

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ
กรณีศึกษา พื้นที่แขวงลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

THE STUDY OF SUITABLE
ROUTE FOR WASTE COLLECTION:
A CASE STUDY OF LADKRABANG SUB-DISTRICT,
LADKRABANG DISTRICT, BANGKOK

นางสาวนัฐชญา คงชม

MS. NATCHAYA KONGCHOM

นางสาวธัญกร ศรีจันทร์

MS. TANYAKORN SRICHAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

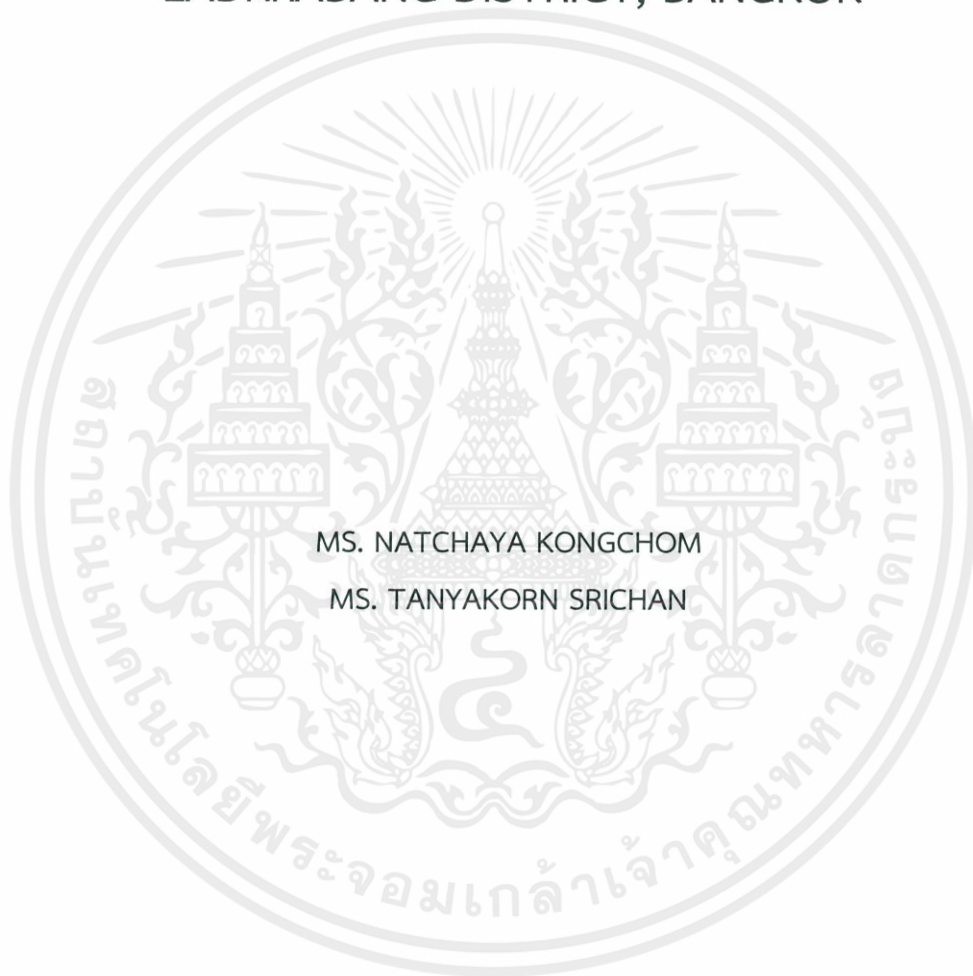
การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ
กรณีศึกษา พื้นที่แขวงลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
THE STUDY OF SUITABLE
ROUTE FOR WASTE COLLECTION:
A CASE STUDY OF LADKRABANG SUB-DISTRICT,
LADKRABANG DISTRICT, BANGKOK

นางสาวนัฐชญา คงชม
MS. NATCHAYA KONGCHOM
นางสาวธัญกร ศรีจันทร์
MS. TANYAKORN SRICHAN

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF SUITABLE
ROUTE FOR WASTE COLLECTION:
A CASE STUDY OF LADKRABANG SUB-DISTRICT,
LADKRABANG DISTRICT, BANGKOK



MS. NATCHAYA KONGCHOM
MS. TANYAKORN SRICHAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MINGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ
กรณีศึกษาพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
THE STUDY OF SUITABLE ROUTE FOR WASTE COLLECTION:
A CASE STUDY OF LADKRABANG SUB-DISTRICT, LADKRABANG
DISTRICT, BANGKOK

นักศึกษา

นางสาวณัฐชญา คงชม รหัสประจำตัว 56010374
นางสาวธัญกร ศรีจันทร์ รหัสประจำตัว 56010592

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์



(ดร.ชาวลิต หามนตรี)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ กรณีศึกษา
พื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

นักศึกษา

นางสาวณัฐชญา คงชม

นางสาวธัญกร ศรีจันทร์

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ดร.เชาวลิต หามนตรี

บทคัดย่อ

การจัดเส้นทางของรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันภายในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร อ้างอิงมาจากข้อมูลในอดีต ส่งผลให้รูปแบบการเดินรถเก็บขยะไม่สอดคล้องกับปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน วัตถุประสงค์ของโครงการชิ้นนี้จึงจัดขึ้นเพื่อศึกษาสภาพการดำเนินงานในการจัดเก็บขยะ จากนั้นทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะจากจุดต่างๆที่รถเก็บขยะเข้าเก็บและระยะทางระหว่างจุดทิ้งขยะทั้งหมดภายในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการจัดเส้นทางใหม่ให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น โดยผู้จัดทำเลือกใช้วิธีฮิวริสติก(Heuristic Method) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ผลการศึกษาพบว่า การจัดเส้นทางรถเก็บขยะโดยใช้วิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถลดระยะลง อีกทั้งยังช่วยจัดสรรภาระงานของรถเก็บขยะแต่ละคันมีความสมดุลมากกว่ารูปแบบการจัดเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน และเมื่อจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมจะได้เส้นทางรถเก็บขยะที่มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากเส้นทางที่ได้มีระยะทางรวมสั้นที่สุดและภาระงานที่รถเก็บขยะแต่ละคันได้รับนั้นสมดุลกันด้วย นอกจากนี้การเลือกใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับการหาคำด้วยวิธีการอื่นๆ

Thesis Title	The Study of Suitable Route for Waste Collection: A Case Study of Lat Krabang District, Bangkok
Student	Ms. Natchaya kongchom Ms. Tanyakorn Srichan
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2016
Thesis Advisor	Dr. Chaowalit Hamontree

ABSTRACT

Collection of waste is an important logistic activity within any city. We study how to collect waste in an efficient way. We study the Waste Collection with Vehicle Routing Problem which is concerned with finding minimum distance for garbage trucks such that all garbage bins are emptied and workload balance for all trucks. This project is to study the waste collection route in Ladkrabang sub-district, Ladkrabang district, Bangkok by using genetic algorithm (GA). Numerical results that GA method can reduce distance and allocated the workload for each truck more balance than current waste collection route.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ กรณีศึกษาพื้นที่แขวง
ลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานครสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความช่วยเหลืออย่างยิ่ง
ของคณะบุคคลต่างๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินงานวิจัย
ได้แก่

นายสมหมาย โพธิ์งาม เจ้าหน้าที่งานรักษาความสะอาดชำนาญงาน ฝ่ายรักษาความสะอาดและ
สวนสาธารณะสำนักงานเขตลาดกระบัง หัวหน้าฝ่ายรักษาความสะอาดและชุดปฏิบัติงาน พื้นที่เขต
ลาดกระบัง คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดเก็บขยะในพื้นที่
แขวงลาดกระบัง รวมทั้งยังให้อนุญาตคณะผู้จัดทำเข้าไปศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันเพื่อเก็บรวบรวม
ข้อมูลเพิ่มเติมอันจะนำมาเป็นเนื้อหาในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ดร.เชาวลิต หามนตรี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่
กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความรู้ต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์นี้ รวมทั้งความใส่ใจและการ
เสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์นี้จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผู้จัดขอกราบขอบพระคุณสำหรับคำแนะนำ การ
ตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้
สมบูรณ์ที่สุด

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงิน และให้การเลี้ยงดูอบรม รวมทั้ง
ส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนสำหรับกำลังใจที่ดีตลอดมา จนทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วง
ด้วยดี

นางสาวณัฐชญา คงชม

นางสาวธัญกร ศรีจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 แผนการดำเนินงานของงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Saleman Problems: TSP).....	4
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem: VRP).....	4
2.2.1 การจัดกลุ่มประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้า.....	5
2.2.2 รูปแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับ Vehicle Routing Problem with Time Window ..	7
2.3 วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method).....	8
2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm).....	8
2.4.1 พันธุศาสตร์กับวิธีเชิงพันธุกรรม.....	9
2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม.....	10
2.5 การจัดการขยะมูลฝอย.....	15
2.5.1 ความหมายของขยะมูลฝอย.....	15
2.5.2 ประเภทของขยะมูลฝอย.....	15
2.5.3 แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย.....	16
2.5.4 อัตราการเกิดขยะ.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสจว.ไว้ สำหรับการเข้านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.5 การเก็บรวบรวมและการขนย้ายขยะมูลฝอย.....	17
2.5.6 การกำจัดขยะมูลฝอย.....	17
2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE).....	18
2.6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	18
2.6.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง.....	19
2.6.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล.....	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล.....	23
3.2 สร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาค่าการจัดเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรม.....	33
3.2.1 สร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาค่าการจัดเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด.....	33
3.2.2 ปรับปรุงค่าตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม.....	42
3.3 ศึกษาค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้ในวิธีเชิงพันธุกรรม.....	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงาน.....	45
4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจัดเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน.....	50
4.2.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านระยะทาง.....	50
4.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านภาระงาน.....	51
4.3 ผลการทดสอบค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาค่าการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ.....	52
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผล	
5.1 การสรุปผลและการอภิปรายผล.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก	ผ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานวิจัย	3
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์	10
ตารางที่ 2.2	ประชากรเริ่มต้นและค่าความเหมาะสม	13
ตารางที่ 3.1	เส้นทางการเก็บขยะในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร	23
ตารางที่ 3.2	ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณหน้าหมู่บ้านสุภาวาลัย – ซอยลาดกระบัง52.....	24
ตารางที่ 3.3	ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณเสถียรพาณิชย์ – สถานีตำรวจนครบาลลาดกระบัง	25
ตารางที่ 3.4	ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณแยกลาดกระบัง – คลองตาฟูก	26
ตารางที่ 3.5	ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณคลองตาฟูก – แยกลาดกระบัง	28
ตารางที่ 3.6	ข้อมูลจุดเก็บขยะของบริเวณชุมชนวัดลานบุญ.....	29
ตารางที่ 3.7	ข้อมูลจุดเก็บขยะของบริเวณแยกลาดกระบัง – โรงรับจำนำลาดกระบัง.....	30
ตารางที่ 3.8	ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและพื้นที่ ชุมชนโดยรอบ	31
ตารางที่ 3.9	ผลรวมของปริมาณขยะและระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ปัจจุบันใน 1 สัปดาห์	33
ตารางที่ 3.10	หมายเลขและจุดเก็บขยะทุกจุดในเส้นทางรถเก็บขยะ	34
ตารางที่ 3.11	ตัวอย่างเส้นทางของรถเก็บขยะแบบกรอบเวลาที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ ที่สุดสำหรับวันจันทร์	40
ตารางที่ 3.12	ตัวอย่างระยะทางของรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ ที่สุดสำหรับวันจันทร์	41
ตารางที่ 3.13	ตัวอย่างปริมาณขยะของรถเก็บขยะแต่ละคันที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด สำหรับวันจันทร์	41
ตารางที่ 3.14	ค่าตัวแปรเพื่อในการประมวลผลโปรแกรม	43
ตารางที่ 4.1	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันจันทร์ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม	45
ตารางที่ 4.2	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันอังคารด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม	46
ตารางที่ 4.3	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันพุธด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม.....	47
ตารางที่ 4.4	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันพฤหัสบดีด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับ วิธีเชิงพันธุกรรม	47
ตารางที่ 4.5	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันศุกร์ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม.....	48
ตารางที่ 4.6	ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันเสาร์ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

๒

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันอาทิตย์ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม.....	50
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อมูลระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ปัจจุบันกับเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม.....	51
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์รถในปัจจุบันกับอัตราการใช้ประโยชน์รถที่ปรับปรุงแล้ว.....	52
ตารางที่ 4.10 ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยสำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้.....	54



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การจัดเส้นทางการกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งสินค้า	5
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม	11
รูปที่ 2.3 สัดส่วนกับค่าความเหมาะสมในวงล้อรูเล็ต	13
รูปที่ 2.4 การครอสโอเวอร์ของโครโมโซม	14
รูปที่ 2.5 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล.....	20
รูปที่ 3.1 พื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร.....	32
รูปที่ 3.2 ผลลัพธ์ของการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดจาก Google Map	38
รูปที่ 3.3 เมตริกซ์แสดงระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุด	38
รูปที่ 3.4 ตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ	39
รูปที่ 3.5 การใช้คำสั่ง ANOVA -> General Linear Model -> Fit General Linear Model	44
รูปที่ 3.6 การกำหนดปัจจัยและผลลัพธ์จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน	44
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลัก	53
รูปที่ 4.2 ผลกระทบจากอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot)	53
รูปที่ 4.3 ผลกระทบจากอิทธิพลร่วม (Interaction Effect Plot)	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ทั้งภาครัฐและภาคเอกชนต่างให้ความสำคัญกับปัญหาทางด้านโลจิสติกส์มากขึ้น เนื่องจากการจัดการทางด้านโลจิสติกส์ที่ไร้ประสิทธิภาพจะส่งผลเสียหลายด้านต่อองค์กร แต่ประเด็นที่มีความสำคัญและเห็นภาพได้ง่ายที่สุดคือความสิ้นเปลืองในการใช้ทรัพยากรเชื้อเพลิง ผลกระทบที่ตามมาคือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการทางด้านโลจิสติกส์เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากราคาน้ำมันในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งนั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

การจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่ง เป็นหนึ่งในวิธีการที่จะทำให้จัดการด้านโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพราะเส้นทางที่เหมาะสมในการขนส่ง ทำให้ระยะทางและระยะเวลาในการขนส่งลดลง ผลลัพธ์ที่ได้ตามมาก็คือต้นทุนในการดำเนินการขนส่งลดลงและระยะเวลาในการดำเนินงานของกิจกรรมต่างๆในองค์กรเป็นไปตามแผนที่ได้คาดการณ์ไว้ ผู้จัดจึงให้ความสนใจกับวิธีการนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถมองเห็นผลลัพธ์ได้และนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ไม่ใช่ในแง่ของธุรกิจเพียงอย่างเดียว แต่ยังสามารถนำมาใช้ในองค์กรภาครัฐได้อีกด้วย ในส่วนนี้ผู้จัดทำจึงสำรวจปัญหาที่อยู่รอบตัวและพบว่าปัญหาเรื่องเส้นทางในการจัดเก็บขยะเป็นปัญหาหนึ่งที่น่าสนใจและยังรอการแก้ไขอยู่

กรุงเทพมหานครเป็นศูนย์กลางความเจริญในทุกด้านและมีสิ่งอำนวยความสะดวกทางสังคม มีสาธารณูปโภคต่างๆอย่างสมบูรณ์ จึงทำให้มีแรงงานอพยพเข้ามาทำงานในกรุงเทพมหานครเป็นจำนวนมากและมีการขยายตัวของชุมชนอย่างรวดเร็ว จำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นก่อให้เกิดเรื่องการบริหารจัดการหลากหลายด้าน หนึ่งในนั้นคือปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเมืองที่เกี่ยวข้องกับขยะ เนื่องจากปริมาณขยะเพิ่มจากในอดีตเป็นปริมาณมหาศาลและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกๆปี การเข้าจัดเก็บขยะในแต่ละพื้นที่ถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของช่วงเวลาที่สามารถปฏิบัติงานได้หรือจำนวนทรัพยากรที่ใช้ เช่น รถเก็บขยะและพนักงานเก็บขยะมีจำนวนจำกัด การวางแผนจัดการในเรื่องนี้จึงมีความซับซ้อนเพราะมีหลากหลายปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้อง เส้นทางในการจัดเก็บขยะที่ไม่เหมาะสมนับเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา เพราะหากจัดเก็บขยะด้วยเส้นทางที่ไม่เหมาะสมจะทำให้รถเก็บขยะต้องเดินทางด้วยระยะทางที่มากและต้องเพิ่มจำนวนเที่ยวรถในการเก็บขยะเพิ่มขึ้น ส่งผลให้สิ้นเปลืองค่าน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการจัดเก็บ หรือในบางครั้งหากปริมาณในการบรรทุกของรถขยะเต็มก่อนเก็บขยะครบตามเส้นทางที่กำหนดไว้ พนักงานก็จะละเลยที่จะเก็บขยะในพื้นที่ต่อไป ก่อให้เกิดขยะตกค้างซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบเป็นอย่างมากต่อชุมชน นอกจากจะทำให้บริเวณชุมชนสกปรกแล้ว ขยะที่เน่าเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้ สำหรับการแข่งกันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ก็จะส่งกลับเหม็นไปทั่วบริเวณและยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคได้อีกด้วย หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่จัดเก็บขยะจึงจะต้องจัดเก็บขยะให้ตรงเวลาและสม่ำเสมอเพื่อลดผลเสียที่จะเกิดขึ้นต่อชุมชนดังที่กล่าวไป อีกทั้งงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินงานเรื่องการจัดเก็บขยะนั้น ทางภาครัฐยังให้การสนับสนุนค่อนข้างน้อย ทำให้หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในเรื่องการจัดเก็บขยะนั้นต้องใช้ทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินกิจกรรมเช่น บ่อเก็บขยะ, รถเก็บขยะ, ถังขยะและพนักงานเก็บขยะ ด้วยจำนวนคงที่ ในขณะที่ปริมาณขยะที่ต้องเก็บนั้นเพิ่มขึ้นทุกวัน

ในการศึกษาและจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะครั้งนี้ ผู้จัดทำเลือกขอบเขตในการดำเนินงานคือ พื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นบริเวณที่ผู้จัดทำอาศัยอยู่ เพื่อให้ง่ายต่อการลงสำรวจและเก็บข้อมูลในการเพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic methods) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยเลียนแบบการคัดเลือกตามธรรมชาติ เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางที่เหมาะสมนั้นมีขนาดของคำตอบแปรผันตามขนาดของปัญหาซึ่งก็คือจำนวนเงื่อนไขที่ต้องการแบบเอกซิโพเนนเชียล คือถ้ายังมีขนาดของปัญหามากขนาดของคำตอบก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ การใช้วิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกันจะช่วยคัดแยกคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเอาไว้และกำจัดคำตอบที่ไม่เหมาะสมออกไป ทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมน้อยลง ผลลัพธ์สุดท้ายที่จากการจัดเส้นทางที่เหมาะสมก็คือเส้นทางในการจัดเก็บขยะที่สั้นที่สุดและลดจำนวนรอบของรถเก็บขยะ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำมันลดลงและส่งผลให้งบประมาณดำเนินงานเรื่องจัดเก็บขยะลดลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรม
2. เพื่อลดระยะทางในการเดินทางของรถเก็บขยะและจัดสรรภาระงานให้สมดุล
3. เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

1.3 ขอบเขตของปริณญาณิพนธ์

1. ศึกษาเส้นทาง การจัดเก็บของรถเก็บภายในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
2. ขยะในแต่ละจุดจะถูกเก็บเพียงครั้งเดียว และจะต้องเสร็จสิ้นภายใน 8 ชั่วโมง
3. การจัดเก็บขยะแต่ละครั้งจะเริ่มจากหน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาด เขตลาดกระบัง และสิ้นสุดงานในที่เดียวกัน
4. ปริมาณขยะที่จัดเก็บในแต่ละครั้งจะต้องไม่มากเกินไปกว่าปริมาณที่รถเก็บขยะสามารถบรรทุกได้

5. จำนวนรถเก็บขยะบรรทุกขยะได้ปริมาณจำกัดและมีขนาดเดียวกันทั้งหมด
6. ความสามารถในการบรรทุกปริมาณขยะของรถเก็บขยะเท่ากับ 6,500 กิโลกรัม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
2. ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานเรื่องจัดเก็บขยะ

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินงานตามกิจกรรมต่างๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานของงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	2559		2560				
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาการจัดเก็บขยะในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร							
2. สํารวจปัญหาและรวบรวมข้อมูล							
3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง							
4. คัดเลือกเครื่องมือในการแก้ไขปัญหา							
5. ออกแบบตัวแบบสำหรับแก้ไขปัญหาเส้นทางรถเก็บขยะ							
6. รวบรวมผลลัพธ์							
7. สรุปผลการทดลอง							
8. จัดทำรูปเล่มปริญญาานิพนธ์							

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

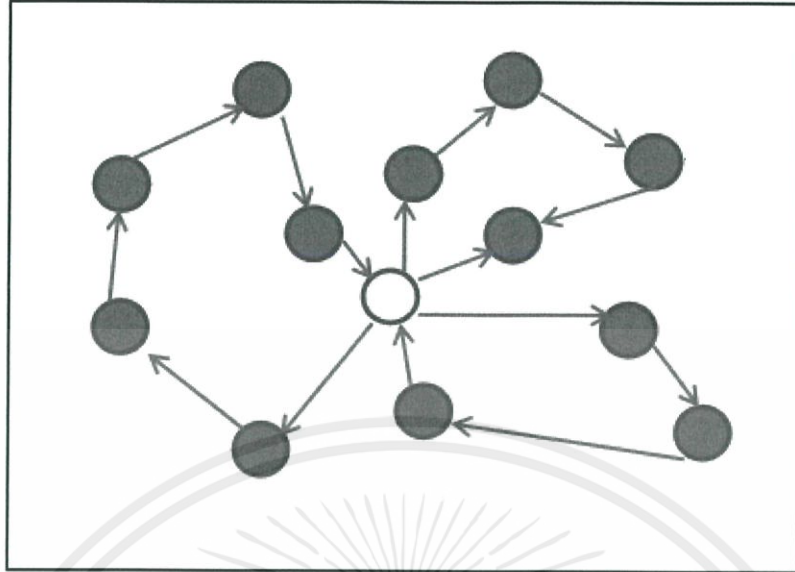
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาศึกษาประกอบไปด้วย ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem) ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้าแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW) วิธีฮิวริสติก (Heuristics Method) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) การจัดการขยะมูลฝอย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problems: TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาประเภท NP-Hard ถูกนำเสนอครั้งแรกต้นศตวรรษที่ 18 ในรูปแบบเกม Icosian โดย W.H.Hamilton และ Thomas Kirkman และพิสูจน์ว่าเป็นปัญหาประเภท NP-Hard โดย Richard M. K (Richard M. K., 1972) งานวิจัยชิ้นแรกเกี่ยวกับปัญหา TSP ถูกนำเสนอเป็น ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียนในรัฐนิวเจอร์ซีย์โดย เทรลฟลัดและเอ เค ทักเกอร์ (Mreill Flood and A.K. Tucker) โดยเป็นปัญหาที่ทำการตัดสินใจหาเส้นทางเดินทางเมื่อมีเมืองที่ต้องเดินทางไปจำนวน N เมือง การเดินทางจะเริ่มต้นจากเมืองใดเมืองหนึ่งในจำนวน N เมืองโดยจะต้องเดินทางครบทุกเมืองและกลับมาที่เมืองเริ่มต้น

