

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ :
กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา
อำเภอแม่จวนจันท์ จังหวัดขอนแก่น

นายไพจิตร อุปถัมภ์

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ :
กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา
อำเภอแม่จัน จังหวัดขอนแก่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบโครงการ

(รศ. ดร. นัทรชัย โชติษฐยางกูร)
ประธานกรรมการ

(ศ. ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(ผศ. ดร. ปรีชาพร โกษา)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ไพจิตร อุปถัมภ์ : การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ : กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาอำเภอัญจาศิริ จังหวัดขอนแก่น (THE STUDY OF SUITABLE ROUTE FOR WASTE COLLECTION : A CASE STUDY OF THASALA SUBDISTRICT ADMINISTRATIVE ORGANIZATION, MANCHAKIRI DISTRICT, KHON KEAN PROVINCE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

ในปัจจุบันองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาได้จัดสรรงบประมาณซึ่งประกอบด้วยค่าจ้างพนักงานเก็บขยะ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิง เพื่อใช้ดำเนินการจัดเก็บขยะการเก็บขยะที่ผ่านมาทั้ง 11 หมู่บ้านอยู่ในความรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา รูปแบบของเส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะไม่มีการกำหนดแนวทางที่เป็นรูปแบบให้แก่พนักงานขับรถขยะ ซึ่งส่งผลให้การจัดเก็บขยะใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงต่อวันและเกิดความสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิง งานวิจัยนี้ศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะในแต่ละหมู่บ้าน โดยใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) และเปรียบเทียบผลทดสอบกับการเดินรถจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม ผลการศึกษาพบว่าผลรวมระยะทาง 4 สัปดาห์โดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมสั้นกว่าแบบดั้งเดิมเท่ากับ 9.252 กิโลเมตร (ร้อยละ 6.25) ผลรวมระยะเวลาในการปฏิบัติงานโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมน้อยกว่าแบบดั้งเดิมเท่ากับ 6 ชั่วโมง 20 นาที (ร้อยละ 6.55) และผลรวมน้ำมัน 1 ปี งบประมาณโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมมีค่าเท่ากับ 1,595.52 ลิตร แบบจำลองโมเดลเส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) เป็นประโยชน์อย่างมากในการจัดเก็บขยะซึ่งทำให้ระยะเวลาการปฏิบัติงานของพนักงานลดลง และองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาสามารถประมาณค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในอนาคตได้

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

PIJIT AUPPATAM : THE STUDY OF SUITABLE ROUTE FOR
WASTE COLLECTION : A CASE STUDY OF THASALA SUBDISTRICT
ADMINISTRATIVE ORGANIZATION, MANCHAKIRI DISTRICT,
KHONKEAN PROVINCE. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK,
Ph.D., P.E.

Presenting, Tasala Subdistrict Administrative Organization has been providing a budget for the wage of bin men and gasoline in order to collect waste in 11 villages. The original route to collect waste in this area was not specified which caused time and gasoline consuming . This research studies the suitable route for waste collection in each village by using the Genetic Algorithm (GA) and the analysis was compared with the traditional route. The result showed that within 4 weeks, the total distance by using the GA was shorter than the traditional route 9.252 kilometers (6.25%). The total time spent during collecting waste was less than the traditional one for 6 hours 20 minutes (6.55%). The total gasoline was used 1,595.52 liters/year. The model of route for waste collection by using the GA was beneficial since the collection time was reduced and Tasala Subdistrict Administrative Organization can estimate the expense of gasoline in the future.

School of Civil Engineering
Academic Year 2013

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้โดยความอนุเคราะห์จาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข อาจารย์ที่ปรึกษาและควบคุมการจัดทำโครงการได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องจนโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพื่อให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และถูกต้อง ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ดร. เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์ ที่ได้ให้ความรู้แนวคิดคำแนะนำตลอดจนข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำโครงการในครั้งนี้

ขอขอบคุณคณะผู้บริหารสภามงคลการบริบาลส่วนตำบล และหัวหน้าส่วนราชการองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาที่ให้ทุนการศึกษา ให้มีโอกาสนในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทสาขาบริหารงานก่อสร้างและสาธารณสุขปโทคมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

