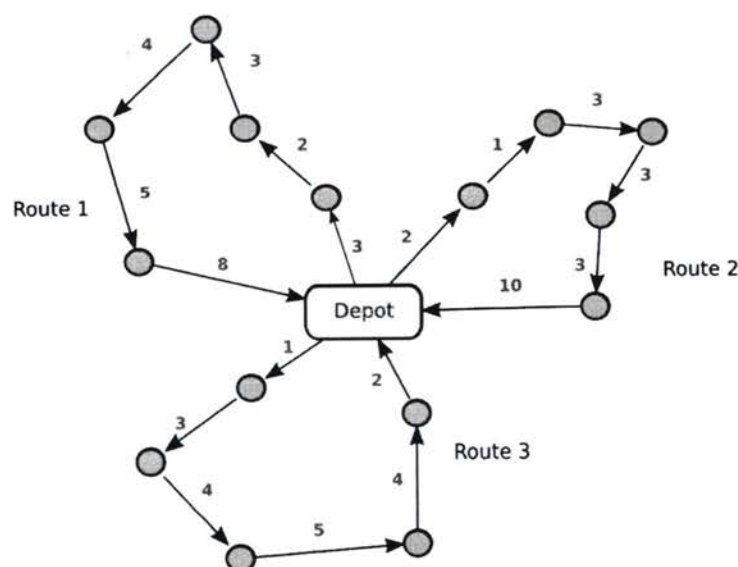
การจัดการโลจิสติกส์ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการโซ่อุปทาน รวมถึงตั้งแต่กระบวนการวางแผน การดำเนินการ การควบคุมประสิทธิภาพและประสิทธิผล การเคลื่อนย้าย การจัดเก็บสินค้าการบริการและสารสนเทศจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดที่มีการใช้งาน โดยที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ภาพรวมแนวคิดเชิงระบบของการจัดการโลจิสติกส์ (สุพรรณ สุตสนธิ, 2551)

ความหมายของโลจิสติกส์ (Logistics) หมายถึง การจัดการลำเลียงสินค้าเพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมในการกระจายสินค้าที่ต่ำสุดเกี่ยวข้องตั้งแต่กระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปสิ้นสุด ณ จุดที่มีการบริโภคหรือเป็นกระบวนการในการจัดการวางแผน จัดสายงานและควบคุมกิจกรรมทั้งในส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายและไม่มีการเคลื่อนย้าย การอำนวยความสะดวกในกระบวนการไหลสินค้า ตั้งแต่จัดหาวัตถุดิบไปจนถึงจุดที่มีการบริโภค”

งานโลจิสติกส์ประกอบด้วย 2 กิจกรรม คือกิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุน กิจกรรมหลัก ต้นทุนกิจกรรมหลักที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อการให้บริการลูกค้า ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนคลังสินค้า และต้นทุนกระบวนการสั่งซื้อ ในส่วนต้นทุนกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อการให้บริการมากที่สุดในระบบโลจิสติกส์ คือ ต้นทุนการขนส่ง ดังนั้นวิธีการบริหารจัดการเกี่ยวกับต้นทุนการขนส่งที่ดีที่สุดก็คือ การจัดการกับปัญหา VRP นั้นเองอาจจะกล่าวโดยสรุปได้ว่า การแก้ปัญหา VRP คือ การคิดค้นวิธีวิธีการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มของพาหนะขนส่งออกเป็นจำนวนเส้นทางหลายๆเส้นทาง โดยสมมติให้มีจำนวนเท่ากับ m เส้นทางหรือเรียกการแบ่งเส้นทางเหล่านั้นว่า “สายส่ง (Routes) เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการตอบสนองและการให้บริการสินค้าลูกค้า โดยเป้าประสงค์หลักจะคำนึงถึงการใช้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด ของพาหนะขนส่งที่วิ่งไปตามเส้นทางต่างๆ ในการขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดคือ ศูนย์กระจายสินค้ากลาง โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ เช่น เวลา จำนวนของพาหนะขนส่งและระยะทางเหล่านั้นเป็นต้นเป็นองค์ประกอบในการพิจารณาด้วย



ภาพที่ 2.2 ลักษณะปัญหา VRP โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง (สุพรรณ สุคนธ์, 2551)

ลักษณะขำงานปัญหา VRP สามารถแสดงและอธิบายด้วยลักษณะของกราฟซึ่งอยู่ในรูปของกราฟ $G(V, A)$ โดยที่ $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ กลุ่มของโหนด (Vertices) ทั้งหมด ที่รวมทั้งโหนดศูนย์กระจายสินค้ากลางและโหนดลูกค้า ส่วนกลุ่มของ A คือ กลุ่มของด้านเชื่อม (arcs) ของโหนดต่าง ๆ โดยที่ $A = \{(V_i, V_j) : i \neq j, V_i, V_j \in V\}$ ในฟังก์ชันดังกล่าว V_1 คือ คลังสินค้ากลางซึ่งเป็นที่เก็บพาหนะขนส่งจำนวน m คัน และที่มีความจุสินค้า คือ Q ส่วนโหนดที่เหลือ คือ ลูกค้าแต่ละรายจะมีพาหนะขนส่งออกไปส่งสินค้าความต้องการที่ไม่ติดลบด้วยจำนวน d_i ต้นทุนเดินทางในการขนส่งเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ $C = (C_{ij})$ จะระบุอยู่บนเซต A แต่ละจุด (V_i, V_j) จะเชื่อมด้วยระยะทาง (Distances) หรือต้นทุนการขนส่ง (Cost) ซึ่งเท่ากับ C_{ij} จากรายงานการวิจัยในอดีตเมื่อปีได้มีการนำเสนอถึงข้อความแตกต่างหรือข้อลักษณะเฉพาะของปัญหา VRP ที่ทำให้มีความแตกต่าง ดังแสดงในตารางที่

2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Possible Options)
1. ขนาดของยานพาหนะที่มีให้ (Size of available vehicle)	1) ขนาดเดียว (One vehicle) 2) หลายขนาด (Multiple vehicle)
2. ประเภทของยานพาหนะที่มีให้ (Type of available fleet)	1) เหมือนกัน (มียานพาหนะแบบเดียว) (Homogeneous) 2) ต่างกัน (มียานพาหนะหลายแบบ) (Heterogeneous) 3) ไม่เจาะจง (Special vehicle types)
3. ที่จอดยานพาหนะ (Housing of vehicle)	1) คลังสินค้ากลาง 1 แห่ง (Single depot) 2) คลังสินค้ากลางมากกว่า 1 แห่ง (Multiple depot)
4. รูปแบบของความต้องการ (Nature of demand)	1) ความต้องการแบบดีเทอร์มินิสติกส์ 2) ความต้องการแบบสโตแคสติก (Stochastic demand) 3) ขึ้นกับความเหมาะสม (Partial satisfaction of demand)
5. ตำแหน่งของความต้องการ (Location of demand)	1) ที่โหนด (At nodes) 2) ที่ด้านเชื่อม (At arcs) 3) ผสมผสาน (Mixed)
6. ความจุของพาหนะที่มีขีดจำกัด (Vehicle capacity restrictions)	1) กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) 2) กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) 3) ไม่กำหนด (ไม่จำกัดความจุ)
7. โครงข่ายพื้นฐาน (Underlying network)	1) ทางอ้อม (Undirected) 2) ทางตรง (Directed) 3) ผสมผสาน (Mixed) 4) ประมาณการระยะทางจากพิกัด x และ y (Euclidean)
8. เวลาสูงสุดบนเส้นทาง (Maximum route times)	1) กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) 2) กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) 3) ไม่กำหนด (Not imposed)
9. การปฏิบัติงาน (Operation)	1) บรรทุกอย่างเดียว (Pick-up only) 2) ส่งอย่างเดียว (Drop-offs (delivery) only) 3) ผสมผสาน (ทั้งบรรทุกและส่ง)

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (สุพรรณ สุคสนธิ, 2551 : 8) (ต่อ)

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Possible Options)
10. ข้อจำกัดในด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	1) แบบด้านเดียว (Single-sided) 2) แบบสองด้าน (Double-sided)
11. ต้นทุน (Cost)	1) ต้นทุนผันแปรหรือต้นทุนเส้นทาง 2) ต้นทุนคงที่หรือต้นทุนยานพาหนะ 3) ต้นทุนขนส่งรวม (Common carrier cost)
12. วัตถุประสงค์ (Objective)	1) ลดต้นทุนรวมของเส้นทาง 2) ลดต้นทุนที่ต้องการของยานพาหนะ 3) ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับการบริการหรือความน่าเชื่อถือ 4) ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับลำดับความสำคัญของลูกค้า

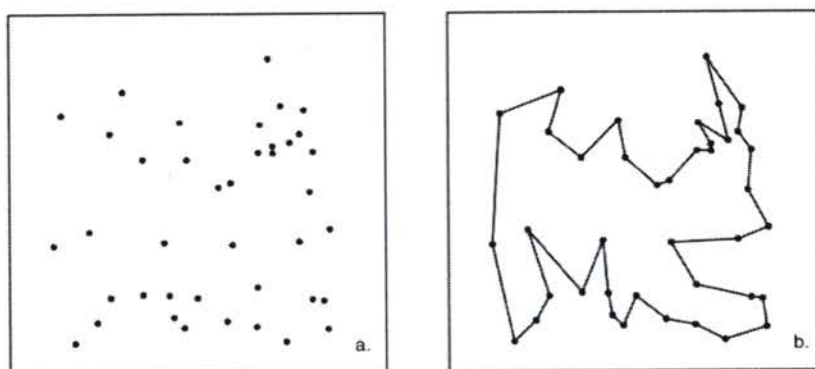
สุพรรณ สุคสนธิ (2551 : 8) ได้กล่าวว่าปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นการศึกษาที่มีความสำคัญอย่างมากในธุรกิจโลจิสติกส์ โดยเป็นการศึกษาถึงวิธีการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าหรือบริการให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าในเวลาที่กำหนดจาก Depot 1 แห่งหรือหลายแห่งก็ได้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้น (เงิน ระยะเวลา) น้อยที่สุดแต่ในปัจจุบันได้เกิดเงื่อนไขในการขนส่งมีมากขึ้น ทำให้มีรูปแบบการขนส่งเพิ่มอีกหลายรูปแบบ เช่น การขนส่งที่มีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง (Stochastic VRP: SVRP) การขนส่งที่รถขนส่งไม่จำเป็นต้องกลับมาที่ Depot (Open VRP : OVRP) การขนส่งโดยที่ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้จากรถขนส่งมากกว่า 1 คัน (Split delivery VRP: SDVRP) การขนส่งที่มีการเจาะจงประเภทขนส่งที่แตกต่างกัน (Site-dependent VRP) เป็นต้น

VRP เป็นปัญหาที่อยู่ในกลุ่ม NP-hard ในการหาผลลัพธ์ของปัญหา VRP นั้น สามารถทำได้ 2 วิธีคือ 1) การหาคำตอบโดยใช้ Exact algorithm ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการหาคำตอบด้วยวิธีนี้ใช้เวลาในการหาคำตอบนานมาก ทำให้ไม่ค่อยได้รับความนิยมในปัญหาที่มีจุดขนส่งจำนวนมาก 2) การหาคำตอบโดยใช้ Heuristics algorithm เป็นวิธีการที่ไม่ประกันว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นวิธีการหาคำตอบที่ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่าวิธีหาคำตอบด้วยวิธี Exact algorithm ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) เป็นปัญหาการขนส่งอีกหนึ่ง

รูปแบบที่กำลังเป็นที่สนใจของระบบ Logistics เนื่องจากการกระจายสินค้าในปัจจุบันนั้น มักจะเป็นการกระจายผ่านศูนย์กระจายสินค้าที่มีมากกว่า 1 แห่ง การหาคำตอบของปัญหา MDVRP นั้น มี 2 วิธี คือการใช้ Exact algorithm และ วิธี Two-phase solution techniques ซึ่ง วิธี two-phase solution techniques นี้ สามารถแยกได้อีก 2 วิธีย่อยคือ วิธี Cluster first-route second และ วิธี Route first-cluster second

2.5 ลักษณะพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Traveling Salesman Problem: TSP)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) กล่าวโดยสรุปแล้ว คือ ปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่ปัญหา TSP มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การที่จะหาเส้นทางวงปิด (Closed tour) ที่สั้นที่สุดที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขายลักษณะของปัญหา TSP มีเงื่อนไขอยู่ว่า “พนักงานขายต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองและให้แต่ละเมืองพนักงานขายสามารถทำการเดินทางได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นเมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้พนักงานขายเดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้น” หลักในการพิจารณาต้นทุนของการเดินทาง (Cost function) หรือระยะทางที่ใช้จะคำนวณต้นทุนจากการเดินทางระหว่าง 2 ตำแหน่ง โดยไม่ขึ้นกับทิศทางในการเดินทางและค่าของระยะทางระหว่างสองตำแหน่งทั้งไปและกลับมีค่าเท่ากัน การคำนวณต้นทุนการเดินทางแบบนี้จะเรียกว่า “TSP แบบสมมาตร” แต่ถ้าระยะทางระหว่าง 2 ตำแหน่งนี้ การเดินทางไปและกลับไม่เท่ากันจะเรียกว่า “TSP แบบไม่สมมาตร” ซึ่งปัญหา TSP นี้ นับได้ว่าเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนอย่างมากอีกปัญหาหนึ่ง นักวิจัยหลายท่านลงความเห็นว่าปัญหา TSP จัดเป็นแบบ NP-hard ลักษณะของปัญหา TSP สามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางเดินสำหรับพนักงานขาย(สุพรรณ สุตสนธิ, 2551)

ปัญหา TSP อธิบายได้จากกราฟ $G=(V,A)$ เป็นกราฟที่ไม่มีหัวลูกศรชี้ทิศทาง เรียกว่า “อันไดเร็กเทดกราฟ (Undirected graph)” เมื่อ $V= 1,...,N$ คือเซตของโหนดโดยที่ A คือเซตเส้นเชื่อมที่เรียกว่า “อาร์ค (Arc)” แต่ละอาร์คจะประกอบไปด้วย C_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนระยะทางที่พนักงานขายเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j ซึ่ง $(i,j) \in A$ โดยที่ $(i,j) \in V \mid i \neq j$ ลักษณะของปัญหา TSP แสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานได้ดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$x_{ij} = 1$ หมายถึง ให้อาร์คของ (i,j) ที่เชื่อมกันโดยที่ $ij \in \{1,2,...,N\}$

$x_{ij} = 0$ อื่นๆ จะเท่ากับศูนย์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

$$\text{Min} z = \sum_{(i,j) \in A} C_{ij} \cdot x_{ij} \quad (2.27)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall j \in \{2,...,N\} \quad (2.28)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{1,...,N\} \quad (2.29)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V \quad (2.30)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in \{2,...,N\} \quad (2.31)$$

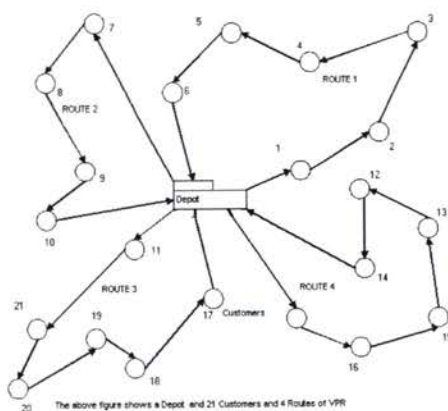
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (2.27) คือ ต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุด ที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขายสมการข้อบ่งชี้ที่ (2.28) และ (2.29) คือ แต่ละโหนดจะต้องประกอบด้วยเส้นทางเข้าหนึ่งเส้นและเส้นทางออกอีกหนึ่งเส้น สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.30) คือ สมการ

ปกป้องกันการเกิดเส้นทางพาหนะขนส่งย่อยสมการขอบข่ายที่ (2.31) คือ สมการขอบข่ายสุดท้ายคือ ตัวแปรตัดสินใจ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา TSP ในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญห TSP โดยมีอยู่ 2 ลักษณะคือ วิธีการแก้ปัญหแบบวิธีที่ดีที่สุด (Exact method) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic method) การประยุกต์วิธีการแก้ปัญห TSP แบบวิธีเชิงฮิวริสติก ยกตัวอย่าง เช่น การจำแนกวิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญห TSP ว่ามีอยู่ 3 ลำดับด้วยกัน คือ ลำดับที่หนึ่ง คือ การสร้างการเดินทาง (Tour Construction Procedures) ลำดับที่สองคือการปรับปรุงการเดินทาง (Tour Improvement Procedures) และลำดับสุดท้ายคือ การใช้วิธีแบบผสมผสาน (Composite Procedures)

2.6 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงแห่งเดียว (The Singel-Depot Vehicle Routing Problem: SDVRP)

ปัญหา VRP มีรากฐานมาจากปัญหา TSP ดังกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.4 มาแล้วและมีความแตกต่างจากปัญหา TSP ดังนี้ “เรียกชื่อแทนพนักงานขายว่า พาหนะขนส่ง (Vehicle) หรือ สายส่ง (Route) และมีจุดเริ่มต้นในการเดินทางที่เหมือนกันเพียงจุดเดียว คือ จุดศูนย์กระจายสินค้ากลาง (Depot)” ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา VRP จะประกอบไปด้วยศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง จำนวนลูกค้ามีเท่ากับ n ราย และพาหนะขนส่งมีจำนวน m คัน ระยะทางประมาณการระหว่างจุดที่ตั้งโหนดในระบบเครือข่าย มีการคำนวณระยะทางประมาณการ แบบระยะทางเชิงพิกัด (Euclidean distances)



ภาพที่ 2.4 ข่ายงานการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง (สุพรรณ สุคนธ์, 2551)

การบรรทุกสินค้าในการขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัดของ Q ลูกค้านั้นเป็นสมาชิกของ $i \in \{1, \dots, n\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับของ q_i ลักษณะการแก้ปัญหาหรือการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มเส้นทางของพาหนะขนส่งจะแบ่งออกเป็นจำนวน m สายส่งเพื่อให้สายส่งสามารถขนส่งสินค้าออกไปให้บริการให้กับลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งต้องใช้ต้นทุนการให้บริการที่ต่ำที่สุดลักษณะข้างงานของปัญหา VRP ดังแสดงในภาพที่ 2.4

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่ามีโครงสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานของปัญหา VRP ไว้ได้ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

- N จำนวนของลูกค้าทั้งหมด
- K จำนวนของพาหนะขนส่งทั้งหมด
- Q ความจุของพาหนะขนส่ง (k)
- D เวลาหรือระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่ง สามารถใช้ในการเดินทาง
- t_i ข้อจำกัดด้านเวลาสูงสุดของพาหนะขนส่ง k ที่ให้บริการลูกค้าในแต่ละเส้นทาง
- q_i ปริมาณความต้องการของลูกค้าโหนดที่ i (จุดส่งสินค้าที่ i)
- t_{ij}^k เวลาในการเดินทางสำหรับพาหนะขนส่ง k จากโหนด i ไปยังโหนด j ($t_{ij}^k = \infty$)
- c_{ij} ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$x_{ij}^k = 1$ ให้พาหนะขนส่งคันที่ k ทำการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยังลูกค้า

รายที่ j โดยที่ลูกค้า $i, j \in \{1, 2, \dots, N\} | i \neq j$ และ $k \in \{1, 2, \dots, K\}$

$x_{ij}^k = 0$ ในกรณีอื่นๆ

$x =$ เมตริกซ์ของ $x_{ij}^k = \sum_{k=1}^K x_{ij}^k$ แสดงการเชื่อมโยงกันของโหนดเป็นเส้นทางของ

พาหนะขนส่งแต่ละคัน ซึ่งไม่รวมจุดเริ่มต้นคลังสินค้ากลาง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์(Mathematical model)

$$Minz = \sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq 0}}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (2.32)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.33)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (2.34)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ip}^k - \sum_{j=0}^N x_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.35)$$

$$\sum_{j=0}^N q_j \left(\sum_{i=0}^N x_{ij}^k \right) \leq Q \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.36)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N t_{ij} x_{ij}^k \leq D \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.37)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.38)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.39)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.40)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.32) คือ การหาระยะทางโดยรวมของพาหนะขนส่งทุกคัน รวมกันที่สั้นที่สุด สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.33)-(2.34) ประกันว่าลูกค้าแต่ละรายต้องรับบริการจาก พาหนะขนส่งเพียงคันเดียวเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.35) ประกันว่าถ้าหากพาหนะขนส่งใดเข้าไป ที่จุดใดก็ตามต้องออกมาจากจุดนั้นด้วย สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.36) ประกันว่าพาหนะขนส่งสินค้าทุก คันจะต้องบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัดที่กำหนด สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.37) ข้อกำหนดด้านเวลา หรือระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่งที่ k สามารถใช้ในการเดินทางเพื่อการขนส่งสินค้าได้ สมการ ข้อบ่งชี้ที่ (2.38)-(2.39) ประกันว่าพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ที่ (2.40) สมการไบนารี (Binary)

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา นักวิจัยได้เสนอให้เห็นว่าปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ต้องใช้ วิธีการแก้ปัญหาในเชิงของการจัดหมวดหมู่ที่เหมาะสม (Combinatorial optimization) และจัดปัญหา นี้อยู่ในประเภท NP-hard การใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับการปัญหานี้จะมีความยุ่งยาก อย่างมากในการแก้ปัญหาเพราะว่าปัญหาประเภทนี้มีความซับซ้อนในเชิงของความเป็นปฏิสัมพันธ์กัน

ระหว่างสองสับเซตในเชิงการจัดหมวดหมู่ คือ เซตของลูกค้าและเซตของศูนย์กระจายสินค้ากลาง ดังนั้นการใช้วิธีเชิงฮิวริสติกจึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการคำตอบแบบที่คิดที่สุด สำหรับงานวิจัยของ สุพรรณ สุคนธ์ (2551) ได้กล่าวถึงวิธีการจัดหมวดหมู่สำหรับการแก้ปัญหา VRP ไว้ 3 ประเภทด้วยกันคือ

2.6.1 วิธีฮิวริสติกอย่างง่าย (Simple heuristic) คือ การอาศัยหลักพื้นฐานฮิวริสติกอย่างง่าย ๆ ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งและต่อจากนั้นค่อยทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งวิธีการสร้างเส้นทางให้กับสายส่งนี้ อันได้แก่ วิธี Sweep ซึ่งเป็นวิธีที่เก่าแก่และมีการใช้งานมานานกว่า 60-70 ปีมาแล้ว

2.6.2 วิธีการใช้หลักทางคณิตศาสตร์ คือ วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการประมาณค่าในการแก้ปัญหาอย่างมีขั้นตอน (Step-by-Step) เช่น วิธีมอบหมายงาน (General assignment) การแบ่งกลุ่มเซต (Set partitioning) วิธี Clark and Wriarth วิธี Hierarchical Approach วิธี Multi-Route Improvement Heuristics เป็นต้น

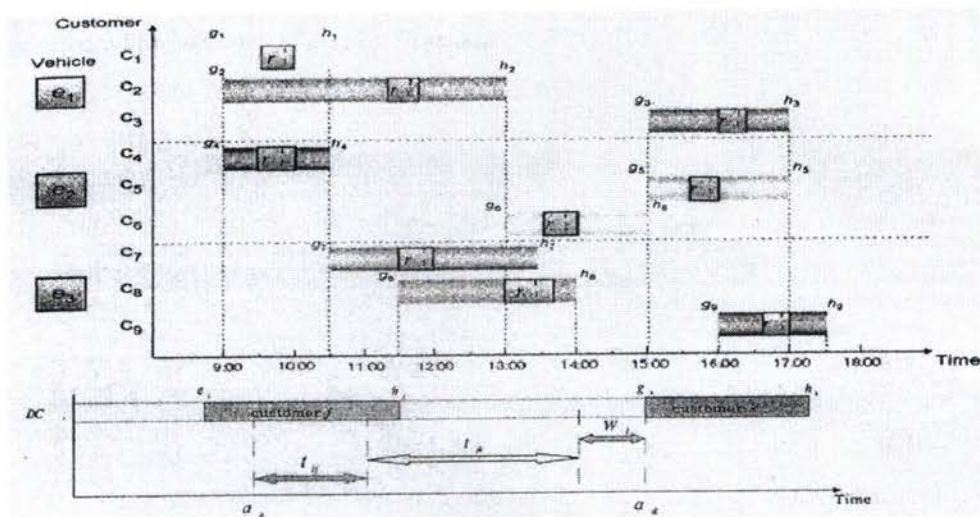
2.6.3 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Solutions) และวิธีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Method: AIM) ยกตัวอย่างสำหรับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดเช่นวิธี K-tree และ Lagrangean Relaxation ในส่วนวิธีปัญญาประดิษฐ์หรืออาจจะเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าวิธีเชิงฮิวริสติกก็ได้ยกตัวอย่างเช่นวิธี Simulated Annealing: SA วิธี Tabu Search: TS วิธี Ant System: AS และวิธี Genetic algorithm: GA เหล่านี้เป็นต้น

2.7 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง (Vehicle Routing Problem with Time Windows: VRPTW)

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลา มีความคล้ายคลึงกันกับปัญหา VRP แต่มีเงื่อนไขของเวลาในแต่ละกิจกรรมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไปส่งสินค้าแต่ละแห่งจะใช้เวลาไม่เท่ากัน การจัดลำดับของกิจกรรมเป็นสิ่งสำคัญในการจัดตารางเวลาการขนส่งและถ้าหากนำไปประยุกต์ใช้งานจริงๆ ก็จะมีเงื่อนไขต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีกเป็นจำนวนมากก็จะส่งผลให้เกิดความซับซ้อนในตัวปัญหาไม่ว่าจะด้านการจัดตารางเวลาการขนส่งก็จะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไปอีก ลักษณะของข่าขงานปัญหา VRPTW นี้ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ มีศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงแห่งเดียวใช้พาหนะขนส่งที่มีขนาดหรือชนิดที่เหมือนกันทุกประการ (Identical Vehicles) สำหรับการแก้ปัญหา VRPTW เป็นการหาค่าที่เหมาะสมของเชิงการจัดหมวดหมู่ระหว่างสองสับเซต คือ เซตของการใช้พาหนะขนส่งสินค้าแทนด้วยเซต V และเซต C คือเซตของลูกค้าที่พาหนะ

ขนส่งจะต้องออกไปให้บริการ โดยสมมติว่าพาหนะขนส่งทั้งหมดที่ใช้ทั้งหมด แทนด้วยเซต k โดยที่ $V = \{0, 1, 2, \dots, K-1\}$ และกลุ่มลูกค้าที่พาหนะขนส่งออกไปให้บริการคือ $N \setminus \{0\}$

ดังนั้น เซตของลูกค้า $C = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ ตัวแปรตัดสินใจในปัญหานี้จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ x_{ijk} โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, N; i \neq j$ และ $k = 0, 1, 2, \dots, K$ และถ้าให้ $x_{ijk} = 1$ นั้นจะหมายถึงให้พาหนะขนส่งคันที่ k ทำการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยังลูกค้ารายที่ j อื่น ๆ กำหนดให้ค่า $x_{ijk} = 0$ ในส่วนของ t_i คือ เวลาเริ่มต้นของพาหนะขนส่งแต่ละคันให้บริการลูกค้าที่ i โดยที่ $c_{ij} \leq c_{ih} + c_{hj}$ และ $t_{ij} \leq t_{ih} + t_{hj} \quad \forall h, i, j \in N$ ลักษณะปัญหา VRPTW ดังแสดงในภาพที่ 2.5 สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.5 เส้นไทม์ไลน์ด้านเวลาในการขนส่ง (สุพรรณ สุคนธ์, 2551)

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Parameters)