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้าเป็นปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหา TSP นำเสนอครั้งแรกโดย Clark and Wright (Clark and Wright., 1964) ในกรณีที่ปัญหา TSP มีรถพาหนะขนส่งสินค้ามากกว่า 1 คัน โดยปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้าเป็นการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้ลูกค้าหลายจุดซึ่งมีความต้องการสินค้าในปริมาณที่ต่างกันออกไปให้ครอบคลุมทุกจุดในระยะทางที่ต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัดในด้านความจุของรถขนส่งสินค้าใน 1 รอบการขนส่งเมื่อรถขนส่งสินค้าทุกคันจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเดียวกันคือศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงการจัดเส้นทางกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งสินค้า



รูปที่ 2.1 การจัดเส้นทางกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งสินค้า

2.2.1 การจัดกลุ่มประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้า

ปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้าสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทตามแต่ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นซึ่งสามารถใช้เกณฑ์ในการแบ่งปัญหาดังนี้

1. ข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) เนื่องจากเวลาถือเป็นข้อจำกัดสำคัญอย่างหนึ่งในการจัดเส้นทาง เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือบริการลูกค้าอาจมีผลต่อเส้นทางที่เลือกใช้ สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

1.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Window) ไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาต่างๆ โดยจะทำการจัดเฉพาะเส้นทางการเดินทาง

1.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาไม่เคร่งครัด (Soft Time Window) มีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนักสามารถส่งสินค้าช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง

1.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาเคร่งครัด (Stick Time Window) คำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทางและระยะเวลาในการให้บริการอย่างเคร่งครัดหากเดินทางผิดเวลาหรือไปถึงลูกค้าผิดเวลาจะทำให้ไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้

1.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัดและไม่เคร่งครัด (Mixed) ในกลุ่มนี้จะมีลูกค้าทั้งที่เคร่งครัดเรื่องเวลาที่มาถึงของรถขนส่งสินค้า หรือเวลาในการให้บริการและไม่เคร่งครัดเรื่องเวลาในปัญหาเดียวกัน

2. ข้อจำกัดด้านจำนวนจุดเริ่มต้น (Number of Origin Point) จุดเริ่มต้นที่ต่างกันสามารถให้ระยะทางที่แตกต่างกันออกไป การวางแผนเส้นทางอาจต้องวางแผนจากจุดเริ่มต้นเดียวหรือ วางแผนให้จุดเริ่มต้นหลายจุดพร้อมๆกัน สามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

2.1 จุดเริ่มต้นเดียว (Single Origin/Depot) การเริ่มต้นของทุกๆ เส้นทางเริ่มจากจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียว

2.2 จุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Origin/Depot) มีจุดเริ่มต้นหลายจุดและต้องวางแผนการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กัน

3. เวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon) เป็นการจัดกลุ่มตามการวางแผนการเดินทางอาจจะเป็นการวางแผนหนึ่งครั้งและใช้เส้นทางแบบเดิมทุกวันหรือวางแผนล่วงหน้าเป็นเดือนหรือปี โดยการใช้เส้นทางในแต่ละวันแตกต่างกันไป สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ดังนี้

3.1 แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) วางแผนเพียงครั้งเดียวและดำเนินการเช่นเดียวกันในทุกคาบเวลา

3.2 แบบหลายคาบเวลา (Multi Period) วางแผนแบบหลายคาบเวลาและมีเส้นทางแตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา

4. ลักษณะความต้องการของลูกค้า

4.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าและแน่นอน (Deterministic Demand) ทราบค่าความต้องการของลูกค้าก่อน โดยมีการสั่งซื้อสินค้าก่อนและจัดเส้นทางขนส่งหรือทำการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าทางสถิติได้อย่างใดอย่างหนึ่ง

4.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand) ความต้องการของลูกค้าจะทราบค่าแต่อาจจะมีค่าที่ไม่แน่นอนซึ่งต้องใช้เทคนิคการแก้ปัญหาต่างจากข้อ 4.1

4.3 ไม่ทราบความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะไม่ทราบค่าขณะวางแผนแต่จะทราบเมื่อไปถึงลูกค้า

5. จัดกลุ่มตามวิธีการแก้ปัญหาของปัญหา VRP

5.1 วิธีการแม่นยำตรง (Exact Method) วิธีการนี้ใช้พื้นฐานจากโปรแกรมเชิงเส้น โปรแกรมจำนวนเต็ม หรือวิธีการอื่นที่ให้ค่าที่ดีที่สุด เช่น วิธีการตัดแบบระนาบ (Cutting Plane Method) วิธีการบรานซ์แอนด์บาว (Branch and Bound Method)

5.2 วิธีการฮิวริสติก (Heuristic Method) เป็นวิธีการสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากไม่สามารถเขียนแม่แบบทางคณิตศาสตร์ครอบคลุมเงื่อนไขของปัญหาได้ทั้งหมด เมื่อดำเนินการเสร็จเรียบร้อยจะได้ค่าที่เหมาะสมแต่ไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่

5.3 การจำลองแบบปัญหา (Simulation) ใช้กับปัญหาที่มีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเช่น ความต้องการไม่แน่นอน ระยะเวลาไม่แน่นอน

นอกจากการจัดกลุ่มทั้ง 5 กลุ่มที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ยังสามารถแบ่งตามลักษณะอื่นได้อีกเช่น ลักษณะของการส่งหรือรับเพียงอย่างเดียวหรือมีทั้งรับและส่ง จำนวนพาหนะ ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดหรือจำนวนลูกค้าสูงสุดที่สามารถเดินทางไปได้

2.2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบบรรทุกน้ำหนัก (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP)

เป็นปัญหาการเดินทางขนส่งสินค้าให้ได้ปริมาณตามความต้องการของลูกค้าโดยกำหนดให้รถบรรทุกทั้งหมดมีปริมาณความจุเท่ากันทุกคัน ลูกค้าหนึ่งรายสามารถรับสินค้าจากรถบรรทุกได้เพียงคันเดียวโดยเส้นทางที่ใช้ต้องเป็นเส้นทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุดและผ่านลูกค้าครบทุกราย

2.2.2 รูปแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับ VRPTW

การสร้างรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับ VRPTW เพื่อเป็นแนวทางไปสู่การแก้ไขปัญหานั้น ประกอบด้วย สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อข้อยกเว้นมีตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

- AT_i เวลาที่รถบรรทุกมาถึงลูกค้า i (Arrival Time)
- $X_{ijk} \begin{cases} 1 \text{ ารถขนสง } k \text{ ถูกจัดให้สงสินค้าจากลูกค้า } i \text{ ไป } j \\ 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \end{cases}$

มีการใช้สัญกรณ์ (Notation) สำหรับปัญหา VRP ดังนี้

- i, j จุดเก็บขยะที่ i หรือ j โดยที่ $i, j = 1 \dots N$
- k รถเก็บขยะคันที่ $k = 1 \dots M$
- N คือ จำนวนจุดเก็บขยะ
- M คือ จำนวนรถเก็บขยะ ($M = 7$)
- C คือ ความจุของรถเก็บขยะ C ($C = 6,500$ กิโลกรัม)
- D_i คือ ปริมาณขยะที่จุดเก็บขยะ i
- d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะ i ไปยังจุดเก็บขยะ j

มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

$$\sum_{k=0}^M \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N d_{ij} X_{ijk} \quad (3.1)$$

และมีสมการเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall j=1,2,3,\dots,N \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall i=1,2,3,\dots,N \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^N D_i \left(\sum_{j=1}^N X_{ijk} \right) \leq C \quad \forall k=1,2,\dots,M \quad (3.4)$$

โดยที่สมการ (2.1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ที่แสดงระยะทางรวมที่สั้นที่สุด สมการที่ (2.2) และ (2.3) เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีรถเก็บขยะอย่างน้อย 1 คันเข้าจัดเก็บขยะแต่ละจุด สมการที่ (2.4) คือ ปริมาณขยะของแต่ละจุดโดยรวมในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินกว่าความจุของรถเก็บขยะ

2.3 วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

เป็นวิธีการที่สร้างขึ้นมาเพื่อใช้หาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากไม่สามารถเขียนออกมาในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ครอบคลุมทุกเงื่อนไขของปัญหาได้ โดยการสร้างฮิวริสติกสำหรับแต่ละปัญหานั้นจะมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะเฉพาะของปัญหาโดยต้องอาศัยความรู้ ความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ปัญหาเป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่อาจเอาไปหาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ยังไม่สามารถรับรองได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากัน ในทุกรอบแต่ละจะให้คำตอบที่ดีในระยะเวลาอันเหมาะสม โดยวิธีที่เลือกใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะในที่นี้คือ Nearest Neighborhood Method ซึ่งคิดค้นโดย Karl Menger (Menger K., 1930) โดยมีวิธีการดังนี้

1. กำหนดจุดส่ง (Node) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง
2. หาคำตอบที่ระยะทางจากจุดเก็บที่ถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางแล้วไปยังจุดเก็บใกล้เคียงที่มีค่าน้อยที่สุด และนำจุดเก็บนั้นเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง
3. ทำซ้ำในข้อที่ 2 จนกระทั่งเต็มความจุรถ
4. ทำซ้ำในข้อที่ 1-3 จนเก็บครบทุกจุด

2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) คือ วิธีแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Point) ซึ่งเป็นการพัฒนาและจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตจากทฤษฎีวิวัฒนาการจอห์น ฮอลแลนด์ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ได้ทำการคิดค้นการลอกเลียนแบบขั้นตอนธรรมชาติของการพัฒนาสิ่งมีชีวิตขึ้นในปี ค.ศ. 1970 โดยร่วมกับเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธรรมชาติของพันธุกรรมและนำกลไกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรม

จากการคิดค้นของ จอห์น ฮอลแลนด์ ทำให้สามารถค้นหาและแก้ปัญหาให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ทั้งอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (Minimum Point) หรือจุดสูงสุด (Maximum Point) สำหรับหลักการของวิธีการค้นหาแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี ในการกำหนดว่าสิ่งมีชีวิตไหนมีลักษณะที่ดีหรือไม่ดีนั้นจะถูกกำหนดจากทฤษฎีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Theory)

ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีนั้นจะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดีขึ้น ในส่วนที่มีลักษณะที่ไม่ดีจะไม่ถูกสนับสนุนหรือไม่นำส่วนนี้มาพิจารณา ดังนั้นในหลักการการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงถูกนำเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม นั้นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะใช้ค่าความเหมาะสม (Fitness Function) ที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (Objective Function) กำหนดให้แต่ละโครโมโซม และโครโมโซมเหล่านั้นจะถูกนำมาพิจารณาว่าโครโมโซมใดควรนำมาสืบสายพันธุ์ต่อไปหรือโครโมโซมใดไม่ควรนำมาสืบสายพันธุ์ และจากการหาคำตอบโดยใช้โครโมโซมในแต่ละรุ่นจะมีการสุ่ม (Generations) คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา จึงทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้สมบูรณ์และเหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการหาคำตอบที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนเนื่องจากคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือ การเลือก (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบในบริเวณของปัญหาซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลาย (Diversity) ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา

2.4.1 พันธุศาสตร์กับวิธีเชิงพันธุกรรม

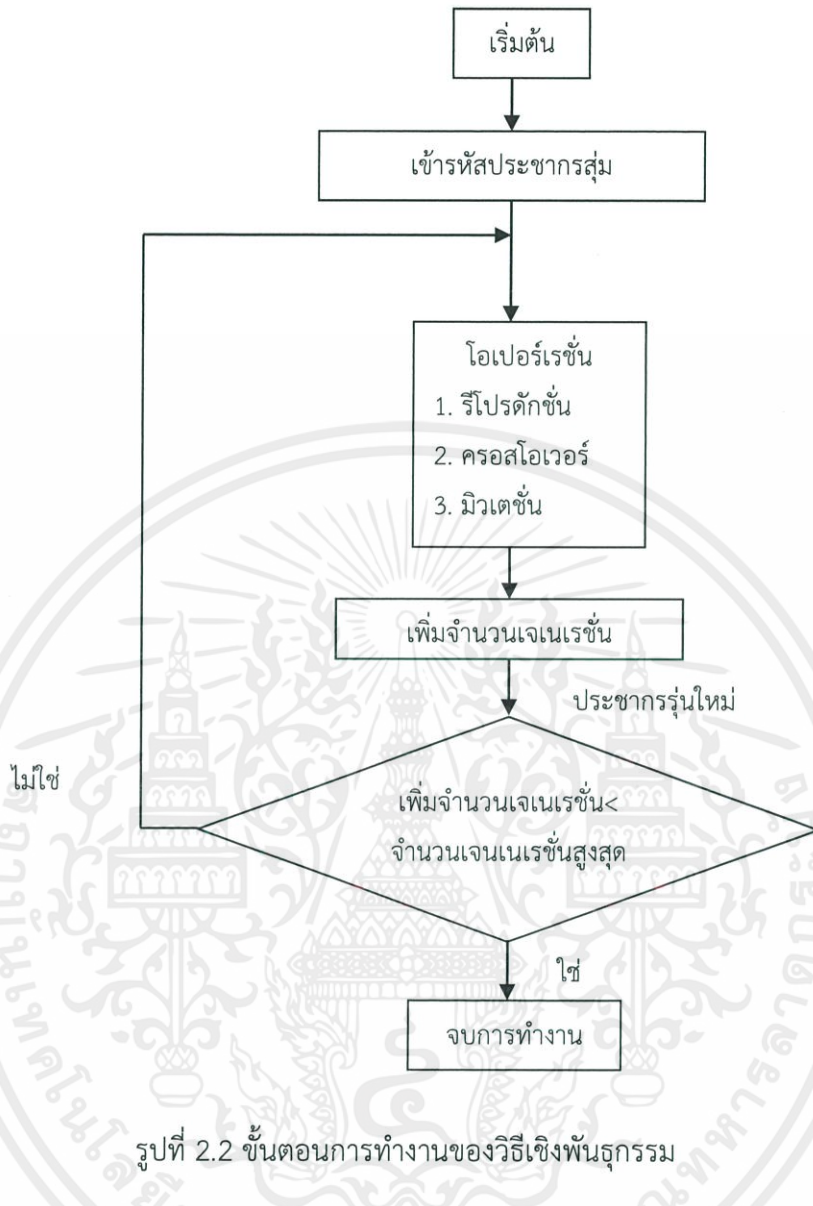
เมนเดลบิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ค้นพบว่าลักษณะต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะผิวของเมล็ดพืช สีของเมล็ดพืช ฯลฯ ที่ถูกถ่ายทอดไปยังลูกหลานนั้นถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะที่เรียกว่า ยีน (Gene) และลักษณะย่อยของยีนเรียกว่า อัลลีล (Allele) เช่น ยีนควบคุมลักษณะผิวของเมล็ดจะมีอัลลีลเป็นผิวเรียบและผิวขรุขระ เป็นต้น ซึ่งแต่ละยีนจะเรียงตัวอยู่บนโครโมโซม (Chromosome) ภายในเซลล์ตำแหน่งของยีนแต่ละยีนบนโครโมโซมเรียกว่า โลกัส (Locus) แต่ละแบบของชุดยีนเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏ ซึ่งเรียกว่า ฟีนโนไทป์ (Phenotype) โดยแสดงการเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์

พันธุศาสตร์	วิธีเชิงพันธุกรรม
โครโมโซม (Chromosome)	สตริง (String)
ยีน (Gene)	คุณลักษณะ บิต (Character, Bit)
อัลลีล (Allele)	ค่าของคุณลักษณะ (Character Value, Bit Value)
โลคัส (Locus)	ตำแหน่ง (String Position)
จีโนไทป์ (Genotype)	โครงสร้าง (Structure)
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	โครงสร้างคำตอบ (A Decode Structure)

2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นการค้นหาคำตอบโดยเลียนแบบวิธีการคัดเลือกตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการสุ่มซึ่งใช้ข้อมูลจากอดีตในการพิจารณาจุดที่จะต้องค้นหาใหม่โดยคาดหวังว่าสมรรถนะของการค้นหาจะดีขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากขึ้น ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม

2.4.2.1 การเข้ารหัสและสร้างประชากรเริ่มต้น

ขั้นตอนแรกในการทำวนของวิธีเชิงพันธุกรรมคือ การเข้ารหัสหรือแปลงค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปของสตริงที่มีความยาวแน่นอน ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหาแต่ละปัญหาทำให้มีวิธีการเข้ารหัสมากมายเช่น

1. การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง (Binary Coding) เป็นรูปแบบเริ่มแรกของการเข้ารหัสที่นำมาใช้แก้ไข้ปัญหาของขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ลักษณะของการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองคือ ทุกตำแหน่งของยีนบนโครโมโซม จะมีค่าเป็น 0 และ 1 ตัวอย่างเช่น ต้องการหาค่าสูงสุดของสมการ $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 31]$ ในที่นี้สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ $f(x)$ หรือ x^2 ซึ่งวิธีการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง โดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง 5 บิต จะได้ค่าพารามิเตอร์ของ x จะมีค่าอยู่ในช่วง 00000 จนถึง 11111 (0 ถึง 31) เมื่อกำหนดวิธีการเข้ารหัสแล้วจำเป็นที่จะต้องสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประชากรเริ่มต้น (Initial Population) โดยวิธีการสุ่มเพื่อที่จะผ่านขั้นตอนของวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายต่อไป สมมติว่าทำการสุ่มประชากรเริ่มต้น 4 สตรีงได้เป็น

01101

11000

01000

10011

ค่าสตรีงของประชากรเริ่มต้นนี้เกิดจากการสุ่มค่าทั้งหมด 20 ครั้ง สตรีงแต่ละตัวทำการสุ่ม 5 ครั้ง

2. การเข้ารหัสแบบตัวเลข (Value Encoding) ทุกตำแหน่งของยีนบนโครโมโซมจะมีค่าบางค่าซึ่งเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่นๆ รูปแบบของโครโมโซมนี้จะสามารถใช้ได้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนของค่า

2.4.2.2 ประชากรต้นกำเนิด

โครโมโซมที่ถูกคัดเลือกเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่เพื่อนำเข้าไปในกระบวนการ โดยการคัดเลือกประชากรต้นกำเนิดนั้นจะยังไม่สนใจค่าความเหมาะสมของของแต่ละโครโมโซมแต่ละจะสุ่มให้ได้เท่ากับจำนวนของขนาดของรุ่นที่กำหนดไว้

2.4.2.3 ค่าความเหมาะสม (Fitness Function)

ค่าความเหมาะสมคือ ค่าที่จะใช้ในการคัดเลือกว่าโครโมโซมใดสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องใช้สมการหาค่าความเหมาะสมที่สอดคล้องกับปัญหา

2.4.2.4 การดำเนินการทางพันธุกรรม

ประกอบไปด้วยตัวปฏิบัติการ 3 อย่างคือการ รีโพรดักชัน การครอสโอเวอร์ และการมิวเตชัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

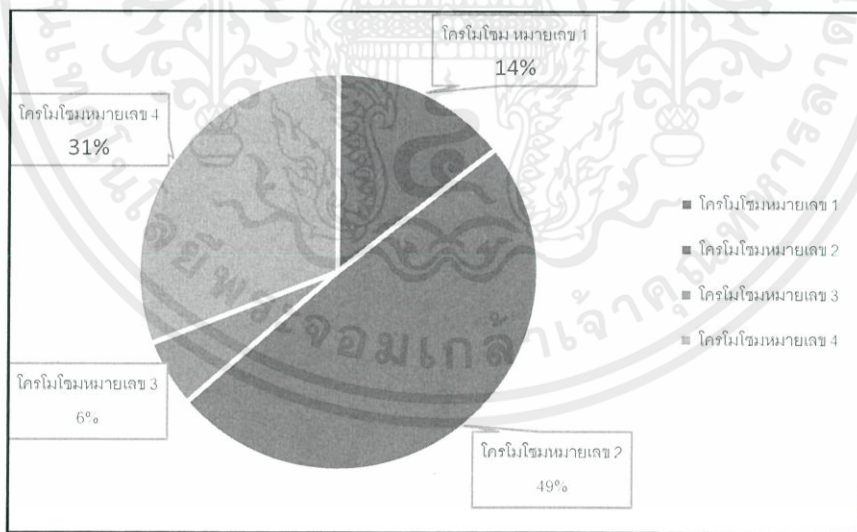
1. รีโพรดักชัน (Reproduction) กระบวนการสร้างโครโมโซมเลียนแบบสมการวัตถุประสงค์โดยที่สมการนี้อาจเป็นการวัดผลตอบแทนค่าอัตราประโยชน์หรือสิ่งที่ต้องการให้เป็นค่าสูงสุดหรือค่าความเหมาะสม (Fitness) โครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงกว่าก็จะมีแนวโน้มจะเป็นในการสนับสนุนลูกหลานรุ่นต่อไปสูงไปด้วย โดยในธรรมชาติประชากรที่มีความเหมาะสมจะมีโอกาสรอดและมีโอกาสสืบพันธุ์มากกว่าประชากรที่มีความเหมาะสมน้อยกว่า ดังนั้นการคัดเลือกประชากรที่มีความเหมาะสมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น

1.1 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette wheel) สร้างวงล้อรูเล็ตต์ที่มีจำนวนช่องว่างเท่ากับ จำนวนประชากรโครโมโซมและค่าของแต่ละช่องเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสมดังแสดงต่อไปนี้

ต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง $[0, 31]$ ได้ประชากรเริ่มต้นดังตารางที่ 2.2 ในการทำการรีโพรดักชันจะหมุนวงล้อเป็นจำนวน 4 ครั้งหรือเท่ากับจำนวนโครโมโซมโดยวงล้อรูเล็ตจะมีสัดส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.3 เช่น โครโมโซมหมายเลข 1 มีค่าเป็น 169 คิดเป็น 14.4% ของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังนั้นเมื่อหมุนรูเล็ต 1 ครั้งก็จะมีคามน่าจะเป็นที่ถูกเลือกเท่ากับ 0.144 ในการหมุนรูเล็ตแต่ละครั้งจะได้ตัวแทนในการสืบพันธุ์ (Reproduction Candidate) โครโมโซมที่มีความเหมาะสมสูงจะถูกคัดเลือกสำหรับการสืบพันธุ์ การรีโพรดักชันสำหรับโครโมโซมลูกหลานในรุ่นต่อไปเมื่อโครโมโซมมีรูปร่างที่แน่นอนแล้วก็จะถูกส่งไปเข้าเมทาดิงพูลเพื่อที่จะผ่านกระบวนการของตัวปฏิบัติการอื่นต่อไป