ประโยชน์และคุณค่าของการจัดทำโครงการฉบับนี้ผู้จัดทำขอขอบเป็นเครื่องสักการะคุณแก่บิดามารดาครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ที่ให้การศึกษาอบรมสั่งสอนให้สติปัญญาคุณธรรมเป็นเครื่องชี้นำความสำเร็จในชีวิตจนสามารถทำโครงการฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ไพจิตร อุปถัมภ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 เจเนติก อัลกอริทึม (GA).....	5
2.1.1 หลักการ ทฤษฎี เหตุผล สมมุติฐาน.....	5
2.1.2 ทฤษฎีขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA).....	8
2.2 การประยุกต์ใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA).....	18
2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางสอนของโรงเรียน.....	18
2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถ.....	20
3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	23
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	23
3.1.1 ข้อมูลระยะทางการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม.....	24
3.2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม.....	32
3.3 วิธีหาคำตอบแก้ปัญหาเพื่อสร้างโมเดลเส้นทาง.....	33
3.4 การทดสอบจริงเปรียบเทียบข้อมูลเดิม.....	38
4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	39
4.1 การสร้างโมเดลเส้นทางด้วยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA).....	39

4.1.1	การจำลองกำหนดตำแหน่งที่ตั้งถังขยะ.....	39
4.1.2	การหาคำตอบแก้ปัญหาเพื่อสร้างโมเดลเส้นทาง.....	40
4.2	การเปรียบเทียบผลการทดสอบเจเนติก อัลกอริทึมกับข้อมูลดั้งเดิม.....	51
5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	58
	เอกสารอ้างอิง.....	59
	ภาคผนวก ก แผนผังจำลองโมเดลตำแหน่งถังขยะและระยะทางระหว่างถังขยะ.....	60
	ภาคผนวก ข ภาพการทำงานจัดเก็บขยะ.....	81
	ประวัติผู้เขียน.....	83

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะการ สลับสายพันธุ์แบบต่าง ๆ กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง	14
3.1 แผนงานการจัดเก็บขยะในหนึ่งสัปดาห์ (ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา)	23
3.2 ระยะเวลาการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม(หนึ่งสัปดาห์)	31
3.3 การเบิกจ่ายค่าน้ำมันย้อนหลัง 3 เดือน (ปีงบประมาณ 2556)	31
3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเจเนติก อัลกอริทึม	37
3.5 รูปแบบการเปรียบเทียบข้อมูลในการจัดเก็บขยะ	38
4.1 ผลลัพธ์คำตอบเส้นทางเดินรถเก็บขยะ โดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม	40
4.2 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางแบบเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูลระยะทางในหนึ่งสัปดาห์)	51
4.3 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางแบบเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูลระยะเวลาในหนึ่งสัปดาห์)	52
4.4 เปรียบเทียบข้อมูล โดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูล 4 สัปดาห์)	53
ก-1 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านสี่ไก่อ หมู่ที่ 1	62
ก-2 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	64
ก-3 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านโนนตุน หมู่ที่ 3	66
ก-4 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4	68
ก-5 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	70
ก-6 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6	72
ก-7 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11	74
ก-8 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8	76
ก-9 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9	78
ก-10 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 1	80

สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
1.1	แผนที่อำเภอัญจาคีรี..... 1
1.2	แผนที่แนวเขตตำบลท่าศาลา..... 2
1.3	การจัดเก็บขยะตามหมู่บ้าน..... 3
2.1	หลักการเบื้องต้นของขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)..... 6
2.2	ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)..... 7
2.3	การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง..... 10
2.4	การเข้ารหัสแบบตัวเลข..... 10
2.5	การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม..... 11
2.6	การหาค่าความเหมาะสม..... 11
2.7	สัดส่วนของค่าความเหมาะสม..... 12
2.8	การสลับสายพันธุ..... 13
2.9	การสลับสายพันธุแบบขวาง และแบบตั้งฉาก..... 14
2.10	การกลายพันธุ..... 15
2.11	การกลายพันธุกับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding..... 15
2.12	โอกาสเกิดการสลับสายพันธุ..... 16
2.13	โอกาสเกิดการกลายพันธุ..... 17
3.1	แผนผังเส้นทาง ตำแหน่งหมู่บ้านและบ่อขยะ..... 24
3.2	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้าน โนนคูน หมู่ที่ 3..... 25
3.3	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้าน โนนคูน หมู่ที่ 4..... 26
3.4	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้าน ไร่ไก่ หมู่ที่ 1..... 27
3.5	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10..... 27
3.6	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2..... 28
3.7	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านหัวนาเหนือ หมู่ที่ 6..... 28
3.8	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9..... 29
3.9	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8..... 29
3.10	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5..... 30
3.11	แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11..... 30