- N คือ จำนวนของลูกค้าทั้งหมด
- K คือ จำนวนของพาหนะขนส่งทั้งหมด
- C_i ลูกค้าที่ i โดยที่ $i = 0, 1, 2, \dots, N$
- C_0 ศูนย์กระจายสินค้า (Depot)
- C_{ij} ค่าใช้จ่ายระหว่างลูกค้าที่ i และลูกค้าที่ j
- t_{ij} ระยะเวลาในการขนส่งระหว่างลูกค้าที่ i และลูกค้าที่ j
- m_i ความต้องการสินค้าในการขนส่งของลูกค้า i
- q_k ความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง k
- t_i เวลาที่พาหนะขนส่งมาถึง (Arrival time) ที่ลูกค้า i

- e_i เวลาที่พาหนะขนส่งสามารถมาถึงลูกค้าที่ i ได้เร็วที่สุด (Earliest arrival time)
 l_i เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest Arrival Time)
 f_i ระยะเวลาในการลำเลียงสินค้าที่ลูกค้า i
 w_i ระยะเวลาที่ใช้ในการรอคอย การรับ-ส่งสินค้า (Waiting time) ที่ลูกค้า i
 r_k เวลาทั้งหมดที่อนุญาตให้ยานพาหนะขนส่ง k ทำการขนส่งสินค้า (Maximum route time)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

- $x_{ijk} = 1$ ถ้าให้พาหนะขนส่งที่ k ทำการขนส่งสินค้าของลูกค้า i ไปยังลูกค้า j
 $x_{ijk} = 0$ กรณีอื่นๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

$$\text{Min}z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^{K-1} c_{ij} x_{ijk} \quad (2.41)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=1}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i = 0 \quad (2.42)$$

$$\sum_{k=0}^K \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.43)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq h}}^N x_{ihk} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq h}}^N x_{ijk} = 0 \quad \forall h \in [1, \dots, N], k \in [0, K-1] \quad (2.44)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, N; i \neq j \quad (2.45)$$

$$\sum_{i=0}^N m_i \left(\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} \right) \leq q_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K-1\} \quad (2.46)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq r_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K-1\} \quad (2.47)$$

$$t_0 = 0 \quad (2.48)$$

$$t_i + x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq t_j \quad i, j \in [1, N]; i \neq j; k \in [0, K-1] \quad (2.49)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i \quad k \in [0, K-1] \quad (2.50)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.41) คือ การหาระยะทางโดยรวมของพาหนะขนส่งทุกคัน รวมกันที่สั้นที่สุดสมการข้อบ่งชี้ (2.42) ประกันว่าจำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ K เส้นทาง สมการข้อบ่งชี้ (2.43)-(2.44) ประกันว่ามีพาหนะขนส่งจำนวนเพียง 1 คันเท่านั้นไปรับสินค้าที่ลูกค้า สมการข้อบ่งชี้ (2.45) ประกันว่าไม่มี Sub-tour เกิดขึ้นในคำตอบ สมการข้อบ่งชี้ (2.46) พาหนะขนส่งต้องบรรทุกสินค้าไม่เกินความสามารถที่กำหนด สมการข้อบ่งชี้ (2.47) ประกันว่าเวลาที่ใช้ของพาหนะขนส่งแต่ละคันต้องไม่เกินเวลาอนุญาต (Maximum route time) สมการข้อบ่งชี้ (2.48)-(2.49) และ (2.50) ประกันว่าการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่งต้องไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขทางด้านเวลา (Time windows)

ปัญหา VRPTW มีความสำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบันโดยเฉพาะแก่ผู้ส่งมอบสินค้าให้โรงงานลูกค้าที่อิงระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in time: JIT) ปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มีข้อจำกัดของเวลา เป็นการเขียนเงื่อนไขเพิ่มเติมขยายจากปัญหา VRP โดยทั่วไปปัญหา VRPTW มีความยากมากกว่าปัญหา VRP โดยจุดประสงค์ของปัญหา VRPTW คือ การลดจำนวนรถขนส่งหรือการลดค่าขนส่งโดยรวมและมักจะมีสมมติฐานประหนึ่งว่ามีจำนวนรถไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติแล้วบริษัทต่างๆ มีจำนวนรถขนส่งจำกัด ในรายงานวิจัยได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านจำนวนรถในการแก้ปัญหา VRPTW แต่ในการศึกษาครั้งนั้นอนุญาตให้ข้อจำกัดเรื่องเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) กล่าวคือ หากไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของกรอบเวลาได้จะไปเพิ่มโทษ (Penalty) ในสมการเป้าหมายแทน การประยุกต์รูปแบบปัญหา VRPTW เพื่อลดต้นทุนการขนส่งโดยคำนวณเฉพาะเวลาเดินทางจากลูกค้าหนึ่งไปยังอีกลูกค้าถัดไปในที่ขบวนส่งหนึ่งๆ เท่านั้น และแยกเวลารอคอยกับเวลาให้บริการแต่ละลูกค้าเป็นเวลาพบปะลูกค้าโดยไม่ได้นำมาคิดเป็นต้นทุน นอกจากนี้ยังยอมให้ส่งสินค้าได้ก่อนและหลังเวลาที่กำหนดได้แต่เพิ่มโทษในสมการเป้าหมายแทน ในรายงานการวิจัยอื่นได้มีการประยุกต์รูปแบบปัญหา VRPTW เพื่อลดต้นทุนการขนส่งแบบ Pickup and Deliver Time Windows แต่ไม่ยอมให้รถไปถึงช้ากว่ากรอบเวลาช้าสุดที่สามารถส่งสินค้าได้แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลาต้องรองจนกว่าถึงเวลาที่ส่งมอบเท่านั้น ตัวอย่างของงานวิจัยที่คำนึงถึงกรอบเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นไม่ได้คือการกำหนดระยะเวลาที่รถสามารถวิ่งได้สูงสุดต่อหนึ่งเส้นทางทุกๆ คันเป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการที่รถแต่ละคันมีความจุจำกัดเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งต่ำลงสำหรับ ปัญหา VRPTW เป็นปัญหา NP-hard และในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกต่าง ๆ

2.8 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (The Multi-Depot Multiple Vehicle Routing Problems: MDVRP)

ปัญหา VRP กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง หมายถึง กรณีองค์กรธุรกิจมีศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ใช้ดำเนินงานมากกว่าหนึ่งแห่ง พร้อมทั้งมีการวางแผนการใช้เส้นทางพาหนะขนส่งเพื่อออกไปให้บริการลูกค้า รับหรือส่งสินค้า (Pick-up or Deliveries) เรียกปัญหานี้ว่า “ปัญหา MDVRP” ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาต้นทุนโดยรวมของการใช้เวลาหรือระยะทางที่ต่ำสุดของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกัน ปัญหานี้จึงมีความสลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าปัญหา VRP โดยทั่วไปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP ในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยนำเสนอวิธีการสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP นี้ด้วยความหลากหลายทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดและวิธีเชิงฮิวริสติก ซึ่งพอที่จะสรุปโดยรวมได้ดังในตารางที่ 2.2 และปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะใช้วิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหา MDVRP มากยิ่งขึ้น โดยที่วิธีเชิงฮิวริสติก นั้นหมายถึงวิธีการใดๆ ก็ตามที่ใช้วิทยาศาสตร์ (Heuristics) ในการค้นหาคำตอบหรือหาความรวมถึงวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์ด้วย (Artificial Intelligence Method: AIM) วิธีปัญญาประดิษฐ์ อันได้แก่ วิธีการอบอ่อนคำตอบ (Simulated Annealing: SA) วิธีตามูเสริงซ์ (Tabu Search: TS) วิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด (Ant System: AS) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) เหล่านี้เป็นต้น

วิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP พอจะสรุปได้ดังนี้ วิธีจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด (ACS) ดังรายงานวิจัยของ Gambardella, et al. (1999) และนอกจากวิธีเชิงฮิวริสติกที่รู้จักในชื่อข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้ว ยังมีวิธีการอื่นๆ ที่เรียกว่าเป็นฮิวริสติกเช่นกัน เช่น งานวิจัยที่เสนอวิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้า ออกเป็นกลุ่มๆ ตามจำนวนศูนย์กระจายสินค้า โดยเรียกว่า “Disjoint-Clusters” จากนั้นทำการแก้ปัญหา VRP ที่อิสระต่อกันของแต่ละกลุ่ม (Independent VRPS) โดยเริ่มต้นจากกำหนดลูกค้าให้ศูนย์กระจายสินค้ากลางของแต่ละแห่งใช้วิธีการ Sweep Method เมื่อลูกค้าถูกกำหนดให้กับศูนย์กระจายสินค้าเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคำตอบโดยการเลือกลูกค้าที่เป็นไปได้เพื่อทำการปรับปรุงกลุ่ม (Reassignments) ระหว่างศูนย์กระจายสินค้า 2 แห่ง ทำให้จนกว่าไม่สามารถปรับต้นทุนที่ดีกว่าเดิมอีกไปขั้นตอนสุดท้าย คือ การสร้างเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่งเนื่องจากปัญหา MDVRP จะประกอบด้วยสองปัญหาอยู่ในตัวปัญหาเดียวจึงมีความยุ่งยากในการคิดค้นวิธีการสำหรับการค้นหาคำตอบ

ดังนั้น ได้มีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการหาคำตอบกับปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่งและจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง ด้วยวิธีการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่มๆ ประมาณ 2-3 กลุ่ม ใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการประมาณค่าของระยะทางระหว่างลูกค้า (Customer) กับ

ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) โดยการใช้เกณฑ์ของน้ำหนัก (Weighted) หรือความต้องการสินค้า (Demand) ของลูกค้าแต่ละรายเป็นเกณฑ์พิจารณา และวิธี Saving Method สำหรับสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งต่อมา Srivastava และ Benton (1990) นำวิธี Cluster-Routing กรณีที่ค่า $p > 1$ โดยทำการเปิดศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงหนึ่งแห่งสำหรับลูกค้า 1 กลุ่มวิธีการนี้เรียกว่า “เรียกสร้างกลุ่มในกลุ่มแรกและสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งในลำดับที่สอง (Cluster-first Route-second)” ใช้วิธี Sweep Method สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง งานวิจัยของ Pathumnakul (1996) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา MDVRP กับกรณีศึกษาโรงงานรีไซเคิลกระดาษของไอโอวาแบ่งขั้นตอนการแก้ปัญหา คือ จัดแยกลูกค้าออกเป็นกลุ่มๆ โดยใช้หลักการเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest neighborhood) สร้างเส้นทางขนส่งด้วยวิธี Clarke and Wright algorithm และปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยวิธี ตาบูลูเสิร์จ (TS) คำตอบที่ได้รับจากวิธีการนี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในส่วนงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยการกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าไปพร้อมๆ ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง เช่น Sodsoon and Sindhuchao (2007) นำเสนอวิธี MMAS โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การจัดสรรลูกค้าพร้อมกับการสร้างเส้นทางขนส่งในเวลาเดียวกันจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วย 2-opt อัลกอริทึม วิธีการพบว่าสามารถค้นหาคำตอบได้ที่น่าพอใจและใช้เวลาประมวลผลเหมาะสม

ตารางที่ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP เพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม (สุพรรณ สุตสนธิ, 2551)

ชื่อนักวิจัย	ปี	การประยุกต์ใช้งาน	วิธีการ
Chao., et al.	1993	Composite heuristics/refinements.	N/A
		USA/Canada	cluster second
Klot, Gal and Harpaz	1992	Dairy products in the Haifa	Combination of LP/ Heuristics
Chao., et.al.	1993	N/A	Composite Heuristics/refinements

2.9 การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด

วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Search Approaches) เป็นการค้นหาคำตอบด้วยวิธีใด ๆ ก็ตามที่พยายามหาหลักเกณฑ์เพื่อนำมาใช้ในขบวนการค้นหาและลดปริมาณของรอบ

การคำนวณให้น้อยลง จนกระทั่งพบทางแก้ปัญหาที่น่าพอใจ ปัจจุบันวิธีเชิงฮิวริสติกแบบกลุ่ม Artificial Intelligence (AI) กำลังได้รับความนิยมกันอย่างมากในกลุ่มนักวิจัย ซึ่งวิธีเชิงฮิวริสติกชนิดนี้เป็นการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึกแบบความฉลาดแบบกลุ่มหรือเรียกกันว่าแบบความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งในกลุ่มของปัญญาประดิษฐ์และเป็นแขนงหนึ่งในสาขา Biologically-inspired computing เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการเลียนแบบวิธีการทางธรรมชาติเช่นวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีตามูเสรีจซ์ (Tabu Search: TS) วิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมด (Ant colony optimization: ACO)

การแก้ปัญหาคด้วยกลุ่ม AI นับว่ามีข้อดี คือ สามารถนำใช้กับแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ๆ และซับซ้อนแทนการแก้ปัญหาแบบ Conventional Approach ซึ่งยากแก่การหาคำตอบได้ กลุ่มของความฉลาดแบบกลุ่ม จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของผึ้งและความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมด สำหรับความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดนั้น Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colomi (1991) เป็นผู้คิดค้นขึ้นครั้งแรก โดยเขาทำการศึกษาการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา TSP แทนการแก้ปัญหาแบบ Conventional Approach และในปัจจุบันได้รับความนิยมกันอย่างมากในหมู่นักวิจัยและได้คิดค้นพัฒนาวิธีการมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น จึงพอสรุปวิธีการคิดเลียนแบบพฤติกรรมกรหาอาหารของมด ออกได้ 5 แบบ ดังนี้

2.9.1 วิธีระบบมด (Ant system: AS)

2.9.2 วิธีระบบที่ดีที่สุด (Elitist ant system: ES)

2.9.3 วิธีระบบมดแบบแมก-มิน (Max-min ant system: MMAS)

2.9.4 วิธีจัดลำดับความสำคัญระบบมด (Rank-base ant system: RBS)

2.9.5 วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system: ACS)

ในช่วงแรก ๆ ระบบมดมีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ Ant-density Ant-quantity และ Ant-cycle วิธีระบบ Ant-density และระบบ Ant-quantity นั้น จะมีการอัปเดตสารฟีโรโมนทันทีขณะที่เดินทางจากโหนดหนึ่งไปยังเมืองใด ๆ ในขณะที่ระบบ Ant-cycle นั้น จะอัปเดตสารฟีโรโมนหลังจากที่มดเดินทางครบทุกเมืองแล้ว โดยที่ปริมาณของสารฟีโรโมนที่จะอัปเดตนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ต่อระยะทาง (Distances) หรือคุณภาพของผลเฉลยที่ได้ (Quality solutions) ท้ายที่สุดแล้วระบบ Ant-density และระบบ Ant-quantity ก็ไม่ได้รับการปรับปรุงและ

พัฒนาต่อไปอีก เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยหรือเส้นทางที่แย่กว่าเมื่อเทียบกับระบบ Ant-cycle

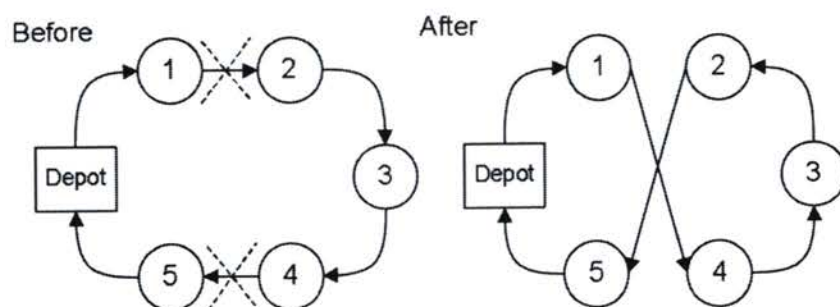
ดังนั้นในปัจจุบันเมื่อกล่าวถึงระบบมดก็คือ ระบบ Ant-cycle นั่นเอง Dorigo M and Sttze (2004) การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรมสามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม
(สุพรรณ สุคสนธิ, 2551)

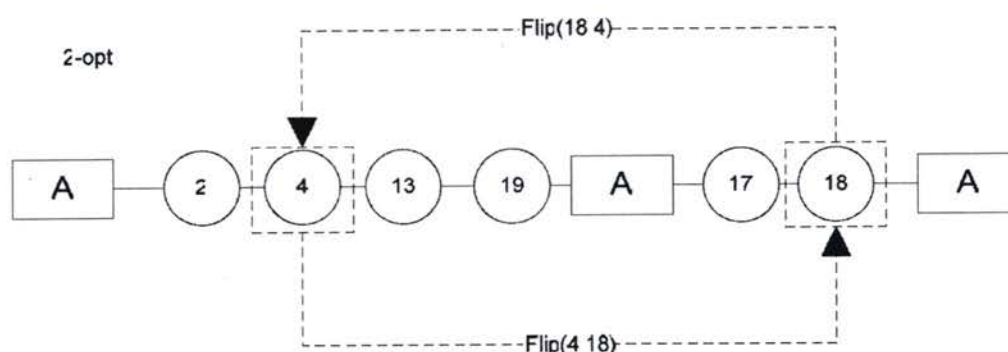
วิธี	ชื่อนักวิจัย	ปี	ชื่อของปัญหา
Ant system	Dorigo., et al.	1991	Traveling salesman problem
AntNet-FA	Di Caro and Dorigo	1997	Connectionless network routing
AntNet-FS	Di Caro and Dorigo	1998	Connection-oriented network routing
ants	Heusse.,et al.	1998	Routing network
ACO	Roli., et al.	2001	Constraint satisfaction
	Gamez and Puerta	2002	Best elimination sequence
	Eggers.,et al.	2003	Keyborad arrangement problem
	Sheloker.,et al.	2004	Clustering
	Gandibleux.,et al.	2004	Set packing problem
	Reimann and Laumanns	2005	Capacitated minimum spanning tree problem
	Lim., et al.	2005	Bandwidth minimization
MACS-	Gambardella.,et al.	1999	Networks
VRPTW	Bianchi., et al.	2004	Vehicle routing problem
ACS			
Ant-TDVRP	Rizzoli., et al.	2002	Vehicle routing problem
ACS-DVRP	Montemanni., et al.	2002	Dynamic Vehicle routing problem
ACO-B	De Campos.,et al.	2002	Learning Bayesian networks

2.10 วิธีการปรับปรุงหรือสลับสับเปลี่ยน (Improvement or Exchange Procedure)

เป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมบนเส้นทางแบบฮิวริสติกซึ่งให้ผลเฉลยที่เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุดเรียกว่า “การสลับสับเปลี่ยนแบบออร์-ออฟท์ (Or-Opt Exchange)” ซึ่งเป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมขนาด 1, 2 หรือ 3 ปมโดยการแทรกหรือตัดทิ้งไปจากเส้นทางเดิมหรือในเส้นทางอื่นๆ ที่เลือกพิจารณาวิธีการ 2 ออฟท์เป็นการสลับสับเปลี่ยน 2 ปมที่เกิดจาก 2 เส้นทางที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 2.6 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี 2-Opt (จูตินนท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2012)



ภาพที่ 2.7 2-opt อัลกอริทึม (สุพรรณ สุคนธ์, 2551)

จากงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกยังคงเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหา VRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพถึงแม้ปัจจุบันปัญหา VRP จะถูกดัดแปลงเพิ่มเติมไปจากรูปแบบปัญหาดั้งเดิมความซับซ้อนจึงมีมากขึ้นในขณะเดียวกันวิธีการฮิวริสติกยังคงได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมตามไปด้วยสำหรับวิธีการทางฮิวริสติกแบบใหม่ที่ยังง่ายและมีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหา VRP แบบมีรถขนส่งเพียงคันเดียวหรือปัญหา TSP แบบมีช่วงเวลาคือวิธีการฮิวริสติกแบบ 2-เฟสสำหรับแก้ปัญหา VRP แบบมีการขนส่งสินค้ากลับมายังคลัง

เดิมและมีกรอบเวลา (VRP with Backhauls and Time Windows) โดยเฟสแรกเริ่มจากการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solution) ตามขั้นตอนวิธีฮิวริสติกแบบมีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristic) (Solomon, 1987) และเฟสที่ 2 ทำการปรับปรุงผลเฉลยโดยการสลับสับเปลี่ยนคู่อันดับ ๗ และการสลับสับเปลี่ยนแบบ 2-ออฟท์ เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้นวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหานั้นคือ วิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถหาผลเฉลยในปัญหาอื่นๆ ได้หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการพัฒนาวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพซึ่งในหัวข้อถัดไปได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการเมตาฮิวริสติกซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติก

2.11 บทสรุป

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีข้อสรุปที่ตรงกันว่า“ปัญหา VRP” และ“ปัญหา MDVRP” จัดเป็นปัญหา NP-hard เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่และวิธีการที่นำมาแก้ปัญหามีหลากหลาย ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic method) แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีที่จะนำมาแก้ปัญหาก็จำเป็นต้องเลือกให้มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง ๆ โดยพิจารณาปัจจัยที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้ไม่ซึ่งคำตอบที่เหมาะสมมากที่สุดและความยากง่ายหรือความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานขนส่งจริง

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 3 ผู้วิจัยได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งได้ทำแผนขั้นตอนวิธีการการเลือกที่ตั้งและวิธีเมตาฮิวริสติกในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง แสดงได้ดังภาพที่ 3.1 ผู้วิจัยกำหนดส่วนงานย่อยออกมาได้ด้วยกัน 8 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

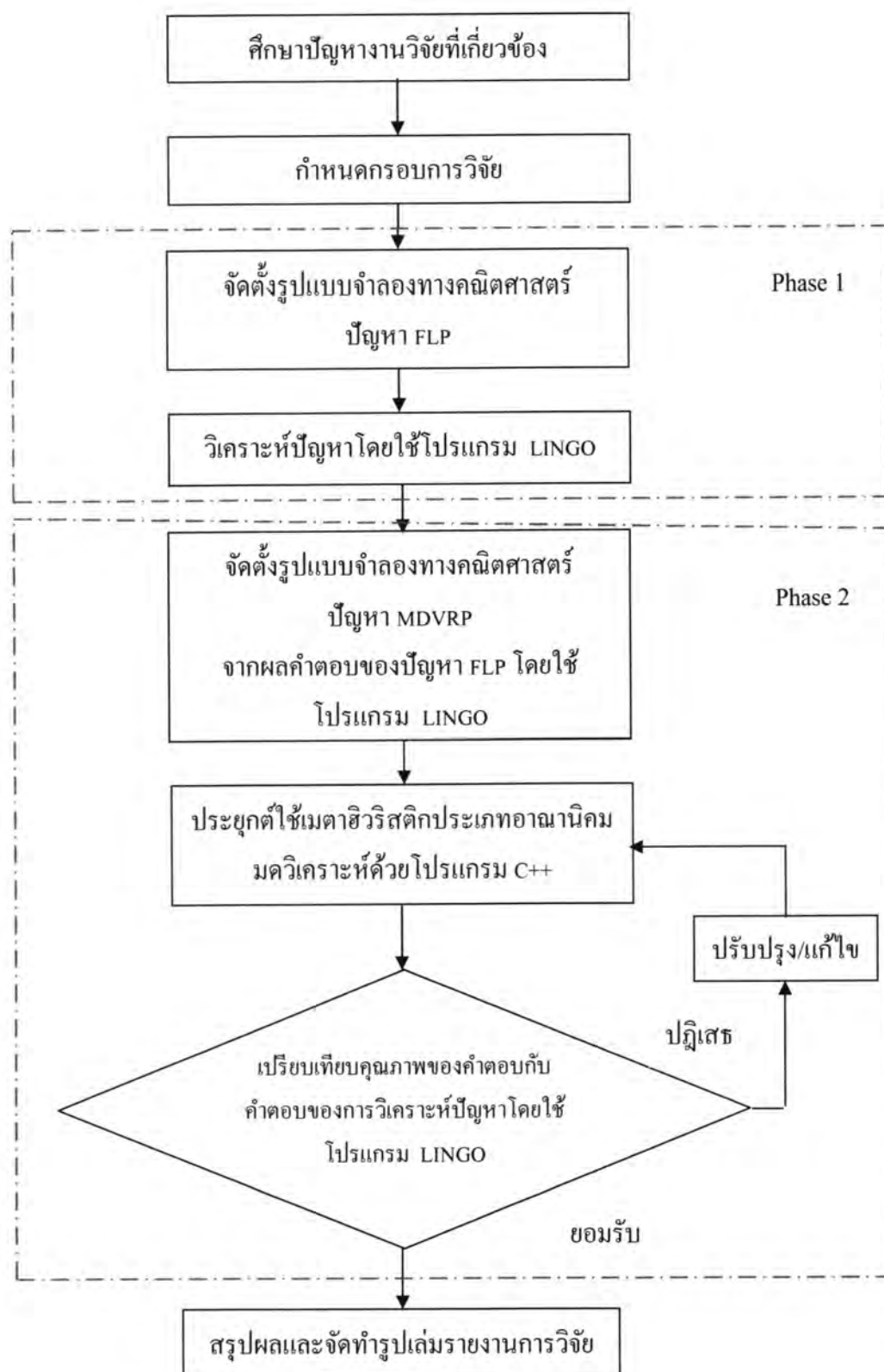
3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งและทำความเข้าใจหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ (Facility Location Problems) ปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews) ศึกษาวิธีการค้นหาผลเฉลยแบบวิธีที่ดีที่สุดและวิธีเชิงฮิวริสติก (Exact-Heuristic Algorithm) จากเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศรายละเอียดที่ปรากฏในบทที่ 2

3.2 กำหนดกรอบ การวิจัย

หลังจากที่ผู้วิจัยทำการสำรวจทบทวนเอกสารงานวิจัยในหัวข้อที่ 3.1 ผู้วิจัยก็ทำการกำหนดสถานะของปัญหาที่จะทำการศึกษา กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต ดังรายละเอียดที่ปรากฏในหัวข้อที่ 1.3 และ 1.4 ในบทที่ 1

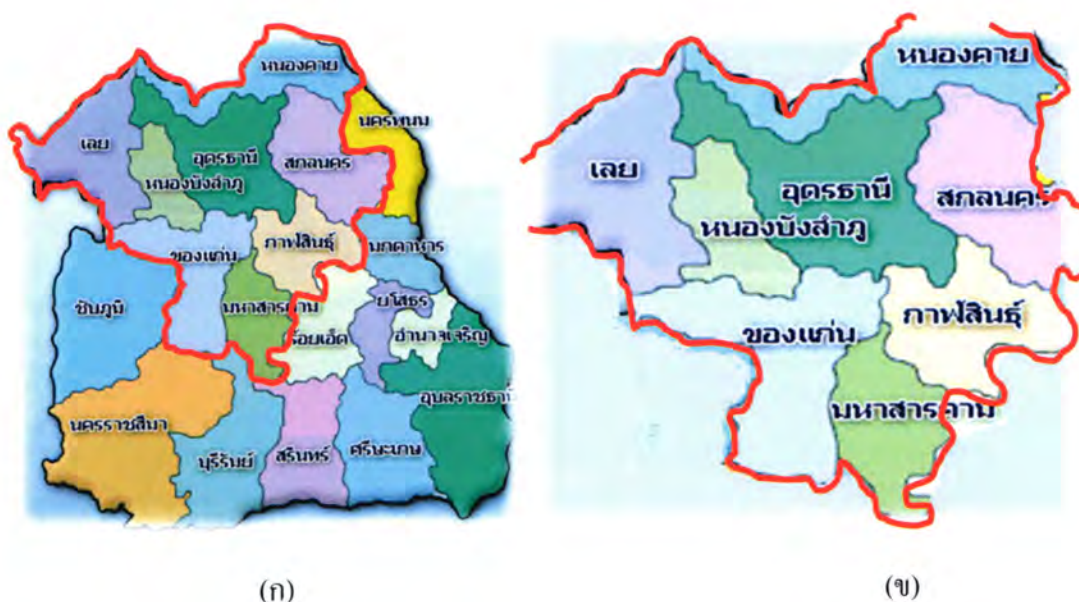
การเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน แสดงได้ดังภาพที่ 3.1 มีขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการดำเนินการวิจัย

3.3 โรงพยาบาลชุมชนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนที่ทำการศึกษาวิจัย