ตารางที่ 2.2 ประชากรเริ่มต้นและค่าความเหมาะสม

No.	โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	% โดยรวม
1	01101	169	14.40
2	11000	576	49.20
3	01000	64	5.50
4	10011	361	30.90
รวม		1170	100.00

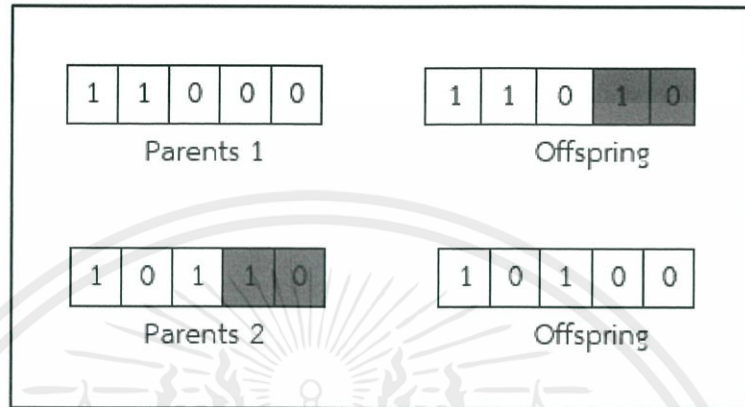


รูปที่ 2.3 สัดส่วนกับค่าความเหมาะสมในวงล้อรูเล็ต

1.2 การคัดเลือกแบบแข่งขัน (Tournament selection) เป็นการคัดสรรโดยจัดกลุ่มย่อยแบบสุ่มให้กับประชากรและประชากรที่มีความแข็งแกร่งมากที่สุดในกลุ่มย่อยนั้นจะได้คัดเลือกให้กำเนิดลูกหลายต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กระบวนการของการครอสโอเวอร์ (Crossover) จะกระทำหลังจากประชากรทั้งหมดผ่านกระบวนการรีโพรดักชันแล้วจะทำการจับคู่สมาชิกในเมทาดิงพูลหรือกลุ่มประชากรทั้งหมดอย่างสุ่มและทำการไขว้สลับค่าที่อยู่หลังตำแหน่งที่เลือกไว้จากการสุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การครอสโอเวอร์ของโครโมโซม

3. การมิวเตชัน (Mutation) มิวเตชันเป็นสิ่งที่จำเป็นถึงแม้ว่ารีโพรดักชันและครอสโอเวอร์ช่วยในการค้นหาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพบางครั้งก็มีการสูญเสียส่วนที่สำคัญไป (ค่า 1 หรือ 0 ในบางตำแหน่ง) การมิวเตชันจะป้องกันส่วนที่เสียที่ไม่อาจเรียกคืนได้ (Irrecovery Loss) ในบางครั้งการหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายคำตอบอาจติดอยู่ที่คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) การมิวเตชันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้คำตอบสามารถหลุดออกจากคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) หรืออาจกล่าวได้ว่าตัวปฏิบัติการมิวเตชันเป็นการเปลี่ยนค่าตำแหน่งโครโมโซมแบบสุ่มจากปัญหาที่พิจารณาค่าจะเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 โดยการเลือกตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชันแบบสุ่ม อัตราการมิวเตชันในธรรมชาติจะมีค่าค่อนข้างต่ำในการนำไปใช้งานจะต้องมีการพิจารณาอย่างเหมาะสม

2.4.2.5 ประชากรรุ่นใหม่

ประชากรรุ่นใหม่ (New Population) โครโมโซมทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรม เรียกว่าประชากรรุ่นใหม่ซึ่งจะกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าสำหรับการดำเนินการต่อไป กระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำให้เข้าไปเรื่อยๆจนกว่าประชากรจะมากกว่าจำนวนประชากรที่กำหนดไว้สูงสุด

Surech (1995) ได้พิจารณาถึงการหาขนาดของประชากรจากอัตราส่วนของวิธีการที่ทั้งหมดของคำตอบ ที่เป็นไปไม่ได้ และอัตราส่วนของวิธีการที่ทั้งหมดของคำตอบที่เป็นไปได้

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{n^n}{n!} \approx \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{2\pi^2 \left(\frac{n}{e}\right)^n}{n^n} = \lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(2\pi)^2}{e^n} = 0 \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.16) ให้

- n คือ ขนาดของปัญหา
- n! คือ จำนวนวิธีการที่จัดเรียงหรือจำนวนวิธีการจัดเรียงที่เป็นไปได้
- nⁿ คือ จำนวนวิธีการที่จัดเรียงหรือจำนวนวิธีการจัดเรียงทั้งหมด

สามารถสรุปได้ว่าความน่าจะเป็นของการสร้างประชากรคำตอบอย่างสุ่มจะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อ n มีค่ามากขึ้น สมมติว่า n มีค่าเป็น 8 ดังนั้น $8! / 8^8 = 1 / 416.1 = 2.403 \times 10^{-3}$ หรืออาจกล่าวได้ว่า โอกาสที่จะได้คำตอบ ที่ถูกต้องเป็น 1 ใน 416 ของคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ถ้ากำหนดจำนวนประชากรเป็น 100 และทำการคำนวณ เพียงแค่ 1 ประชากรก็ไม่อาจคาดได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่กำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นและจำนวนของการประชากรทั้งหมดจึงมีผลในการหาคำตอบ

2.5 การจัดการขยะมูลฝอย

2.5.1 ความหมายของขยะมูลฝอย

บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง เน่าเปื่อยหรือไม่ก็ตาม รวมถึง แก้ว ซากสัตว์ มูลสัตว์ ฟันละออง และเศษวัสดุที่ทิ้งแล้วจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย สถานที่ต่างๆ รวมถึง สถานที่สาธารณะ ตลาดและโรงงานอุตสาหกรรม

2.5.2 ประเภทของขยะมูลฝอย

การจำแนกประเภทของขยะมูลฝอยสามารถแบ่งได้โดยใช้เกณฑ์หลากหลายดังนี้

1. จำแนกตามพิษภัยที่เกิดกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

1.1 ขยะทั่วไป ขยะที่มีอันตรายน้อยเช่น เศษผ้า เศษกระดาษ เศษอาหาร

1.2 ขยะอันตราย ขยะที่มีภัยต่อคนและสิ่งแวดล้อมอาจมีสารพิษหรือติดไฟง่ายเช่น ระเบิด

สเปรย์ ถ่านไฟฉาย สำลีหรือผ้าพันแผลจากสถานพยาบาล

2. จำแนกตามลักษณะการย่อยสลายของขยะมูลฝอย สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

2.1 ขยะย่อยสลายได้ เช่น เศษอาหาร กระดาษ

2.2 ขยะย่อยสลายไม่ได้ เช่น แก้ว พลาสติก

3. จำแนกตามลักษณะของขยะมูลฝอย สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท

3.1 ขยะสด มีความชื้นปนอยู่มากกว่าร้อยละ 50 จึงติดไฟได้ยากส่วนใหญ่ได้แก่ เศษอาหาร เศษผักและผลไม้จากบ้านเรือน ร้านจำหน่ายอาหารและตลาดสด

3.2 ขยะแห้ง สิ่งเหลือใช้ที่มีความชื้นอยู่น้อยจึงไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นจำแนกได้ 2 ชนิดคือ

- ขยะที่เป็นเชื้อเพลิงติดไฟได้ง่ายเช่น เศษผ้า ใบไม้ กิ่งไม้
- ขยะที่ไม่เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ เศษโลหะ เศษแก้ว เศษอิฐ

4. แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของขยะมูลฝอย สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท

4.1 ขยะมูลฝอยอินทรีย์ เป็นสิ่งที่ย่อยสลายได้ง่ายเช่น เศษผัก เศษอาหาร

4.2 ขยะมูลฝอยรีไซเคิล เป็นสิ่งที่ยังมีประโยชน์ สามารถนำกลับไปแปรรูปมาใช้งานใหม่ได้ เช่น แก้ว พลาสติก ฯลฯ

4.3 ขยะมูลฝอยอันตราย เป็นสิ่งที่มีองค์ประกอบปนเปื้อนสารอันตราย วัตถุมีพิษ วัตถุติดเชื้อ วัตถุกัดกร่อน วัตถุติดไฟ

4.4 ขยะมูลฝอยทั่วไป หมายถึงสิ่งอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น นำกลับมาแปรรูปได้แต่ไม่คุ้มค่า เช่น เศษผ้า เศษหนัง

2.5.3 แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยเกิดจากการใช้สอยของมนุษย์ในชีวิตประจำวัน หรือจากกระบวนการผลิตจากกิจกรรมภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยสามารถแบ่งได้ออกเป็น 5 ประเภท

1. แหล่งชุมชน

- 1.1 เคหะชุมชน แฟลตและคอนโดมิเนียม เป็นที่พักอาศัยลักษณะอาคารสูงและอาคารชุด
- 1.2 หมู่บ้านจัดสรร เป็นที่พักอาศัยลักษณะบ้านเดี่ยว บ้านแฝด ตึกแถว ดำเนินการโดยเอกชน
- 1.3 ชุมชนเมือง เป็นชุมชนที่มีความหนาแน่นของบ้านเรือนน้อยกว่า 15 หลังคาเรือนต่อไร่
- 1.4 ชุมชนชานเมือง เป็นชุมชนที่มีบ้านเรือนไม่แออัด มีพื้นที่เกษตรกรรม
- 1.5 ชุมชนแออัด เป็นชุมชนที่มีอาคารหนาแน่นอย่างน้อย 15 หลังคาเรือนต่อไร่

2. แหล่งธุรกิจการค้า

3. สถานที่ราชการ สถาบันศึกษา

4. เขตอุตสาหกรรม

5. เขตเกษตรกรรม

2.5.4 อัตราการเกิดขยะ

ปริมาณขยะที่เกิดขึ้นของคนหรือสถานที่ต่อหน่วยเวลา ในที่นี้จะใช้หน่วยเวลาเป็น 1 วัน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณปริมาณขยะที่เกิดขึ้นซึ่งการคำนวณปริมาณขยะสามารถทำได้ 2 แบบคือ

1. อัตราการกำเนิดขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด คำนวณโดยนำน้ำหนักของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นหารด้วยจำนวนหน่วยเช่น จำนวนคน ขนาดพื้นที่ จำนวนห้อง เป็นต้น แต่การกำหนดตัวเลขของอัตราการเกิดขยะต้องทำการศึกษารอบคลุมตลอดสัปดาห์

$$\text{อัตราการกำเนิดขยะมูลฝอย (กก./หน่วย/วัน)} = \frac{\text{ปริมาณขยะผลิต (กก.)}}{\text{จำนวนหน่วย ณ วันซึ่งชั่งน้ำหนัก}}$$

2. อัตราการกำเนิดขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำจัด สามารถหาได้จากน้ำหนักของมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดในแต่ละวัน หารด้วยจำนวนประชากรของเมืองหรือเขตการให้บริการเก็บขน

$$\text{อัตราการกำเนิดขยะมูลฝอย (กก./คน/วัน)} = \frac{\text{ปริมาณขยะที่รวบรวมได้ต่อวัน (กก.)}}{\text{จำนวนประชากรที่ได้รับการเก็บขน(คน/วัน)}}$$

2.5.5 การเก็บรวบรวมและการขนย้ายขยะมูลฝอย

การเก็บรวบรวมและขนย้ายขยะมูลฝอยเป็นหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในแต่ละพื้นที่เป็นผู้รับผิดชอบ การรวบรวมขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดนั้นจะรวบรวมไว้ในภาชนะรองรับขยะมูลฝอย จากนั้นจึงทำการขนถ่ายใส่รถเก็บขยะเพื่อนำไปกำจัดต่อไป

2.5.6 การกำจัดขยะมูลฝอย

การกำจัดขยะมูลฝอยสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทของขยะมูลฝอยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล เหมาะสำหรับขยะมูลฝอยประเภททั่วไป ขยะที่นำมาเททิ้งลงบนพื้นดินจะถูกเกลี่ยให้กระจายและบดทับให้แน่น จากนั้นทำการกลบทับด้วยดินและบดทับให้แน่นอีกรอบหนึ่ง เมื่อมีการนำขยะมาทิ้งเพิ่มอีกก็จะเกลี่ยให้กระจายและบดทับด้วย ดินอีกชั้น ทำไปจนกว่าสถานที่ฝังกลบนั้นจะเต็มและไม่สามารถใช้กำจัดขยะต่อไปได้จะทำการปิดหลุมฝังกลบแห่งนั้นอย่างถาวรด้วยการถมดินบดอัดให้แน่น และมีการปลูกพืชคลุมดินเพื่อป้องกันการถูกกัดเซาะหรือการไหลบ่าของน้ำฝน
2. การเผาโดยเตาเผาขยะ เป็นการนำขยะมูลฝอยมาเผาในเตาเผาที่มีอุณหภูมิสูง เพื่อให้เกิดขบวนการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งลักษณะของเตาเผาอาจจะแตกต่างกันไปตามองค์ประกอบ ของขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละชุมชน
3. การกำจัดโดยวิธีการหมักทำปุ๋ย คือ การย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยอาศัยขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ที่ย่อยได้ให้เป็นธาตุอาหารที่คงรูป โดยมีสีดำค่อนข้างแฉง และมีคุณค่าในการนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE)

การออกแบบการทดลอง (Design and Analysis of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการเพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-Time: OFAT) จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมากและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

2.6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1. กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไร ขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2. การเลือกปัจจัย และระดับของปัจจัย (Choice of Factors, Levels and Ranges) เป็นการใช้อยู่หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงในการทดลองอย่างไร (Range) การกำหนดระดับของปัจจัยสามารถแบ่งได้ 3 แบบดังนี้

- แบบกำหนดเอง (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอนโดยผู้ทดลองกำหนดเอง

- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัย ได้แน่นอน ซึ่งผลการทดลองที่ได้จะเป็นตัวแทนของทั้งปัจจัยมิได้เป็นตัวแทนของระดับใดระดับหนึ่ง

- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดและแบบสุ่มรวมกัน

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้วิจัยจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องซึ่งหมายถึง เครื่องมือวัดจะต้องมีความถูกต้องด้วย

4. การเลือกแบบทดลอง (Experiment Design) เมื่อกำหนดทรีทเมนต์ (Treatment) และตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) แล้ว ต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลองซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง (Replicate) ความเหมาะสมของลำดับในการทดลองข้อจำกัดในการสุ่ม

(Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง

5. การดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ในระหว่างการดำเนินการทดลองผู้วิจัย จะต้องศึกษาดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ ข้อควรระวังในการทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทำการทดลองเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

6. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์ และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูลและวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใดแน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ของความเชื่อมั่นในการสรุปผล

7. การสรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูป กราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเมื่อสรุปผลแล้วควรมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองอีกครั้งหนึ่ง

2.6.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง

ส่วนประกอบต่างๆ ของการทดลอง มีดังนี้

1. วิธีการปฏิบัติหรือทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่ผู้ดำเนินการทดลองปฏิบัติต่อสิ่งทดลองเพื่อวัดผลเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่ง que คิดว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองและนำมาพิจารณาในการทดลอง ปัจจัยอาจมีลักษณะเป็นเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณก็ได้ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน อาจใช้คำว่า ตัวแปรอิสระแทนก็ได้ โดยปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง ซึ่งเป็นผลดีต่อการทดลองเพราะโดยส่วนใหญ่ ผู้ทำการทดลองต้องการกำหนดค่าต่างๆ ที่คิดว่ามีผลตอบสนองที่สนใจ และปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจจะเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน

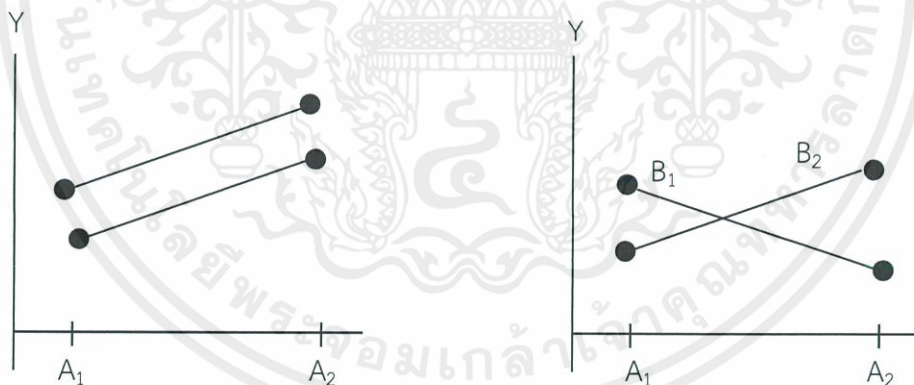
3. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลองหรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นตัวแปรตาม ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดีควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจ่มแจ้งของตัวแปรนั้นและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้จากทรีทเมนต์หนึ่งๆ ควรมีการแจ่มแจ้งแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมุติในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบ

การทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเปลี่ยนเป็นปกติได้

2.6.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัยที่ต้องการจะศึกษาถึงผลรวมที่มีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การทดลองแบบแฟคทอเรียลเป็นแผนการทดลองที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการตรวจสอบอิทธิพลของหลายๆ ปัจจัย (Factor) พร้อมกัน คำว่าแฟคทอเรียลหมายถึง การทดลองที่สมบูรณ์ในแต่ละครั้งหรือแต่ละซ้ำของการทดลองนั้น กล่าวคือ มีการใช้ระดับของปัจจัยต่างๆ ร่วมกันจึงสามารถตรวจสอบอิทธิพลต่างๆ ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ ได้พร้อมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เช่น ถ้าปัจจัย A มีปัจจัย B มี b ระดับ แต่ละซ้ำจะมี AB รูปแบบการทดลอง (Treatment-Combination) แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. อิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยที่แสดงต่อตัวแปรตอบสนองด้วยตัวของมันเองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยเกิดขึ้น
2. อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของปัจจัยหนึ่งที่จะเปลี่ยนไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยร่วมกัน



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิมพ์ชนก ทำนอง (2552) ทำการศึกษาเรื่อง การจัดเส้นทางรถขนส่งจากจุดส่งเดียว วิธีการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีการของบริษัทตัวอย่างโดยมีการแบ่งเขตพื้นที่การส่งสินค้าและใช้วิธี Nearest neighbor เปรียบเทียบกับวิธีเชิงพันธุกรรมประกอบกับวิธีฮิวริสติกแบบ Nearest neighbor

โดยไม่แบ่งเขตพื้นที่การส่งสินค้า พบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถลดจำนวนรถและระยะทางการขนส่งลงได้ ทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งลดลง

โรสนานี แวหะหัย (2556) ทำการวิจัยเรื่อง ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า เพื่อปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าให้มีต้นทุนต่ำภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยใช้วิธีการจำลองปัญหาในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์และใช้วิธีการแทรกไปข้างหน้า วิธีการแบบแทรกใกล้สุด และปรับปรุงด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้ำระหว่างเส้นทางและย้ายลำดับลูกค้ำระหว่างเส้นทางจากนั้นจึงออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกวิธีการขนส่ง พบว่าระบบสามารถเสนอวิธีการที่ทำให้ระยะทางลดลงและสามารถลดต้นทุนได้

ปรัชญ์ บุญแซม นันทิ สุทธิการณัญญ และ วันชัย รัตนวงษ์ (2555) ทำการศึกษาเรื่องการลดต้นทุนการขนส่งเงินสดจากศูนย์กระจายเงินสดไปยังจุดขนส่งต่างๆ โดยพิจารณาด้านเวลาการจัดส่งด้วยรูปแบบการจัดการงานในการแบ่งจำนวนจุดขนส่งสำหรับศูนย์กระจายเงินสด และจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการกวาดมุมแบบกลุ่มทำให้สามารถลดจำนวนรถขนส่งลงไปได้

พรพรรณ โตโภชนพันธุ์ (2555) ศึกษาเรื่อง การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า พิจารณาด้านปริมาตรสินค้าเพื่อให้มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้น้อยที่สุดโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบวิธีมูลค่าประหยัดประยุกต์กับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่บรรทุกและอัตราสิ้นเปลืองของรถเพื่อช่วยจัดเส้นทางการขนส่งโดยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลง พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางรถได้เพิ่มขึ้นและช่วยลดค่าใช้จ่ายรวมลง

ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2556) ศึกษาเรื่อง การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการอาณานิคมมด โดยศึกษาจากบริษัทกรณีศึกษาภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้าและความต้องการที่ไม่แน่นอนของลูกค้า ซึ่งจัดการความไม่แน่นอนด้านความต้องการด้วยวิธีฐานนิยมและค่าเฉลี่ยและจัดเส้นทางด้วยวิธีการอาณานิคมมดประยุกต์กับวิธีย้ายลูกค้ำระหว่างเส้นทาง พบว่าให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับดี

ประภัสสร สุชาบุรณ์ และ สมชาย ปฐมศิริ (2554) ได้ออกแบบโปรแกรมสำหรับ การจัดเส้นทางการกระจายโลหิตจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติให้กับโรงพยาบาลในเขตพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลเนื่องจากพบปัญหาปริมาณรถเที่ยวเปล่ามีจำนวนมากและบรรทุกเลือดน้อยกว่าความสามารถในการบรรทุกมาก จึงจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบมูลค่าประหยัดซึ่งสามารถกำหนดข้อจำกัดด้านระยะทางหรือระยะเวลาได้ พบว่าสามารถลดจำนวนรถเที่ยวเปล่า ระยะทางและเวลาลงได้

ธงชัย ทองทวี (2553) ศึกษา สภาพปัญหาและแนวทางการจัดการขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาม อำเภोजักราช จังหวัดนครราชสีมา พบว่ามีพฤติกรรมจัดการขยะไม่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็น แมลงวันและสัตว์พาหะนำโรค นอกจากนี้ยังพบปัญหาการคว้นจากการเผาขยะอีกด้วย จึงได้เสนอให้มีการร่วมมือในการจัดการขยะมูลฝอยของภาครัฐและเอกชนและคัดเลือกพื้นที่ในการสร้างระบบกำจัดขยะมูลฝอยขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงานไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Aiqin Wang และคณะ (2559) ทำการศึกษาเรื่อง แนวโน้มและปัจจัยที่มีผลต่อการจัดเก็บขยะมูลฝอยในชุมชนชนบทของประเทศจีน โดยเก็บข้อมูลจากหมู่บ้านต่างๆจากห้าจังหวัด และใช้สมการถดถอยคงที่เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บขยะมูลฝอย พบว่าการลงทุนที่เพิ่มสูงขึ้นและการให้ความสนใจในนโยบายระดับชาติ ทำให้สัดส่วนการให้บริการจัดเก็บขยะมูลฝอยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในหมู่บ้านที่มี รายได้เฉลี่ยสูง