3.12	กระบวนการทำงานของแบบจำลองขั้นตอนเจเนติก อัลกอริทึม (GA)	33
3.13	หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ Palisade Corp.	34
3.14	เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ได้ติดตั้ง Add-in แล้ว	34
3.15	หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล	35
3.16	หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ Population Size ของ Gas	36
3.17	หน้าต่างสำหรับป้อนค่าเงื่อนไขการจบ Runtime	37
4.1	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1	41
4.2	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	42
4.3	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านโนนคูน หมู่ที่ 3	43
4.4	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านโนนคูน หมู่ที่ 4	44
4.5	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	45
4.6	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านหัวนาเหนือ หมู่ที่ 6	46
4.7	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11	47
4.8	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8	48
4.9	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9	49
4.10	แผนผังโมเดลเส้นทางการจัดเก็บขยะบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10	50
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่บระยะทาง	54
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่บระยะเวลาในการปฏิบัติงาน	55
ก-1	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1	61
ก-2	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	63
ก-3	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านโนนคูน หมู่ที่ 3	65
ก-4	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านโนนคูน หมู่ที่ 4	67
ก-5	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	69
ก-6	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านหัวนาเหนือ หมู่ที่ 6	71
ก-7	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11	73
ก-8	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8	75
ก-9	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9	77
ก-10	แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10	79
ข-1	เส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะ	82
ข-1	ข-2 การโคยขยะลงจากรถ	82

การปกครอง แบ่งการปกครองออกเป็น 11 หมู่บ้าน อยู่ในเขตพื้นที่ขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาทั้ง 11 หมู่บ้าน ได้แก่

- หมู่ที่ 1 บ้านไส้ไก่
- หมู่ที่ 2 บ้านท่าศาลา
- หมู่ที่ 3 บ้านโนนตุน
- หมู่ที่ 4 บ้านโนนคูณ
- หมู่ที่ 5 บ้านดงเค็ง
- หมู่ที่ 6 บ้านห้วยนาเหนือ
- หมู่ที่ 7 บ้านท่าสวรรค์
- หมู่ที่ 8 บ้านโนนจั่ว
- หมู่ที่ 9 บ้านห้วยนากลาง
- หมู่ที่ 10 บ้านท่าศาลา
- หมู่ที่ 11 บ้านท่าสวรรค์



รูปที่ 1.2 แผนที่แนวเขตตำบลท่าศาลา

องค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาเริ่มดำเนินการจัดเก็บขยะเมื่อปี พ.ศ. 2554 ซึ่งได้จัดสรรงบประมาณดำเนินการค่าจ้างพนักงานเก็บขยะ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าซ่อมบำรุงรถบรรทุกขยะ การดำเนินงานที่ผ่านมาทั้ง 11 หมู่บ้านไม่มีการวางแผนเส้นทางการจัดเก็บขยะที่เป็นรูปแบบ จึงส่งผลให้การจัดเก็บขยะใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงต่อวัน ทำให้สูญเสียทั้งด้านงบประมาณและด้านพลังงานเชื้อเพลิง



รูปที่ 1.3 การจัดเก็บขยะตามหมู่บ้าน

ดังนั้น งานวิจัยนี้ศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะโดยใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) กรณีศึกษาขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา จังหวัดขอนแก่น จำนวนหมู่บ้าน 11 หมู่บ้านที่อยู่ในความรับผิดชอบดูแล จำนวนสายทางของแต่ละหมู่บ้านขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวางผังถนนและขนาดของหมู่บ้านนั้นๆ ดำเนินการวัดระยะความยาวเส้นทางที่เป็นเส้นทางผ่านตำแหน่งจุดตั้งถังขยะ เพื่อหาระยะทางสั้นที่สุดในการจัดเก็บขยะ ซึ่งจะทำให้ค่าใช้จ่ายงบประมาณด้านน้ำมันเชื้อเพลิงลดลง และเป็นประโยชน์ต่อส่วนราชการในการวางแผนจัดตั้งงบประมาณในแต่ละปี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะโดยใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) กับพฤติกรรมวิธีดั้งเดิม

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่ศึกษาเฉพาะองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาจังหวัดขอนแก่น จำนวนหมู่บ้าน 11 หมู่บ้าน
- 1.3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหาศึกษาวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติและหลักการทางสายพันธุ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะทั้ง 11 หมู่บ้าน
- 1.4.2 ทราบผลลัพธ์ความแตกต่างระหว่างวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) กับวิธีดั้งเดิม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