พื้นที่สาธารณะสุขเขต 6 ประกอบไปด้วย 8 จังหวัด ในแต่ละจังหวัดประกอบด้วยหลายอำเภอ และในแต่ละอำเภอส่วนใหญ่แล้วจะมีโรงพยาบาลประจำอำเภออย่างน้อย 1 แห่งโดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลระยะทาง ตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ก และเก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นทั้งหมดทุกแห่งรวมกันโดยเฉลี่ย เท่ากับ 1,931 กิโลกรัมต่อวัน รายละเอียดในภาคผนวก ก โรงพยาบาลในและแต่ละพื้นที่ ได้กล่าวในรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3.2 แผนที่เขตพื้นที่ (กษิต์เดช สิบศิริ, 2554)

(ก) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 19 จังหวัด

(ข) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบน 8 จังหวัด

โรงพยาบาลที่ใช้ในการวิจัยคือโรงพยาบาลในระดับชุมชนที่มีขนาดเตียงตั้งแต่ 10-120 เตียง ของโรงพยาบาลในพื้นที่สาธารณะสุขเขต 6 (8 จังหวัด) ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน อันได้แก่ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ อุดรธานี หนองคาย เลย หนองบัวลำภู สกลนคร และ มหาสารคาม ซึ่งมีโรงพยาบาลระดับชุมชนทั้งหมดจำนวน 107 แห่ง

3.4 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ (The Formulation of Mathematical Model for Facility Location Problems)

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งสำหรับการเลือกชนิดเตาเผาและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (ซึ่งหมายถึง ระยะทาง หรือ เวลาในการขนส่ง ซึ่งอาจมีการถ่วงน้ำหนักตามผลรวมของต้นทุนผันแปรและต้นทุนการดำเนินการรวม) ของ โรงพยาบาลที่ส่งขยะมากำจัดที่ตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ) ระหว่างที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าต่ำสุด มีรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Parameters)

ดัชนี (Indices)

- i แทน ดัชนีของโรงพยาบาลชุมชน
- j แทน ดัชนีตำแหน่งการเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อ
- k แทน ดัชนีของแบบเตาเผาขยะติดเชื้อ $k = \{400, 800, 1200\}$

ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

- c_{ij} ระยะทางการขนส่งจากโรงพยาบาลชุมชน i ไปยังลำดับตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ j (กม.)
- f_k ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อเตาเผาแบบที่ k (บาท/กก.)
- S_k ความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อเตาเผาแบบ k (กก.)
- d_i ปริมาณของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละ โรงพยาบาล i (กก./วัน)
- a ต้นทุนค่าขนส่ง 2 บาท/กม.จากโรงพยาบาลชุมชน i ส่งขยะติดเชื้อไปยังตำแหน่งเตา j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- x_{ij} เท่ากับ 1 ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนที่ i ถูกส่งไปเตาเผาที่ตำแหน่ง j
เท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่นๆ
- y_j เท่ากับ 1 ถ้าเปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง j
เท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่นๆ

z_{kj} เท่ากับ 1 ถ้าเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อแบบที่ k ที่ตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ j
เท่ากับ 0 สำหรับกรณีอื่นๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

สมการเป้าหมาย (objective function)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ac_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^k f_k z_{kj} \quad (3.1)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \forall i \ (i=1\dots m) \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^n z_{kj} = y_j \quad \forall j \ (j=1\dots n) \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall ij \ (i=1\dots m), (j=1\dots n) \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^m d_i x_{ij} \leq \sum_{k=1}^k s_k z_{kj} \quad \forall j \ (j=1\dots n) \quad (3.5)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (3.6)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad (3.7)$$

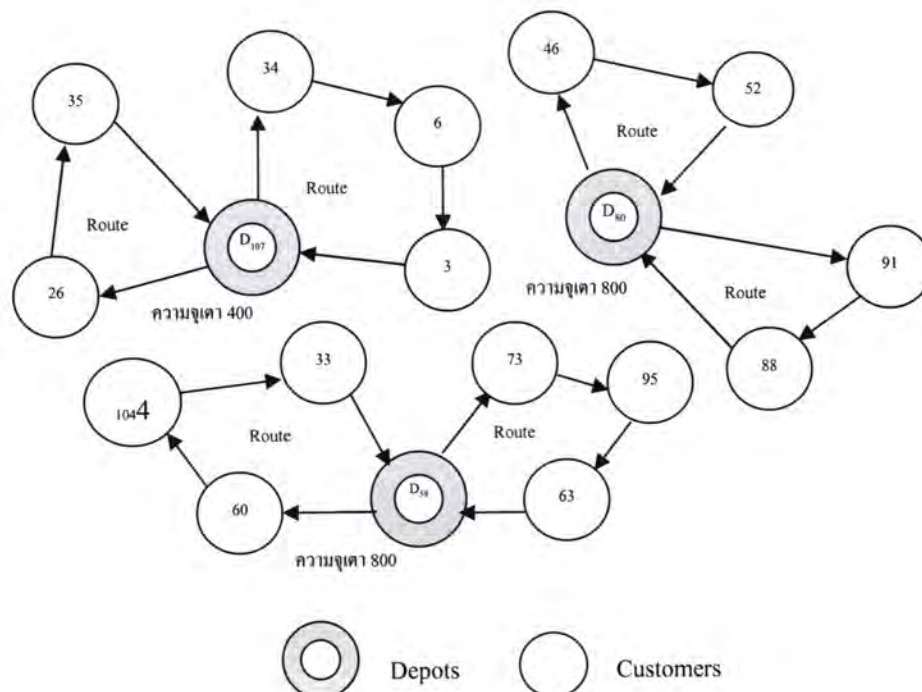
$$z_{kj} \in \{0,1\} \quad (3.8)$$

สมการที่ (3.1) สมการเป้าหมายต้นทุนต่ำสุด เป็นผลรวมของต้นทุนผันแปรและต้นทุน
การดำเนินการ สมการที่ (3.2) เป็นสมการเงื่อนไขบังคับให้โรงพยาบาลชุมชน i สามารถส่งขยะติด
เชื้อไปยังเตา j โดยใช้บริการจากเตาเผาเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (3.3) โรงพยาบาลที่ได้รับ
เลือกเปิดเตาเผาจะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น สมการที่ (3.4) โรงพยาบาลทุกแห่ง i
ไม่สามารถนำขยะไปเผาที่เตา j ได้ ถ้าเตา j ยังไม่เปิด สมการที่ (3.5) ปริมาณขยะติดเชื้อรวมของทุก
โรงพยาบาลชุมชนที่ได้รับบริการจากเตา แบบ k ที่ถูกใช้ที่ตำแหน่ง j จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ
กำลังการเผาของเตาแบบ k ที่เปิด สมการที่ (3.6) ตัวแปร x เป็นตัวแปรแบบไบนารี สมการที่ (3.7)
ตัวแปร y เป็นตัวแปรแบบไบนารี สมการที่ (3.8) ตัวแปร z เป็นตัวแปรแบบไบนารี

การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ผลของคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์ผลด้วย
โปรแกรม LINGO 11 ผู้วิจัยจะได้กล่าวในบทถัดไป รายละเอียดโปรแกรม และผลแสดง ดังใน
ภาคผนวก ข

3.5 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง (The Formulation of Mathematical Model for The Multi-Depot Multiple Vehicle Routing Problems: MDVRP)

การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งในงานวิจัยการแก้ปัญหาจัดว่าเป็นลักษณะปัญหา (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) การจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อ จากปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นแทนด้วย d_i ของโรงพยาบาลชุมชนแต่ละแห่งและในส่วนของการคำนวณระยะทางระหว่างโรงพยาบาลชุมชน i ไปยังโรงพยาบาลชุมชน j จะคำนวณจากระยะทางการขนส่ง แทนด้วยสัญลักษณ์ เมตริกซ์ C_{ij} จำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้มีจำนวนเท่ากับ k คัน และมีชนิดหรือขนาดความจุสูงสุดที่เท่ากัน คือ Q_k และระยะทางการขนส่งแต่ละเที่ยวไม่เกินค่าของ T_k การเก็บขยะติดเชื้อของรถส่งมายังเตาจะต้องไม่เกินความจุ แทนด้วย W_L ลักษณะข้างงานของปัญหา MDVRP ของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อในงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ข่ายงานของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง

การจัดตั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา MDVRP มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาระยะทางรวมของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันมีค่าที่น้อยที่สุด การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ได้ดังนี้

กำหนดพารามิเตอร์ (Parameters)

ดัชนี (Indices)

i, j, p เป็นดัชนีของโรงพยาบาลชุมชน $i, j = 1, 2, \dots, N$

L เป็นดัชนีของโรงพยาบาลที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ $L \in S, S \subset i, S = \{58, 80, 107\}$

ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

M จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

N จำนวนของโรงพยาบาลชุมชน

K จำนวนยานพาหนะขนส่ง

S เป็นเซตของโรงพยาบาลชุมชนที่เปิดเตา

V เป็นเซตของโรงพยาบาลชุมชนที่ตั้งเตา

c_i ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลชุมชนที่ i กับโรงพยาบาลชุมชนที่ j

d_j ปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนที่ j

Q_k ขนาดความจุสูงสุดในการบรรทุกขยะติดเชื้อของยานพาหนะ k

W_L ความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อบนโรงพยาบาลที่เปิดเตา $L, L \in S$

T_k ระยะทางสูงสุดทั้งหมดที่อนุญาตให้ยานพาหนะ k ทำการขนส่งขยะติดเชื้อ

(Maximum Route Distance)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

x_{ij}^k = ถ้า 1 ให้พาหนะคันที่ k ขนขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนที่ i ไปยัง
โรงพยาบาลชุมชนที่ j

ถ้า 0 กรณีอื่นๆ

z_{Lj} = ถ้า 1 โรงพยาบาลชุมชน j ส่งขยะติดเชื้อเผาที่โรงพยาบาลชุมชน L

ถ้า 0 กรณีอื่นๆ

x = เมตริกซ์ของ $x_{ij} \equiv \sum_{k=1}^K x_{ij}^k$ แสดงการเชื่อมโยงของโหนด S เป็นเส้นทางของยานพาหนะแต่ละคัน ไม่รวมจุดเริ่มต้นปม 1 (ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ)

$$S = \{(x_{ij}): y_i - y_j + Nx_{ij} \leq N-1 \text{ สำหรับ } M = 1 \leq i \neq j \leq N \text{ และจำนวนจริงใดๆ } y_i$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

สมการเป้าหมาย (objective function)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (3.9)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j, j \notin \{58, 80, 107\} \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall i, i \notin \{58, 80, 107\} \quad (3.11)$$

$$\sum_{j=1}^N d_j z_{lj} \leq W_L \quad \forall L, L \in S, S = \{58, 80, 107\} \quad (3.12)$$

$$\sum_{L \in S}^M z_{lj} = 1 \quad \forall j \quad (3.13)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ip}^k - \sum_{j=1}^N x_{pj}^k = 0 \quad \forall p, k \quad (3.14)$$

$$\sum_{j \in V \setminus S}^N d_j \left(\sum_{i \in V \setminus S}^N x_{ij}^k \right) \leq Q_k \quad \forall k \quad (3.15)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij}^k \leq T_k \quad \forall k \quad (3.16)$$

$$y_i - y_j + Nx_{ij}^k \leq N-1 \quad \forall i, j, k, i \neq j \quad (3.17)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, k \quad (3.18)$$

$$z_{lj} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j, \quad (3.19)$$

สมการที่ (3.9) สมการเป้าหมายหาระยะทางโดยรวมของยานพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันที่สั้นที่สุด สมการที่ (3.10) และ (3.11) โรงพยาบาลชุมชนแต่ละแห่งรับบริการจาก

ยานพาหนะขนส่งเพียงคันเดียว สมการที่ (3.12) ผลรวมของขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล j จะถูกส่งมากำจัดที่เตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่ง L ไม่เกินความจุของเตาสมการที่ (3.13) ลูกค้า j จะได้รับบริการจากเตาเผาขยะติดเชื้อตำแหน่ง L เพียงแห่งเดียว สมการที่ (3.14) หากยานพาหนะขนส่งเข้าไปที่จุดใดก็ตามต้องออกมาจากจุดนั้น สมการที่ (3.15) ยานพาหนะขนส่งทุกคันบรรทุกขยะติดเชื้อได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการที่ (3.16) ระยะทางที่ใช้ของยานพาหนะขนส่งแต่ละคันต้องไม่เกินระยะทางอนุญาต สมการที่ (3.17) ประกันว่าไม่มีเส้นทางย่อย Sub-Tour เกิดขึ้นในคำตอบ สมการที่ (3.18)-(3.19) เป็นตัวแปรแบบไบนารี

การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง ประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO ไม่สามารถหาคำตอบได้ ในระยะเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากในงานวิจัยที่ศึกษาเป็นปัญหามหาศาลใหญ่ ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการหาคำตอบโดยนำวิธีการทางฮิวริสติกเข้ามาช่วยซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.6 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system: ACS)

3.6.1 วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system: ACS)

การใช้วิธีระบบอาณานิคมมด Ant Colony System (ACS) สำหรับ ผู้ทำวิจัยมีขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

กฎการเปลี่ยนสถานะ (State Transition Rule) มดจะมีการเดินทางหรือเปลี่ยนสถานะจากเมืองหนึ่งไปอีกเมืองหนึ่ง โดยอาศัยกฎการเปลี่ยนสถานะ กฎนี้ประกอบไปด้วยสองทางเลือกที่เป็นไปได้ นั่นคือ การเลือกสำรวจเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ใหม่ (exploration) หรือการเลือกผลเฉลยโดยอาศัยความรู้เดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว (exploitation) ให้มด k อยู่ที่เมือง r เลือกที่จะเปลี่ยนสถานะไปอยู่ที่เมือง s โดยมดจะเลือกเมืองตามสมการที่ (3.20),(3.21)

$$S = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(r)} \{ [\tau(r, u)] \cdot [\eta(r, u)]^\beta \} & \text{if } q \leq q_0 \\ S & \text{if } q > q_0 \end{cases} \quad (3.20)$$

เมื่อ q เป็นตัวเลขสุ่มที่มีการกระจายแบบสม่ำเสมอในช่วงศูนย์ถึงหนึ่ง และ q_0 เป็นความน่าจะเป็นที่จะเลือกจากความรู้เดิมที่มีอยู่ ($0 \leq q_0 \leq 1$) β เป็นเลขยกกำลังสำหรับคำนวณผลคูณระหว่างฟีโรโมนกับความใกล้เคียง $\tau(r, u)$ แสดงถึงปริมาณฟีโรโมนบนเส้นทางเดินระหว่างเมือง r

และ u พจน์ $\eta(r,u)=1/\delta(r,u)$ เป็นส่วนกลับของระยะทางระหว่างเมือง r และ u ส่วน $j_k(r)$ เป็นเซตของเมืองที่มด k ยังไม่เคยเดินทางไปมาก่อน โดยปัจจุบันมดอยู่ที่เมือง r และ S คือเมืองที่จะถูกเลือกถัดมด k ตัดสินใจที่จะทำการสำรวจความน่าจะเป็นที่มด k ซึ่งอยู่ที่เมือง r จะเลือกเดินทางไปยังเมือง $S(p_k(r,S))$ ถูกกำหนดโดย

$$p_k(r,S) = \begin{cases} \frac{[\tau(r,S)] \cdot [\eta(r,S)]^\beta}{\sum_{u \in j_k(r)} [\tau(r,u)] \cdot [\eta(r,u)]^\beta} & \text{if } S \in j_k(r) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.21)$$

จากสมการที่ (3.20) ถ้ามด k เลือกที่จะใช้ความรู้เดิมที่ได้รับมาจากมดตัวอื่นๆ มด k จะเลือกเดินทางจากเมือง r ไปเมือง s ซึ่งกำหนดได้จากเส้นทางที่ให้ผลคูณระหว่างฟีโรโมนกับความใกล้เคียงที่สุด ในกรณีที่มีมด k เลือกที่จะสำรวจเส้นทางใหม่ จากสมการที่ (3.21) เส้นทางที่มีผลคูณระหว่างฟีโรโมนกับความใกล้เคียงเท่าไร ก็มีโอกาที่จะถูกเลือกมากขึ้นเท่านั้น หลังจากที่มีมดทำการเปลี่ยนสถานะ มดจะทิ้งฟีโรโมนจำนวนหนึ่งบนเส้นทางที่เดินผ่าน

กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Updating Rule) หลังจากที่มีมดได้เดินทางจากเมือง r ไปยังเมือง s ระดับฟีโรโมนบนเส้นทางระหว่างเมือง s และจะถูกปรับโดยสมการ

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot \Delta\tau(r,s) \quad (3.22)$$

เมื่อ ρ คืออัตราการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนเฉพาะที่ ($0 \leq \rho \leq 1$) และ $\Delta\tau(r,s) = \tau_0$ เป็นแฟกเตอร์การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนซึ่งกำหนดโดย $\tau_0 = (n \cdot L_{mn})^{-1}$ เมื่อ n คือจำนวนเมืองทั้งหมดในปัญหานี้และ L_{mn} เป็นความยาวของเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดที่กำหนดจากการใช้กฎวิวัฒนาการเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด พจน์แรกของสมการทางด้านขวาแสดงถึงปริมาณฟีโรโมนที่มีอยู่บนเส้นทางได้ระเหยไปจำนวนหนึ่งส่วนพจน์ที่สองคือปริมาณฟีโรโมนที่มดทิ้งไว้บนเส้นทางนอกเหนือจากการใช้กฎการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนเฉพาะที่แล้วปริมาณฟีโรโมนบนเส้นทางยังสามารถเปลี่ยนแปลงโดยกฎการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้างซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง (Global Updating Rule) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อมดทุกตัวในอาณานิคมได้เดินทางครบรอบโดยผ่านครบทุกเมืองแล้ว เส้นทางที่เดินทางได้สั้นที่สุดจะได้รับปริมาณฟีโรโมนเพิ่มเติมอีก ซึ่งกำหนดจากกฎการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้างดังสมการ

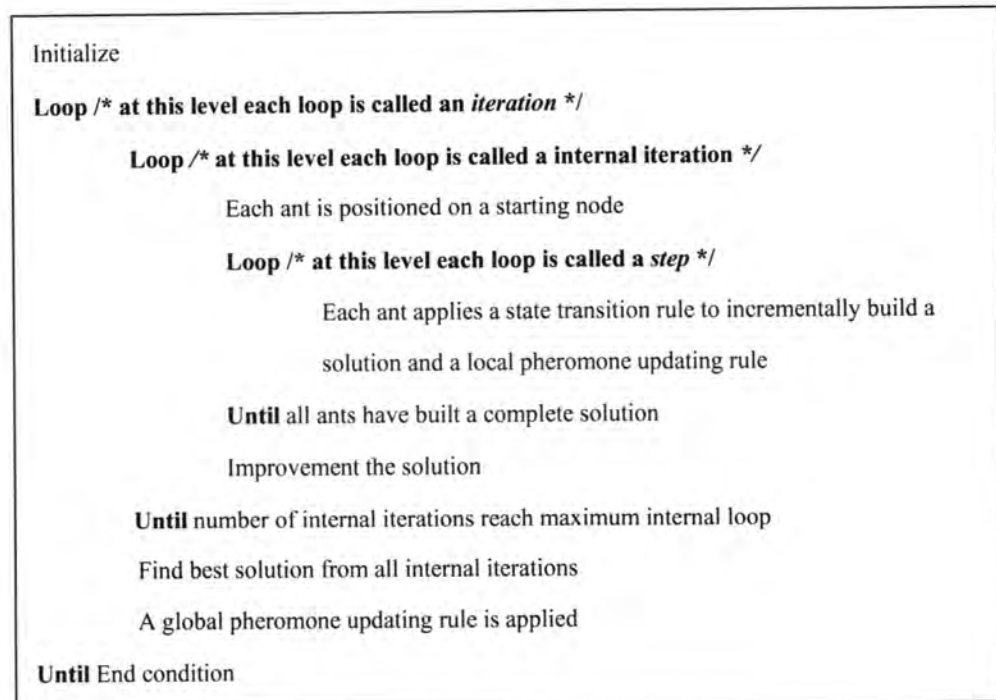
$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \Delta\tau(r,s) \quad (3.23)$$

โดย α คืออัตราการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง ($0 \leq \alpha \leq 1$) และ $\Delta\tau(r,s)$ ถูกกำหนดจาก

$$\Delta\tau(r,s) = \begin{cases} (L_{gh})^{-1} & \text{if } (r,s) \in \text{global-best-tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.24)$$

โดยที่ L_{gh} คือความยาวของเส้นทางที่ดีที่สุดจากทั้งหมดเห็นได้ชัดว่ากฎการปรับฟีโรโมนทั้งแบบเฉพาะที่และวงกว้างมีความคล้ายคลึงกันแต่มีข้อแตกต่างเพียงอย่างเดียวคือภายหลังจากที่ฟีโรโมนของเส้นทางทุกเส้นที่ให้การเดินทางที่สั้นที่สุดมีการระเหยไปจำนวนหนึ่งเส้นทางเหล่านี้จะได้รับฟีโรโมนเพิ่มขึ้นอีกตามส่วนกลับของความยาวของเส้นทางที่ดีที่สุดจากทุกเส้นทาง

ภาพรวมของอัลกอริทึมขั้นตอนวิธี ACS ในงานวิจัยสามารถสรุปเป็นรหัสเทียมได้ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งประกอบด้วยกฎการเปลี่ยนสถานะ กฎการปรับฟีโรโมนเฉพาะที่และวงกว้าง



ภาพที่ 3.4 รหัสนิยามของขั้นตอนวิธีระบบอาณานิคมมด

3.6.2 โครงสร้างวิธีระบบอณานิคมมด สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง

ในงานวิจัยผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีอณานิคมมด สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งไว้ 4 ระยะคือ

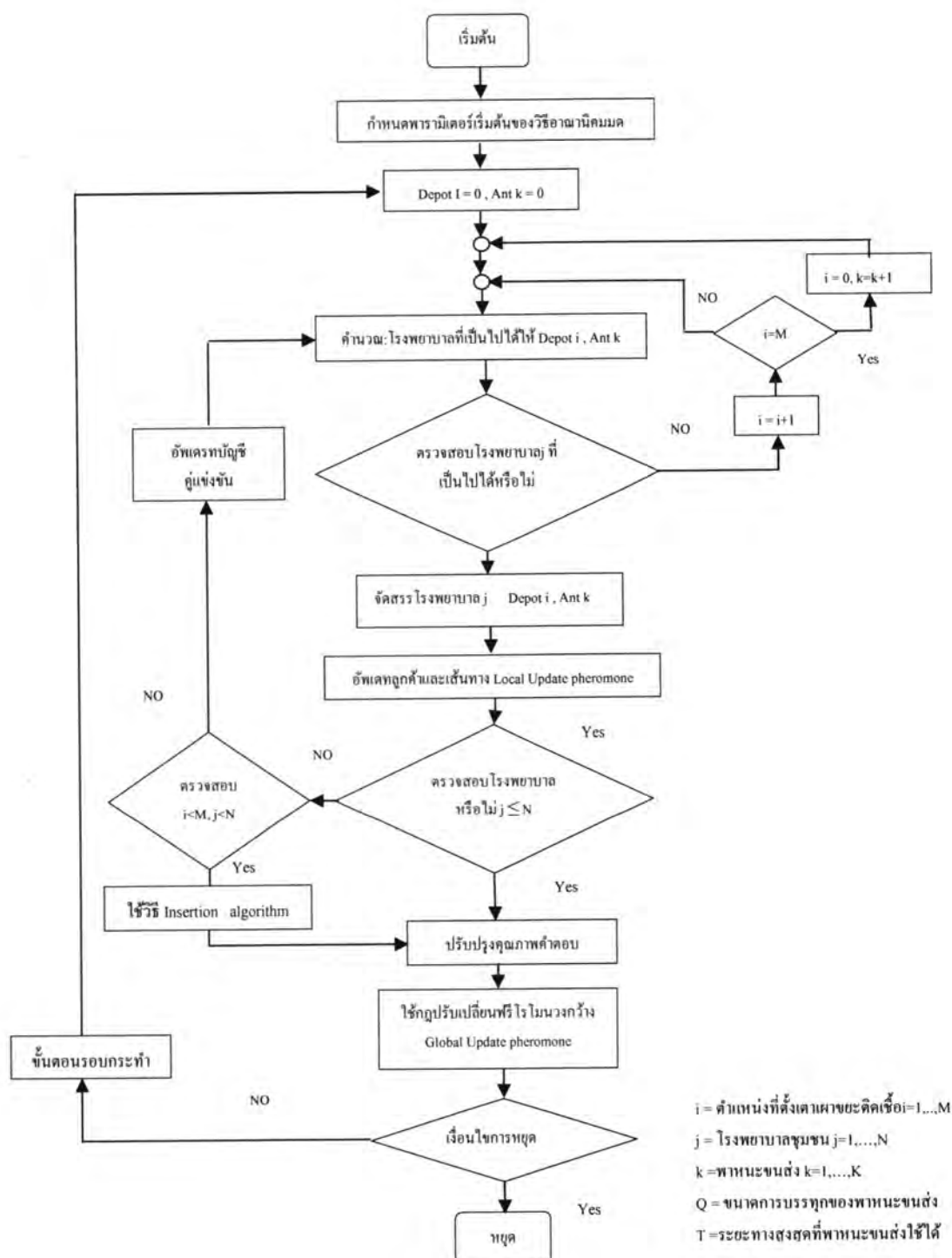
การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธีระบบอณานิคมมด (ACS)

การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Updating Rule)

การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีโลคอลเสิร์จ

การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง (Global Updating Rule)

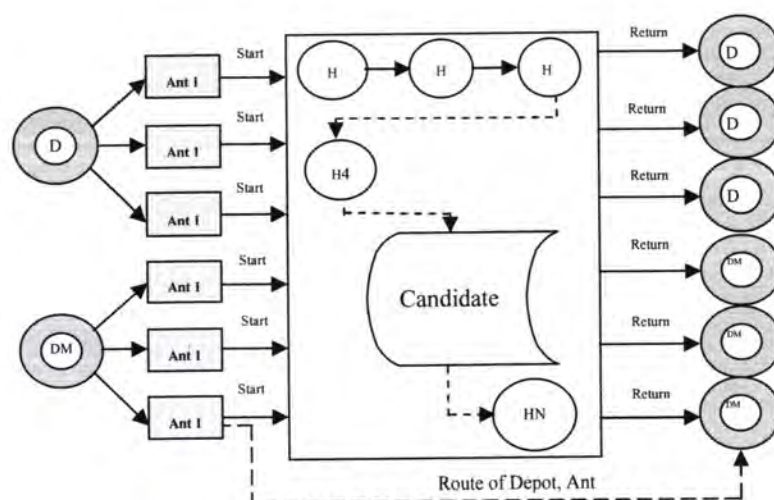
การพัฒนาฮิวริสติกแสดงโดยภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 3.5



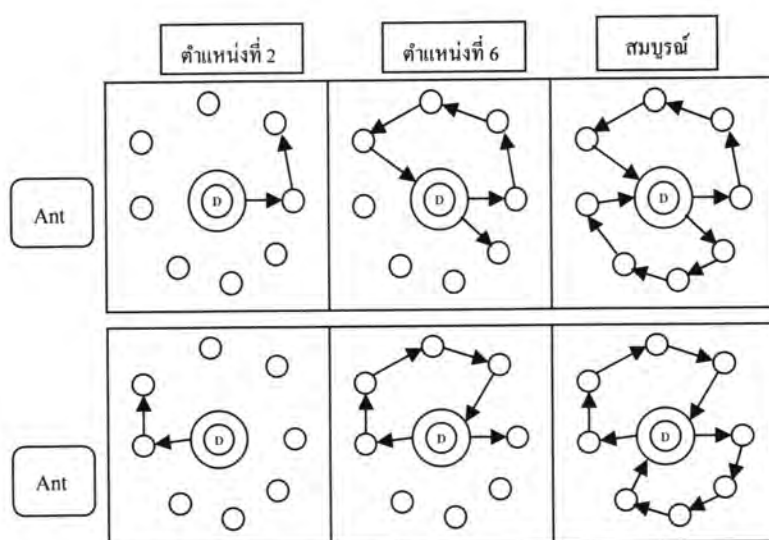
ภาพที่ 3.5 ระบบอาณานิคมมด สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง

3.6.2.1 การสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solutions)

- 1) ขั้นตอนการตั้งค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง สำหรับหาคำตอบของ วิธีระบบอาณานิคมมดซึ่งจะได้อธิบายในบทถัดไป
- 2) ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Solutions generation) หลังจากกำหนดจำนวนมด เข้าไปในแต่ละตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อมดซึ่งแสดงในภาพที่ 3.6 จากนั้นให้มดแต่ละตัวทำการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.7



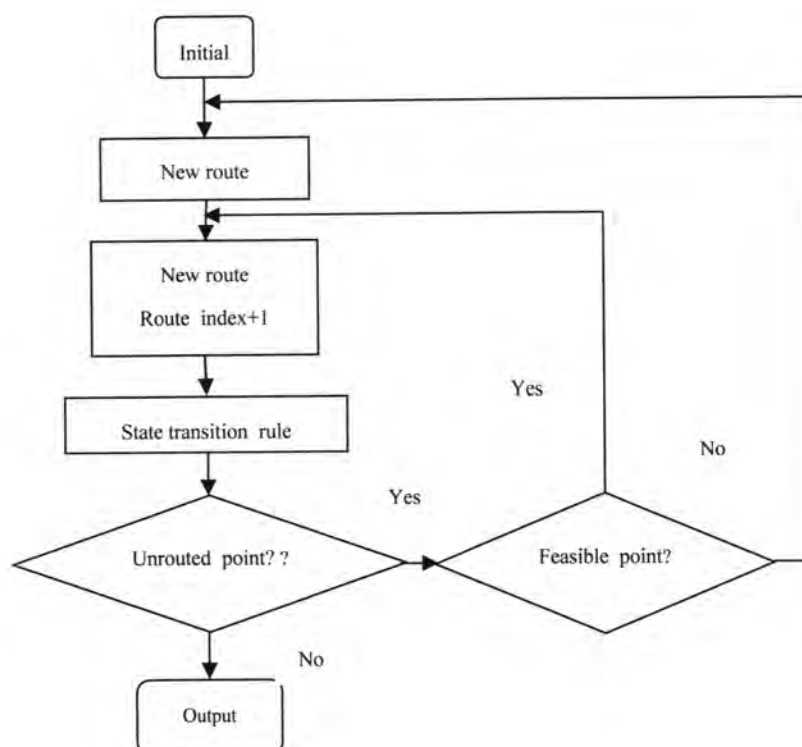
ภาพที่ 3.6 กำหนดมดเข้าประจำการที่ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ



ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนมดสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข

ใช้วิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข โดยการใช้วิธีระบบอาณานิคมมดจะทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของโรงพยาบาลทุกแห่งที่อยู่ในบัญชีคู่แข่งที่มดยังไม่ได้เดินทางไปพบด้วยสมการที่ (3.20) จากนั้นมดจะทำการเลือกสุ่มเลือกโรงพยาบาลแล้วคำนวณหาปริมาณขยะที่เก็บจากแห่งนั้นไม่เกินความจุของรถและไม่เกินความจุแต่ละที่ตั้งเตาที่สามารถรับได้ และระยะทางปัจจุบันเพื่อไม่ให้เกินระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ได้ต่อ 1 เส้นทางและไม่ให้การสร้างเส้นทางขัดแย้งกับเงื่อนไข

วิธีการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งจะมีด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบวิธีคู่ขนาน (Parallel method) หมายถึง การสร้างเส้นทาง โดยที่ใช้การสลับเปลี่ยนมดที่ประจำอยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางแต่ละแห่ง เมื่อสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งเสร็จสิ้นในหนึ่งเส้นทาง และอีกวิธีหนึ่งที่ผู้วิจัยใช้ในการสร้างเส้นทาง การเดินของมด คือ แบบวิธีลำดับชั้น (Sequential method) หมายถึง การสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งของตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื่อแต่ละแห่งจนกว่าพาหนะขนส่งจะหมดลงแล้วจึงจะให้มดถัดไปหรือที่อยู่ศูนย์กระจายสินค้ากลางถัดไปสร้างเส้นทางได้ ดังในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 แบบวิธีลำดับชั้น (Sequential method)

การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Updating Rule) หลังจากที่มีมดได้เดินทางจากเมือง r ไปยังเมือง s ระดับ ฟีโรโมนบนเส้นทางระหว่างเมือง r และ s จะถูกปรับโดยสมการ

$$\tau(r,s) \leftarrow (1-\rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot \Delta\tau(r,s) \quad (3.25)$$

เมื่อ ρ คืออัตราการปรับฟีโรโมนเฉพาะที่ ($0 \leq \rho \leq 1$)

$\Delta\tau(r,s) = \tau_0$ เป็นแฟกเตอร์การปรับฟีโรโมน

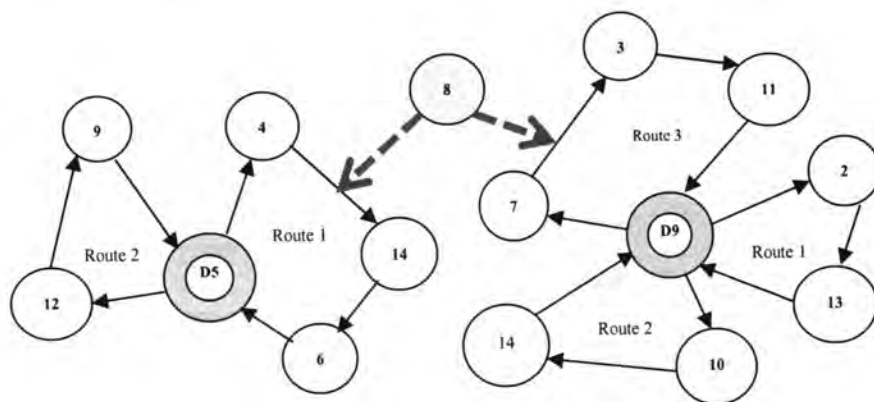
กำหนดโดย $\tau_0 = (n \cdot L_{nm})^{-1}$

n คือจำนวนเมืองทั้งหมดในปัญหานี้

L_{nm} เป็นความยาวของเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด

กำหนดจากการใช้กฎฮิวริสติกเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดเห็นได้ว่าพจน์แรกของสมการทางด้านขวาแสดงถึงปริมาณฟีโรโมนที่มีอยู่บนเส้นทางได้ระเหยไปจำนวนหนึ่งส่วนพจน์ที่สองคือปริมาณฟีโรโมนที่มดทิ้งไว้บนเส้นทางนอกเหนือจากการใช้กฎการปรับฟีโรโมนเฉพาะที่แล้วปริมาณฟีโรโมนบนเส้นทางยังสามารถเปลี่ยนแปลงโดยกฎการปรับฟีโรโมนวงกว้างซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อถัดไป

ถ้าหากขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์ตรวจสอบได้ว่าจำนวนของมดที่กำหนดใช้งานไปจนหมดแล้ว แต่ยังมีโรงพยาบาลชุมชนที่ยังไม่เข้าไปเก็บขยะหลงเหลืออยู่ภายในบัญชีคู่แข่ง สำหรับวิธีการแทรกโรงพยาบาลไปในเส้นทางต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.9 การใช้วิธีอินเสิร์จ (Insertion algorithm)

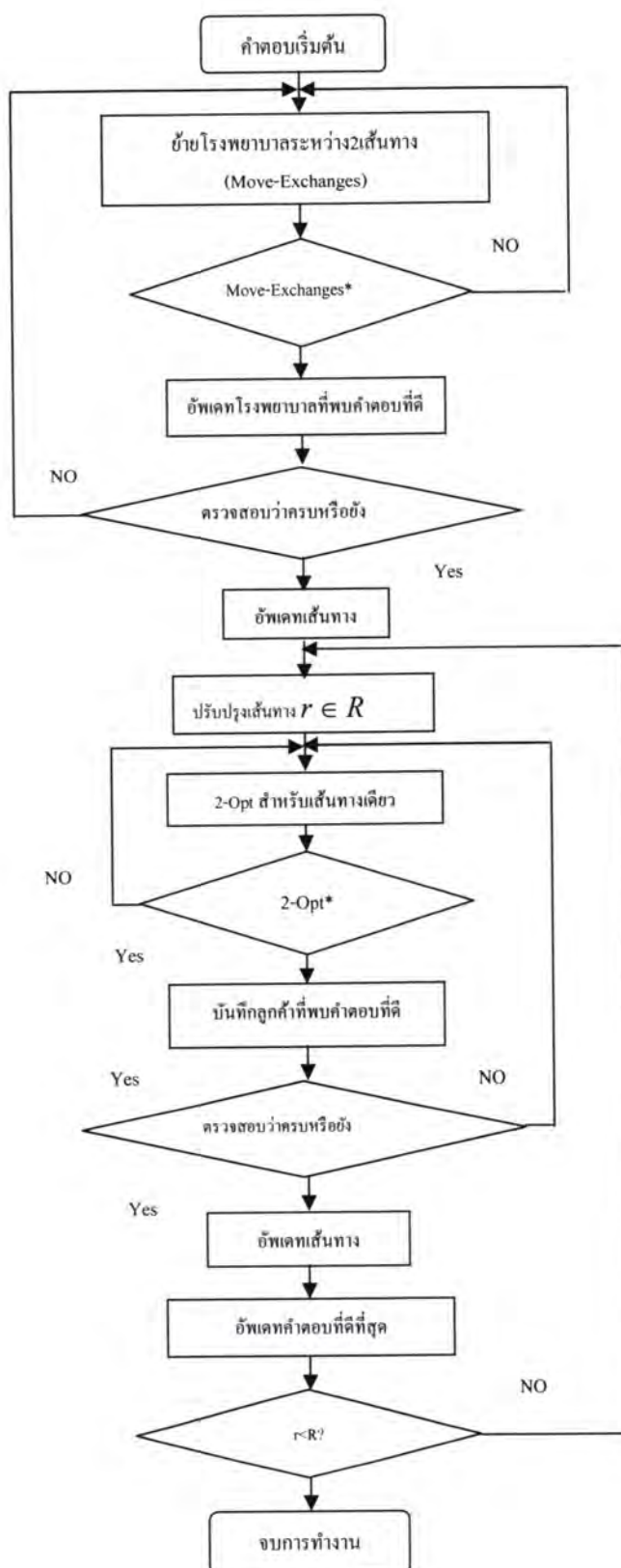


ภาพที่ 3.9 การใช้วิธีอินเสิร์จ (Insertion algorithm)

3.6.2.2 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีโลคอลเสิร์จ

การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยหรืออาจเรียกได้ว่าเป็นวิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอลเสิร์จ (Local Search) วิธีการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยจะเริ่มต้นจากผลเฉลยที่เป็นไปได้หรือผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลย

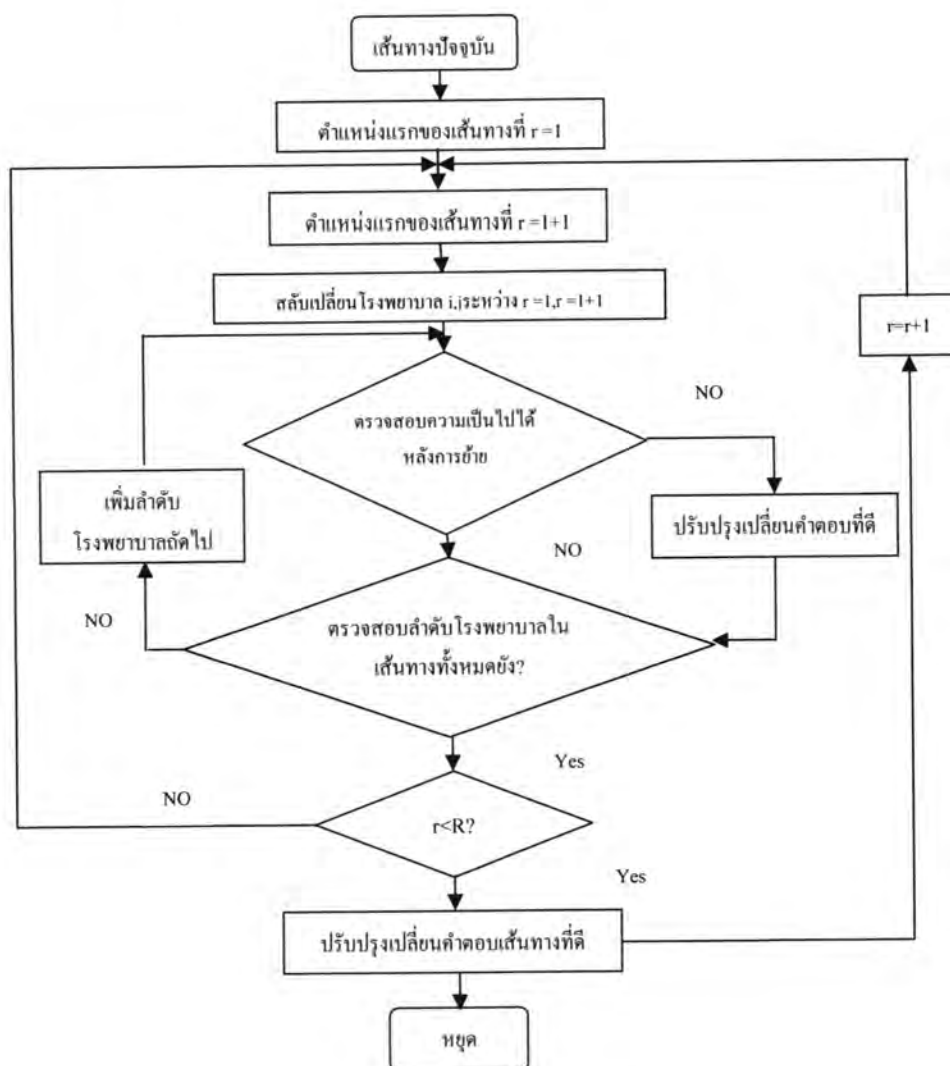
ผู้วิจัยทำการประยุกต์การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีเทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่างๆ โดยใช้ วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) และวิธี 2-Opt ฮิวริสติกเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยโดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันและระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งหลังจากที่สร้างผลเฉลยเริ่มต้นจากวิธีระบบอาณานิคมมด ขั้นตอนต่างๆแสดงดังภาพที่ 3.10



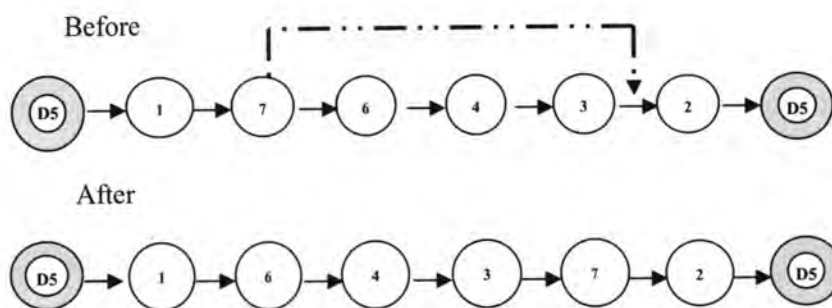
ภาพที่ 3.10 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย (Improvement solutions)

รายละเอียดของฮิวริสติกต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) วิธีการย้ายโรงพยาบาล แสดงขั้นตอนของวิธีการในภาพที่ 3.11 โดยใช้ตัวดำเนินการการย้ายตำแหน่งโรงพยาบาล (1,0) หมายถึงการย้ายตำแหน่งโรงพยาบาล 1 ราย จากเส้นทางพาหนะขนส่งหนึ่งไปยังอีกเส้นทางพาหนะขนส่งหนึ่งโดยที่มีการย้ายเส้นทาง สลับเปลี่ยนตำแหน่งโรงพยาบาลในเส้นทางพาหนะขนส่งตัวเอง และระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.12 เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงผลเฉลยหนึ่งไปยังอีกผลเฉลยหนึ่งภายในเนเบอร์ฮูดเดียวกัน เพื่อให้สามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยที่มีในปัจจุบัน

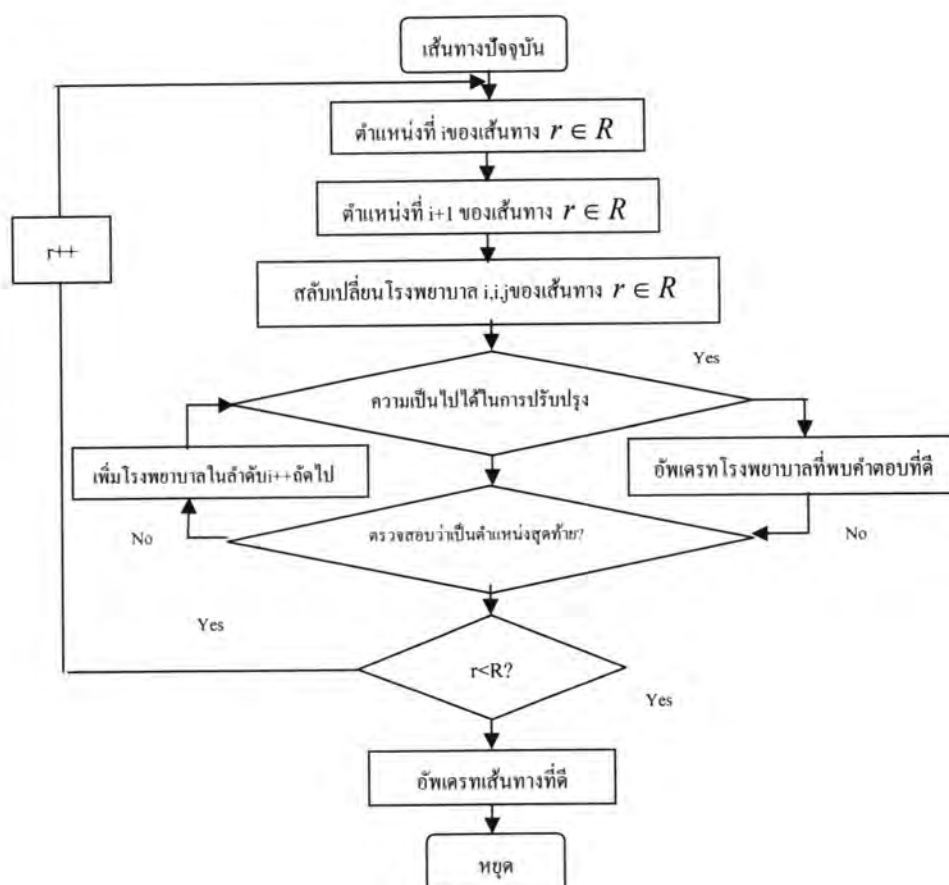


ภาพที่ 3.11 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ Move Exchanges

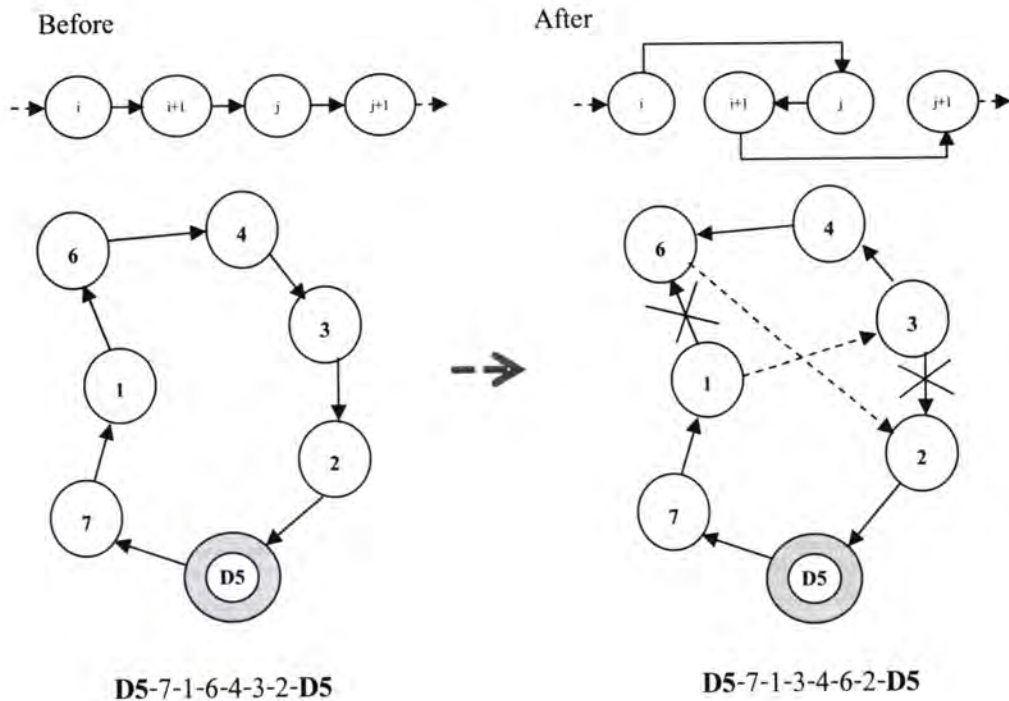


ภาพที่ 3.12 ตัวดำเนินการ Move Exchanges

2) วิธี 2-Opt และวิธีวิวิธวิธีสลับเปลี่ยนของ อัลกอริทึมนี้จะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่งโรงพยาบาล (Swap) ภายในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันและระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งอื่นๆ ที่เป็นไปได้โดยจะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่งขั้นตอนการทำงานของวิธีการ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 และภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.13 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ 2-Opt



ภาพที่ 3.14 ตัวดำเนินการ 2-Opt

3.6.2.3 การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง (Global Update Rule)

รอบกระทำซ้ำหนึ่งๆ ผู้วิจัยได้นิยามให้อัลกอริทึมสร้างรอบกระทำซ้ำภายใน (Max Internal loop) ขึ้นมาจำนวนหนึ่งที่ไม่มากเกินไปเพื่อให้มันสร้างชุดคู่แข่งชั้นผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Candidate solutions) ออกมา 1 ชุดโดยใช้หลักการเดียวกันกับวิธีของ Elitist ant เพื่อหาผลเฉลยที่ดีและนำไปสู่การหาค่าผลเฉลยที่ดีที่เหมาะสมยิ่งขึ้น ในที่นี้ผู้วิจัยนิยามให้อัลกอริทึมสร้างผลเฉลย ออกมา 10 ชุด อัลกอริทึมจะทำการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจากชุดผลเฉลยทั้ง 10 ชุด โดยการเรียงลำดับของค่าฟิสเนสที่ต่ำที่สุดไปจนกระทั่งค่าฟิสเนสที่มากที่สุดค่าฟิสเนสที่ดีที่สุด คือผลเฉลยที่ให้ค่าฟิสเนสที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในลำดับที่หนึ่งและเรียกคำตอบอันนี้ว่า "Iteration-Best" ซึ่งก็คือผลเฉลยที่ดีที่สุดของรอบการคำนวณและทำการค้นหาคำตอบที่ดีกว่า "Iteration-Best" เรียกว่า "Global-Best" ฉะนั้น ในการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง ในรอบกระทำซ้ำหนึ่งๆ จะทำการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนให้แก่เส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น โดยสมการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนตามสมการที่ (3.6)

$$\tau(r, s) \leftarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta\tau(r, s) \quad (3.26)$$

α = ค่าพารามิเตอร์ของ อัตราการปรับ ฟีโรโมนวงกว้าง ($0 \leq \alpha \leq 1$)

โดยที่

$$\Delta\tau(r,s)=\begin{cases} (L_{gb})^{-1} & \text{if } (r,s) \in \text{global-best-tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.27)$$

L_{gb} = ระยะทางที่สั้นที่สุด

ในการปรับฟิโรโมนแต่ละครั้งกับเส้นทางที่ดีที่สุดค่า $\tau(r,s)$ โดยที่ให้ค่าของ L_{gb} เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Iteration-Best และ Global-Best ที่ให้ระยะทางของเส้นทางใดที่ให้ค่าระยะทางที่สั้นที่สุดเท่าที่หาได้ ค่านี้จะให้เป็น L_{gb} และถ้าค้นพบค่าใหม่ที่ให้ค่าระยะทางที่สั้นกว่าก็จะทำการเปลี่ยนค่าที่พบใหม่นี้แทนใน L_{gb} ทันที

3.6.1 ตัวอย่างขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system: ACS)

ตัวอย่างขั้นตอน ในการแก้ปัญหาจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อกรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะขอยกตัวอย่างโรงพยาบาลชุมชน 8 แห่ง ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 2 แห่ง มีข้อมูลระยะทาง และ ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นแต่ละแห่งต่อวัน เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับปัญหาที่ทำวิจัยมากที่สุด ผู้วิจัยจะแสดงขั้นตอน ดังนี้

ตารางที่ 3.1 เมตริกระยะทางของโรงพยาบาลชุมชนจำนวน 10 แห่ง

Hos.	H1*	H2*	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
H1*(Depot1)	0	40	40	61	53	62	30	90	42	20
H2*(Depot2)	40	0	63	47	76	51	62	18	66	32
H3	40	63	0	55	13	21	33	54	54	31
H4	61	47	55	0	56	13	82	67	10	65
H5	53	76	13	56	0	21	46	58	67	31
H6	62	51	21	13	21	0	42	34	64	51
H7	30	62	33	82	46	42	0	62	21	30
H8	90	18	54	67	58	34	62	0	79	90
H9	42	66	54	10	67	64	21	79	0	49
H10	20	32	31	65	31	51	30	90	49	0
ปริมาณขยะติด เชือกก./วัน	0	0	12	14	17	20	20	21	19	19

ขั้นตอนการคำนวณสำหรับวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony System)

เริ่มต้นจากการกำหนดพารามิเตอร์ประกอบด้วย จำนวนมดที่ใช้ 2 ตัว

$\alpha = 0.1, \beta = 2, \rho = 0.1$ การคำนวณมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างฟีโรโมนเริ่มต้น $\Delta\tau(r,s) = \tau_0$ หาได้จาก $\tau_0 = (n \cdot L_{nm})^{-1}$

$n = 10$ (จำนวนโรงพยาบาลทั้งหมดในปัญหานี้)

L_{nm} (เป็นความยาวของเส้นทางระหว่างตำแหน่งที่ตั้งเตากับโรงพยาบาลที่ยามากที่สุดโดยใช้กฎเพื่อนบ้านใกล้เคียง Nearest Neighborhood Heuristic)

$$L_{1,8} = 90$$

$$\tau_0 = (10 \cdot 90)^{-1} = 0.00111$$

ขั้นตอนที่ 2 เลือกโรงพยาบาลที่มดจะเดินทางต่อไป โดยมดทั้งสองตัว จะทำการสร้างเส้นทางของตัวเองเป็นคำตอบเริ่มต้น กำหนดค่าให้เท่ากับ $m = 10$ (รอบกระทำซ้ำ) ดังนี้

รอบกระทำซ้ำที่ 1 การสร้างคำตอบของ ACS มีสมการเข้ามาเกี่ยวข้องในการเลือกโหนดเชื่อมเพื่อสร้างเส้นทาง โดยผู้ออกแบบอัลกอริทึมในการหาคำตอบกำหนดตัวเลขจริงขึ้นมา หนึ่งตัว เช่น 0.5 แทนด้วย q_0 โดยมีการกระจายการสุ่ม $0 \leq 0.5 \leq 1$ มดตัวแรกเลือกโรงพยาบาล ทำการสุ่มเลือกตัวเลขจำนวนจริงขึ้นมาหนึ่งตัวอยู่ระหว่าง $q \leq 0.5$ ให้มดตัวนั้นใช้กฎของ Arg max ในการ