ประภัสร์พงษ์ อดทน (2555) ได้ทำการศึกษาเรื่อง แนวทางการจัดการขยะในแหล่งกำเนิดชุมชน โดยแบ่งแหล่งกำเนิดขยะตามประเภทการใช้อาคารภายในเขตเมืองอุดรธานี พบว่าขยะรีไซเคิลมีสัดส่วนสูงที่สุดและโรงพยาบาลมีอัตราการเกิดขยะสูงที่สุด โดยได้เสนอแนวทางแก้ไขให้มุ่งเน้นที่แหล่งกำเนิดเป็นหลักโดยแบ่งเป็น 3 แผนสำหรับแหล่งกำเนิด 3 ประเภท 1. ชุมชน 2. พาณิชยกรรม 3. สถาบัน

สุทธิษา ทับตารา และ เสรี เศรษฐเศรณี (2554) ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรม การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีปัญหาการจัดเส้นทางของรถขนส่งสินค้าวิธีจัดกลุ่มจุดรับสินค้าก่อนแล้วจึงจัดเส้นทางรถในการสร้างแบบจำลอง โดยโปรแกรมสามารถวิเคราะห์เส้นทางรถเก็บขยะและช่วยในการตัดสินใจวางแผนการเก็บขยะได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ การศึกษาและรวบรวมข้อมูล สร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW) ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm with Nearest-Neighbor Heuristic) และการศึกษาค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้ในวิธีการเชิงพันธุกรรมในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ

3.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ผู้จัดได้ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะรวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูล โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 7 กลุ่ม จำแนกข้อมูลโดยใช้ขอบเขตของพื้นที่ในการจัดเก็บขยะเป็นเกณฑ์ ได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 เส้นทางรถเก็บขยะในพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

เส้นทาง	บริเวณที่ต้องเข้าเก็บขยะ	ปริมาณขยะ (กก.)
1	สุภาวัลย์ - ซอยลาดกระบัง52	4,426.34
2	เสถียรพาณิชย์ - สถานีตำรวจนครบาลลาดกระบัง	7,942.08
3	แยกลาดกระบัง - คลองตาฟูก	8,835.00
4	คลองตาฟูก - แยกลาดกระบัง	3,286.62
5	ชุมชนวัดลานบุญ	5,831.10
6	แยกลาดกระบัง - โรงรับจ่าน้ำลาดกระบัง	6,608.58
7	สจล. และชุมชนโดยรอบ	1,837.68

ซึ่งจะแสดงข้อมูลจุดเก็บขยะในบริเวณต่างๆด้วยตารางที่ 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 และ 3.8

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณหน้าหมู่บ้านสุภาวาลัย – ซอยลาดกระบัง52

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
1	หน้าหมู่บ้านสุภาวาลัย	13.71901	100.79804	212.04	1
2	บริษัททรูสิสซิ่ง	13.71908	100.79781	35.34	1
3	ซอยลาดกระบัง 54/2	13.72189	100.78746	212.04	1
4	สะพานลอยเทคโนโลยีสุวรรณภูมิ	13.71948	100.79685	141.36	1
5	เป่าตุ้งกึ่งย่าง	13.71934	100.79651	141.36	1
6	แฟมมีลีมาร์ทก่อนขึ้นสะพานหัวตะเข้	13.72161	100.79067	212.04	1
7	ซอยลาดกระบัง 54 (หัวคู้)	13.72108	100.78535	141.36	1
8	ธนาคารกรุงศรี	13.72188	100.78537	70.68	1
9	หน้าหอราชพฤกษ์	13.72188	100.78478	212.04	1
10	โรงพยาบาลจุฬารัตน์ 8	13.72171	100.78422	141.36	1
11	ซอยลาดกระบัง 52แยก7	13.71868	100.78412	530.10	1
12	ซอยลาดกระบัง52 แยก8	13.71883	100.78338	777.48	1
13	ซอยลาดกระบัง52 แยก10	13.71831	100.78339	777.48	1
14	ซอยลาดกระบัง 52แยก12	13.71781	100.78338	141.36	7
15	ซอยลาดกระบัง52 แยก14	13.7174	100.78337	777.48	3
16	ซอยลาดกระบัง 52แยก16	13.71695	100.78351	777.48	3
17	ซอยลาดกระบัง52 (ซอยจินดา)	13.72051	100.78371	530.10	3
18	หอราชพฤกษ์	13.72139	100.78484	212.04	3
19	สุวรรณภูมิทาวน์	13.72003	100.7848	530.10	3
20	ซอยลาดกระบัง 54/2(ซอยหัวเฉียว)	13.72141	100.78681	141.36	4
21	หมู่บ้านพรทิพย์	13.71632	100.79526	106.02	4
22	สนามฟุตบอล ครอคโคดาย์ฟิลด์	13.71462	100.79482	70.68	4
23	ปากซอยยุครัตน์ คอนโดมีเนียม	13.72120	100.79177	424.08	4
24	สถานีตำรวจนครบาลจระเข้หน้า	13.71811	100.79106	70.68	3
25	สถานีดับเพลิงลาดกระบัง	13.71867	100.79131	70.68	3
26	แพลตฟอร์มอาคารสงเคราะห์	13.71788	100.79032	247.38	4

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
27	คอนโดยกุลรัตน์	13.7173	100.79043	388.74	4

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณเสถียรพาณิชย์ – สถานีตำรวจนครบาลลาดกระบัง

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
28	ร้าน เสถียรพาณิชย์	13.72087	100.78051	106.02	1
29	แฟมมิลีมาร์ท ซอยริมสวน	13.72173	100.78242	106.02	1
30	หจก.สมพงษ์โลหะกิจ	13.72165	100.78192	106.02	1
31	ปากทางสนามบินสุวรรณภูมิ	13.72171	100.77634	176.70	1
32	ร้านอาหารเจ็นน้อย	13.71961	100.77608	176.70	1
33	มณีดา ทัวร์แอนด์ทรานสปอร์ต	13.71984	100.77619	106.02	1
34	ร้านนมมีลค์อิน	13.72150	100.77606	106.02	1
35	7-11 ปากซอยลาดกระบัง46/3	13.72155	100.77538	247.38	1
36	โครงการเอเวียน	13.72036	100.77410	106.02	1
37	7-11 ปากซอยลาดกระบัง46	13.72170	100.77351	141.36	1
38	ปากซอยลาดกระบัง40	13.72170	100.77302	70.68	1
39	หน้าร้านโปร85	13.72162	100.77070	141.36	1
40	สัมตำคณนาย	13.72154	100.76943	141.36	1
41	ร้านเดอะซิลล์	13.72161	100.76846	70.68	1
42	ร้านจิ้มจุ่มปากซอยลาดกระบัง42/2	13.72160	100.76810	282.72	1
43	ซอยลาดกระบัง 40	13.71990	100.76259	424.08	1
44	ไปรษณีย์ เจ้าคุณทหาร	13.72169	100.77756	176.70	1
45	ตลาดนัดสุวรรณภูมิ	13.72137	100.77870	1060.20	1
46	โรงแรมเกรทเรสซิเดนท์	13.71688	100.77585	70.68	4
47	ตลาดสุขสยาม	13.72166	100.77581	141.36	4
48	โรงแรมทองทารีสอร์ท	13.71979	100.77591	212.04	2

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
49	พจนันท์คอร์ท(ลาดกระบัง46/3)	13.71847	100.77543	70.68	2
50	กฤตยาเฮาส์	13.72151	100.76103	141.36	4
51	จันทร์เกษม หมูกระทะ	13.72155	100.77496	70.68	4
52	บ้านสินธร-อ่อนนุช ลาดกระบัง (ลาดกระบัง46/5)	13.72167	100.77693	848.16	4
53	หมู่บ้านศุภาสิริ ลาดกระบัง42/5	13.72072	100.77192	777.48	4
54	หมู่บ้านหมู่บ้าน มณสินี	13.72146	100.76561	777.48	4
55	บริษัท สถานีรีไซเคิล วงษ์พาณิชย์ สุวรรณภูมิ จำกัด	13.72068	100.75026	353.4	4
56	ซอยลาดกระบัง 42	13.71844	100.76507	459.42	4
57	สถานีตำรวจนครบาลลาดกระบัง	13.71990	100.76259	141.36	7
58	หอพักสมบัติ	13.72140	100.76374	106.02	4
59	วนาวัลย์ เฟลส 1	13.72100	100.77807	318.06	4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณแยกลาดกระบัง – คลองตาพุก

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
60	ซอยลาดกระบัง38/1	13.72144	100.75644	388.74	1
61	Homesuwan	13.72155	100.75530	106.02	1
62	7-11 ลาดกระบัง36	13.72183	100.75406	141.36	1
63	คลองลาดกระบัง	13.72272	100.75187	106.02	1
64	บ้านกรองน้ำ ลาดกระบัง	13.72289	100.75091	106.02	1
65	สถานีบริการเอ็นจีวี ปตท.จ.ปิโตร เลียม	13.72236	100.76103	35.34	1
66	ซอยลาดกระบัง32	13.72247	100.74493	35.34	1
67	ป้ายรถเมล์หน้าตลาดรวมใจ	13.72231	100.73900	106.02	1

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
68	ซอยลาดกระบัง30	13.72234	100.73676	176.70	1
69	ซอยลาดกระบัง26	13.72231	100.73556	176.70	1
70	ซอยลาดกระบัง24/1	13.72227	100.73322	70.68	1
71	ซอยลาดกระบัง24	13.72220	100.73079	106.02	1
72	พาชีโอลาดกระบัง	13.72208	100.72729	70.68	1
73	ฟอร์ด ลาดกระบัง	13.72179	100.72496	106.02	1
74	ซอยลาดกระบัง20	13.72205	100.71997	70.68	1
75	ซอยลาดกระบัง18/4	13.72207	100.71923	70.68	1
76	ซอยลาดกระบัง14/2	13.72208	100.71668	388.74	1
77	ป้ายรถเมล์ซอยลาดกระบัง14/1	13.72206	100.71606	106.02	1
78	ปากซอยซอยลาดกระบัง10	13.72202	100.71301	106.02	1
79	ซอยธรรมนุญ(ลาดกระบัง6)	13.72199	100.71103	176.70	1
80	ซอยลาดกระบัง2	13.72010	100.70980	388.74	4
81	ซอยลาดกระบัง4	13.72003	100.71083	388.74	4
82	ซอยลาดกระบัง6	13.71996	100.71130	388.74	4
83	ซอยลาดกระบัง8	13.72010	100.71273	388.74	4
84	ซอยลาดกระบัง10	13.72014	100.71317	388.74	4
85	ซอยลาดกระบัง12	13.72017	100.71356	388.74	4
86	ซอยลาดกระบัง14	13.72024	100.71400	318.06	4
87	หมู่บ้านเดอะยูโรเปียน	13.71925	100.73329	282.72	4
88	หมู่บ้านยูโรเปียนส์โนวา	13.71861	100.73346	812.82	4
89	คอนโดสมาร์ทซี อ่อนนุช	13.72078	100.73370	106.02	7
90	ลุมพินี วิลล์ อ่อนนุช-ลาดกระบัง	13.72195	100.71525	353.40	7
91	คอนโดไอริช	13.72189	100.71838	353.40	7
92	หมู่บ้านเคहनคร	13.71927	100.75259	247.38	4
93	ดีคอนโด	13.72130	100.72123	353.40	7
94	ร่มสุข คอนโดทาวน์	13.71928	100.73121	1,908.36	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณคลองตาฟูก - แยกลาดกระบ้ง

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
95	หอพักบีเอส เรสซิเดนท์	13.72006	100.74011	141.36	1
96	โรงเหล้าแสงจันทร์ สุวรรณภูมิ	13.72081	100.73936	282.72	1
97	หน้าศูนย์รวบรวมนรถยนต์ สุวรรณภูมิ	13.72183	100.73981	141.36	1
98	ซอยลาดกระบ้ง 1ก/1	13.72215	100.70922	70.68	1
99	บริษัท อุตสาหกรรมสิ่งทอนำชัย จำกัด(ซอยลาดกระบ้ง1ก/7)	13.72220	100.71150	70.68	1
100	ตลาดนำชัย(ลาดกระบ้ง1ก/9)	13.72309	100.71227	530.10	1
101	ปั้มน้ำมันเอสโซ่	13.72253	100.71386	212.04	1
102	โคขุนคุณทองโพนยางคำ สาขาอ่อน นุช-ลาดกระบ้ง	13.72238	100.71711	106.02	1
103	7-11 สาขาตลาดลานบุญ	13.72248	100.71841	106.02	1
104	หมู่บ้านบ้านกลางเมือง อ่อนนุช-วง แหวน	13.72466	100.71638	247.38	1
105	ซอยลาดกระบ้ง1/2	13.72227	100.72194	70.68	1
106	ซอยลาดกระบ้ง1/5	13.72227	100.72465	35.34	1
107	ซอยลาดกระบ้ง1/6	13.72241	100.72906	70.68	1
108	โรงพยาบาลสัตว์ลาดกระบ้ง	13.72245	100.73013	106.02	1
109	ซอยลาดกระบ้ง1/8	13.72249	100.73235	70.68	1
110	ซอยลาดกระบ้ง1/9	13.72251	100.73367	106.02	1
111	หมู่บ้านศุภาลัย สุวรรณภูมิ	13.72230	100.71504	282.72	1
112	หมู่บ้านเซนทริโอ อ่อนนุช-วงแหวน	13.72484	100.72484	247.38	3
113	ศูนย์บริการสาธารณสุข 46 กันตารัตติ อุทิศ	13.72330	100.72203	106.02	2
114	เอนอาร์ซี เรสซิเดนท์	13.72299	100.7159	35.34	4
115	ข้าวต้มไต้รุ่งนำชัย	13.72232	100.71438	35.34	4
116	ไปรษณีย์ 999	13.72245	100.71234	35.34	4

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
117	ชุมชนรุ่งเรืองพัฒนา	13.72318	100.71266	70.68	2
118	บ่อน้ำร้อนที่พีไอ	13.72257	100.73129	106.02	2
119	ครัวเมืองเว้ อาหารเวียดนาม สาขา ลาดกระบัง	13.72254	100.72443	106.02	3
120	วัดสังฆราชา	13.72482	100.7376	106.02	4

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลจุดเก็บขยะของบริเวณชุมชนวัดลานบุญ

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
121	โรงเรียนวัดสังฆราชา	13.72563	100.73731	706.80	1
122	ซอยประชานทร	13.72658	100.72897	1,413.60	2
123	ซอยชาวพัฒนา	13.72306	100.71921	530.10	3
124	วัดลานบุญ	13.72495	100.72025	353.40	2
125	หมู่บ้านสมนึก	13.72681	100.72150	530.10	3
126	ซอยทองคำ 1	13.72607	100.71877	883.50	2
127	ซอยทองคำ 2	13.72758	100.71942	706.80	3
128	สำนักงานสรรพากรพื้นที่สาขา ลาดกระบัง	13.72245	100.71945	106.02	3
129	ซอยอรุณลัม	13.72465	100.72249	282.72	2
130	ซอยสำราญใต้	13.72574	100.72713	530.10	3
131	หอราชพฤกษ์	13.72173	100.78418	282.72	2
132	หอพักอิงริรา	13.72344	100.71979	282.72	3

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลจุดเก็บขยะของบริเวณแยกลาดกระบัง – โรงรับจำนำลาดกระบัง

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
133	แยกกิ่งแก้ว	13.72260	100.74180	318.06	1
134	แยกแอร์ลิ่งลาดกระบัง	13.72262	100.74660	706.80	1
135	ร้านเป็ดย่างคุณสิน	13.72259	100.75274	353.40	1
136	ร้านปลาใหญ่ไผ่เขียว	13.72177	100.75602	106.02	1
137	ซอยลาดกระบัง9/2	13.72217	100.75881	70.68	1
138	บ้านแสงวิวัฒน์ อพาร์ทเมนท์	13.72308	100.75908	141.36	1
139	9/6 แมนชั่น (ลาดกระบัง9/6)	13.72207	100.76496	282.72	1
140	ร้านอาร์คิมิสท์ คอฟฟี่	13.72192	100.76039	141.36	1
141	สถานีบริการเอ็นจีวี ปตท. ไทย บูสท์	13.72187	100.76300	106.02	1
142	ปากซอยวัดปลูกศรศรธา	13.72185	100.76879	176.70	1
143	หอพักสมพล(ลาดกระบัง11/3)	13.72295	100.77099	318.06	1
144	ร้านอาหารโชน	13.72192	100.77140	282.72	1
145	ร้านอีสานเดิมสุวรรณภูมิ	13.72194	100.77220	212.04	1
146	ร้าน72 เรชบาร์	13.72198	100.77450	353.40	1
147	ร้านร้อย 13 ข้าวต้มโต้รุ่ง	13.72201	100.77556	247.38	1
148	ชิดลม	13.72211	100.77597	176.70	1
149	ร้านอาหารโยชิ	13.72206	100.77787	106.02	1
150	ประครองมิตร	13.72206	100.77917	141.36	1
151	ริมน้ำอพาร์ทเมนท์(ลาดกระบัง13/4)	13.72208	100.77961	212.04	1
152	ท็อป ซูเปอร์มาร์เก็ต	13.72214	100.78072	424.08	1
153	ธนาคารออมสิน	13.72218	100.78094	353.40	1
154	7-11 หน้าสวนพระนคร	13.72204	100.78144	176.70	1
155	โต๊ะสนุกเกอร์(ลาดกระบัง13/8)	13.72366	100.78249	212.04	4
156	หอพักบีบีเอส	13.72301	100.78247	106.02	3
157	ซอยลาดกระบัง13/8	13.72292	100.78265	318.06	3
158	พิชชาลัยท์ ลาดกระบัง	13.72214	100.7833	212.04	4

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
159	ซอยสำนักงานเขต	13.72310	100.78374	106.02	4
160	แฟลตตำรวจในซอยสำนักงานเขต	13.72338	100.78365	141.36	4
161	โรงพยาบาลลาดกระบัง	13.72238	100.78402	212.04	4
162	สะพานลอยจินดา	13.72209	100.7839	70.68	3
163	ซอยลาดกระบัง15/3	13.72257	100.7847	141.36	4
164	ซอยลาดกระบัง15/2	13.72255	100.7850	141.36	4
165	โรงรับจำนำลาดกระบัง	13.72215	100.7854	212.04	4

ตารางที่ 3.8 ข้อมูลจุดเก็บขยะบริเวณ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและพื้นที่ชุมชนโดยรอบ

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
166	อพาร์ทเมนท์ อพาร์ทเมนท์	13.72354	100.78049	530.10	4
167	ปากซอยเก็กงาม	13.72795	100.77033	70.68	4
168	วัดปลุกศรัทธา	13.72446	100.76828	70.68	4
169	ข้างโรงเรียนวัดปลุกศรัทธา	13.72791	100.76817	212.04	3
170	เดอะ เวิร์คพ้อยท์ อพาร์ทเมนท์	13.72786	100.76744	70.68	3
171	ซอยฉลองกรุง1แยก5	13.72634	100.76753	530.10	3
172	หอพักเอแอนด์เจ	13.72787	100.76685	70.68	3
173	กลุ่มร้านอาหาร(เก5)	13.72784	100.76614	176.7	3
174	โครงการบิลเลียนพาร์ค	13.72781	100.76485	70.68	4
175	สถานีรถไฟหัวตะเข้	13.72825	100.78259	70.68	3
176	โรงเรียนเซนต์จิมศิลป์	13.72530	100.78554	282.72	3
177	วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิต พัฒนศิลป์	13.72587	100.78869	176.70	3
178	ก่อตั้งโรงเรียนศึกษาพัฒนา	13.72479	100.78807	176.70	3

ลำดับที่	จุดเก็บขยะ	พิกัดที่ตั้ง		ปริมาณ ขยะ (กก.)	ความถี่ จัดเก็บ (วัน/ครั้ง)
		ละติจูด	ลองจิจูด		
179	ศูนย์สุขภาพชุมชน หลวงพรต ท่าน เลี่ยม	13.72446	100.7876	70.68	3

เมื่อได้ข้อมูลการเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน ผู้จัดทำจัดกลุ่มข้อมูลใหม่โดยใช้วันในสัปดาห์เป็นเกณฑ์สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 7 กลุ่มซึ่งประกอบด้วยวันจันทร์ อังคาร พุธ พฤหัสบดี ศุกร์ เสาร์และอาทิตย์ ข้อมูลผลปริมาณขยะที่ต้องจัดเก็บและระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะสามารถแสดงให้เห็นได้ตารางที่ 3.9 และขอบเขตในการศึกษาคือพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 พื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3.9 ผลรวมของปริมาณขยะและระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ปัจจุบันใน 1 สัปดาห์

วัน	ปริมาณขยะ (กก.)
จันทร์	33,231.38
อังคาร	34,111.94
พุธ	32,957.50
พฤหัสบดี	36,173.44
ศุกร์	33,363.91
เสาร์	34,848.19
อาทิตย์	39,654.43

3.2 สร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ด้วยวิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรม

เนื่องจากพื้นที่ในแขวงลาดกระบังมีจุดเก็บขยะจำนวนมาก ทำให้เส้นทางรถเก็บขยะของแต่ละคันที่เป็นไปได้มีจำนวนมหาศาล ในการออกแบบเส้นทางรถเก็บขยะใหม่ ผู้จัดทำจึงเลือกใช้วิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม ด้วยเหตุผลที่ว่าวิธีฮิวริสติกสามารถหาคำตอบที่เหมาะสม โดยไม่ขัดกับข้อจำกัดของปัญหาที่มีอยู่ จากนั้นใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้น โดยมีโครงสร้างในการทำงานเป็นดังต่อไปนี้

3.2.1 สร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด

ในการสร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ผู้จัดทำเลือกใช้วิธีฮิวริสติก เพื่อนำไปเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับวิธีเชิงพันธุกรรม และจะต้องพิจารณาข้อจำกัดคือขยะที่จัดเก็บจะต้องไม่เกินความจุของรถซึ่งเท่ากับ 6,500 กิโลกรัม รถเก็บขยะมีทั้งหมด 7 คัน จุดเก็บขยะแต่ละที่จะต้องถูกจัดเก็บเพียงครั้งเดียว และรถเก็บขยะทุกคันจะต้องเริ่มต้นจากหน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาด เมื่อขยะเต็มต้องจะถูกนำไปทิ้งที่โรงกำจัดขยะอ่อนนุช และนำรถไปเก็บที่หน่วยตามเดิม ดังจะแสดงได้ตามลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

1. กำหนดหมายเลข (ID) ให้กับทุกจุดในเส้นทางรถเก็บขยะ
2. สร้างตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ
3. กำหนดให้หน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาดเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางจัดเก็บขยะ
4. หาจุดทิ้งขยะจุดถัดไปที่มีระยะทางใกล้กับจุดเริ่มต้นมากที่สุด แล้วเลือกจุดนั้นเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางรถเก็บขยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5. พิจารณาเส้นทางแต่ละเส้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้
 1. ขยะที่จัดเก็บจะต้องไม่เกินความจุของรถซึ่งเท่ากับ 6,500 กิโลกรัม
 2. จุดเก็บขยะแต่ละที่จะต้องถูกจัดเก็บเพียงครั้งเดียว
 3. รถเก็บขยะมีทั้งหมด 7 คัน
6. ทำซ้ำในข้อที่ 4 จนกระทั่งเต็มความจุรถ
7. ทำซ้ำในข้อที่ 4-6 จนเก็บครบทุกจุด
8. เมื่อเก็บขยะครบทุกจุดแล้ว รถเก็บขยะจะต้องไปที่โรงกำจัดขยะเพื่อทิ้งขยะ
9. รถเก็บขยะจะต้องกลับไปที่หน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาดเป็นการสิ้นสุดงาน

3.2.1.1 วิธีการของวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดใกล้ที่สุดสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา

1. กำหนดหมายเลขให้กับทุกจุดในเส้นทางรถเก็บขยะ

เนื่องจากจุดที่ใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะมีจำนวนทั้งหมด 181 จุด จึงต้องกำหนดหมายเลขให้แต่ละจุดเพื่อให้ง่ายต่อการอ้างอิงและนำไปใช้ ซึ่งแสดงได้ตามตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 หมายเลขและจุดเก็บขยะทุกจุดในเส้นทางรถเก็บขยะ

หมายเลข	จุดเก็บขยะ	หมายเลข	จุดเก็บขยะ
0	หน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาด	12	ซอยลาดกระบัง52 (ซอยจินดา)
1	หน้าหมู่บ้านสุภาวีย์	13	ปากซอยยุครัตน์ คอนโดมีเนียม
2	ซอยลาดกระบัง 54/2	14	ร้าน เสถียรพาณิชย์
3	สะพานลอยสถาบันเทคโนโลยีสุรนธรณ์	15	แฟมมีลิ้มาร์ท สาขาซอยลาดกระบัง 50
4	ร้านอาหารเป่าตุ๋นกุ้งย่าง	16	หจก. สมพงษ์โลหะกิจ
5	แฟมมีลิ้มาร์ท สะพานหัวตะเข้	17	ปากทางสนามบินสุรนธรณ์
6	ซอยลาดกระบัง 54 (หัวคู้)	18	ร้านอาหารเงินน้อยดอนเมือง
7	ธนาคารกรุงศรี สาขาหัวตะเข้	19	มณีดา ทัวร์แอนด์ทรานสปอร์ต
8	หน้าหอราชพฤกษ์	20	ร้านนมมิลค์อิน
9	โรงพยาบาลจุฬารัตน์ 8	21	7-11 สาขาซอยลาดกระบัง46/3
10	ซอยลาดกระบัง 52แยก7	22	7-11 สาขาซอยลาดกระบัง46
11	ซอยลาดกระบัง 52แยก12	23	ปากซอยลาดกระบัง40

หมายเลข	จุดเก็บขยะ	หมายเลข	จุดเก็บขยะ
24	ร้านโปร58	50	ปากซอยซอยลาดกระบัง10
25	ร้านส้มตำคุณนาย	51	ซอยธรรมบุญ(ลาดกระบัง6)
26	ร้านเดอะซิลล์	52	หอพักบีเอส เรสซิเดนท์
27	ร้านจิ้มจุ่มปากซอยลาดกระบัง 42/2	53	โรงเหล้าแสงจันทร์ สุวรรณภูมิ
28	ไปรษณีย์ เจ้าคุณทหาร	54	หน้าศูนย์รวบรวมนรถยนต์ สุวรรณภูมิ
29	ตลาดนัดสุวรรณภูมิ	55	ซอยลาดกระบัง1ก/1
30	จันทร์เกษม หมูกระทะ	56	ซอยลาดกระบัง1ก/7
31	สถานีรีไซเคิล วงษ์พาณิชย์	57	โคขุนคุณทองโพนยางคำ อ่อนนุช
32	ซอยลาดกระบัง38/1	58	7-11 สาขา ตลาดลานบุญ
33	ร้านโฮมสุวรรณ	59	ซอยลาดกระบัง1/2
34	7-11 สาขาลาดกระบัง36	60	ซอยลาดกระบัง1/5
35	คลองลาดกระบัง	61	ซอยลาดกระบัง1/6
36	บ้านกรองน้ำ ลาดกระบัง (ลาดกระบัง34/6)	62	โรงพยาบาลสัตว์ลาดกระบัง
37	สถานีบริการเอ็นจีวี ปตท.	63	ซอยลาดกระบัง1/8
38	ซอยลาดกระบัง32	64	ซอยลาดกระบัง1/9
39	ป้ายรถเมล์หน้าตลาดรวมใจ	65	ไปรษณีย์ 999
40	ซอยลาดกระบัง30	66	ข้าวต้มโต้รุ่งน้ำชาย
41	ซอยลาดกระบัง26	67	ปั้มน้ำมันทีพีโอ
42	ซอยลาดกระบัง24/1	68	ครัวเมืองเว้ อาหารเวียดนาม สาขา ลาดกระบัง
43	ซอยลาดกระบัง24	69	สำนักงานสรรพากรพื้นที่สาขา ลาดกระบัง
44	ป้ายรถเมล์พาซิโอลาดกระบัง	70	แยกกิ่งแก้ว
45	ฟอร์ด สาขาลาดกระบัง	71	แยกแอร์ลิ่งลาดกระบัง
46	ซอยลาดกระบัง20	72	ร้านเปิดอย่างคุณสิน
47	ซอยลาดกระบัง18/4	73	ร้านปลาใหญ่ฝั่งเขียว
48	ซอยลาดกระบัง14/2	74	ร้านอาร์คิมิสท์ คอฟฟี่
49	ป้ายรถเมล์ซอยลาดกระบัง14/1	75	สถานีบริการเอ็นจีวี ปตท. ไทยบูสท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

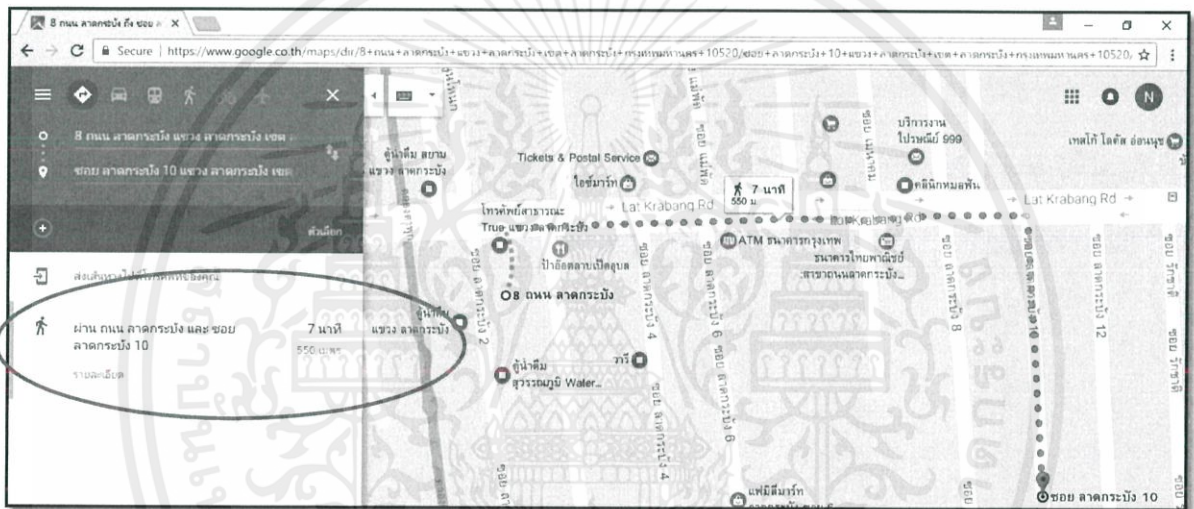
หมายเลข	จุดเก็บขยะ	หมายเลข	จุดเก็บขยะ
76	ปากซอยวัดปลุกศรัทธา	101	สนามฟุตบอลครอคโคโคโลล์ฟิลด์
77	ร้านอาหารโชน	102	สถานีตำรวจนครบาลจระเข้ขี้เฒ่า
78	ร้านอีสานเดิมสุวรรณภูมิ	103	สถานีดับเพลิงลาดกระบัง
79	ร้าน72 เรซแอนด์บาร์	104	แฟลตข้าราชการ
80	ร้านร้อย 13 ข้าวต้มไต้รุ่ง	105	คอนโดยุคร์ตัน
81	ร้านชิดลม	106	โครงการเอเวียน
82	ร้านอาหารญี่ปุ่นโยชิ	107	ซอยลาดกระบัง 40
83	ร้านประครองมิตร	108	โรงแรมเดอะเกรท เรสซิเดนท์
84	ริมน้ำอาร์ทเม้นท์ (ลาดกระบัง13/4)	109	ตลาดสุขสยาม
85	ท็อป ซูเปอร์มาร์เก็ต สาขา ลาดกระบัง	110	โรงแรมทองทาร์ริสอร์ท สุวรรณภูมิ
86	ธนาคารออมสิน สาขาสวนพระ นคร	111	หอพักพจนันท์คอร์ท (ลาดกระบัง46/3)
87	7-11 สาขาสวนพระนคร	112	หอพักกฤตยาเฮาส์
88	พิชชาฮัท	113	บ้านสินธร-อ่อนนุช ลาดกระบัง (ลาดกระบัง46/5)
89	ซอยสำนักงานเขต	114	หมู่บ้านศุภาสิริ ลาดกระบัง42/5
90	สะพานลอยจินดา	115	หมู่บ้านมณสิณี
91	โรงรับจำนำลาดกระบัง	116	ซอยลาดกระบัง 42
92	บริษัททูลิสซิ่ง	117	สถานีตำรวจนครบาลลาดกระบัง
93	ซอยลาดกระบัง52 แยก8	118	หอพักสมบัติ
94	ซอยลาดกระบัง52 แยก10	119	หอพักกวนาวัลย์ เฟลส 1
95	ซอยลาดกระบัง52 แยก14	120	ซอยลาดกระบัง2
96	ซอยลาดกระบัง 52แยก16	121	ซอยลาดกระบัง4
97	หอรภาพฤกษ์	122	ซอยลาดกระบัง6
98	หอพักสุวรรณภูมิทาวน์	123	ซอยลาดกระบัง8
99	ซอยลาดกระบัง 54/2 (ซอยหัวเดียว)	124	ซอยลาดกระบัง10
100	หมู่บ้านพรทิพย์	125	ซอยลาดกระบัง12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข	จุดเก็บขยะ	หมายเลข	จุดเก็บขยะ
126	ซอยลาดกระบัง14	150	ซอยทองคำ 2
127	หมู่บ้านเดอะ ยูโรเปียน	151	ซอยอรุณลัม
128	หมู่บ้านยูโรเปียนสีโนวา	152	ซอยสำราญใต้
129	สมาร์ทซี คอนโดมิเนียม อ่อนนุช	153	หอพักอิงอิรา
130	ลุมพินี วิลล์ อ่อนนุช-ลาดกระบัง	154	ซอยลาดกระบัง1
131	ไอริชคอนโด	155	ซอยลาดกระบัง9/2
132	หมู่บ้านเคหะนคร	156	หอพักบ้านแสงวิวัฒน์ อพาร์ทเมนท์
133	ดีคอนโด	157	9/6 แมนชั่น (ลาดกระบัง9/6)
134	ร่มสุข คอนโดทาวน์	158	หอพักสมพล(ลาดกระบัง11/3)
135	ตลาดน้ำชัย(ลาดกระบัง1ก/9)	159	โตะสนุกเกอร์(ลาดกระบัง13/8)
136	ปั้มน้ำมันเอสโซ่	160	หอพักบีบีเอส
137	บ้านกลางเมือง อ่อนนุช-วงแหวน	161	ซอยลาดกระบัง13/8
138	หมู่บ้านศุภาลัย สุวรรณภูมิ	162	แฟลตตำรวจในซอยสำนักงานเขต
139	หมู่บ้านเซนโทร อ่อนนุช-วงแหวน	163	โรงพยาบาลลาดกระบัง
140	ศูนย์บริการสาธารณสุข 46 กัน ตารัตอุทิศ	164	ซอยลาดกระบัง15/3
141	หอพักเอ็นอาร์ซี เรสซิเดนท์	165	ซอยลาดกระบัง15/2
142	ชุมชนรุ่งเรืองพัฒนา	166	เอพีที อพาร์ทเมนท์
143	วัดสังฆราชา	167	ปากซอยเก็กงาม
144	โรงเรียนวัดสังฆราชา	175	สถานีรถไฟหัวตะเข้
145	ซอยประชากร	176	โรงเรียนเซนต์เจมส์ศิลป์
146	ซอยขาวพัฒนา	177	วิทยาลัยช่างศิลป์ สถาบันบัณฑิต พัฒนศิลป์
147	วัดลานบุญ	178	โกดังโรงเรียนศึกษาพัฒนา
148	หมู่บ้านสมนึก	179	ศูนย์สุขภาพชุมชน หลวงพรต ท่าน เลี่ยม
149	ซอยทองคำ 1	180	โรงกำจัดขยะอ่อนนุช
150	ซอยทองคำ 2		

2. สร้างตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา

ข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางประกอบด้วยซึ่งประกอบด้วยชื่อของจุดเก็บขยะที่แทนด้วยหมายเลข ข้อมูลปริมาณขยะและระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะ 2 จุดใดๆ เพื่อสร้างเป็นเมตริกซ์ระยะทางโดยใช้แผนที่จากแอปพลิเคชันกูเกิ้ล แมพ (Google maps) ในการหาระยะทางร่วมกับการพิจารณาด้านกฎการจราจร และความเป็นไปได้ในการใช้เส้นทางโดยเริ่มต้นจากเปิด Google map > กดปุ่มเส้นทาง> ใส่พิกัดของจุดเริ่มต้นและพิกัดของจุดสุดท้ายของเส้นทางที่ต้องการรู้ระยะทางลงในช่องว่าง > ได้ค่าระยะทางระหว่างจุดสองจุดที่ต้องการ ผลลัพธ์ของการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดจากGoogle map แสดงด้วยรูปที่ 3.2 และแสดงเมตริกซ์ระยะทางในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ผลลัพธ์ของการหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดจาก Google Map

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	2.7	3.9	2.8	2.9	3.5	4.2	4.1	4.2	4.2	4.7	4.8	4.5	3.4	4.7	4.5
1	3.6	0	1.2	0.14	0.2	0.85	1.5	1.4	1.5	1.6	2	2.1	1.8	0.75	2.1	1.8
2	4.9	2.2	0	2.3	2.4	0.4	0.35	0.25	0.3	0.35	0.8	1.2	0.55	0.5	0.85	0.6
3	3.5	0.8	1.1	0	0.58	0.7	1.4	1.3	1.4	1.4	1.9	2	1.6	0.6	1.9	1.6
4	3.5	0.8	1.1	0.9	0	0.7	1.4	1.3	1.4	1.4	1.9	2	1.6	0.6	1.9	1.6
5	4.3	1.7	0.4	0.7	0.7	0	0.7	0.6	0.65	0.75	1.2	2.9	0.95	0.15	2.8	2.5
6	1	2.1	0.35	2.2	2.3	0.7	0	0.089	0.16	0.22	0.65	0.75	0.45	1.9	0.7	0.45
7	4.7	2	0.25	2.1	2.2	0.6	0.089	0	0.072	0.13	0.6	0.7	0.35	0.75	0.65	0.35
8	5.8	3.1	0.3	3.2	3.3	0.65	0.16	0.072	0	0.061	0.5	0.6	0.27	0.8	0.55	0.28
9	5.7	3.1	0.35	3.2	3.2	0.75	0.22	0.13	0.061	0	0.45	0.55	0.21	2.9	0.5	0.22
10	6.1	3.4	0.8	3.5	3.6	1.2	0.65	0.6	0.5	1.6	0	0.35	0.24	3.2	0.85	0.55
11	6.2	3.5	1.2	3.6	3.7	3.5	0.75	0.7	0.6	1.7	0.35	0	0.35	3.3	0.95	0.65
12	5.8	3.2	0.55	3.3	3.4	0.95	0.45	0.35	0.27	1.3	0.24	0.35	0	3	0.6	0.35
13	1.8	0.75	0.5	0.6	0.6	0.15	0.85	0.75	0.8	0.85	1.3	1.4	1.1	0	1.4	1.1
14	5.4	2.8	0.85	2.9	3	2.7	0.7	0.65	0.55	0.95	1.4	1.5	1.1	2.6	0	1.2
15	5.5	2.9	0.6	3	3.1	2.8	0.45	0.35	0.28	1	1.5	1.6	1.3	2.7	0.3	0

รูปที่ 3.3 เมตริกซ์แสดงระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ผลลัพธ์ระยะทางระหว่างจุดของจุดทุกจุดในเส้นทางรถเก็บขยะจาก Google Map แล้ว ผู้จัดทำจึงสร้างตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางในดังจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.4

A	B	F	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
หมายเลข	จุดทิ้งขยะ	ปริมาณขยะ		0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	หน่วยปฏิบัติการรักษาความสะอาด	0	0	0	2.7	3.9	2.8	2.9	3.5	4.2	4.1	4.2
1	หน้าหมู่บ้านสภารัตย์	212.04	1	3.6	0	1.2	0.14	0.2	0.85	1.5	1.4	1.5
2	ซอยลาดกระบัง 54/2	212.04	2	4.9	2.2	0	2.3	2.4	0.4	0.35	0.25	0.3
3	สะพานลอยเทคโนสุวรรณภูมิ	141.36	3	3.5	0.8	1.1	0	0.58	0.7	1.4	1.3	1.4
4	เป้าตองก้อย่าง	141.36	4	3.5	0.8	1.1	0.9	0	0.7	1.4	1.3	1.4
5	Familyกอนซินสะพานหัวตะเข้	212.04	5	4.3	1.7	0.4	0.7	0.7	0	0.7	0.6	0.65
6	ซอยลาดกระบัง 54 (หัววัด)	141.36	6	1	2.1	0.35	2.2	2.3	0.7	0	0.089	0.16
7	ธนาคารกรุงศรี	70.68	7	4.7	2	0.25	2.1	2.2	0.6	0.089	0	0.072
8	หน้าอราพรพฤษ	212.04	8	5.8	3.1	0.3	3.2	3.3	0.65	0.16	0.072	0
9	โรงพยาบาลจุฬารัตน์ 8	141.36	9	5.7	3.1	0.35	3.2	3.2	0.75	0.22	0.13	0.061
10	ซอยลาดกระบัง 52แยก7 แยกกิ่งวงเวียน	530.1	10	6.1	3.4	0.8	3.5	3.6	1.2	0.65	0.6	0.5
11	ซอยลาดกระบัง 52แยก12	106.02	11	6.2	3.5	1.2	3.6	3.7	3.5	0.75	0.7	0.6

รูปที่ 3.4 ตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ

3. เลือกจุดเก็บขยะเพื่อสร้างเส้นทางให้กับรถเก็บขยะ

ในเลือกจุดต่างที่อยู่ในเส้นทางรถเก็บขยะนั้น ผู้จัดทำเลือกใช้วิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด โดยเริ่มต้นจากกำหนดให้จุด 0 เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทางรถเก็บขยะ จากนั้นเลือกจุดเก็บขยะจุดถัดไปที่มีระยะทางใกล้กับจุดเริ่มต้นมากที่สุด แล้วเลือกจุดนั้นเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางรถเก็บขยะ

4. พิจารณาเส้นทางแต่ละเส้นจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ขยะที่จัดเก็บจะต้องไม่เกินความจุของรถซึ่งเท่ากับ 6,500 กิโลกรัม
2. จุดเก็บขยะแต่ละที่จะต้องถูกจัดเก็บเพียงครั้งเดียว
3. รถเก็บขยะมีทั้งหมด 7 คัน

ซึ่งขั้นตอนในการสร้างตัวแบบเส้นทางรถเก็บขยะสามารถแทนด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจ ดังนี้

$$X_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{ถารถเก็บขยะ } k \text{ เคลื่อนที่ไปจุดเก็บขยะ } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

มีการใช้สัญกรณ์ (Notation) สำหรับปัญหา VRP ดังนี้

- i, j จุดเก็บขยะที่ i หรือ j โดยที่ $i, j = 1 \dots N$
- k รถเก็บขยะคันที่ $k = 1 \dots M$
- N คือ จำนวนจุดเก็บขยะ
- M คือ จำนวนรถเก็บขยะ โดยที่ $M = 7$
- C คือ ความจุของรถเก็บขยะ โดยที่ $C = 6,500$ กิโลกรัม
- D_i คือ ปริมาณขยะที่จุดเก็บขยะ i
- d_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะ i ไปยังจุดเก็บขยะ j

มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ดังนี้

$$\sum_{k=0}^M \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N d_{ij} X_{ijk} \quad (3.1)$$

และมีสมการเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall j=1,2,3,\dots,N \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M X_{ijk} = 1 \quad \forall i=1,2,3,\dots,N \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^N D_i \left(\sum_{j=1}^N X_{ijk} \right) \leq C \quad \forall k=1,2,\dots,M \quad (3.4)$$

โดยที่สมการ (3.1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ที่แสดงระยะทางรวมที่สั้นที่สุด สมการที่ (3.2) และ (3.3) เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีรถเก็บขยะอย่างน้อย 1 คันเข้าจัดเก็บขยะแต่ละจุด สมการที่ (3.4) คือ ปริมาณขยะของแต่ละจุดโดยรวมในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินกว่าความจุของรถเก็บขยะ

ซึ่งเส้นทางของรถเก็บขยะ ระยะทางของรถเก็บขยะในแต่ละเส้นทาง จำนวนรถเก็บขยะที่ต้องใช้ และปริมาณขยะของรถแต่ละคันที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุด สามารถให้เห็นด้วยตัวอย่างเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันจันทร์ ได้ดังตารางที่ 3.11 ตารางที่ 3.12 และตารางที่ 3.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.11 ตัวอย่างเส้นทางของรถเก็บขยะแบบกรอบเวลา
ที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติก แบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดสำหรับวันจันทร์

Vehicle	Depot	Waste collection point									Depot
		1	2	3	4	5	...	23	24	25	
1	0	1	2	3	4	104	...	180	0	0	0
2	0	14	15	16	28	17	...	180	0	0	0
3	0	32	33	34	35	36	...	180	0	0	0
4	0	121	120	133	180	0	...	180	0	0	0
5	0	52	53	54	55	56	...	180	0	0	0
6	0	151	150	154	141	180	...	180	0	0	0
7	0	70	71	72	73	74	...	90	91	180	0
8	0	175	176	177	178	166	...	180	0	0	0

ตารางที่ 3.12 ตัวอย่างระยะทางของรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกสำหรับวันจันทร์