เลือกโรงพยาบาลเข้ามาในเส้นทาง ถ้ากรณีอื่นๆ คือเลขสุ่มตกอยู่ระหว่าง $q > q_0$ ให้หมดตัวนั้นใช้กฎการเปลี่ยนสถานะ รายละเอียดดังนี้โดยผู้วิจัยยกตัวอย่างกรณี มีตำแหน่งที่ตั้งแห่งเดียว

(1) กรณีที่ $q \leq 0.5$ หรือตัวเลขสุ่มที่ได้ตกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.5

$$s = \arg \max_{u \in J_k(r)} \{ [\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta \} \text{ เมื่อ } J_1(1) = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

$$\max \{ [\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta \}$$

$$\max [\tau(1,3)]^{0.1} \cdot [\eta(1,3)]^2, [\tau(1,4)]^{0.1} \cdot [\eta(1,4)]^2, [\tau(1,5)]^{0.1} \cdot [\eta(1,5)]^2$$

$$[\tau(1,6)]^{0.1} \cdot [\eta(1,6)]^2, [\tau(1,7)]^{0.1} \cdot [\eta(1,7)]^2, [\tau(1,8)]^{0.1} \cdot [\eta(1,8)]^2, [\tau(1,9)]^{0.1} \cdot [\eta(1,9)]^2, [\tau(1,10)]^{0.1} \cdot [\eta(1,10)]^2$$

$$\max [0.0444]^{0.1} \cdot [0.02500]^2, [0.06771]^{0.1} \cdot [0.01639]^2$$

$$[0.05883]^{0.1} \cdot [0.01887]^2, [0.06882]^{0.1} \cdot [0.01613]^2, [0.0333]^{0.1} \cdot [0.03333]^2, [0.0999]^{0.1} \cdot [0.01111]^2$$

$$[0.04662]^{0.1} \cdot [0.02381]^2, [0.0222]^{0.1} \cdot [0.05000]^2$$

$$\max(0.000458, 0.000205, 0.000268, 0.000199, 0.000791, 0.000098, 0.000417, 0.007789)$$

$$\text{ดังนั้น } s = 10 \text{ หรือ } m_{1,10} = 10$$

(2) กรณีอื่นๆ $q > q_0$ หรือตัวเลขสุ่มที่ได้ตกอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1

$$p_k(r, S) = \frac{[\tau(r, S)]^\alpha \cdot [\eta(r, S)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta} \text{ เมื่อ } J_1(1) = \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$$

$$\text{และ } \sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u)]^\alpha \cdot [\eta(r, u)]^\beta$$

$$= [\tau(1,3)]^\alpha \cdot [\eta(1,3)]^\beta + [\tau(1,4)]^\alpha \cdot [\eta(1,4)]^\beta + [\tau(1,5)]^\alpha \cdot [\eta(1,5)]^\beta +$$

$$[\tau(1,6)]^\alpha \cdot [\eta(1,6)]^\beta + [\tau(1,7)]^\alpha \cdot [\eta(1,7)]^\beta + [\tau(1,8)]^\alpha \cdot [\eta(1,8)]^\beta + [\tau(1,9)]^\alpha \cdot [\eta(1,9)]^\beta + [\tau(1,10)]^\alpha \cdot [\eta(1,10)]^\beta$$

$$= [0.0444]^{0.1} \cdot [0.02500]^2 + [0.0677]^{0.1} \cdot [0.01639]^2$$

$$[0.05883]^{0.1} \cdot [0.01887]^2 + [0.06882]^{0.1} \cdot [0.01613]^2 + [0.0333]^{0.1} \cdot [0.03333]^2 + [0.0999]^{0.1} \cdot [0.01111]^2$$

$$[0.04662]^{0.1} \cdot [0.02381]^2 + [0.0222]^{0.1} \cdot [0.05000]^2$$

$$\begin{aligned}
 &= (0.000458 + 0.000205 + 0.000268 + 0.000199 + 0.000791 + 0.000098 + 0.000417 + 0.007789) \\
 &= 0.010225
 \end{aligned}$$

ถ้า $p_k(r, S) =$

$$P_1 = (1, 3) = 0.000458 / 0.010225 = 0.11044$$

$$P_1 = (1, 4) = 0.000205 / 0.010225 = 0.04954$$

$$P_1 = (1, 5) = 0.000268 / 0.010225 = 0.06470$$

$$P_1 = (1, 6) = 0.000199 / 0.010225 = 0.04803$$

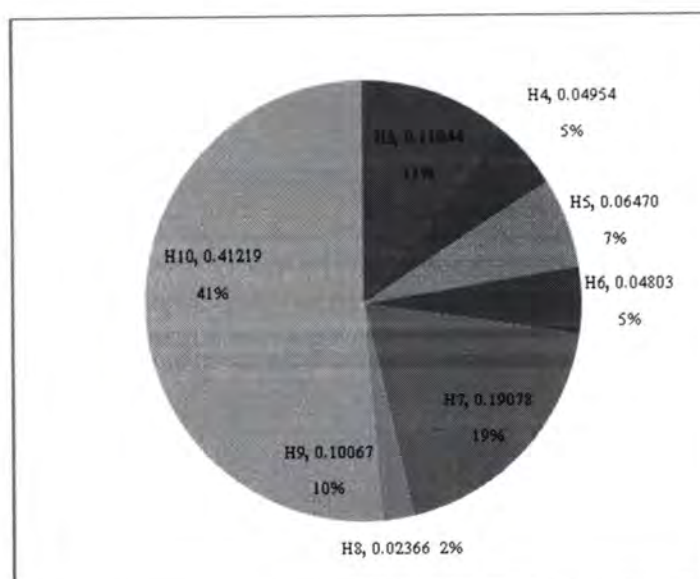
$$P_1 = (1, 7) = 0.000791 / 0.010225 = 0.19078$$

$$P_1 = (1, 8) = 0.000098 / 0.010225 = 0.02366$$

$$P_1 = (1, 9) = 0.000417 / 0.010225 = 0.10067$$

$$P_1 = (1, 10) = 0.007789 / 0.010225 = 0.41219$$

คำนวณหาความน่าจะเป็นสะสม (Accumulation of probability) ของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง เพื่อทำการสุ่มเลือก โรงพยาบาลที่มีค่าน่าจะเป็นสะสม แสดงดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 วงกลมความน่าจะเป็นสะสมเพื่อเลือกโรงพยาบาลในการเชื่อมต่อ

ทำการสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัวซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ หากตัวเลข สุ่มนี้ตกอยู่ในช่วงใดของวงกลม รูลีต จะทำการเลือกโรงพยาบาลๆ นั้นเป็นโรงพยาบาลลำดับถัดจากตำแหน่งที่ตั้งเดิมที่ 1 สมมติว่า ตัวเลขสุ่มเป็น 0.1724 ซึ่งตัวเลขตกอยู่ในช่วงที่ต้องทำการเลือกโรงพยาบาล H9 ดังนั้น เส้นทางที่ได้ ในขณะนี้คือ D1-H9 ลำดับถัดไปจะทำการสุ่มหาโรงพยาบาลที่ต้องเดินทางต่อจากโรงพยาบาล H9 ซึ่งในขณะนี้โรงพยาบาลในบัญชีของ CL ผู้แข่งขัน (Candidate list :CL) เหลือเพียง 7 แห่ง คือ โรงพยาบาลH3, H4, H5, H6, H7, H8, H10 ซึ่งสามารถหา ความน่าจะเป็นของการจะเดินทางจาก โรงพยาบาล H9 ไปในอีก 7 แห่งที่เหลือ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการปรับปรุงฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Pheromone Updating) หลังจาก มดทุกตัว สร้างเส้นทางขนส่งในรอบที่ 1 เสร็จสมบูรณ์ (หมายถึงเดินทางครบทุกโหนดที่เป็น โรงพยาบาล) มดจะทำการปรับปรุงฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Pheromone Updating) ตามสมการ ดังนี้

$$\tau(r,s) = (1 - \rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot \Delta\tau(r,s), 0 < \rho < 1$$

มดตัวแรก

$$\begin{aligned}\tau(1,9) &= (0.9) \cdot \tau(1,9) + 0.1 \cdot \tau_0(1,9) \\ \tau(0.9) \cdot 0.00111(0.10067) &+ 0.1 \cdot 0.00111(0.10067) \\ &= 0.00011\end{aligned}$$

สำหรับฟีโรโมนบนด้านเชื่อม (1,9) โดยเลือกผลจากตัวเลขสุ่มที่ทำการเลือก โรงพยาบาล H9จากคำตอบในการคำนวณหาความน่าจะเป็นสะสม ซึ่งมด เดินผ่านมาและทำการ ปรับปรุงฟีโรโมนเริ่มต้นสำหรับด้านเชื่อมทั้งหมดเป็น τ_0 ดังนั้น ในรอบแรกของการใช้ฟีโรโมน เฉพาะที่ (Local Pheromone Updating) จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ถ้าฟีโรโมนด้านเชื่อมทั้งหมดจะ เปลี่ยนแปลงไป ก็ต่อเมื่อมีการปรับปรุงฟีโรโมนวงกว้าง (Global Pheromone)

ขั้นตอนที่ 4 จะทำงานสัมพันธ์กับขั้นตอนที่ 3 ไปจนกระทั่งครบ n ครั้ง ที่มดจะทำการ จัดสรรโรงพยาบาลหรือสร้างเส้นทางขนส่งที่สมบูรณ์ (Complete Tour) ซึ่งคำตอบที่ได้รับจาก มดเมื่อครบรอบกระทำซ้ำ n แสดงได้ดังนี้

Solution 1

Depot 1 Ant 1 : D1-H10-H7-H9-H3-D1

Depot 2 Ant 1 : D2-H8-H5-H6-H4-D2

Solution 2

Depot1 Ant2 : D1-H6-H3-H5-H8-D1

Depot2 Ant2 : D2-H10-H7-H9-H4-D2

จากนั้น ประเมินการเพื่อหาว่าระยะทางรวมของเส้นทางทั้งหมดได้รับเป็นเท่าใด และลำดับของลูกค้าหลังการปรับปรุงใหม่เป็นอย่างไร ได้ระยะทางในการคำนวณดังนี้

Solution 1

Depot1 Ant1 : D1-H10-H7-H9-H3-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 165 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H8-H5-H6-H4-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 157 กิโลเมตร

Solution 2

Depot1 Ant2 : D1-H6-H3-H5-H8-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 224 กิโลเมตร

Depot2 Ant2 : D2-H10-H7-H9-H4-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 140 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 5 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Local Search) หลังจากมคทุกตัวได้เส้นทางคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) ของตัวเองเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะต้องนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ โดยใช้เทคนิคทางฮิวริสติกต่างๆ คือ 2-opt และ Move exchange ซึ่งกระทำไปจนกว่าคำตอบที่ได้มาสามารถทำการปรับปรุงได้อีก (Non-Improving Solution) คำตอบที่ได้หลังการปรับปรุงคุณภาพคำตอบได้ดังนี้

วิธี Move exchange

คำตอบเริ่มต้น เลือกจาก Solution 1

Depot1 Ant1 : D1-H10-H7-H9-H3-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 165 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H8-H5-H6-H4-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 157 กิโลเมตร

Solution ME.1

Depot1 Ant1 : D1-H7-H9-H3-H10-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 157 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H5-H6-H4-H8-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 195 กิโลเมตร

Solution ME.2

Depot1 Ant 1 : D1-H3-H10-H7-H9-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 164 กิโลเมตร

Depot2 Ant 1 : D2-H4-H8-H5-H6-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 244 กิโลเมตร

วิธี 2-opt

เลือกคำตอบที่ดีที่สุดได้จาก วิธี Move exchange

Solution ME.1

Depot1 Ant1 : D1-H7-H9-H3-H10-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 157 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H5-H6-H4-H8-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 195 กิโลเมตร

Solution 2o.1

Depot1 Ant1 : D1-H10-H9-H3-H7-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 186 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H5-H8-H4-H6-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 265 กิโลเมตร

Solution 2o.2

Depot1 Ant1 : D1-H7-H10-H3-H9-D1 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 187 กิโลเมตร

Depot2 Ant1 : D2-H4-H6-H5-H8-D2 ระยะทางที่ได้เท่ากับ 157 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนการปรับปรุงฟีโรโมนวงกว้าง (Global Pheromone Updating)

หลังจากปรับปรุงคุณภาพคำตอบและได้คำตอบที่ดีที่สุดต้องทำการปรับฟีโรโมนสำหรับเส้นทางดีเท่านั้น (Globally Best Tour) ใช้สมการ ดังนี้

$$\tau(r,s) = (1-\alpha) \cdot \tau(r,s) + \alpha \cdot \Delta\tau(r,s), 0 < \alpha < 1$$

เมื่อ $\Delta\tau(r,s) = 1/L_{gb}$ if $(r,s) \in global-best-tour$ ดังนั้นเส้นทางวงปิด

ที่ดีที่สุด (Global Best Tour) = Depot1: D1-H7-H10-H3-H9-D1, Depot2: D2-H4-H6-H5-H8-D2
ระยะทางรวมที่เกิดขึ้นเท่ากับ 344 กิโลเมตร

$$\begin{aligned}\tau(1,10) &= (0.9) \cdot \tau(1,10) + 0.1 \cdot (1/344), \alpha \\ &= (0.9) \cdot 0.00111 + 0.1 \cdot (1/344), \alpha = 0.1 \\ &= 0.00129\end{aligned}$$

คำตอบสุดท้ายในขั้นตอนระบบอาณานิคมมด คำตอบที่ดีที่สุดโดยเรียงลำดับโรงพยาบาลในการในเส้นทางที่เก็บขยะติดเชื้อ (Global Best Route) Depot 1: D1-H5-H3-H6-H8-D1, Depot 2: D2-H10-H7-H9-H4-D2 ระยะทางรวมที่เกิดขึ้นเท่ากับ 351 กิโลเมตร

สรุปขั้นตอนการหาคำตอบของวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) โดยสรุป ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน หลักๆ คือ การสร้างคำตอบเริ่มต้นการปรับฟีโรโมนเฉพาะที่

การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ และการปรับพีโรโมนวงกว้าง โดยวงรอบการคำนวณของ รอบกระทำซ้ำ (Iterations) ในการค้นหาคำตอบให้ครบตามเงื่อนไขตามรอบกระทำสูงสุด (Maximum Iterations) ที่กำหนดไว้ เมื่อครบตามเงื่อนไขก็หยุดการทำงานของอัลกอริทึม และหลังจากอัลกอริทึมได้ทำตามเงื่อนไขครบแล้ว อัลกอริทึมจะคืนคำตอบออกมาเป็นเส้นทางขนส่งที่ดีที่สุด

3.7 การปรับปรุงแก้ไขวิธีการหาคำตอบ

กรณีทำการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบผลเฉลยที่ได้ระหว่างการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งโดยการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกประเภทอาณานิคมมด กับการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 การหาคำตอบจากวิธีหาคำตอบที่ดีที่สุดไม่สามารถวิเคราะห์ผลออกได้ในเวลาอันสั้นการประมวลผลหาคำตอบต้องใช้เวลาอย่างมากเนื่องจากงานวิจัยเป็นปัญหาขนาดใหญ่

ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาคำตอบจากวิธีแม่นยำตรงจากปัญหาขนาดเล็กลงโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 ซึ่งเป็นปัญหาเดียวกับงานวิจัยที่ทำ โดยนำเอาเทคนิควิธี Branch-and-Bound มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง เพื่อหาคำตอบที่ได้ มาเปรียบเทียบกับวิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบและนำมาเปรียบเทียบทำการแก้ไขวิธีการและปรับปรุงให้ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นไป

3.8 บทสรุป

จากแผนการดำเนินการการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้ง 7 ขั้นตอน ในการแสดงผลและคำตอบที่ได้จากการวิจัยได้แสดงในบทถัดไปผู้วิจัยยังได้วางแผนการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัยอื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer Hardware) และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer Software) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หน่วยประมวลผลกลาง Core i3 CPU Processor 2.3 GHz Ram8G และมีความจุของ Hard Disk 500 GB และนอกจากนั้นยังมีโปรแกรม LINGO 11 เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาคำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) และ พัฒนาโปรแกรม C++ บน Visual Studio 2012

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทที่ 4 ผู้วิจัยเสนอผลการทดลองจากวิธีแมนตรงและวิธีเชิงเมตาสีวรีสถิก ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง ขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการดังรายละเอียดในบทที่ 3 โดยผู้วิจัย ใช้โปรแกรม LINGO 11 เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนั้นบางส่วนวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ เพื่อนำไปใช้ในวิธีเมตาสีวรีสถิกใช้โปรแกรม Minitab และ โปรแกรมสำเร็จรูป Visualize C++ V 2012 ในการแก้ปัญหาวิธีระบบอาณานิคมมด ACS ทำการทดสอบวิธีการกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รุ่น Core i3 CPU Processor 2.3 GHz Ram 8 G และมีความจุของ Hard Disk 500 GB

4.1 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง FLP สำหรับการเลือกชนิดเตาเผาและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง รวมถึง ระยะทาง เวลาในการขนส่งของโรงพยาบาลที่ส่งขยะมากำจัดที่ตำแหน่งเตาเผาขยะติดเชื้อ ระหว่างตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชือกับ กับโรงพยาบาลชุมชนมีค่าน้อยที่สุด โดยแสดงรายละเอียดดังนี้

ในการศึกษาปัญหาผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลระยะทางระหว่างโรงพยาบาลทั้งหมดและปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นแสดงในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 เมตริกซ์ระยะทางของโรงพยาบาลชุมชนจำนวน 107 แห่ง

Hos.	H1	H2	H3	H4	H5	..	H107
H1	0	164	74	131	122	..	100
H2	164	0	169	176	160	..	190
H3	74	169	0	76	63	..	29
H4	131	176	76	0	35	..	106
H5	122	160	63	35	0	..	97
:	:	:	:	:	:	0	:
H107	100	190	29	106	97	..	0

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นของโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่ง

รหัสโรงพยาบาล	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	..	H107
ปริมาณขยะติดเชื้อ (กก./วัน)	21	20	19	17	21	21	21	14	17	..	20

ต้นทุนผันแปรหรือต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation Cost; a) เท่ากับ 2 บาท/กก./กม. (โดยคิดจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิง) และต้นทุนค่าดำเนินการ (Operating Cost) เช่น ค่าลงทุน ค่าจ้างต่างๆ ค่าสาธารณูปโภค รวมถึงค่าเสื่อมราคาของครุภัณฑ์ หรือสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลต้นทุน ของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ ซึ่งมีอัตราการการกำจัด ราคา ค่าเสื่อมราคาต่างกัน ตามลักษณะของเตา ในส่วนของอายุการใช้งานมีค่าเท่ากันคือ 3,650 วัน ต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อทั้ง 3 แบบประกอบด้วยค่าจ้างพนักงาน ค่าดำเนินการเผา ค่าบำรุงเตา ค่าสาธารณูปโภค ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าเสื่อมราคา โดยมีต้นทุนค่าใช้จ่ายของเตาเผาขนาด 400 กิโลกรัม/วัน 800 กิโลกรัม/วัน และ 1,200 กิโลกรัม/วันเท่ากับ 3,569 บาท/วัน 4,579 บาท/วัน และ 5,543 บาท/วัน ตามลำดับดังในตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดของลักษณะของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ (อนุชา ศรีบุญรัมย์ และ สมบัติ สันธุเชาวน์, 2556)

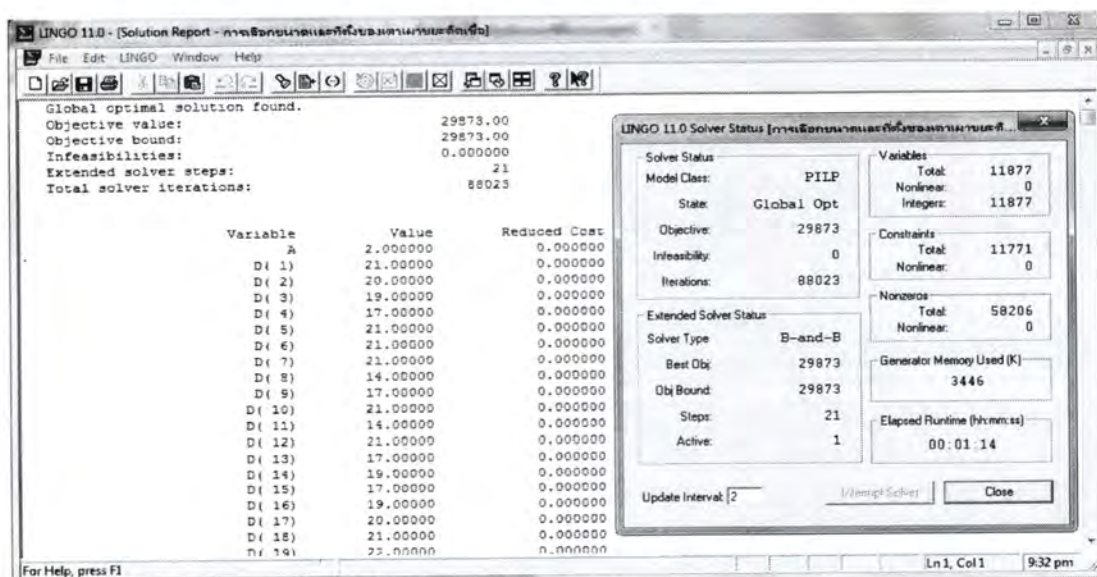
ลักษณะของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ (กก./วัน)	400	800	1,200
ราคาเตาเผาขยะติดเชื้อ (บาท)	1,200,000	1,800,000	2,200,000
อายุการใช้งาน (วัน)	3,650	3,650	3,650

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ (อนุชา ศรีบุญรัมย์ และ สมบัติ สันธุเชาวน์, 2556)

ค่าใช้จ่ายของเตาเผาขยะติดเชื้อ	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
ค่าเสื่อมราคา (บาท/วัน)*	329	493	603
ค่าสาธารณูปโภค (บาท/วัน)	660	730	800
ค่าบำรุงเตา (บาท/วัน)	280	350	420
ค่าจ้างพนักงาน (2 คน/วัน/เตา)**	700	700	700
ค่าดำเนินการเผา (2 บาท/ กก.)	800	860	920
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง (บาท/วัน)	800	1,500	2,100
รวม(บาท/วัน)	3,569	4,579	5,543

*หมายเหตุ ค่าเสื่อมราคาคิดจาก ราคาเตา (บาท)/อายุการใช้งาน (วัน)

**ค่าจ้างพนักงานคิดจากค่าแรง 350 บาท/วัน/คนพนักงาน 2 คน

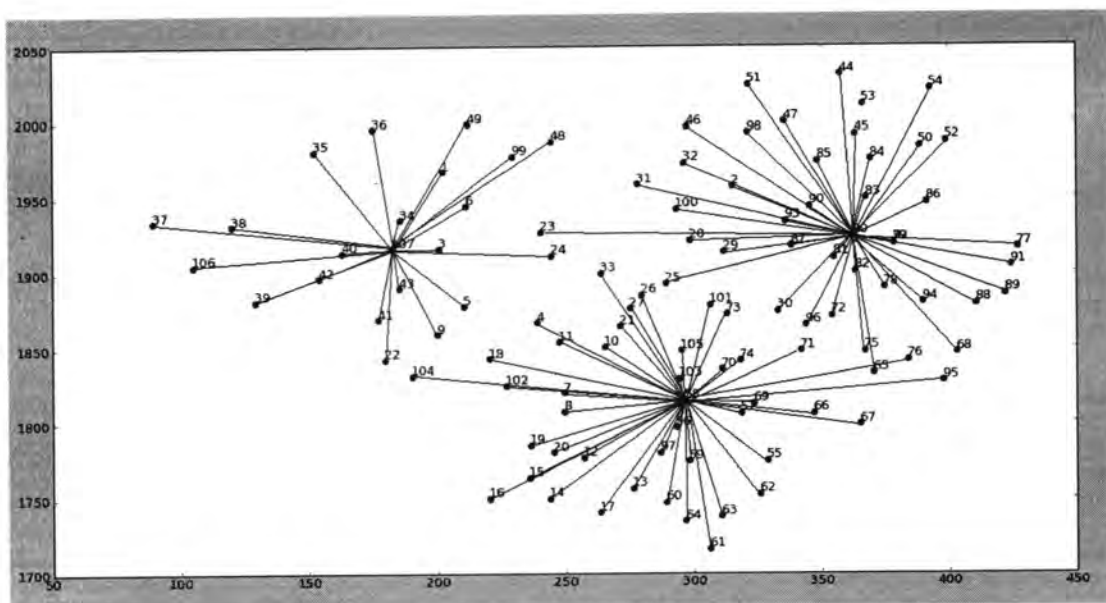


ภาพที่ 4.1 ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผล โปรแกรม LINGO 11 ปัญหาการเลือกขนาดและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 4.5 ผลคำตอบการแบ่งกลุ่มโรงพยาบาลชุมชนที่ส่งขยะติดเชื้อให้ตำแหน่งเตาเผา โดยโปรแกรม LINGO 11

ตำแหน่งโรงพยาบาล ที่เปิดเตาเผา	เลือกใช้เตาเผา ขนาด (กก./วัน)	โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อให้เตาเผาแทน โรงพยาบาล (H) ต่างๆ
H58	800	4,7,8,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,27,55,56, 57,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,74,75,76, 95,97,101,102,103,104,105
H80	800	2,23,24,25,26,28,29,30,31,32,33,44,45,46,47,50,51, 52,54,72,73,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89, 90,91,92,94,96,98,100
H107	400	1,3,5,6,9,22,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,48,49,53, 99,106

ภาพที่ 4.1 ผลคำตอบที่ได้จากโปรแกรม LINGO 11 การเลือกขนาดและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย โดยพิจารณาเฉพาะโรงพยาบาลชุมชนที่มีขนาดเตียงไม่เกิน 120 เตียง จำนวนทั้งหมด 107 แห่ง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 ขนาด คือ ความจุตั้งแต่ 400, 800 และ 1,200 กิโลกรัม และค่าดำเนินการตั้งแต่ 3,169, 4,683 และ 5,593 บาทต่อวัน ตามลำดับ จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม LINGO 11 พบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 29,873 บาทต่อวัน โดยมีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 ตำแหน่งตามภาพที่ 4.2 ดังนี้ ตำแหน่งแรกอยู่ที่โรงพยาบาลเชียงยืน เลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม ตำแหน่งที่สอง คือโรงพยาบาลพังโคน โดยมีเตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม และตำแหน่งสุดท้ายที่โรงพยาบาลเอราวัณ เลือกเตาเผาขนาดความจุ 400 กิโลกรัม ตามลำดับรายละเอียดผู้วิจัยได้นำเสนอใน ภาคผนวก ข



ภาพที่ 4.2 ผลคำตอบในการจัดกลุ่มของปัญหาการเลือกขนาดและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน

ผลคำตอบที่ได้ในการเลือกขนาดและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยจะถูกนำมาพิจารณาใช้ในการจัดเส้นทาง

สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตียงเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง ต่อไป

4.2 การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผา มากกว่าหนึ่งแห่งจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง จากผลคำตอบที่ได้ในการเลือกขนาดและที่ตั้งของเตาเผา ขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดย ที่ตั้งเกิดขึ้น 3 แห่ง แต่ละแห่ง มีความจุของเตาเผาขยะติดเชื้อมีค่าดัง ตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.6 ผลคำตอบจากปัญหาการเลือกขนาดเตาและที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งโรงพยาบาลที่เปิดเตา	แบบเตาเผาขนาดความจุ(กก./วัน)
58	โรงพยาบาลเชียงยืน	800
80	โรงพยาบาลพังโคน	800
107	โรงพยาบาลเอราวัณ	400

จากผลของคำตอบที่ได้จากปัญหาการเลือกขนาดและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับตำแหน่งที่เลือกเปิดเป็นตำแหน่งเดียวกันกับโรงพยาบาลทั้งหมดใน 107 แห่งได้ที่ตั้ง 3 แห่งดัง ตารางที่ 4.5 ซึ่งแต่ละแห่งใช้ขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนทั้งหมดรวมกันต่อวันที่สามารถรับได้ในการเก็บขยะมาทำการกำจัด