Vehicle	Depot	Waste collection point									Distance (km)
		1	2	3	4	5	...	23	24	25	
1	0	2.70	1.20	2.30	0.58	1.20	...	0	16.70	0	41.267
2	0	4.70	1.20	0.06	0.45	0.13	...	16.20	16.70	0	41.705
3	0	7.30	0.15	0.14	0.26	0.12	...	16.20	16.70	0	16.42
4	0	12.50	0.55	2.90	5.20	16.70	...	16.20	16.70	0	30.45
5	0	9.80	0.10	0.44	3.80	0.24	...	16.20	16.70	0	48.60
6	0	12.80	0.85	0.55	2.90	6.60	...	16.20	16.70	0	40.40
7	0	9.40	0.55	0.65	0.35	0.50	...	0.14	0.15	14.50	47.69
8	0	5.80	1.40	0.50	0.50	2.50	...	16.20	16.70	0	40.27
											301.95

ตารางที่ 3.13 ตัวอย่างปริมาณขยะของรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา
ของรถแต่ละคันที่จัดโดยใช้วิธีฮิวริสติกสำหรับวันจันทร์

Vehicle	Depot	Waste collection point									Load (kg)
		1	2	3	...	23	24	25			
1	0	212.04	212.04	141.36	...	0	0	0	4,240.80		
2	0	106.02	106.02	106.02	...	0	0	0	3,192.38		
3	0	388.74	106.02	141.36	...	0	0	0	2,650.50		
4	0	1,272.24	1,272.24	2,473.80	...	0	0	0	5,018.28		
5	0	141.36	282.72	141.36	...	0	0	0	2,650.50		
6	0	565.44	1,272.24	1,060.20	...	0	0	0	2,968.56		
7	0	318.06	706.80	353.40	...	70.68	212.04	0	6,467.22		
8	0	212.04	848.16	318.06	...	0	0	0	6,043.14		
											33,231.38

3.2.2 ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

3.2.2.1 ค้นหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

คือการค้นหาค่าโดยเลียนแบบวิธีการคัดเลือกตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการสุ่มซึ่งใช้ข้อมูลจากอดีตในการพิจารณาจุดที่จะต้องค้นหาใหม่โดยคาดหวังว่าสมรรถนะของการค้นหาจะดีขึ้นเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากขึ้น ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรมมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดประชากรเริ่มต้นเป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ ประชากรเริ่มต้นของปัญหานี้คือเส้นทางของรถเก็บขยะแต่ละคันที่ได้จากการจัดใหม่ด้วยวิธีฮิวริสติกเช่น เส้นทางของรถเก็บขยะคันที่ 1 คือ สตริง 1 แทนด้วย 0 6 1 2 3 9 4 5 7 8 10 180 0
2. กำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม เป้าหมายของปัญหานี้คือเส้นทางของรถเก็บขยะแต่ละคันจะต้องมีระยะทางรวมกันน้อยที่สุด
3. กำหนดเงื่อนไข โดยอ้างอิงจากข้อจำกัดของปัญหาซึ่งประกอบด้วย
 - 3.1 เส้นทางทุกเส้นทางจะต้องเริ่มต้นที่หน่วยปฏิบัติงานรักษาความสะอาดและสิ้นสุดในที่เดียวกัน จึงกำหนดให้ทุกเส้นทางที่จะจัดใหม่จะต้องเริ่มต้นและสุดท้ายด้วยเลข 0
 - 3.2 ปริมาณขยะของเส้นทางแต่ละเส้นจะต้องไม่เกินความจุของรถเก็บขยะซึ่งมีค่าเท่ากับ 6,500 กิโลกรัม
4. ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยการดำเนินการทางพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วย
 - 4.1 รีโพรดักชัน (Reproduction) คือการคัดเลือกโครโมโซมในประชากรปัจจุบันเพื่อสร้างโครโมโซมของประชากรรุ่นใหม่
 - 4.2 คrossover (Crossover) คือการจับคู่สมาชิกในกลุ่มประชากรทั้งหมดอย่างสุ่มและทำการไขว้สลับค่าที่อยู่หลังตำแหน่งที่เลือกไว้จากการสุ่ม
 - 4.3 มิวเตชัน (Mutation) เป็นการเปลี่ยนค่าตำแหน่งโครโมโซมแบบสุ่มจากปัญหาที่พิจารณาค่าจะเปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 โดยการเลือกตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชันแบบสุ่ม

3.2.2.2 การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้โปรแกรมประยุกต์

เมื่อได้เส้นทางรถเก็บขยะแต่ละเส้นจากวิธีการฮิวริสติกแล้ว นำคำตอบที่ได้แปลงค่าเป็นสตริง แล้วกำหนดให้เป็นประชากรเริ่มต้นของวิธีการเชิงพันธุกรรม จากนั้นใช้โปรแกรมประมวลผล เพื่อค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม เริ่มต้นจากการกำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจและฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของทั้ง 3 ส่วนนี้

1. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำหนดเป็น Optimization แบบการ Minimization
2. กำหนดเซลล์ที่จะใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

3. ตัวแปรตัดสินใจกำหนดให้เป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า Adjustable cell range ซึ่งโปรแกรมจะบังคับให้กำหนดขอบเขตบนและล่างของค่าตัวแปรตัดสินใจต่างๆ ซึ่งในที่นี้คือปริมาณขยะของแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกิน 6,500 กก. จึงกำหนดชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นแบบ Hard constraints

หลังจากที่ได้กำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆของวิธีเชิงพันธุกรรม ที่จะใช้ในการหาคำตอบได้แก่

1. Population size คือตัวกำหนดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละรุ่นประชากร
2. Random number generator seed คือวิธีการหาตัวเลขแบบสุ่มที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ
3. Crossover rate และ Mutation rate คือตัวแปรที่ใช้ควบคุมปฏิบัติการทางพันธุกรรม
4. Runtime คือเงื่อนไขการสิ้นสุด โดยเลือกใช้แบบ Trials คือการกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกพิจารณา

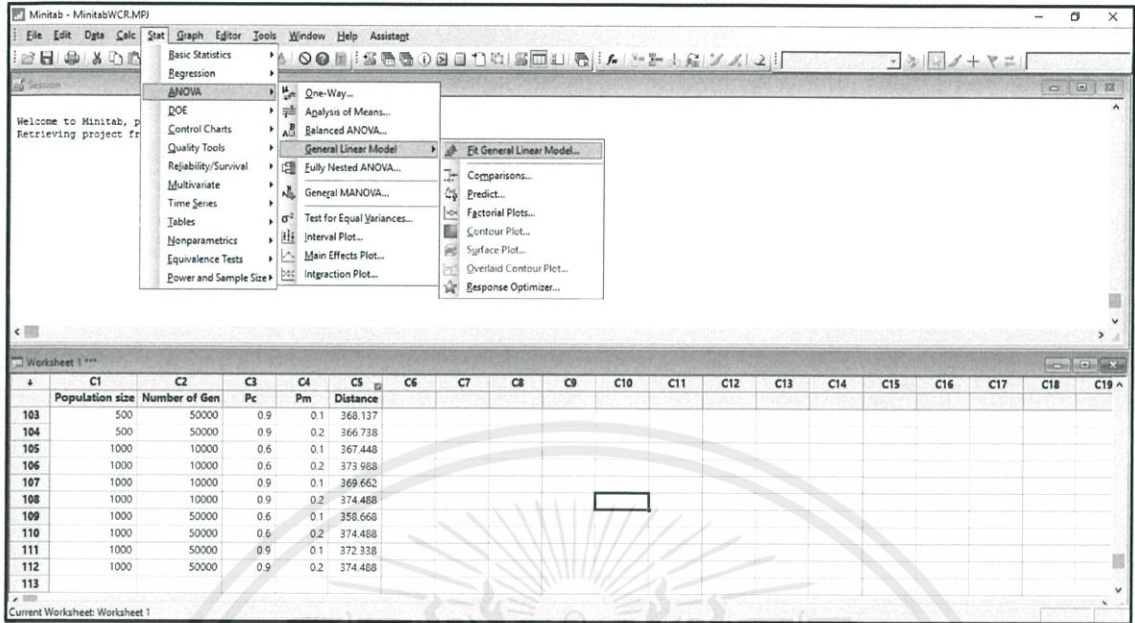
3.3 ศึกษาค่าตัวแปรที่จะนำมาใช้ในวิธีเชิงพันธุกรรม

ค่าตัวแปรของวิธีเชิงพันธุกรรมที่ถูกพิจารณาในบทนี้คือ ขนาดของประชากร (Population Size) จำนวนรอบในการเจเนอเรชัน (Number of Generation) ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุกรรม (Probability of Crossover) และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Probability of Mutation) โดยใช้วิธีการออกแบบแฟกทอเรียลในการศึกษา มีปัจจัยและระดับของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 3.14

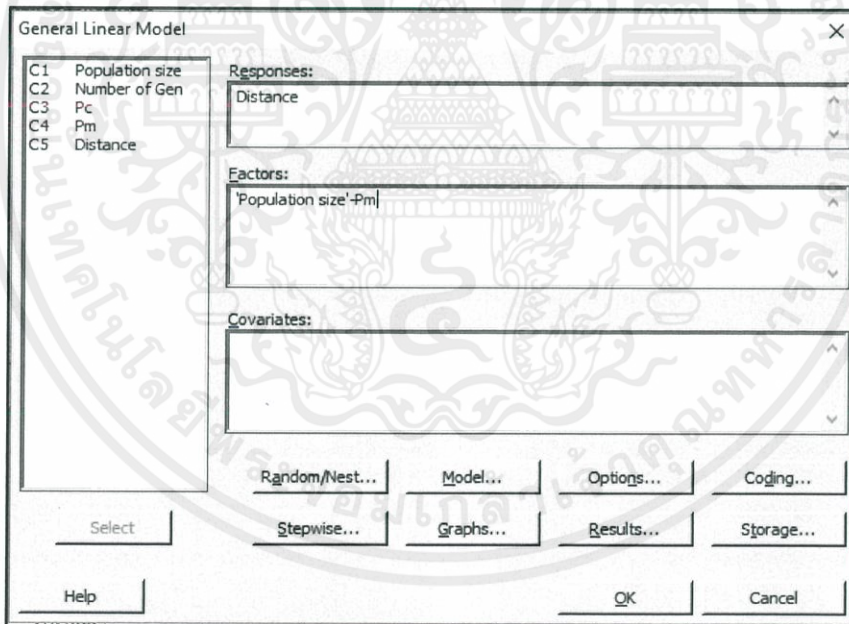
ตารางที่ 3.14 ค่าตัวแปรเพื่อการประมวลผลโปรแกรม

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
Number Generation	10,000 และ 50,000
Experimental Population	500 และ 1,000
Crossover probability	0.6 และ 0.9
Mutation probability	0.1 และ 0.2

จากการทดลองตามทีออกแบบไว้ข้างต้น สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบหลักและผลกระทบของปัจจัยร่วม



รูปที่ 3.5 การใช้คำสั่ง ANOVA -> General Linear Model -> Fit General Linear Model



รูปที่ 3.6 การกำหนดปัจจัยและผลลัพธ์จากการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลลัพธ์จากตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะโดยข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม คือเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีรอบเวลาที่ใช้ในวันจันทร์ อังคาร พุธ พฤหัสบดี ศุกร์ เสาร์ และอาทิตย์ ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm with Heuristics) โดยแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงาน

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีรอบเวลาที่ใช้ในวันจันทร์ ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
จันทร์	1	0-1-2-3-4-104-105-5-6-7-8-97-9-10-11-12-93-180-0	4,240.80	41.27
	2	0-14-15-16-28-17-18-19-20-30-111-112-21-22-23-24-25-26-27-31-180-0	3,192.38	41.17
	3.1	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-180	7,668.78	46.87
	3.2	180-121-120-133-180-0		
	4	0-52-53-54-55-56-57-58-60-68-61-62-63-64-65-66-67-141-138-180-0	2,650.50	47.14
	5	0-151-150-154-59-180-0	2,968.56	38.00
	6	0-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-159-160-88-89-90-91-180-0	6,467.22	47.69
7	0-175-177-176-178-166-29-113-180-0	6,043.14	39.82	

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
		รวม	33,231.38	301.952

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันอังคาร
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
อังคาร	1	0-1-2-3-4-100-101-13-102-6-7-8-9-10-11- 12-93-180-0	3,648.86	40.72
	2.1	0-14-15-16-118-108-28-17-18-19-20-109- 110-21-30-22-23-24-25-26-27-158-155-	8,516.94	81.39
	2.2	180-29-117-180-0		
	3	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43- 44-45-46-47-48-49-50-51-123-122-129- 180-0	5,937.12	41.07
	4	0-52-53-54-55-135-136-56-141-57-58-59- 60-61-62-63-64-65-66-67-68-143-180-0	3,852.06	41.81
	5	0-144-145-180-139-69-152-180-0	6,961.98	53.80
	6	0-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81- 82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-180-0	5,194.98	47.31
		รวม	34,111.94	306.11

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอเวลาที่ใช้ในวันพุธ
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
พุธ	1	0-1-2-3-4-98-13-5-6-7-8-9-10-11-12-94-180-0	5,062.46	43.08
	2	0-14-15-16-108-28-17-18-19-20-109-110-21-30-22-23-24-25-26-27-31-180-29-116	6,514.34	63.99
	3.1	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-180	7,668.78	48.42
	3.2	180-126-125-131-180-0		
	4	0-52-53-54-55-56-57-58-140-59-60-61-62-63-64-67-65-68-137-180-0	2,827.20	49.46
	5	0-151-153-147-149-69-180-0	4,417.50	37.99
	6	0-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-161-88-89-90-91-180-0	6,467.22	47.51
	รวม			32,957.50

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอเวลาที่ใช้ในวันพฤหัสบดี
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
พฤหัสบดี	1	0-1-2-3-4-13-102-103-105-5-6-7-8-9-10-11-12-95-180-0	4,072.94	40.22
	2	0-14-15-16-28-17-18-19-20-21-111-112-30-22-23-24-25-26-27-31-180-29-113-180-0	7,079.78	64.58
	3.1	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-180	8,022.18	49.67
	3.2	180-121-120-128-180-0		

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
พฤหัสบดี	4	0-52-53-54-55-56-57-58-140-59-60-61-62-63-64-65-66-67-149-69-167-168-169-170-174-172-173-180-0	6,431.88	69.93
	5	0-138-147-146-68-156-163-165-180-0	4,841.58	49.78
	6	0-70-71-72-73-74-75-157-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-180-0	5,725.08	47.39
	รวม		36,173.44	321.54

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันศุกร์
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
ศุกร์	1	0-1-2-3-4-13-104-5-6-7-97-9-8-10-11-12-96-14-180-0	3,772.55	44.93
	2	0-15-16-28-108-17-18-19-20-109-110-21-30-22-106-23-24-25-26-27-180-29-114-31-180-0	7,115.12	80.96
	3	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-123-122-127-180-0	6,325.86	41.07
	4	0-52-53-54-55-135-136-141-141-57-58-59-60-61-62-63-64-65-56-66-67-175-176-179-178-177-166-180-0	5,760.42	41.06
	5	0-151-150-154-139-69-68-70-180-0	4,417.50	46.00
	6	0-71-72-73-74-75-157-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-164-91-180-0	5,972.46	46.34
	รวม		33,363.92	300.36

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันเสาร์
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
เสาร์	1	0-1-2-3-4-100-101-13-5-6-7-8-9-12-11-10-93-94-180-0	4,231.97	39.91
	2	0-14-15-16-28-17-18-19-20-21-30-22-106-23-24-25-26-27-31-29-115-180-0	5,948.90	45.40
	3.1	0-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-124-60-159-155-	10,107.24	70.72
	3.2	180-126-152-131-180-0		
	4	0-52-53-54-55-56-136-135-141-57-69-59-63-61-62-67-64-65-66-58-68-143-180-0	3,922.74	54.24
	5	0-144-145-148-180-0	5,442.36	36.30
	6	0-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-180-0	5,194.98	47.31
		รวม	34,848.19	293.88

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันอาทิตย์
ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	รถคันที่	เส้นทาง	ปริมาณขยะ (กก.)	ระยะทาง (กม.)
อาทิตย์	1.1	0-1-92-2-3-4-13-98-5-6-7-8-9-10-11-12-	9,214.91	55.30
	1.2	180-149-153-147-146-69-180-0		
	2	0-15-16-108-28-17-18-19-20-109-110-21- 30-22-23-24-25-26-27-107-31-180-0	6,078.48	74.34
	3.1	0-114-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43- 44-45-46-47-48-49-50-51-52-32-180	6,007.80	35.55
	3.2	180-29-14-180-0		
	4	0-25-134-128-180-0	3,463.32	41.02
	5	0-52-53-54-55-56-137-58-140-59-60-61-62- 63-64-65-67-68-68-57-67-143-180-0	4,700.52	29.31
	6.1	0-70-71-72-73-74-75-157-76-77-78-79-80- 81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-164-91-	7,527.42	68.10
	6.2	180-155-156-157-180-0		
	7	0-167-168-169-170-174-172-173-180-0	2,438.46	15.71
	รวม	39,654.43	329.72	

4.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจัดเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม กับวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน

หลังจากได้ผลลัพธ์การจัดเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ไกลที่สุดร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมดังแสดงในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7 ผู้จัดทำได้นำผลการทดลองดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันโดยใช้ระยะทางและปริมาณภาระงานที่รถเก็บขยะแต่ละคันได้รับของแต่ละวิธีเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

4.2.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านระยะทาง

ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านระยะทาง ผู้จัดทำใช้ผลรวมระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันเทียบกับผลรวมระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมแบบมีกรอบเวลา ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบข้อมูลระยะทางของเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ปัจจุบัน กับเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม

วัน	ระยะทางของเส้นทาง ที่ใช้ในปัจจุบัน (กม.)	ระยะทางของเส้นทาง ที่ปรับปรุงแล้ว (กม.)	ค่าผลแตกต่าง ระยะทาง (กม.)
จันทร์	355.10	301.95	-53.15
อังคาร	333.61	306.11	-27.50
พุธ	292.65	290.45	-2.20
พฤหัสบดี	353.79	321.54	-32.25
ศุกร์	335.01	300.36	-34.65
เสาร์	315.55	293.88	-21.67
อาทิตย์	357.74	329.72	-28.02
รวม	2,343.45	2,144.01	-199.44

จากตารางที่ 4.8 พบว่าวิธีการจัดเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ทุกวันในหนึ่งสัปดาห์ที่ใช้ในปัจจุบันมีระยะทางรวมกันเท่ากับ 2,343.45 กิโลเมตร เมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดและปรับปรุงค่าตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในแต่ละวันได้ระยะทางที่สั้นที่สุด ทำให้ระยะทางรวมมีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,144.01 กิโลเมตร สามารถลดระยะทางรวมลงได้จากเดิม 199.44 กิโลเมตร

4.2.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านภาระงาน

ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านภาระงานของรถเก็บขยะแต่ละคันที่ใช้ในหนึ่งสัปดาห์ ผู้จัดทำใช้อัตราการใช้ประโยชน์ของรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันเทียบกับอัตราการใช้ประโยชน์ของรถเก็บขยะแบบปรับปรุงแล้ว การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านภาระงานของรถเก็บขยะโดยเฉลี่ยที่ใช้ในวันจันทร์ อังคาร พุธ พฤหัสบดี ศุกร์ เสาร์และอาทิตย์ แสดงได้ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบอัตราการใช้ประโยชน์รถในปัจจุบัน
กับอัตราการใช้ประโยชน์รถที่ปรับปรุงแล้ว

วัน	อัตราการใช้ประโยชน์ในปัจจุบัน (%)	อัตราการใช้ประโยชน์ที่ปรับปรุงแล้ว (%)	ค่าผลแตกต่างอัตราการใช้ประโยชน์ (%)
จันทร์	56.81	63.91	-7.10
อังคาร	58.31	65.60	-7.29
พุธ	63.38	63.38	0.00
พฤหัสบดี	55.65	69.56	-13.91
ศุกร์	64.16	73.33	-9.17
เสาร์	59.57	76.59	-17.02
อาทิตย์	61.01	61.01	0.00
ผลรวมโดยเฉลี่ย	59.84	67.62	-7.78

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านภาระงานของรถเก็บขยะที่ใช้ในแต่ละวันพบว่า เส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 59.84 และเส้นทางรถเก็บขยะด้วยวิธีวิธิตกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 67.62 ซึ่งเส้นทางรถเก็บขยะที่ปรับปรุงแล้วมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยมากกว่าเดิม คิดเป็นร้อยละ 7.78 อีกทั้งปริมาณงานที่รถเก็บขยะแต่ละคันได้รับยังมีความสมดุลมากกว่าเดิมอีกด้วย

4.3 ผลการทดสอบค่าตัวแปรที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา

จากการทดลองด้วยวิธีการออกแบบแฟกทอเรียลของปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะโดยใช้ค่าปัจจัยตามที่ได้ออกแบบไว้ เมื่อนำผลมาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปด้วยโปรแกรม Minitab จะได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวน ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 1 จะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าเป้าหมายนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05 กราฟแสดงผลกระทบจากอิทธิพลหลัก(Main Effect Plot) และผลกระทบจากอิทธิพลร่วม (Interaction Effect Plot) ช่วยให้ทราบถึงค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 รูปที่ 3 ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าไม่มีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมตัวใดที่มีต่อระยะทางจึงเลือกใช้ค่าจำนวนรอบในการเจนเนอร์ชั่น 50,000 จำนวนประชากร 500 ค่าความเอกซาคอนนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์ 0.9 และค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน 0.1 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.10

General Linear Model: Distance versus Population size, Number of Gen, Pc, Pm
Method

Factor coding (-1, 0, +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Population size	Fixed	2	500, 1000
Number of Gen	Fixed	2	10000, 50000
Pc	Fixed	2	0.6, 0.9
Pm	Fixed	2	0.1, 0.2

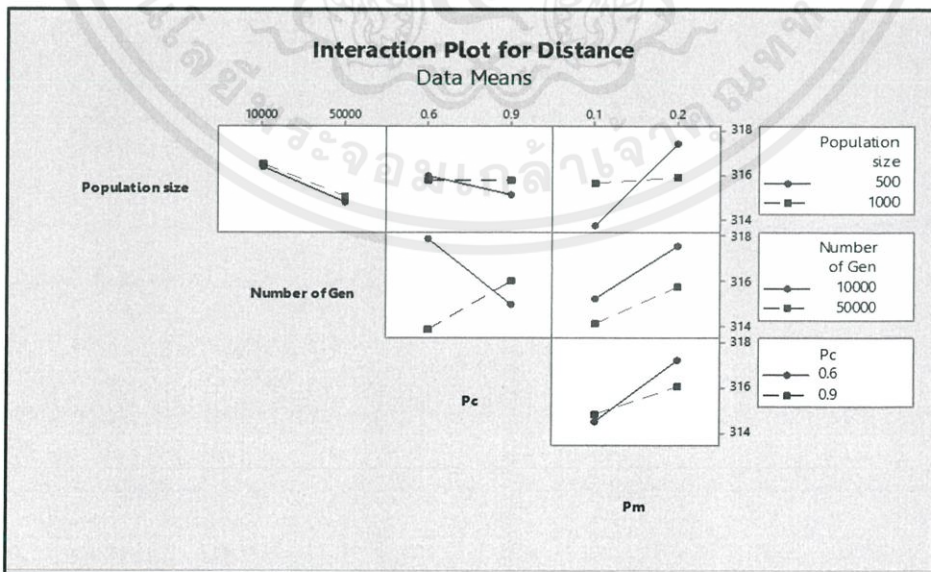
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Population size	1	1.4	1.383	0.00	0.962
Number of Gen	1	62.2	62.166	0.10	0.752
Pc	1	5.3	5.259	0.01	0.927
Pm	1	112.0	112.032	0.18	0.672
Population size*Number of Gen	1	0.1	0.122	0.00	0.989
Population size*Pc	1	5.7	5.675	0.01	0.924
Population size*Pm	1	81.2	81.172	0.13	0.718
Number of Gen*Pc	1	180.7	180.691	0.29	0.591
Number of Gen*Pm	1	3.6	3.553	0.01	0.940
Pc*Pm	1	15.6	15.648	0.03	0.874
Population size*Number of Gen*Pc	1	135.7	135.709	0.22	0.641
Population size*Number of Gen*Pm	1	1.8	1.786	0.00	0.957
Population size*Pc*Pm	1	23.8	23.836	0.04	0.845
Number of Gen*Pc*Pm	1	79.9	79.937	0.13	0.720
Population size*Number of Gen*Pc*Pm	1	23.3	23.267	0.04	0.847
Error	96	59507.6	619.871		
Total	111	60239.8			

Model Summary

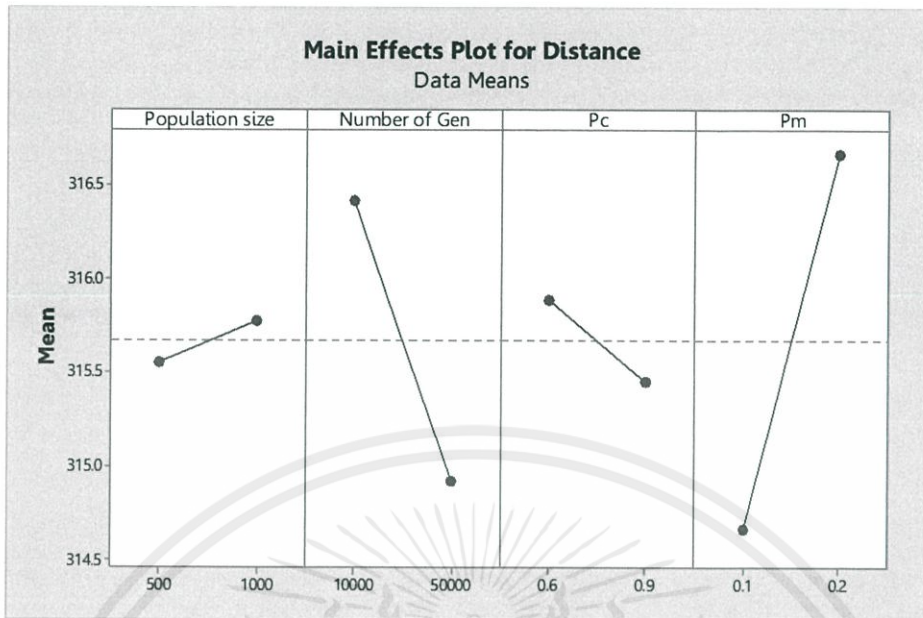
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
24.8972	1.22%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลัก



รูปที่ 4.2 ผลกระทบจากอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลกระทบจากอิทธิพลร่วม (Interaction Effect Plot)

ตารางที่ 4.10 ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยสำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด	ค่าตัวแปรที่เลือกใช้
จำนวนรอบในการเงินเนอเรนซ์	10,000	50,000
	50,000	
จำนวนประชากร	500	500
	1,000	
ค่าความน่าจะเป็นของการ ครอสโอเวอร์	0.6	0.9
	0.9	
ค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชัน	0.1	0.1
	0.2	

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลและการอภิปรายผลของงานวิจัยการศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ กรณีศึกษาพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร และข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การสรุปผลการดำเนินงาน
2. ข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ: กรณีศึกษาพื้นที่แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร เพื่อให้เส้นทางที่ได้มีระยะทางรวมสั้นที่สุดและภาระงานที่รถเก็บขยะแต่ละคันได้รับนั้นสมดุลกันมากขึ้น

ผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลปริมาณขยะที่ต้องเข้าเก็บและระยะทางของจุดเก็บขยะแต่ละจุด เมื่อแบ่งข้อมูลโดยใช้วันในหนึ่งสัปดาห์เป็นเกณฑ์ สามารถจำแนกข้อมูลออกมาเป็น 7 กลุ่มได้แก่ เส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันจันทร์ อังคาร พุธ พฤหัสบดี ศุกร์ เสาร์ และอาทิตย์ จากนั้นทำการสร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Window: VRPTW) ด้วยวิธีฮิวริสติกแบบเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดร่วมกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm with Nearest Neighbor Heuristic)

ผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินงานพบว่าวิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถลดระยะทางโดยรวมของรถเก็บขยะและเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ย โดยผลการทดลองแสดงได้ตามข้อต่อไปนี้

1. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันจันทร์ วิธีการฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 301.95 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 63.91 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 14.97 และร้อยละเท่ากับ 7.10 ตามลำดับ

2. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันอังคาร วิธีการฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 333.61 กิโลเมตร และมีอัตราการ ใช้ประโยชน์รถ

โดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 65.60 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 8.24 และร้อยละเท่ากับ 7.29 ตามลำดับ

3. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันพุธวิธีการฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 292.65 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 63.38 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 0.75 และร้อยละเท่ากับ 0 ตามลำดับ

4. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันพฤหัสบดี วิธีการฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 353.79 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 69.56 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 9.12 และร้อยละเท่ากับ 13.91 ตามลำดับ

5. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันศุกร์ วิธีการฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 335.01 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 73.33 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 10.34 และร้อยละเท่ากับ 9.17 ตามลำดับ

6. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันเสาร์ วิธีการฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 315.55 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 76.59 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 6.87 และร้อยละเท่ากับ 17.02 ตามลำดับ

7. สำหรับเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในวันอาทิตย์ วิธีการฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถจัดเส้นทางรถเก็บขยะได้ระยะทางที่เหมาะสมเท่ากับ 357.74 กิโลเมตร และมีอัตราการใช้ประโยชน์รถโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 61.01 ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 7.83 และร้อยละเท่ากับ 0 ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า วิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรมสามารถสร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหาการรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ที่สามารถลดระยะทางโดยรวมและเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์โดยเฉลี่ยของรถเก็บขยะ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเส้นทางรถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบัน นอกจากนี้ตัวแบบที่ได้ยังสามารถสร้างสมมูลของภาระงานที่รถเก็บขยะแต่ละคันได้รับให้มีมากขึ้นกว่าเดิมอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากผู้จัดทำไม่สามารถจับเวลาขณะที่พนักงานปฏิบัติงานได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานทั้งหมดจึงเป็นเพียงการประมาณช่วงเวลาเพียงเท่านั้น หากมีการศึกษางานวิจัยต่อ ควรเก็บข้อมูลเรื่องเวลาและนำมาพิจารณาเพื่อสร้างตัวแบบสำหรับรถเก็บขยะที่มีความเหมาะสมมากขึ้นต่อไป

2. ขอบเขตของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเก็บขยะในพื้นที่แขวงลาดกระบัง แต่รถเก็บขยะที่ใช้ในปัจจุบันต้องใช้เก็บขยะพื้นที่ทุกแขวงในเขตลาดกระบัง จึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการเก็บขยะในพื้นที่แขวงๆอื่นในเขตลาดกระบัง เพื่อให้ตัวแบบสำหรับรถเก็บขยะที่สร้างขึ้นมีความสอดคล้องกับสภาพการทำงานปัจจุบัน

3. งานวิจัยนี้ผู้จัดทำเลือกใช้วิธีฮิวริสติกและวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm with Nearest Neighbor) ในการออกแบบและสร้างตัวแบบสำหรับแก้ปัญหารถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลา ซึ่งไม่มีความยืดหยุ่นในการหาผลลัพธ์เมื่อข้อมูลหรือค่าพารามิเตอร์เปลี่ยน ดังนั้นควรมีการศึกษาทฤษฎีอื่นๆเพิ่มเติม เพื่อสร้างตัวแบบที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นเมื่อนำมาใช้งาน

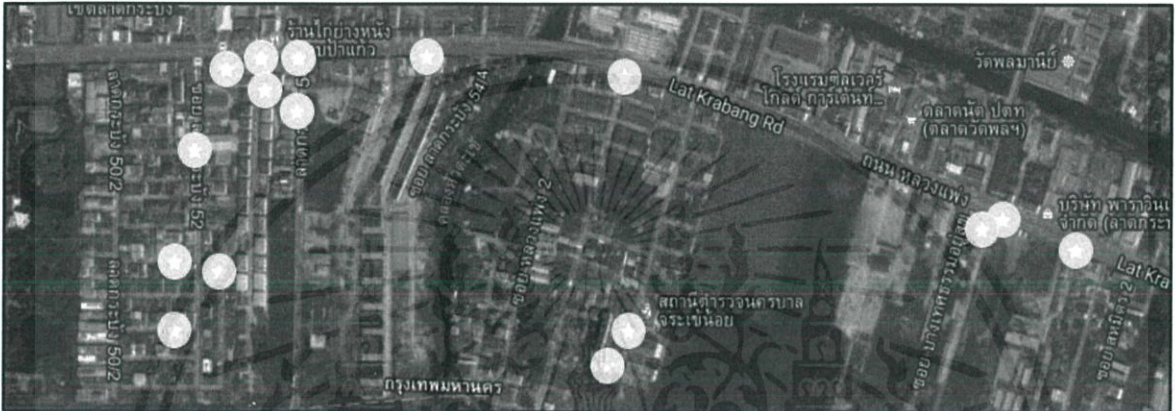
เอกสารอ้างอิง

- [1] กฤต จันทรสมัย, 2554. การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีค้นหาค่า ตอแบบวนรอบซ้ำ กรณีศึกษา ร้านโต้งน้ำแข็ง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- [2] จิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2555. “การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ยานพาหนะด้วยวิธีอาณานิคมมด กรณีศึกษา: บริษัทเจียรนัยน้ำดื่มจำกัด”, KKU Research Journal (Thailand) 17 : 706-714.
- [3] ปวีณา เชาวลิทวงศ์ และ อรประไพ จารุพัฒน์, 2556. “อิทธิพลต่อการจัดเส้นทางเดินรถเปิดเพื่อ ลดต้นทุนการขนส่ง”, วารสารวิศวกรรม 4 : 59-72.
- [4] ประชัญ บุญแซม, นันทิ สุทธิการณนัย และ วันชัย รัตนวงษ์, 2555. การจัดกลุ่มขนส่งสินค้าและจัด เส้นทางขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแหล่ง กรณีศึกษา: การขนส่งเงินสด, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- [5] ประภัทรพงษ์ อดทน, 2555. “แนวทางการจัดการขยะในแหล่งกำเนิด เมืองอุดรธานี”, วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 11: 97-113.
- [6] ประภัสสร สุขชาบุรณ์ และ สมชาย ปฐมศิริ, 2554. “การจัดเส้นทางการกระจายโลหิตในเขตกรุงเทพ และปริมณฑล กรณีศึกษา: ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย”, การประชุมวิชาการช่วยงาน วิศวกรรมอุตสาหการ ปี 2554, 1543-1547.
- [7] ธงชัย ทองหวี, 2553. สภาพปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย องค์การบริหารส่วนตำบลหนองขาม อำเภोजักราช จังหวัดนครราชสีมา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- [9] พรพรรณ โตโกชนพันธ์ุ, 2558. “การจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้า กรณีศึกษา: บริษัทจำหน่ายสินค้าประเภทอุปโภคบริโภค”, วารสารวิชาการบริหารธุรกิจ 4 : 93-101.
- [9] พิมพ์ชนก ทำนอง, 2552. การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจากจุดส่งเดียว กรณีเปรียบเทียบวิธีการแบบฮิวริ สติกส์และวิธีการเชิงพันธุกรรม, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยนเรศวร,
- [10] ไพจิตร อุปถัมภ์, 2556. กรณีศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ: กรณีศึกษา องค์การบริหาร ส่วนตำบลท่าศาลาอำเภอมัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี

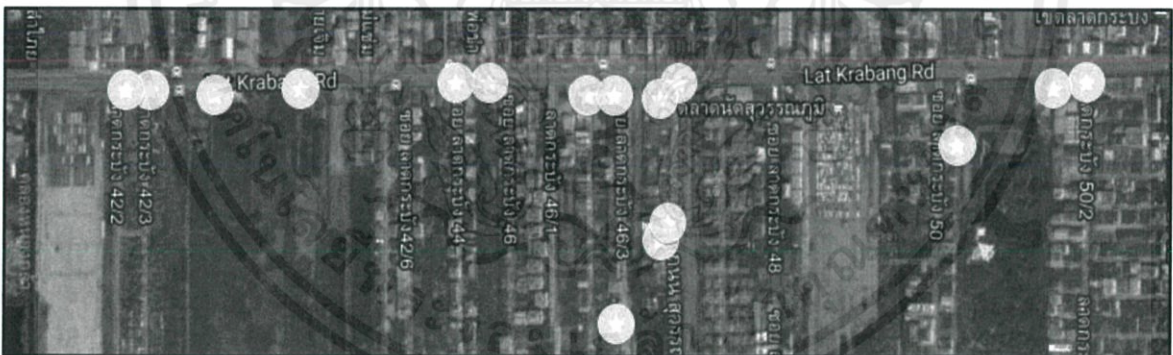
- [11] โรสนานี แวหะยี, 2557. ขั้นตอนสำหรับวิธีปัญหาการจัดการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องดื่มผลไม้, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [12] สุทธิษา ทับตารา และ เสรี เศวตเศรนี, 2554. “การจัดการขยะชุมชนในกรุงเทพมหานคร”, วิศวกรรมสาร มก. 24 : 34-46.
- [13] สำนักสิ่งแวดล้อม, 2556. คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งแฉะโดยชุมชน กรุงเทพมหานคร, กรุงเทพมหานคร: บริษัทมาตาการพิมพ์
- [14] G. Clarke and J. W. Wright., 1964. “Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points”, Operation Research 12 : 568-581
- [15] George B. Dantzig, 1954. “Solution of a Large-Scale Traveling-Salesman Problem”
- [16] Wang A., 2006. "Trends and determinants of rural residential solid waste collection services in China ", China Agricultural Economic Review 8 : 698–71
- [16] Melanie M., 1998. An introduction to genetic algorithms, Cambridge. A Bradford book
- [17] Merrill M. Flood., 1956. “The Travelling Salesman Problem”, Operation Research 4 : 61-75
- [18] Miao L., Ruan Q., Woghiren K. and Ruo Q., 2009. “A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints” , Journal of Mechanics 25 : N7-N16
- [19] Michalewicz Z., “Genetic Algorithm”, University of North Carolina Charlotte, 1992.

ภาคผนวก

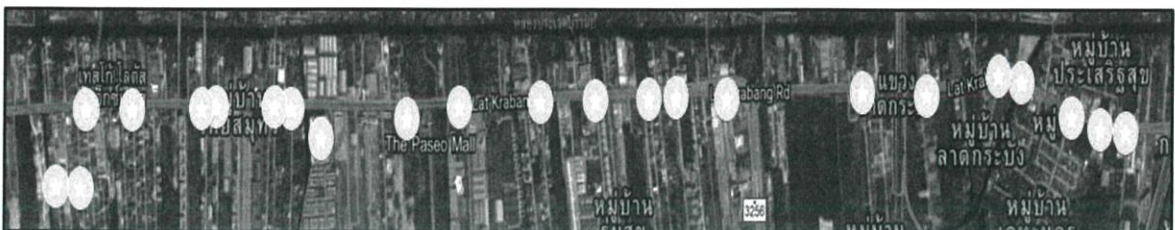
1. ผลของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันจันทร์



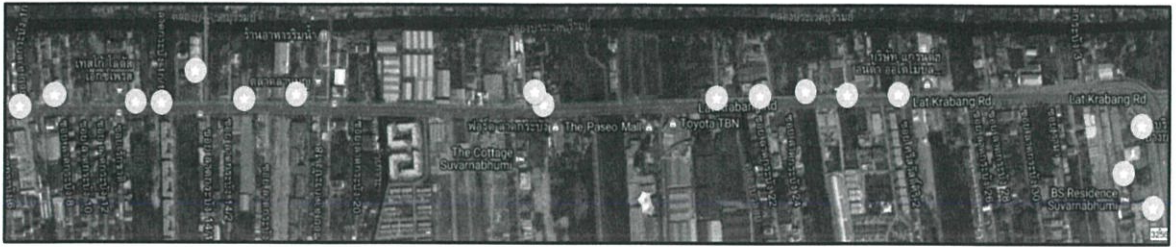
รูปที่ ผ1 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



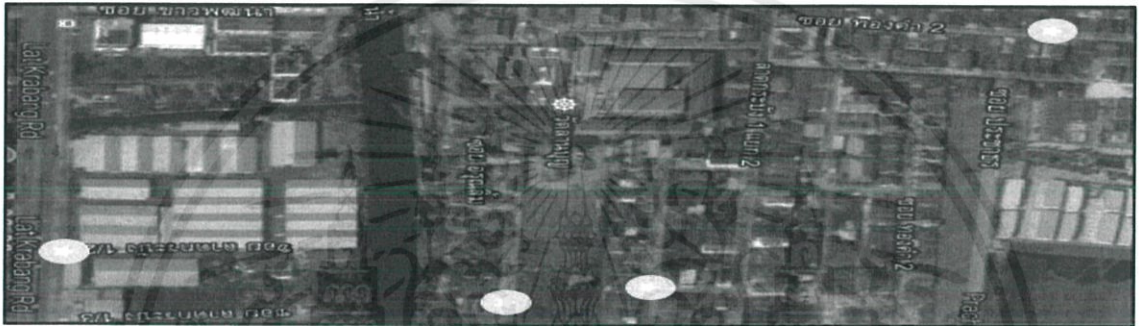
รูปที่ ผ2 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 2 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



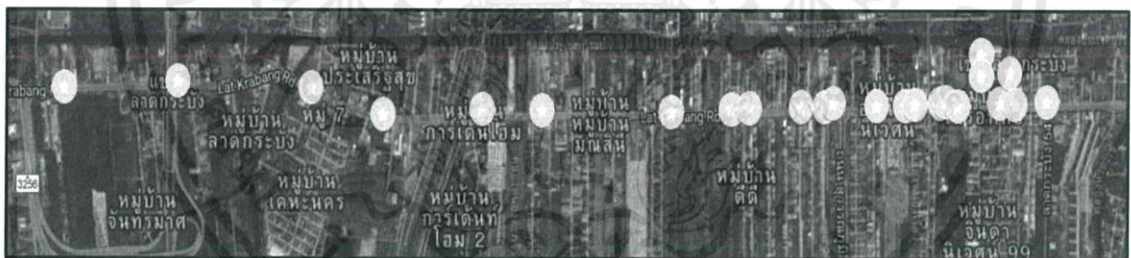
รูปที่ ผ3 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



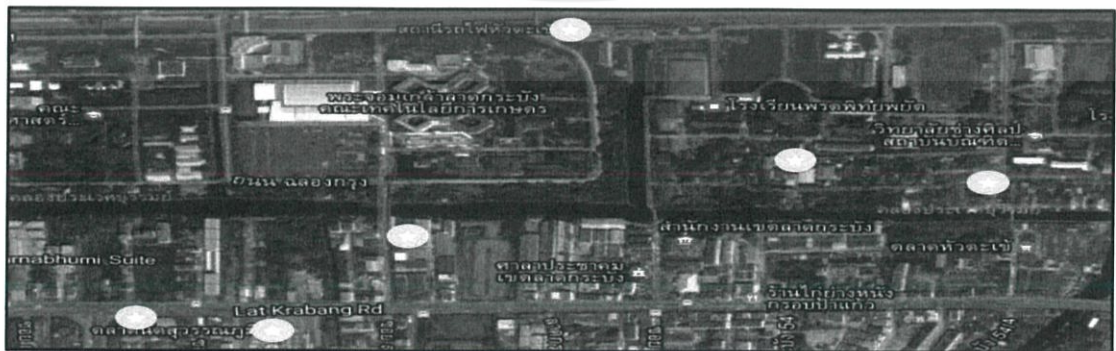
รูปที่ ๘4 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 4 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



รูปที่ ๘5 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 5 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



รูปที่ ๘6 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 6 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์



รูปที่ ๘7 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 7 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันจันทร์

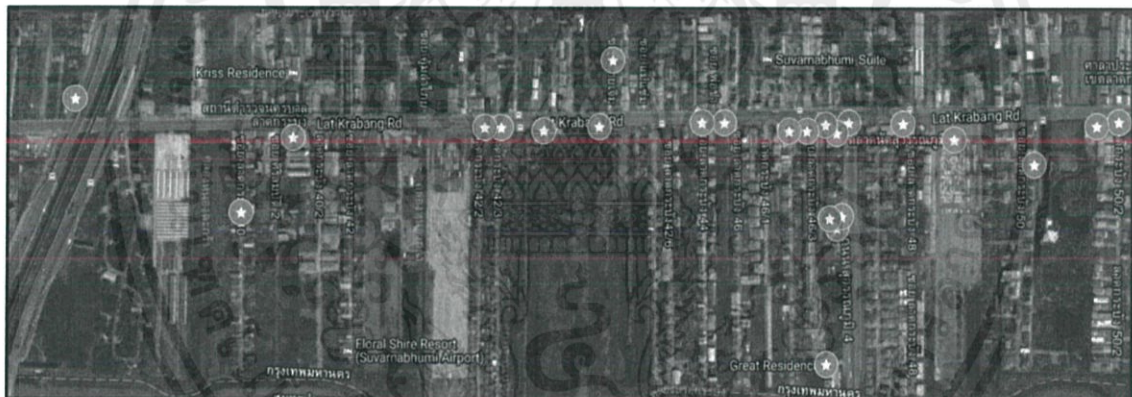
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

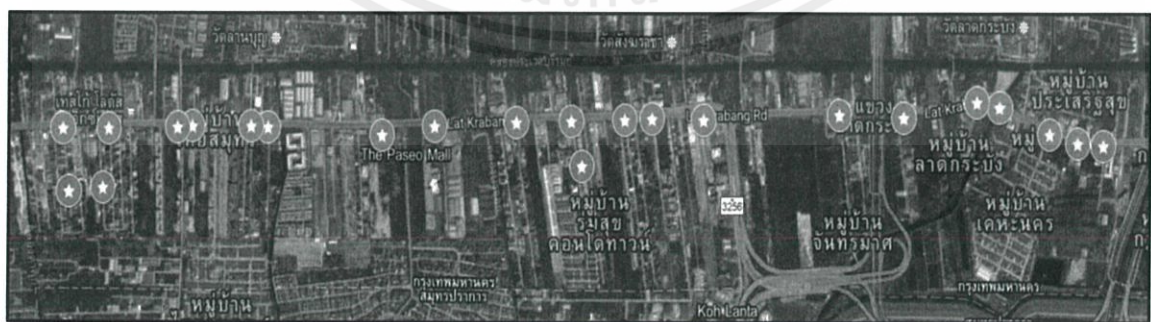
2. ผลของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันอังคาร



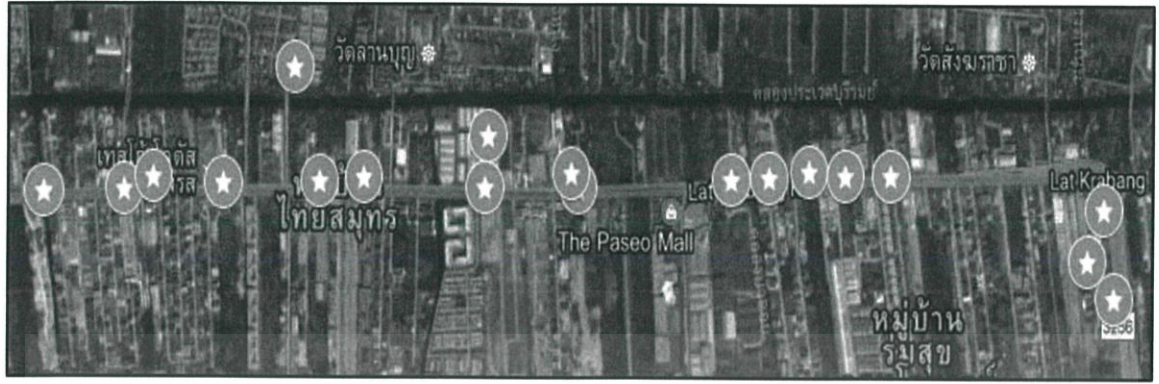
รูปที่ ๘ เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 ด้วยวิธีฮิวริสติก ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอังคาร



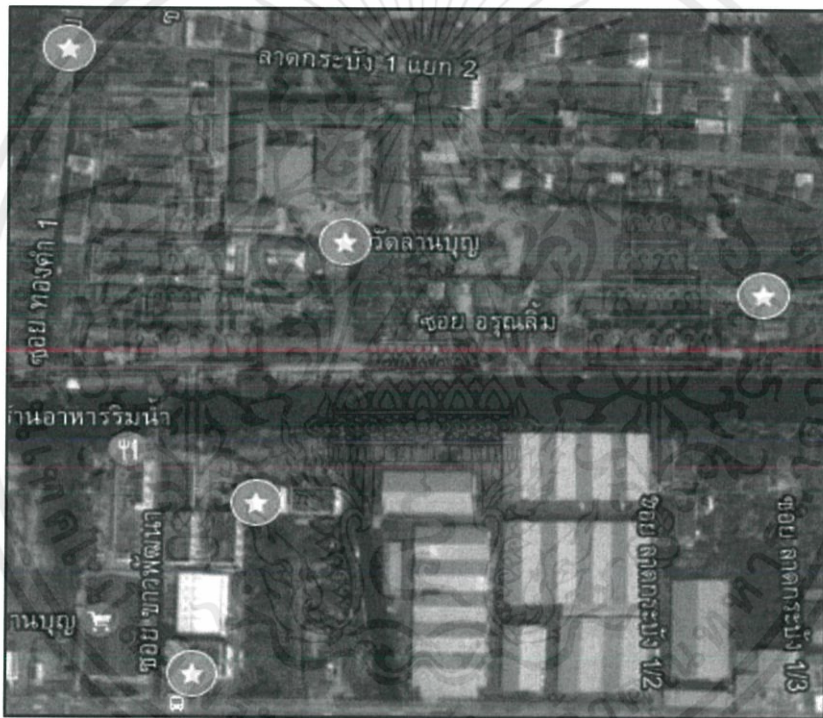
รูปที่ ๘9 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 2 ด้วยวิธีฮิวริสติก ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอังคาร



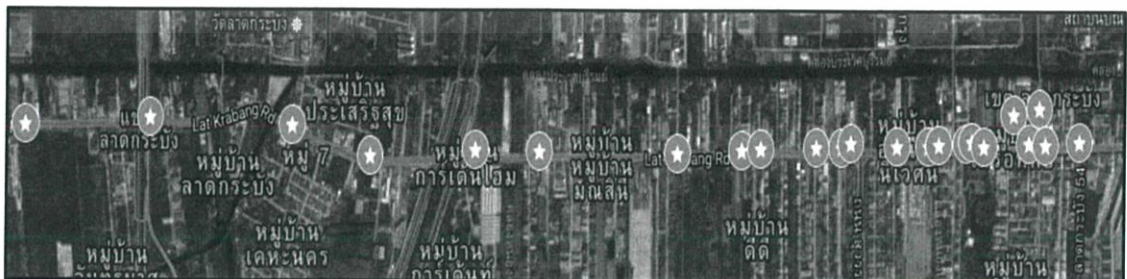
รูปที่ ๘10 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 ด้วยวิธีฮิวริสติก ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอังคาร



รูปที่ ๑๗ เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 4 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพุธ



รูปที่ ๑๘ เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 5 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพุธ



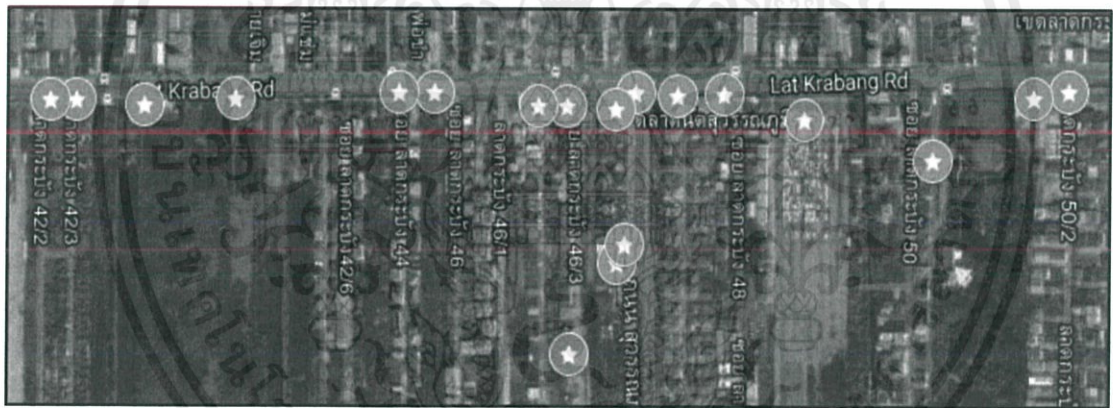
รูปที่ ๑๙ เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 6 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพุธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

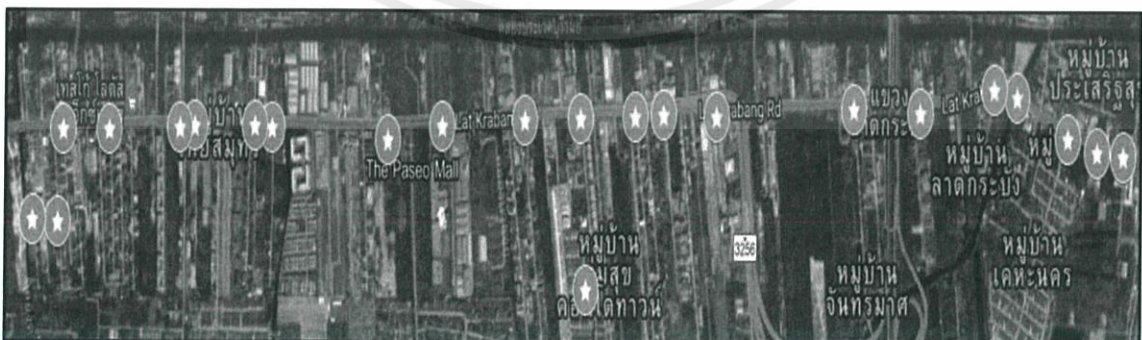
4. ผลของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



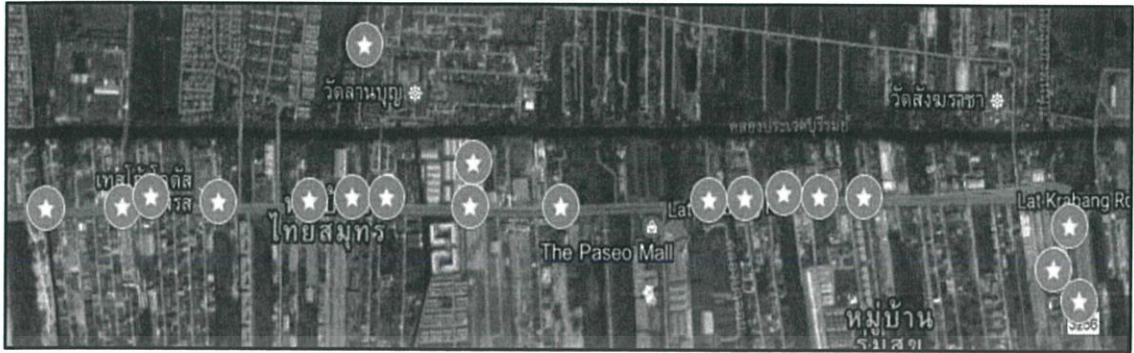
รูปที่ ผ20 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



รูปที่ ผ21 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 2 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



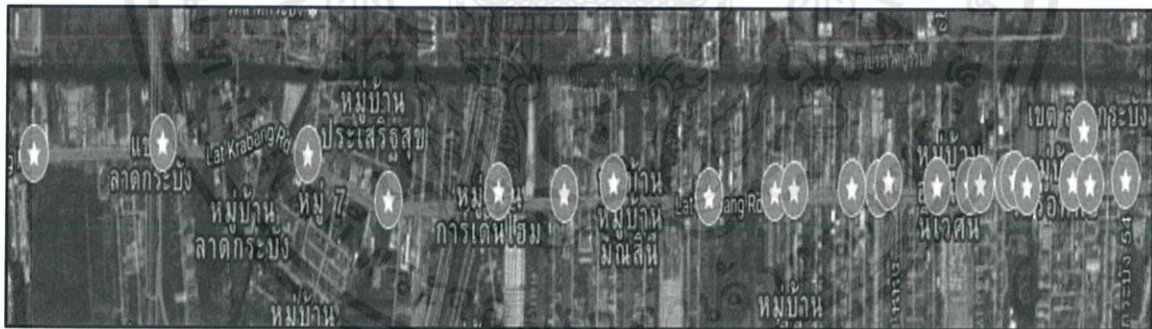
รูปที่ ผ22 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



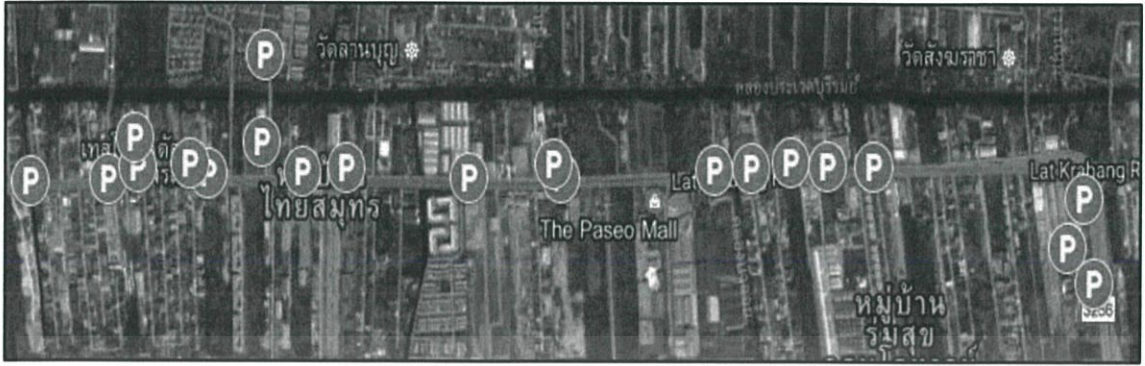
รูปที่ ๘23 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 4 ด้วยวิธีฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



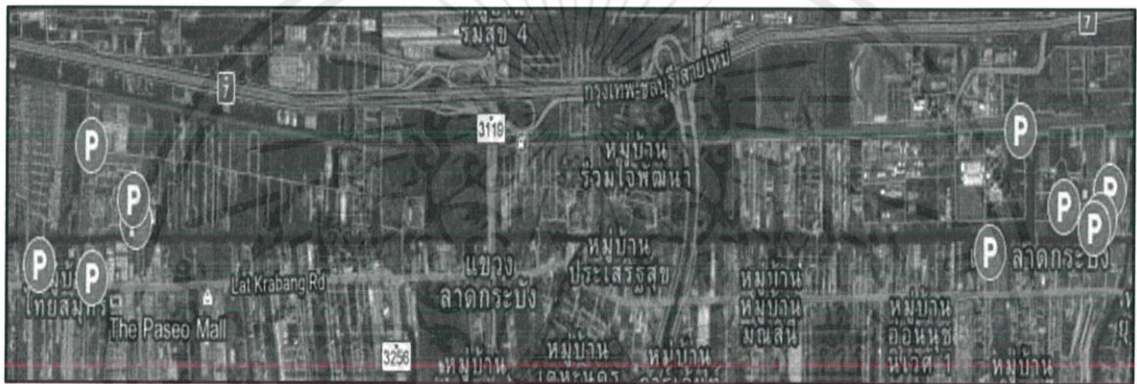
รูปที่ ๘24 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 5 ด้วยวิธีฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



รูปที่ ๘25 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 6 ด้วยวิธีฮิวริสติกพร้อมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันพฤหัสบดี



รูปที่ ๘29 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 4 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันศุกร์



รูปที่ ๘30 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 5 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันศุกร์

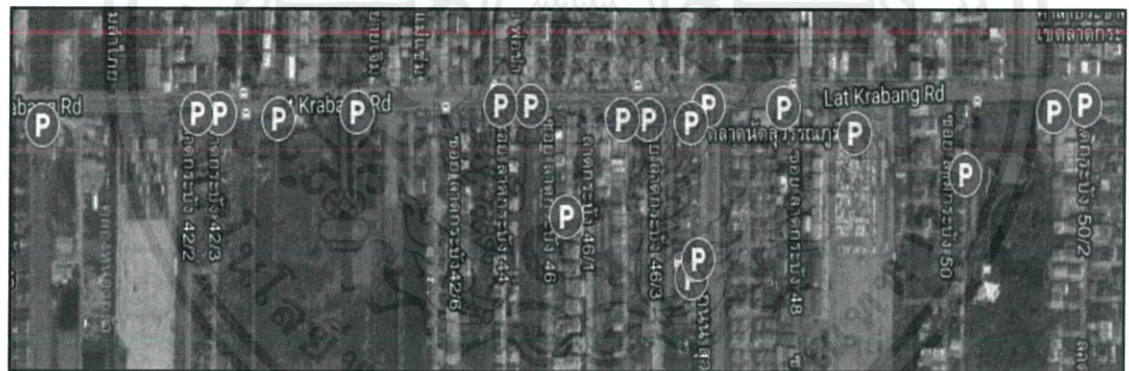


รูปที่ ๘31 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 6 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันศุกร์

6. ผลของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้น้ำมันเสาร์



รูปที่ ผ32 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้น้ำมันเสาร์

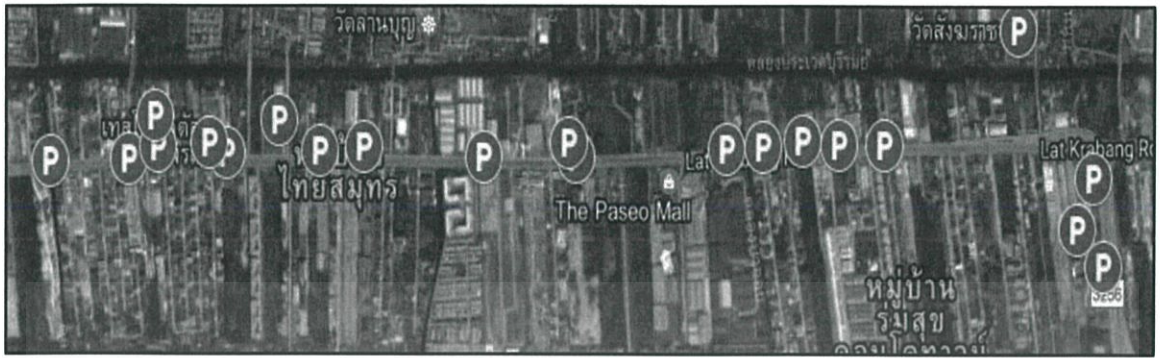


รูปที่ ผ33 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 2 ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้น้ำมันเสาร์

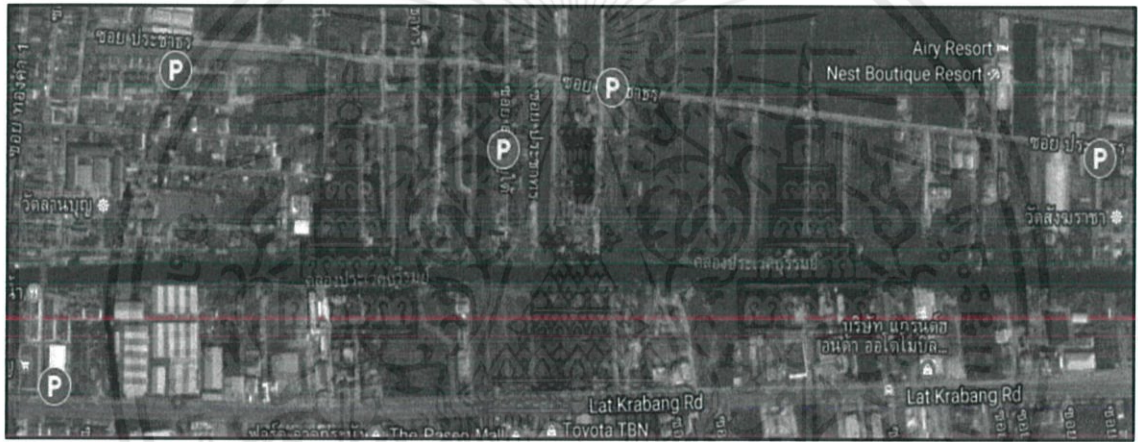


รูปที่ ผ34 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้น้ำมันเสาร์

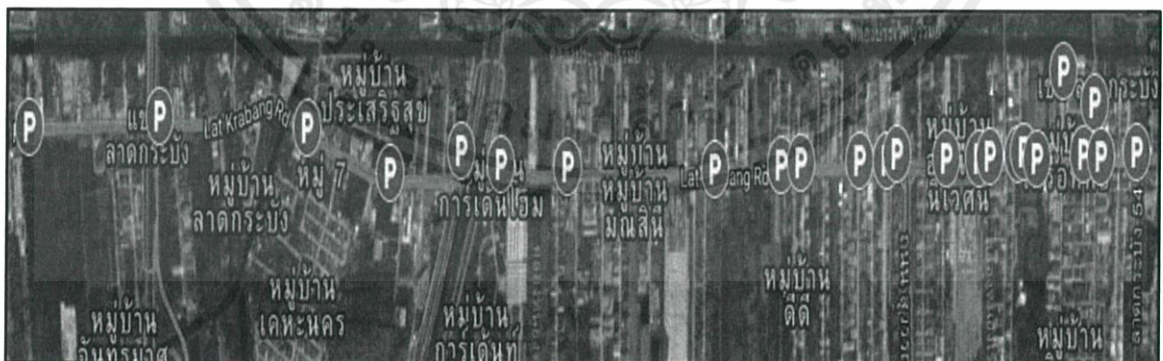
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๘35 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 4 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันเสาร์



รูปที่ ๘36 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 5 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันเสาร์

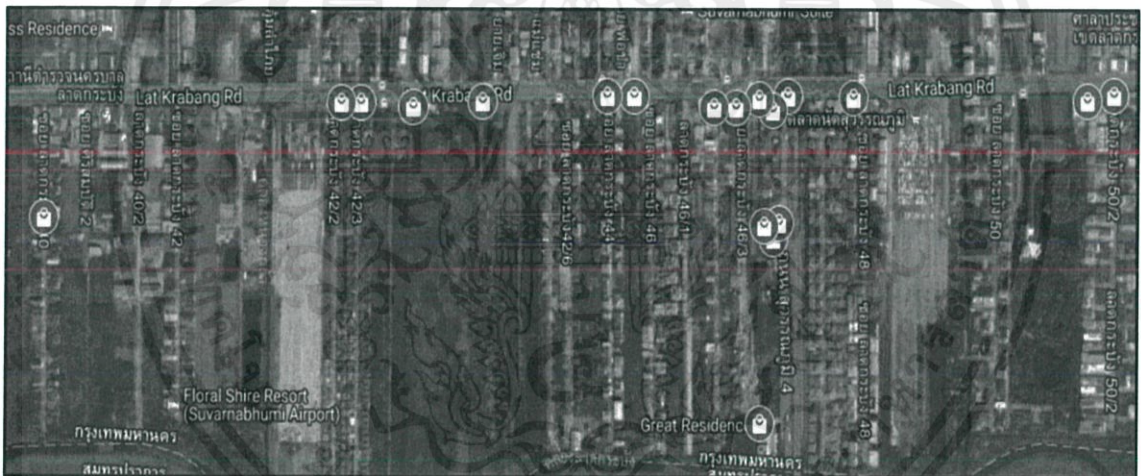


รูปที่ ๘37 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 6 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันเสาร์

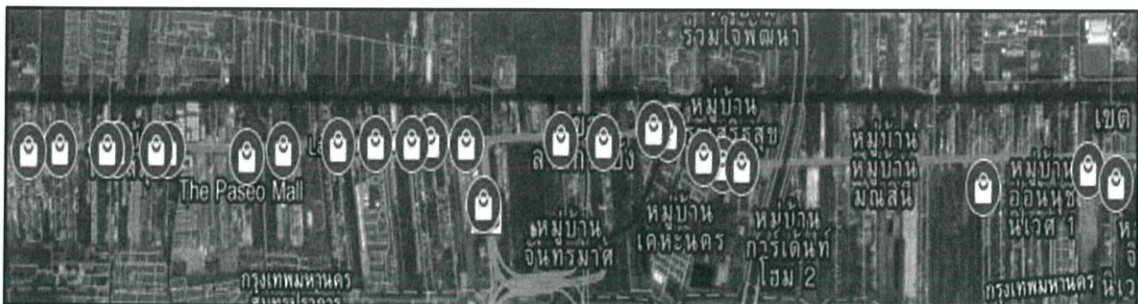
7. ผลของการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบมีกรอบเวลาที่ใช้ในวันอาทิตย์



รูปที่ ผ38 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอาทิตย์



รูปที่ ผ39 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 2 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอาทิตย์



รูปที่ ผ40 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 ด้วยวิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ44 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 7 ด้วยวิธีอิวิริสติกร่วมกับวิธีเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในวันอาทิตย์