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาสำหรับรถเก็บขยะติดเชื้อ โดยมีวัตถุประสงค์หาระยะทางโดยรวมของยานพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันที่สั้นที่สุด ภายใต้เงื่อนไขโรงพยาบาลชุมชนแต่ละแห่ง สามารถรับบริการจากเตาเดียว และใช้ยานพาหนะขนส่งเพียงคันเดียวเท่านั้นผลรวมของขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชนที่ถูกส่งมากำจัดที่เตาเผาขยะติดเชื้อที่ตำแหน่งที่เปิดจะต้องไม่เกินความจุของเตานั้นๆนอกจากนั้นยังมีข้อจำกัดของรถที่สามารถบรรทุกขยะติดเชื้อได้และระยะทางที่วิ่งได้สูงสุดต่อเที่ยวโปรแกรมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นในการประมวลผลได้ แสดงไว้ที่ภาคผนวก ก

จากการหาคำตอบ โดยใช้ โปรแกรม LINGO 11 เวลาที่ใช้ประมวลผลนาน ไม่สามารถหาคำตอบได้ ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากเป็นปัญหามาตรฐานใหญ่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้หาวิธีการเพื่อหา

คำตอบ โดยประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติก วิธีระบบอานานิคมมดเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับรถเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.3 การประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกวิธีระบบอานานิคมมดแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเก็บขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง

การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีระบบอานานิคมมด ACS สำหรับหาผลเฉลยในการแก้ปัญหาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน อัตราการระเหยของฟีโรโมน และจำนวนรอบกระทำซ้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับการใช้พารามิเตอร์ที่สามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

การออกแบบการทดลองขั้นแรกผู้วิจัยทำการกำหนดช่วงค่าตั้งพารามิเตอร์ก่อนหลังจากนั้นนำพารามิเตอร์ไปใช้สำหรับแก้ปัญหา วิธีการออกแบบการทดลองได้กำหนดปัจจัยการทดลองไว้ 3 ปัจจัย ทำการศึกษาแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือค่าสูง และค่าต่ำ ช่วงของการตั้งค่าทดลองมีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ค่าถ่วงน้ำหนักค่าพารามิเตอร์ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่างค่าระยะทางกับค่าฟีโรโมน (β) ใช้ค่าพารามิเตอร์อยู่ระหว่าง 2-5 (สุพรรณ สุคสนธิ, 2551)

ปัจจัยที่ 2 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) พารามิเตอร์ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่าง 0.10-0.99 (สุพรรณ สุคสนธิ, 2551) อัตราการปรับฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local Updating Rule) ($0 \leq \rho \leq 1$)

ปัจจัยที่ 3 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (α) พารามิเตอร์ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่าง 0.10-0.99 อัตราการปรับฟีโรโมนวงกว้าง (Global Updating Rule) ($0 \leq \alpha \leq 1$)

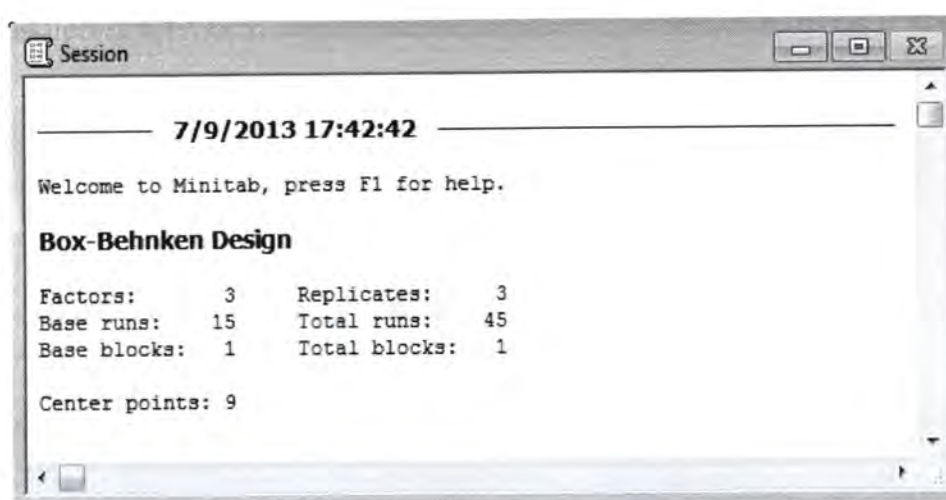
และมีอีกปัจจัยหนึ่งคือ รอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ Max Internal Loop ($I^{\max}$) สำหรับปัจจัยการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาเพื่อความสะดวกของเวลาในการประมวลผล โดยกำหนดช่วงของจำนวนรอบกระทำซ้ำขั้นต่ำที่ 100 รอบ และสูงสุดที่ 500 รอบ กระทำซ้ำ ในทุกๆ รอบกระทำซ้ำหลัก จะใช้รอบกระทำซ้ำภายใน Internal Loop อีก 10 รอบกระทำซ้ำ

การกำหนดปัจจัยและรายละเอียดของช่วงการตั้งค่าปัจจัยต่างๆ แสดงดังในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 การกำหนดปัจจัยและรายละเอียดของช่วงการตั้งค่าปัจจัยต่างๆ

ปัจจัย(Factor)	ระดับของปัจจัย (Levels)	
	ต่ำ (Low)	สูง (High)
น้ำหนักความสำคัญระหว่างค่าระยะทาง (β)	0.10	2
อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ)	0.10	1
อัตราการระเหยของฟีโรโมน (α)	0.10	1

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กับจำนวน 3 ปัจจัยการทดลอง โดยทดลองในโปรแกรม Minitab จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง แต่ละการทดลอง กำหนดจำนวนกระทำซ้ำ (Replicate) อีก 3 ครั้ง ต่อหนึ่งการทดลอง ได้จำนวนจากผลการประมวลผลทั้งสิ้น 45 ครั้ง ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.3 การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กับจำนวน 3 ปัจจัยการทดลอง
ที่มา: (โปรแกรม Minitab)

4.3.1 การทดลองสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่ง

การทดลองเพื่อหาคำตอบหาวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหา ซึ่งมีจำนวน โรงพยาบาลชุมชน 104 แห่งและตำแหน่งที่ตั้งเตา 3 แห่ง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบกับวิธีเชิงเมตาฮิวริสติกที่สร้างขึ้น ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังใน

ตารางที่ 4.7 และแสดงในภาคผนวก จ ผลการทดลองและกระบวนการทางสถิติกับปัญหาใช้วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีลำดับขั้น (Sequential Method) โดยมีค่า P ที่น้อยกว่า 0.05 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย คือค่าถ่วงน้ำหนักพีโรโมน (β) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 2 อัตราการระเหยของพีโรโมนเฉพาะที่ (ρ) เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 0.10 อัตราการระเหยของพีโรโมนวงกว้าง (α) = 0.10 และจำนวนรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (I^{Max}) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 100 รอบกระทำซ้ำ

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

Run	Alfa	Beta	Rho	Yield	Run	Alfa	Beta	Rho	Yield
1	1.00	2.00	0.55	4618	24	0.10	1.05	1.00	4709
2	1.00	1.05	1.00	4649	25	0.55	2.00	1.00	4276
3	0.55	2.00	1.00	4249	26	1.00	2.00	0.55	4092
4	0.10	0.10	0.55	4778	27	0.55	2.00	0.10	4397
5	0.10	1.05	0.10	4116	28	1.00	1.05	1.00	5235
6	0.10	2.00	0.55	4221	29	0.10	2.00	0.55	4221
7	0.55	2.00	0.10	3965	30	0.55	1.05	0.55	4398
8	0.10	1.05	0.10	4093	31	0.55	1.05	0.55	4469
9	1.00	1.05	0.10	4298	32	0.55	2.00	1.00	4006.1
10	0.55	1.05	0.55	4445	33	1.00	1.05	0.10	4622
11	0.55	1.05	0.55	4617	34	1.00	1.05	1.00	4403
12	0.55	0.10	1.00	4253	35	0.55	0.10	1.00	4189.1
13	1.00	0.10	0.55	4659	36	0.10	2.00	0.55	4395
14	0.10	1.05	1.00	4497	37	0.55	0.10	0.10	4265
15	0.10	0.10	0.55	4577	38	0.10	0.10	0.55	4643
16	1.00	2.00	0.55	5025	39	0.10	1.05	1.00	4889
17	0.10	1.05	0.10	3975	40	1.00	0.10	0.55	4160
18	0.55	0.10	0.10	4539	41	1.00	1.05	0.10	4425
19	0.55	1.05	0.55	4630	42	0.55	1.05	0.55	4933
20	0.55	1.05	0.55	4069	43	0.55	0.10	1.00	4555
21	0.55	1.05	0.55	4520	44	0.55	2.00	0.10	3793
22	0.55	1.05	0.55	4744	45	1.00	0.10	0.55	4365
23	0.55	0.10	0.10	4463					

จากตารางที่ 4.7 ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองประกอบไปด้วยจำนวนการทดลอง 3 ปัจจัยและกำหนดช่วงการตั้งค่าปัจจัยต่างๆรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 4.6 และ ภาพที่ 4.2 ได้ชุดการทดลองประกอบด้วย 3 ปัจจัย จำนวน 45 ชุดการทดลองดังข้อมูล แสดงใน ตารางที่ 4.7 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและนำผลที่ได้ จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม MINITAB มาใช้เป็นค่า

ในการวิเคราะห์ผลอีกครั้งเพื่อหาคำตอบ โดยรายละเอียดการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอาณานิคมมด ข้อมูลแสดงในภาคผนวก จ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการแก้ปัญหา จัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน 107 แห่งด้วยวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบแบบวิธีลำดับขั้น (Sequential method) มีการปรับปรุงคำตอบรวมด้วย ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบในรูปแบบ เช่น Move Exchange และ 2-opt ผลที่ได้แสดงรายละเอียดในดังนี้

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งที่ 58 โรงพยาบาลเขียงยืนเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 1,600 กิโลกรัม/ 2 วัน

โรงพยาบาลที่อยู่ในเส้นทาง	ระยะทางที่ได้	ปริมาณขยะ
58-57-69-66-67-65-95-68-75-76-71-30-72-96-73-101-29-28-25-26-27-21-10-105-74-70-58	677	895
58-103-7-8-19-20-15-16-14-17-13-60-64-61-63-62-55-97-59-56-58	525	673

ตารางที่ 4.10 ตำแหน่งที่ 80 โรงพยาบาลพังโคนเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 1,600 กิโลกรัม/ 2 วัน

โรงพยาบาลที่อยู่ในเส้นทาง	ระยะทางที่ได้	ปริมาณขยะ
80-83-84-45-85-100-31-4-11-12-102-18-6-23-24-33-87-80	915	565
80-79-92-81-82-94-78-77-91-89-88-86-50-52-54-53-44-51-47-98-46-32-2-90-93-80	722	873

ตารางที่ 4.11 ตำแหน่งที่ 107 โรงพยาบาลเอราวัณเตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม/ 2 วัน

โรงพยาบาลที่อยู่ในเส้นทาง	ระยะทางที่ได้	ปริมาณขยะ
107-43-5-9-104-22-41-42-40-38-106-37-39-35-36-49-48-99-1-34-3-107	915	726

จากผลการหาคำตอบด้วยวิธีการทางคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกระบบอาณานิคมมด ผลที่ได้ดังแสดงในตารางข้างต้น ในการหาคำตอบข้อมูลที่ทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้นโยบายแก้ไขปัญหาคำตอบการจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อให้สอดคล้องกับสภาพเป็นจริงจากที่ได้ศึกษา โดยการหาคำตอบ ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นทั้งหมด 3,732 กก./ 2 วัน โดยปริมาณของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งเตาเผาไม่นำมาใช้ในการจัดเส้นทาง ส่วนระยะทางที่อนุญาตให้รถเก็บขยะใช้ได้ไม่เกิน 960 กม./สายส่ง/ 2 วัน ปริมาณขยะติดเชื้อที่ส่งมากำจัดที่

ตำแหน่งเตาที่ 58, 80 และ 107 ตามลำดับ ได้ไม่เกิน 1,600, 1,600 และ 800 กก./ 2 วัน ตามลำดับ ความจุของรถ 1 คันสามารถเก็บขยะได้ไม่เกิน 4,000 กก. / 2 วัน

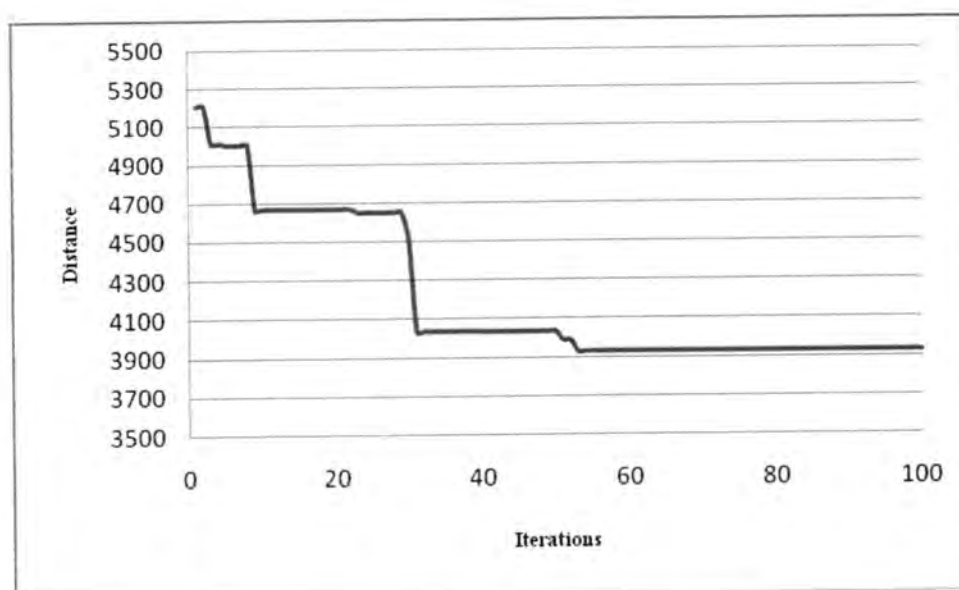
ตารางที่ 4.12 สรุปผลการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน

ตำแหน่งเตาที่	สายส่งที่	ระยะทางสูงสุด 1 สายส่งไม่เกิน 960 ก.ม./2 วัน	ระยะทางที่เกิดขึ้นในการจัดเส้นทางของตำแหน่งเตาเผา	ปริมาณขยะที่ส่งมายังตำแหน่งเตาเผา
58	1	677	1,202	1,568
	2	525		
80	1	915	1,687	1,438
	2	772		
107	1	915	915	726
รวม		3,804	3,804	3,732

สำหรับการแก้ปัญหาจัดเส้นทางสำหรับรถเก็บขยะติดเชื้อผู้วิจัยทำการวางแผนการกำจัดขยะภายในเวลา 2 วัน ในการวางแผนเพื่อให้มีความเหมาะสม จากที่ได้ทำการสำรวจและศึกษาปัญหา และเป็นไปได้ให้มากที่สุด ณ สถานปัจจุบัน



ภาพที่ 4.4 ผลคำตอบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย



ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบการประมวลผลการค้นหาคำตอบของจำนวนรอบกระทำซ้ำกับระยะทางที่ลดลง ของการประยุกต์ใช้วิธีระบบอณานิคมมด

ในการค้นหาคำตอบผู้วิจัยใช้จำนวนรอบกระทำซ้ำค้นหาคำตอบ (I^{Max}) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 100 รอบกระทำซ้ำ ผลที่แสดงบนภาพที่ 4.3 จะเห็นว่าในการประมวลผลหาคำตอบของโปรแกรม ในการจัดเส้นทาง เส้นทางรวมเริ่มต้นที่ ประมาณ 5,200 กิโลเมตร ลดลงมาถึงระยะทาง 3,804 กิโลเมตร รอบกระทำซ้ำในการหาคำตอบเพิ่มมากขึ้นและสิ้นสุดที่ 61 รอบ

ในการตั้งจำนวนรอบกระทำซ้ำในการประมวลผลหาคำตอบ การใช้จำนวนที่มากก็มีผล อาจทำให้คำตอบดีขึ้นก็เป็นไปได้

4.4 การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบการประยุกต์ใช้เมตาดิวริสติกวิธีระบบอณานิคมมดกับคำตอบของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11

การเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลกับขนาดปัญหา 17 โรงพยาบาล ตำแหน่งที่ตั้ง 3 แห่งซึ่งรวมอยู่ด้วยกันรายละเอียดแสดง ดังในภาคผนวก ฉ

นโยบาย กำหนดขนาดปัญหาโรงพยาบาล 17 แห่ง ตำแหน่งที่ตั้งเดาเผา 3 แห่ง ประกอบด้วย ตำแหน่ง ที่ 18, 19 และ 20 ตามลำดับซึ่งสามารถรับ ขยะติดเชื้อได้ ไม่เกิน 184, 202 และ 165 กก./วัน ตามลำดับ ในการกำหนดปัญหาใช้ในการประมวลผลคำตอบซึ่งได้ผลคำตอบทั้ง 2 วิธี ซึ่งแสดงในตาราง ที่ 4.12 และตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 ในการจัดเส้นทางยานพาหนะ

ตำแหน่งที่ตั้ง	สายส่ง	เส้นทางเดินรถ	ปริมาณขยะที่ กก./สายส่ง	ระยะทาง กม.
18	1	18-2-1-14-3-18	89	179
	2	18-5-4-18	41	42
19	1	19-17-15-12-16-10-11-13-9-8-7-19	150	432
20	1	20-6-20	16	9
รวม			296	662

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ในการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกจัดเส้นทางยานพาหนะโดยใช้ C++

ตำแหน่งที่ตั้ง	สายส่ง	เส้นทางเดินรถ	ความจุตำแหน่งที่ตั้ง	ระยะทาง กม.
18	1	18-2-1-17-4-5-6-7-15-13-12-18	178	400
19	1	19-3-10-11-16-14-8-9-19	118	371
20				
รวม			296	771

ตารางที่ 4.15 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธีระบบอาณานิคมด กับผลโปรแกรม LINGO 11

ผลจากโปรแกรม LINGO11				ผลจากวิธีระบบอาณานิคมด			
ตำแหน่งที่ตั้ง	สายส่ง	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทาง(กม.)	ตำแหน่งที่ตั้ง	สายส่ง	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทาง(กม.)
ตำแหน่งที่ 18	1	18-2-1-14-3-18	179	ตำแหน่งที่ 18	1	18-2-1-17-4-5-6-7-15-13-12-18	400
	2	18-5-4-18	42				
ตำแหน่งที่ 19	1	19-17-15-12-16-10-11-13-9-8-7-19	432	ตำแหน่งที่ 19	1	19-3-10-11-16-14-8-9-19	371
ตำแหน่งที่ 20	1	20-6-20	9	ตำแหน่งที่ 20			
ระยะทางรวม(กม.)			662	ระยะทางรวม(กม.)			771

สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางสำหรับรถเก็บขยะคิดเชื้อคำตอบจากการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกวิธีระบบอาณานิคมมดกับ คำตอบของการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้โปรแกรม LINGO 11 กับปัญหาขนาด โรงพยาบาล 20 แห่ง โดยใช้การหาคำตอบนำเอาเทคนิควิธี Branch-and-Bound มาใช้ในการแก้ปัญหา เนื่องจากการหาคำตอบต้องใช้เวลาในการประมวลผลที่มากผู้วิจัยจึงนำวิธีนี้มาใช้ในการช่วยหาคำตอบ

ในการประมวลผลทั้งสองวิธีผู้วิจัยได้ทำการหยุดเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม LINGO 11 ที่เวลา 10,800 วินาที และ เวลาประมวลผลของวิธีระบบอาณานิคมมดเวลา 25 วินาที ผลของคำตอบพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีระบบอาณานิคมมดในปัญหาขนาดเดียวกัน การหาคำตอบด้วยวิธีแม่นยำตรงได้ระยะทางรวมที่สั้นกว่าวิธีระบบอาณานิคมมดได้ระยะทางเท่ากับ 109 กิโลเมตร/วัน จำนวนมดที่ใช้จะมากกว่า 3 ตัว หรือ รถใช้ 3 คันสำหรับคำตอบที่ได้จากวิธีระบบอาณานิคมมด โรงพยาบาลตำแหน่งที่ตั้งที่ 20 ไม่มีขยะที่ส่งมากำจัดโดยจะกำจัดขยะคิดเชื้อจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นเอง

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีข้อสรุปที่ตรงกันว่า การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งจัดเป็นปัญหา เอ็น-พี-ฮาร์ด (NP-hard) ดังนั้นวิธีการแก้ปัญหาที่นำมาแก้ปัญหาเหล่านี้จึงมีหลากหลายวิธีการทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic methods) แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ที่สำคัญควรคำนึงถึงเรื่องเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉลยที่เหมาะสมและมีความง่ายในการนำไปใช้งานซึ่งงานวิจัยนี้ทำการศึกษาใช้วิธีการทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ระบบวิธีอาณานิคมมดสำหรับการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษา เลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน สำหรับปัญหานี้ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ วิธีแก้ปัญหาและหาคำตอบโดยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาคำตอบ วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม LINGO 11 และระยะที่ 2 นำผลจากคำตอบของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ มาแก้ปัญหการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาคำตอบ วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม LINGO 11 แต่เนื่องจากในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งจัดเป็นปัญหา เอ็น-พี-ฮาร์ด (NP-hard) ทำการประมวลผลใช้เวลานาน ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีการทางคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ระบบวิธีอาณานิคมมดเพื่อหาคำตอบ

สำหรับขั้นตอนเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนพบว่าผลคำตอบที่ดีที่สุดจากโปรแกรม LINGO 11 ได้คำตอบ ที่มีต้นทุนต่ำสุดคือเท่ากับ 29,873 บาท/วัน โดยมีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งแรกอยู่ที่โรงพยาบาลเชียงยืนเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน ตำแหน่งที่สอง คือโรงพยาบาลพังโคน โดยมีเตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน และตำแหน่งสุดท้ายที่โรงพยาบาลเอราวัณ เลือกเตาเผาขนาด

ความจุ 400 กิโลกรัม/เตา/วัน ตามลำดับ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง จากทั้งหมด 107 แห่ง รวมในปัญหาคำถามที่ตั้งแต่อีก 3 แห่ง ในการประยุกต์ใช้ระบบวิธีอานานิคมมดเพื่อหาคำตอบ ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบลำดับขั้นและค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองคือ ที่ระดับ $\beta = 2.0$, $\rho = 0.10$, $\alpha = 0.10$ และ $I^{Max} = 100$

ผลจากการทดลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนกรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่งจากทั้งหมด 107 แห่งตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 แห่ง รวมอยู่ด้วย มีดังต่อไปนี้

โรงพยาบาลเขียงยืนเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน

สายส่งที่ 1 ประกอบด้วย โรงพยาบาลตำแหน่งที่ 58-57-69-66-67-65-95-68-75-76-71-30-72-96-73-101-29-28-25-26-27-21-10-105-74-70-58 มีระยะทางรวมเท่ากับ 677 กิโลเมตร/2วัน

สายส่งที่ 2 ประกอบด้วย โรงพยาบาลตำแหน่งที่ 58-103-7-8-19-20-15-16-14-17-13-60-64-61-63-62-55-97-59-56-58 มีระยะทางรวมเท่ากับ 525 กิโลเมตร/2วัน

โรงพยาบาลพังโคนเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน

สายส่งที่ 1 ประกอบด้วย โรงพยาบาลตำแหน่งที่ 80-83-84-45-85-100-31-4-11-12-102-18-6-23-24-33-87-80 มีระยะทางรวมเท่ากับ 915 กิโลเมตร/2วัน

สายส่งที่ 2 ประกอบด้วย โรงพยาบาลตำแหน่งที่ 80-79-92-81-82-94-78-77-91-89-88-86-50-52-54-53-44-51-47-98-46-32-2-90-93-80 มีระยะทางรวมเท่ากับ 722 กิโลเมตร/2วัน

โรงพยาบาลเอราวัณเตาเผาขนาดความจุ 400 กิโลกรัม/เตา/วัน

สายส่งที่ 1 ประกอบด้วย โรงพยาบาลตำแหน่งที่ 107-43-5-9-104-22-41-42-40-38-106-37-39-35-36-49-48-99-1-34-3-107 มีระยะทางรวมเท่ากับ 915 กิโลเมตร/2วัน

สรุปได้ว่าการแก้ปัญหาการการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยใช้วิธีเชิงเมตาฮิวริสติกสามารถให้ผลเฉลยและหาคำคำตอบได้ดี แต่ถ้าเปรียบเทียบกับการหาคำตอบโดยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) ไม่สามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาอันสั้นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต

5.1.1 ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการการเลือกที่ตั้งโดยมีต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนค่าดำเนินการ ข้อมูลที่ใช้ในการหาคำตอบ เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นยังไม่รวมถึง

องค์ประกอบด้านสภาพแวดล้อม ทำให้ผลที่ได้ยังไม่ครอบคลุมถึงสภาพความเป็นจริงทั้งหมด ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.1.2 ในการแก้ปัญหาพบว่า คำตอบของการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ ซึ่งการหาคำตอบมีการเลือกขนาดความจุเตาและจำนวนที่ตั้งด้วย ซึ่งมีผลมาจากต้นทุนดำเนินการ และต้นทุนผันแปร และต้นทุนดำเนินการที่มีค่ามากกว่าต้นทุนผันแปร เป็นผลให้การเลือกที่ตั้งจำนวนเตาที่น้อย แต่ถ้าในทางกลับกัน ต้นทุนผันแปรที่มีค่ามากกว่า ต้นทุนดำเนินการ เป็นผลให้การเลือกที่ตั้งเตาจำนวนมากขึ้น ในเรื่องของการศึกษาข้อมูลมีส่วนสำคัญว่าต้นทุนต่างๆ ต้องให้สอดคล้องกับสถานะปัจจุบันมากที่สุด ทำให้มีผลกระทบต่อคำตอบมาก ในจุดนี้สามารถกำหนดพิจารณาใช้ในการวิจัยในครั้งต่อไป

5.1.3 แก่ปัญหาการการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยโดยประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติก วิธีระบบอานานิคมมด ในส่วนของการหาระดับการใช้งานของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง มีผลกระทบต่อปัจจัยหลัก ในการแก้ปัญหา การเลือกใช้กำหนดใช้ในการหาคำตอบต้อง ทำการกำหนดและออกแบบการทดลองร่วมกับการวิเคราะห์ร่วมกับวิธีการหาคำตอบทางคอมพิวเตอร์

5.1.4 ผลคำตอบที่ได้จากงานวิจัยการเลือกที่ตั้งและจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ สามารถใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการกำจัดขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทยสำหรับภาครัฐและภาคเอกชนที่สนใจ และงานวิจัยนี้สามารถต่อยอดและพัฒนาได้อีกหลายๆด้านสำหรับผู้ที่มีความสนใจ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. “รายงานหลักการกำจัดมูลฝอยที่เหมาะสม”, ใน การเก็บข้อมูลสถิติมลพิษ.

กรุงเทพมหานคร : กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2535.

กษิต์เดช สิบศิริ. การสำรวจการจัดการเตาเผาขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลชุมชนในพื้นที่ภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2554.

จันทร์ศิริ สิงห์เลื่อน. “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด”,

วารสารมก. 24(78) : 107-122 ; ตุลาคม-ธันวาคม, 2554.

ชาติรี ไชยวงศ์. “เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรการฝึกอบรมการป้องกันและระงับการแพร่

เชื้อหรืออันตรายที่อาจเกิดจากขยะติดเชื้อ”, ใน การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อม.

พิษณุโลก : กระทรวงสาธารณสุข, 2553.

จิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะ

ด้วยวิธีการอาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด”, วารสารวิจัยมข.

17(5) : 706-714; ตุลาคม-ธันวาคม, 2012.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์.

น.180-195. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

สุทธิชา ทับคารา และเสรี เสวตเสรน. “การจัดการขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร”,

วารสารมก. 24(78) : 34-46 ; ตุลาคม-ธันวาคม, 2554.

สุพรรณ สดสนธิ์. ฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งกรณีที่ศูนย์กระจายสินค้า

กลางมีมากกว่าหนึ่งแห่งโดยที่มีเงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่ง

ที่จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.

อนุชา ศรีบุญรัมย์ และสมบัติ สันธูเชวาน์. “การเลือกขนาดเตาและที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับ

โรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย”, ใน การประชุม

วิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2556. น.261-266. อุบลราชธานี :

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.

องค์การอนามัยโลก. “กฎเกณฑ์เกี่ยวกับการควบคุมโรคติดต่อ”, องค์การอนามัยโลก (World Health

Organization).[http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?องค์การอนามัย](http://guru.sanook.com/search/knowledge_search.php?องค์การอนามัยโลก)

โลก. มกราคม, 2556.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Bianchi, L., Gambardella, L.M., and Dorigo, M. "An and colony optimization approach to the Probabilistic traveling salesman problem", Mathematical Modeling and Algorithms. 3(4): 403-425, 2004
- Di Caro, G. and Dorigo, M. "Ant Net: a mobile agents approach to adaptive routing", ArtificialIntelligence Research. 9(4): 317-172, 1997.
- Dorigo, Mand Gambardella, L.M. "Ant colonies for the traveling salesman problem", BioSystems. 43(2): 73-81, 1997.
- Dorigo M and Sttze, T. Ant Colony Optimization (Bradford Books). England: The MIT Press, 2004.
- Dorigo M., V. Maniezzo & A. Colorni. "The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process", Technical Report No. 91-016 Revised, Italy: Politecnico di Milano, 1991.
- Gambardella, L.M., Taillard, E. and Dorigo, M. "Ant colonies for the quadratic assignment problem", Operational Research Society. 50(2): 167-176, 1999.
- Heusse, M and et al. "Adaptive agent-driven routing and loan balancing in communication networks", Advances in Complex Systems. 1(3): 237-254, 1998.
- Jaeger, M. and Goldberg, J.. "A polynomial Algorithm for the Equal Capacity p-Center Problem on Trees", Transportation Science. 28: 167-175, 1994.
- Ilhan, T. and Pinnar, M.C. "An Efficient Exact Algorithm for the vertex p-Center Problem", Optimization Online. http://www.optimization-online.org/DB_HTML. 2001.
- Ozsoy, F.A. and Pinar, M.C. "An Exact Algorithm for the Capacitated Vertex p-Center Problem", Computers and Operations Research. 33(5): 1420-1436, 2006.
- Pathumnakul, S. Solving multi depot vehicle routing problem for Iowa recycled paper by tabu search heuristic. Master thesis of sciences: Iowa State University, 1996.
- Sambola, M.A., Diaz, J.A., and Fernandez E. "Lagrangian Duals and Exact Solution to the Capacitated p-Center Problem", European Journal of Operational Research. 201(1): 71-81, 2010.
- Sheloker, P.S., Jayaraman, V.K. and Kulkarni, B.D. "An ant colony approach for clustering", AnalyticaChimicaActa. 509(2): 187-195, 2004.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Sodsoon, S. and Sindhuchao, S. "A Max Min Ant System for Multi-Depot routing problem", International Conference on operations and Supply Chain Management. 2: 1165-1174, 2007.
- Solomon, M. M. "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows", Operations Research. 35(2): 254-265, 1987.
- Srivastava, R. and Benton, W.C. "The location-routing Problem: consideration in physical distribution system design", Computers in Operations Research. 17: 427-435, 1990.
- United State Environmental Protection Agency (U.S.EPA), Environmental Impact Statement. U.S.A: United State, 2012.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 107 แห่ง

รหัสโรงพยาบาล	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะ/กก./วัน	หมายเหตุ
H1	โรงพยาบาลน้ำโสม	21	
H2	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านคุง	20	
H3	โรงพยาบาลนากลาง	19	
H4	โรงพยาบาลโนนสัง	17	
H5	โรงพยาบาลศรีบุญเรือง	21	
H6	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	21	
H7	โรงพยาบาลบ้านฝาง	21	
H8	โรงพยาบาลพระยืน	14	
H9	โรงพยาบาลสีชมพู	17	
H10	โรงพยาบาลน้ำพอง	21	
H11	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	14	
H12	โรงพยาบาลบ้านไผ่	21	
H13	โรงพยาบาลเปือยน้อย	17	
H14	โรงพยาบาลพล	19	
H15	โรงพยาบาลเวียงใหญ่	17	
H16	โรงพยาบาลเวียงน้อย	19	
H17	โรงพยาบาลหนองสองห้อง	20	
H18	โรงพยาบาลภูเวียง	21	
H19	โรงพยาบาลมัญจาคีรี	22	
H20	โรงพยาบาลชนบท	17	
H21	โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	21	
H22	โรงพยาบาลภูผาม่าน	20	
H23	โรงพยาบาลกุดจับ	17	
H24	โรงพยาบาลหนองวัวซอ	17	
H25	โรงพยาบาลกุมภวาปี	20	
H26	โรงพยาบาลห้วยเกิ้ง	17	
H27	โรงพยาบาลโนนสะอาด	20	

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 107 แห่ง(ต่อ)

รหัสโรงพยาบาล	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะ/กก./วัน	หมายเหตุ
H28	โรงพยาบาลหนองหาน	21	
H29	โรงพยาบาลไชยวาน	19	
H30	โรงพยาบาลวังสามหมอ	17	
H31	โรงพยาบาลเพ็ญ	17	
H32	โรงพยาบาลสร้างคอม	19	
H33	โรงพยาบาลหนองแสง	21	
H34	โรงพยาบาลนาด้วง	17	
H35	โรงพยาบาลเชียงคาน	17	
H36	โรงพยาบาลปากชม	17	
H37	โรงพยาบาลนาแห้ว	16	
H38	โรงพยาบาลภูเรือ	20	
H39	โรงพยาบาลท่าลี่	14	
H40	โรงพยาบาลวังสะพุง	21	
H41	โรงพยาบาลภูกระดึง	17	
H42	โรงพยาบาลภูหลวง	17	
H43	โรงพยาบาลผาขาว	15	
H44	โรงพยาบาลบึงกาฬ	20	
H45	โรงพยาบาลพรเจริญ	16	
H46	โรงพยาบาลโพนพิสัย	21	
H47	โรงพยาบาลโซ่พิสัย	18	
H48	โรงพยาบาลศรีเชียงใหม่	17	
H49	โรงพยาบาลสังคม	17	
H50	โรงพยาบาลเซกา	17	
H51	โรงพยาบาลปากคาด	17	
H52	โรงพยาบาลบึงโขงหลง	17	
H53	โรงพยาบาลศรีวิไล	17	
H54	โรงพยาบาลนุ่งคล้า	17	

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 107 แห่ง(ต่อ)

รหัสโรงพยาบาล	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะ/กก./วัน	หมายเหตุ
H55	โรงพยาบาลแกดำ	16	
H56	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	19	
H57	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	16	
H58	โรงพยาบาลเขียงยืน	20	ตำแหน่งที่ตั้งเดา
H59	โรงพยาบาลบรบือ	14	
H60	โรงพยาบาลนาเชือก	16	
H61	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	21	
H62	โรงพยาบาลวาปีปทุม	21	
H63	โรงพยาบาลนาइन	14	
H64	โรงพยาบาลยางสีสุราช	17	
H65	โรงพยาบาลนาค	19	
H66	โรงพยาบาลกมลาไสย	19	
H67	โรงพยาบาลร่องคำ	17	
H68	โรงพยาบาลเขาวง	17	
H69	โรงพยาบาลยางตลาด	19	
H70	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	12	
H71	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	14	
H72	โรงพยาบาลคำม่วง	12	
H73	โรงพยาบาลท่าคันโท	18	
H74	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	17	
H75	โรงพยาบาลสมเด็จ	21	
H76	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	17	
H77	โรงพยาบาลกุสุมาลย์	20	
H78	โรงพยาบาลกุคบก	19	
H79	โรงพยาบาลพระอาจารย์ฝั้นอาจโร	21	
H80	โรงพยาบาลพังโคน	21	ตำแหน่งที่ตั้งเดา
H81	โรงพยาบาลวาริชภูมิ	20	

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลโรงพยาบาลชุมชน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จำนวน 107 แห่ง(ต่อ

รหัสโรงพยาบาล	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะ/กก./วัน	หมายเหตุ
H82	โรงพยาบาลนิคมน้ำอุ่น	16	
H83	โรงพยาบาลวานรนิวาส	10	
H84	โรงพยาบาลคำตากล้า	19	
H85	โรงพยาบาลบ้านม่วง	19	
H86	โรงพยาบาลอากาศอำนวย	17	
H87	โรงพยาบาลส่องดาว	16	
H88	โรงพยาบาลเต่างอย	17	
H89	โรงพยาบาลโคกศรีสุพรรณ	15	
H90	โรงพยาบาลเจริญศิลป์	19	
H91	โรงพยาบาลโพนนาแก้ว	19	
H92	โรงพยาบาลพรรณานิคม	20	
H93	โรงพยาบาลสว่างแดนดิน	21	
H94	โรงพยาบาลภูพาน	16	
H95	โรงพยาบาลกุฉินารายณ์	20	
H96	โรงพยาบาลสามชัย	16	
H97	โรงพยาบาลกุฉีราษฎร์	17	
H98	โรงพยาบาลเฝ้าไร่	14	
H99	โรงพยาบาลโพธิ์ตาก	18	
H100	โรงพยาบาลพิบูลย์รักษ์	17	
H101	โรงพยาบาลศรีธาตุ	19	
H102	โรงพยาบาลหนองเรือ	19	
H103	โรงพยาบาลซำสูง	17	
H104	โรงพยาบาลชุมแพ	21	
H105	โรงพยาบาลกระนวน	20	
H106	โรงพยาบาลด่านซ้าย	20	
H107	โรงพยาบาลเอราวัณ	19	ตำแหน่งที่ตั้งเตา
รวม		1,931	

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างข้อมูลเมตริกซ์ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลชุมชนแต่ละแห่ง

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	โรงพยาบาลน้ำโสม	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านคุง	โรงพยาบาลนากลาง	โรงพยาบาลโนนสัง	โรงพยาบาลศรีบุญเรือง	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	โรงพยาบาลบ้านฝาง	โรงพยาบาลพระยืน	โรงพยาบาลสิมพู	โรงพยาบาลน้ำทอง	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	โรงพยาบาลบ้านไผ่		โรงพยาบาลเอราวัณ
1	โรงพยาบาลน้ำโสม	0	164	74	131	122	32	99	240	141	182	146	238	..	100
2	โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชบ้านคุง	164	0	169	176	160	151	190	201	179	141	170	219	..	190
3	โรงพยาบาลนากลาง	74	169	0	76	63	54	138	170	86	120	92	182	..	29
4	โรงพยาบาลโนนสัง	131	176	76	0	35	101	72	105	60	54	26	123	..	106
5	โรงพยาบาลศรีบุญเรือง	122	160	63	35	0	92	82	104	25	89	61	158	..	97
6	โรงพยาบาลสุวรรณคูหา	32	151	54	101	92	0	163	195	111	159	117	213	..	83
7	โรงพยาบาลบ้านฝาง	99	190	138	72	82	163	0	21	99	48	47	62	..	172
8	โรงพยาบาลพระยืน	240	201	170	105	104	195	21	0	121	57	73	49	..	183
9	โรงพยาบาลสิมพู	141	179	86	60	25	111	99	121	0	115	87	164	..	116
10	โรงพยาบาลน้ำทอง	182	141	120	54	89	159	48	57	115	0	23	81	..	140
11	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	146	170	92	26	61	117	47	73	87	23	0	97	..	121
12	โรงพยาบาลบ้านไผ่	238	219	182	123	158	213	62	49	164	81	97	0	..	209
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	0	264
107	โรงพยาบาลเอราวัณ	100	190	29	106	97	83	172	183	116	140	121	209	264	0

ภาคผนวก ข

โปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดเตาและตำแหน่งที่ตั้ง

โปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ

MODEL:

SETS:

HOSPITAL/1..107/:d;
 INCINERATOR/1..107/:y;
 OPERATINGCOST/1..3/:f,s;
 LINK1(HOSPITAL,INCINERATOR):c,x;
 LINK2(OPERATINGCOST,INCINERATOR):z;
 LINK3(HOSPITAL,OPERATINGCOST);

ENDSETS

DATA:

c = (เมตริกซ์ระยะทาง 107x107)
 d = (ปริมาณขยะติดเชื้อ กิโลกรัมต่อวัน 107 แห่ง)

เตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณามี 3 ขนาด ความจุ 400 800 และ 1,200 กิโลกรัม/เตา/วัน
 s= 400 800 1200;

ต้นทุนค่าดำเนินการ (Operating Cost) ของเตาเผาขยะติดเชื้อแต่ละแบบ
 f= 3,569 4,5795,543;

ต้นทุนผันแปรหรือต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation Cost; a) เท่ากับ 2 บาท/กก./กม.
 a= 2;

ENDDATA

สมการเป้าหมายต้นทุนต่ำสุด เป็นผลรวมของต้นทุนผันแปรและต้นทุนการดำเนินการ

$$\text{MIN} = @\text{SUM}(\text{LINK1}(i,j):a * C(i,j) * X(i,j)) + @\text{SUM}(\text{LINK2}(k,j):f(k) * z(k,j));$$

สมการเงื่อนไขบังคับให้โรงพยาบาลชุมชน i สามารถส่งขยะติดเชื้อไปยังเตา j โดยใช้บริการจากเตาเผาเพียงแห่งเดียวและแบบเดียวเท่านั้น

$$@\text{FOR}(\text{HOSPITAL}(i): @\text{SUM}(\text{LINK1}(i,j):X(i,j)) = 1);$$

โรงพยาบาลที่ได้รับเลือกเปิดเตาเผาจะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น

@FOR(INCINERATOR(j):@SUM(LINK2(k,j):z(k,j)=y(j));

โรงพยาบาลทุกแห่ง i ไม่สามารถนำขยะไปเผาที่เตา j ได้ ถ้าเตา j ยังไม่เปิด

@FOR(LINK1(i,j):X(i,j)<=Y(j));

ปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชน i ที่ได้รับบริการจากเตา j จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับกำลังการเผาของเตาแบบ k ที่เปิด

@FOR(INCINERATOR(j):@SUM(HOSPITAL(i):d(i)*X(i,j))<=

@SUM(OPERATINGCOST(k):s(k)*z(k,j)));

ตัวแปร x เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะส่งหรือไม่ส่งขยะติดเชื้อให้กับให้กับโรงพยาบาล

@FOR(LINK1(i,j):@BIN(X(i,j)));

ตัวแปร y เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าจะเปิดเตาหรือไม่เปิดบนโรงพยาบาลชุมชน

@FOR(INCINERATOR(j):@BIN(Y(j)));

และ ตัวแปร z เป็นตัวแปรตัดสินใจว่าเลือกใช้เตาแบบใดบนโรงพยาบาลชุมชน

@FOR(LINK2(k,j):@BIN(z(k,j)));

END

ผลโปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อตัวแปร x ตัดสินใจว่าจะส่งส่งขยะติดเชื้อให้กับให้กับโรงพยาบาลชุมชนที่ถูกเลือกเป็นตำแหน่งที่ตั้งเตา

Global optimal solution found.

Objective value:	29873.00
Objective bound:	29873.00
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	24
Total solver iterations:	89534

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 107)	1.000000	200.0000
X(2, 80)	1.000000	146.0000
X(3, 107)	1.000000	58.00000
X(4, 58)	1.000000	210.0000
X(5, 107)	1.000000	194.0000
X(6, 107)	1.000000	166.0000
X(7, 58)	1.000000	116.0000
X(8, 58)	1.000000	116.0000
X(9, 107)	1.000000	232.0000
X(10, 58)	1.000000	124.0000
X(11, 58)	1.000000	156.0000
X(12, 58)	1.000000	106.0000
X(13, 58)	1.000000	174.0000
X(14, 58)	1.000000	214.0000
X(15, 58)	1.000000	212.0000
X(16, 58)	1.000000	264.0000
X(17, 58)	1.000000	208.0000
X(18, 58)	1.000000	204.0000
X(19, 58)	1.000000	174.0000

X(20, 58)	1.000000	172.0000
X(21, 58)	1.000000	156.0000
X(22, 107)	1.000000	204.0000
X(23, 80)	1.000000	264.0000
X(24, 107)	1.000000	160.0000
X(25, 80)	1.000000	214.0000
X(26, 58)	1.000000	206.0000
X(27, 58)	1.000000	180.0000
X(28, 80)	1.000000	140.0000
X(29, 80)	1.000000	126.0000
X(30, 80)	1.000000	148.0000
X(31, 80)	1.000000	232.0000
X(32, 80)	1.000000	234.0000
X(33, 58)	1.000000	248.0000
X(34, 107)	1.000000	66.00000
X(35, 107)	1.000000	184.0000
X(36, 107)	1.000000	224.0000
X(37, 107)	1.000000	268.0000
X(38, 107)	1.000000	150.0000
X(39, 107)	1.000000	174.0000
X(40, 107)	1.000000	42.00000
X(41, 107)	1.000000	122.0000
X(42, 107)	1.000000	94.00000
X(43, 107)	1.000000	74.00000
X(44, 80)	1.000000	262.0000
X(45, 80)	1.000000	166.0000
X(46, 80)	1.000000	254.0000
X(47, 80)	1.000000	238.0000
X(48, 107)	1.000000	270.0000
X(49, 107)	1.000000	344.0000

X(50, 80)	1.000000	172.0000
X(51, 80)	1.000000	296.0000
X(52, 80)	1.000000	196.0000
X(53, 80)	1.000000	210.0000
X(54, 80)	1.000000	292.0000
X(55, 58)	1.000000	130.0000
X(56, 58)	1.000000	42.00000
X(57, 58)	1.000000	60.00000
X(58, 58)	1.000000	0.000000
X(59, 58)	1.000000	94.00000
X(60, 58)	1.000000	158.0000
X(61, 58)	1.000000	234.0000
X(62, 58)	1.000000	174.0000
X(63, 58)	1.000000	176.0000
X(64, 58)	1.000000	192.0000
X(65, 58)	1.000000	184.0000
X(66, 58)	1.000000	124.0000
X(67, 58)	1.000000	156.0000
X(68, 80)	1.000000	238.0000
X(69, 58)	1.000000	60.00000
X(70, 58)	1.000000	66.00000
X(71, 58)	1.000000	164.0000
X(72, 80)	1.000000	194.0000
X(73, 58)	1.000000	170.0000
X(74, 58)	1.000000	92.00000
X(75, 80)	1.000000	266.0000
X(76, 58)	1.000000	220.0000
X(77, 80)	1.000000	160.0000
X(78, 80)	1.000000	168.0000
X(79, 80)	1.000000	34.00000

X(80, 80)	1.000000	0.000000
X(81, 80)	1.000000	44.00000
X(82, 80)	1.000000	64.00000
X(83, 80)	1.000000	60.00000
X(84, 80)	1.000000	118.0000
X(85, 80)	1.000000	136.0000
X(86, 80)	1.000000	102.0000
X(87, 80)	1.000000	74.00000
X(88, 80)	1.000000	150.0000
X(89, 80)	1.000000	154.0000
X(90, 80)	1.000000	90.00000
X(91, 80)	1.000000	156.0000
X(92, 80)	1.000000	34.00000
X(93, 80)	1.000000	54.00000
X(94, 80)	1.000000	168.0000
X(95, 58)	1.000000	256.0000
X(96, 80)	1.000000	148.0000
X(97, 58)	1.000000	94.00000
X(98, 80)	1.000000	254.0000
X(99, 107)	1.000000	306.0000
X(100, 80)	1.000000	196.0000
X(101, 58)	1.000000	162.0000
X(102, 58)	1.000000	152.0000
X(103, 58)	1.000000	38.00000
X(104, 58)	1.000000	226.0000
X(105, 58)	1.000000	84.00000

ผลโปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อตัวแปร y ตัดสินใจว่า เปิดเตาบนโรงพยาบาลชุมชน

Global optimal solution found.

Objective value:	29873.00
Objective bound:	29873.00
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	22
Total solver iterations:	89028

Variable	Value	Reduced Cost
Y(58)	1.000000	0.000000
Y(80)	1.000000	0.000000
Y(107)	1.000000	0.000000

ผลโปรแกรม LINGO สำหรับการเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อตัวแปร z เป็นตัวตัดสินใจว่าเลือกใช้เตาแบบใดบนโรงพยาบาลชุมชน

Global optimal solution found.

Objective value:	29873.00
Objective bound:	29873.00
Infeasibilities:	0.000000
Extended solver steps:	22
Total solver iterations:	89028

Variable	Value	Reduced Cost
Z(1, 107)	1.000000	3569.000
Z(2, 58)	1.000000	4579.000
Z(2, 80)	1.000000	4579.000

ภาคผนวก ก

โปรแกรม LINGO การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ
ของโรงพยาบาลชุมชน กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง

**โปรแกรม LINGO การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาลชุมชน
กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง**

MODEL:

SETS:

VEHICLE/1..9/:Q;
HOSPITAL/1..107/;
DEPOT(HOSPITAL)/105 106 107/:W;
CUSTOMER(HOSPITAL)/1 2 3 4 ถึง 104/:D;
LINK1(HOSPITAL,HOSPITAL):C;
LINK2(HOSPITAL,HOSPITAL,VEHICLE):X;
LINK3(HOSPITAL,VEHICLE):Y;
LINK4(DEPOT,CUSTOMER):Z;

ENDSETS

DATA:

Q= 2000,2000,2000,2000,2000,2000,2000,2000,2000;(จำนวนพาหนะที่ใช้ในการเก็บ
ขยะติดเชื้อทั้งหมด)
D = (ปริมาณขยะติดเชื้อ กิโลกรัมต่อ 2 วัน เริ่มตั้งแต่ตำแหน่งที่1 ถึง 104 แห่ง)
W= 1600,1600,800;(ปริมาณความจุของเตาเผาทั้ง 3 แบบ กิโลกรัมต่อ 2 วัน)
T= 960; (ระยะทางสูงสุดที่อนุญาตให้ยานพาหนะ k ทำการขนส่งขยะติดเชื้อ
ใน 1 เส้นทาง)
M=3; (จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ)
N=107;(จำนวนของโรงพยาบาลชุมชนทั้งหมด)
c = (เมตริกซ์ระยะทาง 107x107)

ENDDATA

!OBJECTIVE FUNCTION;

MIN=@SUM(LINK2(I,J,K):C(I,J)*X(I,J,K));!1;

!ALL CUSTOMER ARE VISTED EXACTLY ONCE;

@FOR(CUSTOMER(J):@SUM(LINK3(I,K):X(I,J,K))=1);!2;

@FOR(CUSTOMER(I):@SUM(LINK3(J,K):X(I,J,K))=1);

!3;!DEPOT;

@FOR(DEPOT(L):@SUM(CUSTOMER(J):D(J)*Z(L,J))<=W(L));!4;

@FOR(CUSTOMER(J):@SUM(DEPOT(L):Z(L,J))=1);!5;

@FOR(DEPOT(L):@FOR(CUSTOMER(J):@FOR(VEHICLE(K):

@SUM(HOSPITAL(A):X(L,A,K)+X(A,J,K))<=1+Z(L,J))));!5;

!ROUTE CONTINUITY;

@FOR(HOSPITAL(P):@FOR(VEHICLE(K):@SUM(HOSPITAL(I):X(I,P,K))=

@SUM(HOSPITAL(J):X(P,J,K))));!7;

!VEHICLE CAPACITY;

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CUSTOMER(J):@SUM(HOSPITAL(I):D(J)

*X(I,J,K))<=Q));!8;

!MAXIMUM DRIVING DISTANCE;

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(LINK1(I,J):C(I,J)*X(I,J,K))<=T);!9;

!NO LINK BETWEEN SAME HOSPITAL;

@FOR(VEHICLE(K):@FOR(DEPOT(I):@FOR(DEPOT(J):X(I,J,K)=0;));!10;

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(HOSPITAL(I):@SUM(HOSPITAL(J):X(I,I,K)))=0);!1

!SUB-TOUR BREAKING;

@FOR(VEHICLE(K):@FOR(CUSTOMER(J):@FOR(HOSPITAL(I)|J#NE#I:

(Y(I,K)-Y(J,K)+n*X(I,J,K))<=n-1));!12;

@FOR(CUSTOMER(J):@FOR(VEHICLE(K):Y(J,K)>=0));!13;

!BINARY CONSTRAINTS;

@FOR(LINK2:@BIN(X));!14;

@FOR(LINK4:@BIN(Z));!16;

END

ภาคผนวก ง

ผลการประมวลคำตอบ การจัดเส้นทางรถเก็บขยะติดเชื้อ จาก C++

ผลการประมวลคำตอบ การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อ ของโรงพยาบาล
ชุมชน 107 แห่ง กรณีที่มีเตาเผามากกว่าหนึ่งแห่ง จาก C++

Problem file : o2-1.txt
Release method : Serial
Best of total length : 3804.00000000
Number of Ants : 5
Total duration : 3804.00000000
Found at loop : 61
Local search method : 2-Opt->Move Exchanges
Max Internal loop : 10
Increased ants : 0

Depot: 1, ant: 1

Distance :677.00000000
Service duration :0.00000000
Load of vehicle :895.00000000
Duration of route :677.00000000

SV=Service,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Latest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
58	-	-	-	0.00	-	-	-	7:30	
57	-	31	8:0	24:0	30.00	8:0	-	8:0	8:0
69	-	37	8:0	24:0	9.00	8:9	-	8:9	8:9
66	-	37	8:0	24:0	32.00	8:41	-	8:41	8:41
67	-	34	8:0	24:0	27.00	9:8	-	9:8	9:8
65	-	37	8:0	24:0	43.00	9:51	-	9:51	9:51
95	-	40	8:0	24:0	32.00	10:23	-	10:23	10:23

68	-	34	8:0	24:0	22.00	10:45	-	10:45	10:45
75	-	41	8:0	24:0	22.00	11:7	-	11:7	11:7
76	-	34	8:0	24:0	22.00	11:29	-	11:29	11:29
71	-	28	8:0	24:0	49.00	12:18	-	12:18	12:18
30	-	34	8:0	24:0	59.00	13:17	-	13:17	13:17
72	-	24	8:0	24:0	23.00	13:40	-	13:40	13:40
96	-	31	8:0	24:0	23.00	14:3	-	14:3	14:3
73	-	36	8:0	24:0	24.00	14:27	-	14:27	14:27
101	-	39	8:0	24:0	4.00	14:31	-	14:31	14:31
29	-	37	8:0	24:0	47.00	15:18	-	15:18	15:18
28	-	43	8:0	24:0	17.00	15:35	-	15:35	15:35
25	-	40	8:0	24:0	36.00	16:11	-	16:11	16:11
26	-	34	8:0	24:0	13.00	16:24	-	16:24	16:24
27	-	40	8:0	24:0	15.00	16:39	-	16:39	16:39
21	-	43	8:0	24:0	13.00	16:52	-	16:52	16:52
10	-	43	8:0	24:0	14.00	17:6	-	17:6	17:6
105	-	40	8:0	24:0	34.00	17:40	-	17:40	17:40
74	-	34	8:0	24:0	21.00	18:1	-	18:1	18:1
70	-	24	8:0	24:0	13.00	18:14	-	18:14	18:14
58	-	-	-	-	33.00	18:47	-	18:47	0:0

Depot: 1, ant: 2

Distance : 525.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 673.00

Duration of route : 525.00

SV=Service, DM=Demand, eTime=Earliest, lTime=Lastest, Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

58	-	-	-	0.00	-	-	-	7:41	
103	-	34	8:0	24:0	19.00	8:0	-	8:0	8:0
7	-	43	8:0	24:0	54.00	8:54	-	8:54	8:54
8	-	28	8:0	24:0	21.00	9:15	-	9:15	9:15
19	-	43	8:0	24:0	28.00	9:43	-	9:43	9:43
20	-	34	8:0	24:0	14.00	9:57	-	9:57	9:57
15	-	34	8:0	24:0	41.00	10:38	-	10:38	10:38
16	-	37	8:0	24:0	26.00	11:4	-	11:4	11:4
14	-	37	8:0	24:0	25.00	11:29	-	11:29	11:29
17	-	40	8:0	24:0	23.00	11:52	-	11:52	11:52
13	-	34	8:0	24:0	31.00	12:23	-	12:23	12:23
60	-	31	8:0	24:0	21.00	12:44	-	12:44	12:44
64	-	34	8:0	24:0	16.00	13:0	-	13:0	13:0
61	-	41	8:0	24:0	23.00	13:23	-	13:23	13:23
63	-	28	8:0	24:0	28.00	13:51	-	13:51	13:51
62	-	43	8:0	24:0	25.00	14:16	-	14:16	14:16
55	-	33	8:0	24:0	31.00	14:47	-	14:47	14:47
97	-	34	8:0	24:0	45.00	15:32	-	15:32	15:32
59	-	28	8:0	24:0	6.00	15:38	-	15:38	15:38
56	-	37	8:0	24:0	27.00	16:5	-	16:5	16:5
58	-	-	-	21.00	16:26	-	16:26	0:0	

Depot: 1, ant: 3

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 1, ant: 4

Distance : 0.00
 Service duration : 0.00
 Load of vehicle : 0.00
 Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 2, ant: 1

Distance : 915.00
 Service duration : 0.00
 Load of vehicle : 565.00
 Duration of route : 915.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

| 80| -| -| -| -| 0.00| -| -| -| 7:30|

83	-	20	8:0	24:0	30.00	8:0	-	8:0	8:0
84	-	37	8:0	24:0	28.00	8:28	-	8:28	8:28
45	-	31	8:0	24:0	28.00	8:56	-	8:56	8:56
85	-	37	8:0	24:0	32.00	9:28	-	9:28	9:28
100	-	34	8:0	24:0	82.00	10:50	-	10:50	10:50
31	-	34	8:0	24:0	27.00	11:17	-	11:17	11:17
4	-	34	8:0	24:0	80.00	12:37	-	12:37	12:37
11	-	28	8:0	24:0	26.00	13:3	-	13:3	13:3
12	-	43	8:0	24:0	97.00	14:40	-	14:40	14:40
102	-	37	8:0	24:0	62.00	15:42	-	15:42	15:42
18	-	43	8:0	24:0	23.00	16:5	-	16:5	16:5
6	-	43	8:0	24:0	129.00	18:14	-	18:14	18:14
23	-	34	8:0	24:0	51.00	19:5	-	19:5	19:5
24	-	34	8:0	24:0	32.00	19:37	-	19:37	19:37
33	-	43	8:0	24:0	43.00	20:20	-	20:20	20:20
87	-	33	8:0	24:0	108.00	22:8	-	22:8	22:8
80	-	-	-	-	37.00	22:45	-	22:45	0:0

Depot: 2, ant: 2

Distance : 772.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 873.00

Duration of route : 772.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

80	-	-	-	-	0.00	-	-	-	7:43
----	---	---	---	---	------	---	---	---	------

79	- 43	8:0	24:0	17.00	8:0	- 8:0	8:0
92	- 40	8:0	24:0	1.00	8:1	- 8:1	8:1
81	- 40	8:0	24:0	17.00	8:18	- 8:18	8:18
82	- 31	8:0	24:0	14.00	8:32	- 8:32	8:32
94	- 31	8:0	24:0	39.00	9:11	- 9:11	9:11
78	- 37	8:0	24:0	0.00	9:11	- 9:11	9:11
77	- 40	8:0	24:0	65.00	10:16	- 10:16	10:16
91	- 37	8:0	24:0	24.00	10:40	- 10:40	10:40
89	- 31	8:0	24:0	24.00	11:4	- 11:4	11:4
88	- 34	8:0	24:0	15.00	11:19	- 11:19	11:19
86	- 34	8:0	24:0	78.00	12:37	- 12:37	12:37
50	- 34	8:0	24:0	46.00	13:23	- 13:23	13:23
52	- 34	8:0	24:0	15.00	13:38	- 13:38	13:38
54	- 34	8:0	24:0	48.00	14:26	- 14:26	14:26
53	- 34	8:0	24:0	42.00	15:8	- 15:8	15:8
44	- 40	8:0	24:0	27.00	15:35	- 15:35	15:35
51	- 34	8:0	24:0	48.00	16:23	- 16:23	16:23
47	- 36	8:0	24:0	35.00	16:58	- 16:58	16:58
98	- 29	8:0	24:0	44.00	17:42	- 17:42	17:42
46	- 43	8:0	24:0	10.00	17:52	- 17:52	17:52
32	- 37	8:0	24:0	33.00	18:25	- 18:25	18:25
2	- 40	8:0	24:0	29.00	18:54	- 18:54	18:54
90	- 37	8:0	24:0	56.00	19:50	- 19:50	19:50
93	- 43	8:0	24:0	18.00	20:8	- 20:8	20:8
80	- -	- -	- 27.00	20:35	- 20:35	0:0	

Depot: 2, ant: 3

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 2, ant: 4

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 3, ant: 1

Distance : 915.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 726.00

Duration of route : 915.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

107	-	-	-	-	0.00	-	-	-	7:23
43	-	30	8:0	24:0	37.00	8:0	-	8:0	8:0
5	-	43	8:0	24:0	39.00	8:39	-	8:39	8:39
9	-	34	8:0	24:0	25.00	9:4	-	9:4	9:4
104	-	43	8:0	24:0	32.00	9:36	-	9:36	9:36
22	-	40	8:0	24:0	28.00	10:4	-	10:4	10:4
41	-	34	8:0	24:0	45.00	10:49	-	10:49	10:49
42	-	34	8:0	24:0	52.00	11:41	-	11:41	11:41
40	-	43	8:0	24:0	26.00	12:7	-	12:7	12:7
38	-	40	8:0	24:0	55.00	13:2	-	13:2	13:2
106	-	40	8:0	24:0	31.00	13:33	-	13:33	13:33
37	-	31	8:0	24:0	33.00	14:6	-	14:6	14:6
39	-	28	8:0	24:0	66.00	15:12	-	15:12	15:12
35	-	34	8:0	24:0	70.00	16:22	-	16:22	16:22
36	-	34	8:0	24:0	49.00	17:11	-	17:11	17:11
49	-	34	8:0	24:0	66.00	18:17	-	18:17	18:17
48	-	34	8:0	24:0	41.00	18:58	-	18:58	18:58
99	-	36	8:0	24:0	17.00	19:15	-	19:15	19:15
1	-	43	8:0	24:0	70.00	20:25	-	20:25	20:25
34	-	34	8:0	24:0	68.00	21:33	-	21:33	21:33
3	-	37	8:0	24:0	36.00	22:9	-	22:9	22:9
107	-	-	-	-	29.00	22:38	-	22:38	0:0

Depot: 3, ant: 2

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 3

Distance : 0.00
 Service duration : 0.00
 Load of vehicle : 0.00
 Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 4

Distance : 0.00
 Service duration : 0.00
 Load of vehicle : 0.00
 Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 1 Load of vehicle: 1568.00 895.00 673.00 0.00 0.00

Depot: 2 Load of vehicle: 1438.00 565.00 873.00 0.00 0.00

Depot: 3 Load of vehicle: 726.00 726.00 0.00 0.00 0.00

ภาคผนวก จ

โปรแกรม MINITAB วิเคราะห์ผลหาค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอานานิคมมด

ข้อมูลผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอาณานิคมจากโปรแกรม MINITAB

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Box-Behnken Design

Factors:	3	Replicates:	3
Base runs:	15	Total runs:	45
Base blocks:	1	Total blocks:	1
Center points:	9		

Response Surface Regression: Yield versus Alpha, Bata, Rho

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Yield

Term	CoefSE	Coef	T	P
Constant	4468.22	68.56	65.176	0.000
Alpha	114.71	41.98	2.732	0.010
Bata	-123.29	41.98	-2.937	0.006
Rho	28.67	41.98	0.683	0.499
Alpha*Alpha	121.01	61.80	1.958	0.058
Bata*Bata	-60.65	61.80	-0.981	0.333
Rho*Rho	-223.74	61.80	-3.621	0.001
Alpha*Bata	94.92	59.37	1.599	0.119
Alpha*Rho	-76.33	59.37	-1.286	0.207
Bata*Rho	55.00	59.37	0.926	0.361

S = 205.670 PRESS = 2434866

R-Sq = 53.65% R-Sq(pred) = 23.78% R-Sq(adj) = 41.74%

Analysis of Variance for Yield

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	713885	1713885	190432	4.50	0.001
Linear	3	700335	700335	233445	5.52	0.003
Alpha	1	315792	315792	315792	7.47	0.010
Bata	1	364820	364820	364820	8.62	0.006
Rho	1	19723	19723	19723	0.47	0.499
Square	3	799219	799219	266406	6.30	0.002
Alpha*Alpha	1	223702	162214	162214	3.83	0.058
Bata*Bata	1	21029	40749	40749	0.96	0.333
Rho*Rho	1	554487	554487	554487	13.11	0.001
Interaction	3	214331	214331	71444	1.69	0.187
Alpha*Bata	1	108110	108110	108110	2.56	0.119
Alpha*Rho	1	69921	69921	69921	1.65	0.207
Bata*Rho	1	36300	36300	36300	0.86	0.361
Residual Error	35	1480509	1480509	42300		
Lack-of-Fit	3	152985	152985	50995	1.23	0.315
Pure Error	32	1327524	1327524	41485		
Total	44	3194394				

Unusual Observations for Yield

ObsStd	Order	Yield	Fit	SE Fit	Residual	StResid
16	19	5025.000	4614.917	102.835	410.083	2.30 R
20	30	4069.000	4468.222	68.557	-399.222	-2.06 R
26	34	4254.000	4614.917	102.835	-360.917	-2.03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estimated Regression Coefficients for Yield using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	4290.20
Alpha	-428.256
Bata	-181.525
Rho	1351.30
Alpha*Alpha	597.599
Bata*Bata	-67.2053
Rho*Rho	-1104.87
Alpha*Bata	222.027
Alpha*Rho	-376.955
Bata*Rho	128.655

Response Optimization

Parameters

Goal Lower Target Upper Weight Import

Yield Minimum 3800 3800 5000 1 1

Global Solution

Alpha = 0.1

Bata = 2

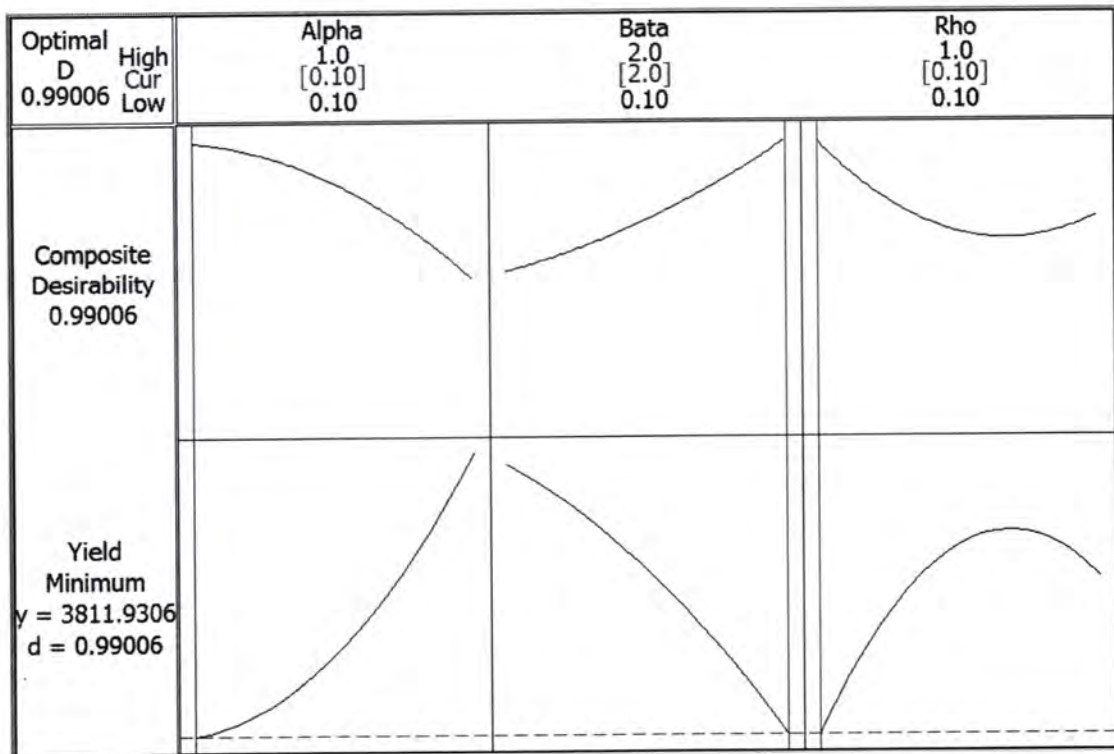
Rho = 0.1

Predicted Responses

Yield = 3811.93 , desirability = 0.990058

Composite Desirability = 0.990058

Optimization Plot



Welcome to Minitab, press F1 for help.

Retrieving project from file: 'D:\MDVRPTW_KALASIN&UBONRATCHATANI_V3\MINITAB
PARAMETER\MINITAB 7-9-56.MPJ'

ภาคผนวก ฉ

ข้อมูลการเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบระหว่างวิธีการหาคำตอบจาก LINGO

กับวิธีเมตาฮิวริสติกระบบอานานิคมมด ประมวลผลโดย C++

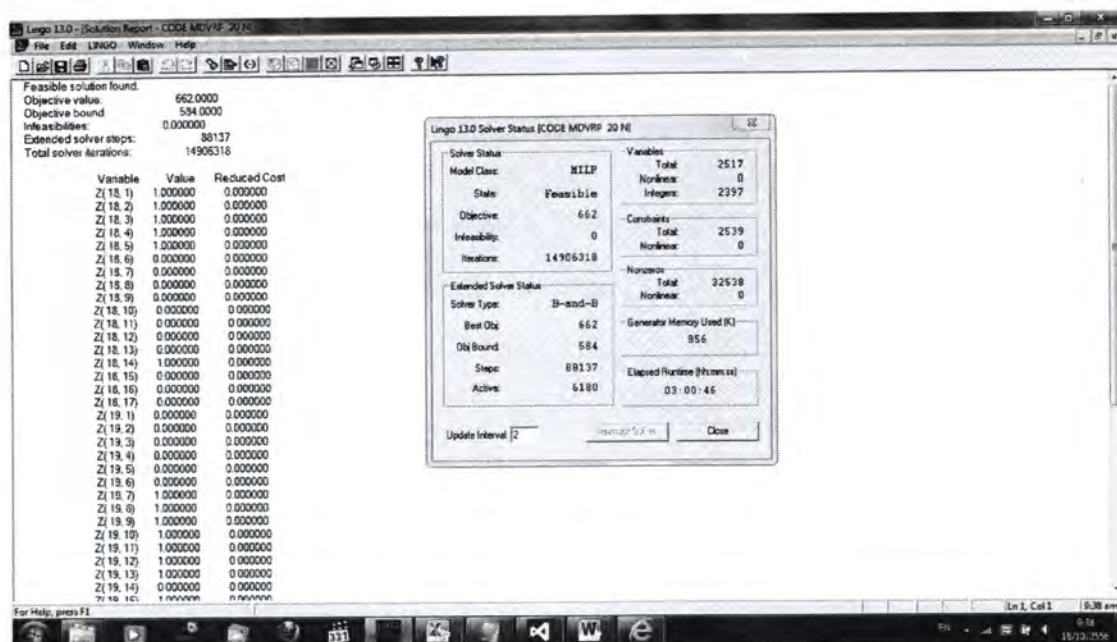
กรณีศึกษา โรงพยาบาล จำนวน 20 แห่ง

ตารางที่ ๑.1 ข้อมูลโรงพยาบาลที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบ จำนวน 20 แห่ง

รหัส โรงพยาบาล	ชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณขยะ/กก./ วัน	หมายเหตุ
H1	โรงพยาบาลบ้านฝาง	21	
H2	โรงพยาบาลพระยืน	14	
H3	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	14	
H4	โรงพยาบาลเขาสวนกวาง	21	
H5	โรงพยาบาลโนนสะอาด	20	
H6	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	16	
H7	โรงพยาบาลบรบือ	14	
H8	โรงพยาบาลกมลาไสย	19	
H9	โรงพยาบาลร่องคำ	17	
H10	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	12	
H11	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	14	
H12	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	17	
H13	โรงพยาบาลสมเด็จ	21	
H14	โรงพยาบาลหนองเรือ	19	
H15	โรงพยาบาลชำสูง	17	
H16	โรงพยาบาลกระนวน	20	
H17	โรงพยาบาลเขียงยืน	20	
H18	โรงพยาบาลน้ำพอง	21	ตำแหน่งที่ตั้งเตา ID 3
H19	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	19	ตำแหน่งที่ตั้งเตา ID 7
H20	โรงพยาบาลยางตลาด	19	ตำแหน่งที่ตั้งเตา ID 12
รวม		296	

ตารางที่ ๑.2 ข้อมูลเมตริกซ์ระยะทางของโรงพยาบาลที่ใช้ในการศึกษา จำนวน 20 แห่ง

ลำดับที่	โรงพยาบาลชุมชน	โรงพยาบาลบ้านฝาง	โรงพยาบาลพระยืน	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	โรงพยาบาลเสนาณรงค์	โรงพยาบาลโนนสะอาด	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	โรงพยาบาลบรบือ	โรงพยาบาลกมลาไสย	โรงพยาบาลร่องคำ	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	โรงพยาบาลพิบูลย์	โรงพยาบาลหนองฮี	โรงพยาบาลเมืองแฉะ	โรงพยาบาลหนองเรือ	โรงพยาบาลสูง	โรงพยาบาลกม. ๓	โรงพยาบาลเชียงยืน	โรงพยาบาลโพธิ์	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	โรงพยาบาลพนมไพร
1	โรงพยาบาลบ้านฝาง	0	21	47	63	76	86	96	114	133	88	139	93	149	26	54	74	58	48	60	86
2	โรงพยาบาลพระยืน	21	0	73	72	85	87	85	115	133	91	139	96	81	37	62	85	58	57	49	86
3	โรงพยาบาลอุบลรัตน์	47	73	0	43	56	107	131	134	153	82	137	87	196	52	81	62	78	23	95	107
4	โรงพยาบาลเสนาณรงค์	63	72	43	0	13	106	130	134	152	69	153	74	152	93	69	46	78	14	95	106
5	โรงพยาบาลโนนสะอาด	76	85	56	13	0	119	143	147	165	82	140	86	139	105	81	59	90	28	108	119
6	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	86	87	107	106	119	0	45	40	56	40	61	53	107	105	48	61	30	90	42	9
7	โรงพยาบาลบรบือ	96	85	131	130	143	45	0	67	87	81	109	95	119	112	67	91	47	115	27	57
8	โรงพยาบาลกมลาไสย	114	115	134	134	147	40	67	0	27	63	47	76	93	104	47	51	62	118	66	32
9	โรงพยาบาลร่องคำ	133	133	153	152	165	56	87	27	0	79	73	92	56	152	95	100	78	137	86	48
10	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	88	91	82	69	82	40	81	63	79	0	55	13	130	108	86	21	33	54	54	31
11	โรงพยาบาลพิบูลย์	139	139	137	153	140	61	109	47	73	55	0	56	68	166	108	113	82	167	101	65
12	โรงพยาบาลหนองฮี	93	96	87	74	86	53	95	76	92	13	56	0	124	108	28	21	46	58	67	31
13	โรงพยาบาลเมืองแฉะ	149	81	196	152	139	107	119	93	56	130	68	124	0	166	108	113	128	167	147	101
14	โรงพยาบาลหนองเรือ	26	37	52	93	105	105	112	104	152	108	166	108	166	0	78	106	76	77	84	104
15	โรงพยาบาลสูง	54	62	81	69	81	48	67	47	95	86	108	28	108	78	0	30	19	65	40	47
16	โรงพยาบาลกม. ๓	74	85	62	46	59	61	91	51	100	21	113	21	113	106	30	0	42	34	64	51
17	โรงพยาบาลเชียงยืน	58	58	78	78	90	30	47	62	78	33	82	46	128	76	19	42	0	62	21	30
18	โรงพยาบาลโพธิ์	48	57	23	14	28	90	115	118	137	54	167	58	167	77	65	34	62	0	79	90
19	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	60	49	95	95	108	42	27	66	86	54	101	67	147	84	40	64	21	79	0	49
20	โรงพยาบาลพนมไพร	86	86	107	106	119	9	57	32	48	31	65	31	101	104	47	51	30	90	49	0
ปริมาณจะคิดเรือ กก./วัน		21	14	14	21	20	16	14	19	17	12	14	17	21	19	17	20	20	21	19	19



ภาพที่ ๑.1 ผลคำตอบจาก LINGO 13 จำนวนข้อมูลโรงพยาบาล 20 แห่ง

Feasible solution found.

Objective value: 662.0000

Objective bound: 584.0000

Infeasibilities: 0.000000

Extended solver steps: 88137

Total solver iterations: 14906318

Variable	Value	Reduced Cost
X(1, 14, 2)	1.000000	26.00000
X(2, 1, 2)	1.000000	21.00000
X(3, 18, 2)	1.000000	23.00000
X(4, 18, 5)	1.000000	14.00000
X(5, 4, 5)	1.000000	13.00000
X(6, 20, 6)	1.000000	9.000000
X(7, 19, 1)	1.000000	27.00000
X(8, 7, 1)	1.000000	67.00000
X(9, 8, 1)	1.000000	27.00000
X(10, 11, 1)	1.000000	55.00000
X(11, 13, 1)	1.000000	68.00000
X(12, 16, 1)	1.000000	21.00000
X(13, 9, 1)	1.000000	56.00000
X(14, 3, 2)	1.000000	52.00000
X(15, 12, 1)	1.000000	28.00000
X(16, 10, 1)	1.000000	21.00000
X(17, 15, 1)	1.000000	19.00000
X(18, 2, 2)	1.000000	57.00000
X(18, 5, 5)	1.000000	28.00000
X(19, 17, 1)	1.000000	21.00000
X(20, 6, 6)	1.000000	9.000000

Feasible solution found.

Objective value: 662.0000

Objective bound: 584.0000

Infeasibilities: 0.000000

Extended solver steps: 88137

Total solver iterations: 14906318

Variable	Value	Reduced Cost
Z(18, 1)	1.000000	0.000000
Z(18, 2)	1.000000	0.000000
Z(18, 3)	1.000000	0.000000
Z(18, 4)	1.000000	0.000000
Z(18, 5)	1.000000	0.000000
Z(18, 14)	1.000000	0.000000
Z(19, 7)	1.000000	0.000000
Z(19, 8)	1.000000	0.000000
Z(19, 9)	1.000000	0.000000
Z(19, 10)	1.000000	0.000000
Z(19, 11)	1.000000	0.000000
Z(19, 12)	1.000000	0.000000
Z(19, 13)	1.000000	0.000000
Z(19, 15)	1.000000	0.000000
Z(19, 16)	1.000000	0.000000
Z(19, 17)	1.000000	0.000000
Z(20, 6)	1.000000	0.000000

ผลการประมวลคำตอบ การจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการเก็บขยะติดเชื้อโดยวิธีเมตาฮิวริสติก
ระบบอาณานิคมมดโดย C++

Problem file : o2-1.txt
 Release method : Serial
 Best of total length : 771.00000000
 Number of Ants : 2
 Total duration : 771.00000000
 Found at loop : 10
 Local search method : 2-Opt Exchange
 Max Internal loop : 10
 Increased ants : 0

Depot: 1, ant: 1

Distance :400.00000000
 Service duration :0.00000000
 Load of vehicle :178.00000000
 Duration of route :400.00000000

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

3	-	-	-	0.00	-	-	-	7:3	
2	-	14	8:0	16:0	57.00	8:0	-	8:0	8:0
1	-	21	8:0	16:0	21.00	8:21	-	8:21	8:21
17	-	19	8:0	16:0	26.00	8:47	-	8:47	8:47
4	-	14	8:0	16:0	52.00	9:39	-	9:39	9:39
5	-	21	8:0	16:0	43.00	10:22	-	10:22	10:22
6	-	20	8:0	16:0	13.00	10:35	-	10:35	10:35

19	-	20	8:0	16:0	59.00	11:34	-	11:34	11:34
15	-	17	8:0	16:0	21.00	11:55	-	11:55	11:55
13	-	12	8:0	16:0	13.00	12:8	-	12:8	12:8
20	-	20	8:0	16:0	33.00	12:41	-	12:41	12:41
3	-	-	-	-	62.00	13:43	-	13:43	0:0

Depot: 1, ant: 2

Distance : 0.00
Service duration : 0.00
Load of vehicle : 0.00
Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 1, ant: 3

Distance : 0.00
Service duration : 0.00
Load of vehicle : 0.00
Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 1, ant: 4

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV | DM | eTime | ITime | Dist | Arr | Wait | Start | Dep |

Depot: 2, ant: 1

Distance : 371.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 118.00

Duration of route : 371.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV | DM | eTime | ITime | Dist | Arr | Wait | Start | Dep |

| 7 | - | - | - | 0.00 | - | - | - | 7:20
 | 18 | - | 17 | 8:0 | 16:0 | 40.00 | 8:0 | - | 8:0 | 8:0
 | 10 | - | 19 | 8:0 | 16:0 | 47.00 | 8:47 | - | 8:47 | 8:47
 | 11 | - | 17 | 8:0 | 16:0 | 27.00 | 9:14 | - | 9:14 | 9:14
 | 16 | - | 21 | 8:0 | 16:0 | 56.00 | 10:10 | - | 10:10 | 10:10
 | 14 | - | 14 | 8:0 | 16:0 | 68.00 | 11:18 | - | 11:18 | 11:18
 | 8 | - | 16 | 8:0 | 16:0 | 61.00 | 12:19 | - | 12:19 | 12:19
 | 9 | - | 14 | 8:0 | 16:0 | 45.00 | 13:4 | - | 13:4 | 13:4

	7	-	-	-	-	27.00	13:31	-	13:31	0:0
--	---	---	---	---	---	-------	-------	---	-------	-----

Depot: 2, ant: 2

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

	No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
--	----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 2, ant: 3

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

	No	SV	DM	eTime	ITime	Dist	Arr	Wait	Start	Dep
--	----	----	----	-------	-------	------	-----	------	-------	-----

Depot: 2, ant: 4

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 1

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 2

Distance : 0.00

Service duration : 0.00

Load of vehicle : 0.00

Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

 | No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 3

Distance : 0.00
Service duration : 0.00
Load of vehicle : 0.00
Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

| No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 3, ant: 4

Distance : 0.00
Service duration : 0.00
Load of vehicle : 0.00
Duration of route : 0.00

SV=Sevice,DM=Demand,eTime=Earliest,ITime=Lastest,Dep=Departure

| No | SV| DM|eTime|ITime| Dist| Arr| Wait| Start| Dep|

Depot: 1 Load of vehicle: 178.00 178.00 0.00 0.00 0.00
Depot: 2 Load of vehicle: 118.00 118.00 0.00 0.00 0.00
Depot: 3 Load of vehicle: 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

ว่าที่ร้อยตรีอนุชา ศรีบุญรัมย์

ประวัติการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตขอนแก่น, พ.ศ.2550-2552

ครุศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)

สาขาวิชาเอกออกแบบการผลิต

ประวัติการทำงาน

พ.ศ.2553-ปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตกาฬสินธุ์

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหการเกษตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

วิทยาเขตกาฬสินธุ์

โทรศัพท์ 087-8522881