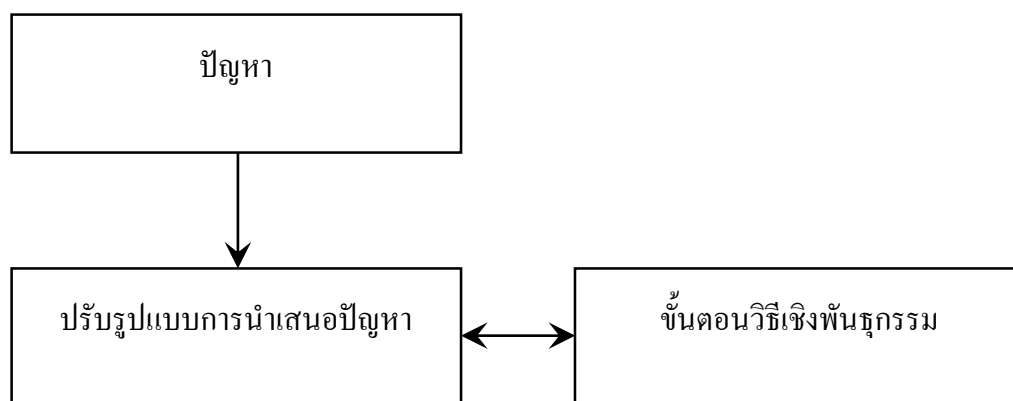
2.1 เจเนติกอัลกอริทึม (GA)

(เจเนติกอัลกอริทึม: GA) ถูกพัฒนาขึ้น โดย John Holland พร้อมเพื่อนร่วมงานและนิสิตของเขาที่มหาวิทยาลัยมิชิแกน โดยมีเป้าหมายคือเพื่อสรุปความสำคัญของกระบวนการปรับตัวของระบบทางธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมที่มีการรักษากลไกสำคัญทางธรรมชาติไว้ กลไกการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึม จึงมีพื้นฐานอยู่บนแนวคิดของวิวัฒนาการทางชีววิทยา ซึ่งความเหมาะสมของแต่ละบุคคล (Individual) จะกำหนดความสามารถที่จะอยู่รอดและมีโอกาสในการขยายเผ่าพันธุ์ใหม่อีกครั้ง วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (GA) ค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดกับการประยุกต์แก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาการสับเปลี่ยนแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Combinatorial optimization problems) (Nagar et al., 1995) ซึ่งบ่อยครั้งปัญหาดังกล่าวไม่สามารถเปลี่ยนรูปให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ได้ ทั้งที่เป็นแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น (Linear and non-linear) หรือเป็นแบบต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง (Continuous and discrete) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมกับปัญหาต่างๆ ทางอุตสาหกรรมเช่น การกำหนดขนาดการผลิต การจัดตารางการผลิต การจัดส่งการผลิต การวางแผนโรงงาน การจัดการห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ การกำหนดตำแหน่งคลังสินค้า เป็นต้น

2.1.1 หลักการ ทฤษฎี เหตุผล สมมุติฐาน

ปี ค.ศ 1970 จอห์น โฮลแลนด (John Hollan) ได้ศึกษาเกี่ยวกับวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยกระบวนการทางชีววิทยา ประกอบด้วยการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) คือ สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่าย่อมมีโอกาสรอดกว่าสิ่งมีชีวิตที่อ่อนแอ นั่นคือ โครโมโซมที่มีลักษณะที่ดีสามารถอยู่รอดได้มากกว่า โครโมโซมที่อยู่รอดได้ก็จะถ่ายทอดลักษณะที่ดีไปยังลูกหลานได้มากกว่า โดยผ่านกระบวนการทางพันธุศาสตร์ คือการกำเนิดโครโมโซมใหม่จากการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์

จากแนวคิดดังกล่าว จอห์น โฮลแลนด จึงได้นำปรับมาใช้กับการแก้ปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่สุด โดยอาศัยแนวคิดของระบบการคัดเลือกทางธรรมชาติ เรียกว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อปรับปรุงการหาคำตอบที่ดีขึ้น โดยหลักการเบื้องต้นแสดงดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการเบื้องต้นของขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยเลียนแบบการคัดเลือกตามธรรมชาติ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่มเพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น โดยมีการดำเนินการทั้งหมดดังต่อไปนี้

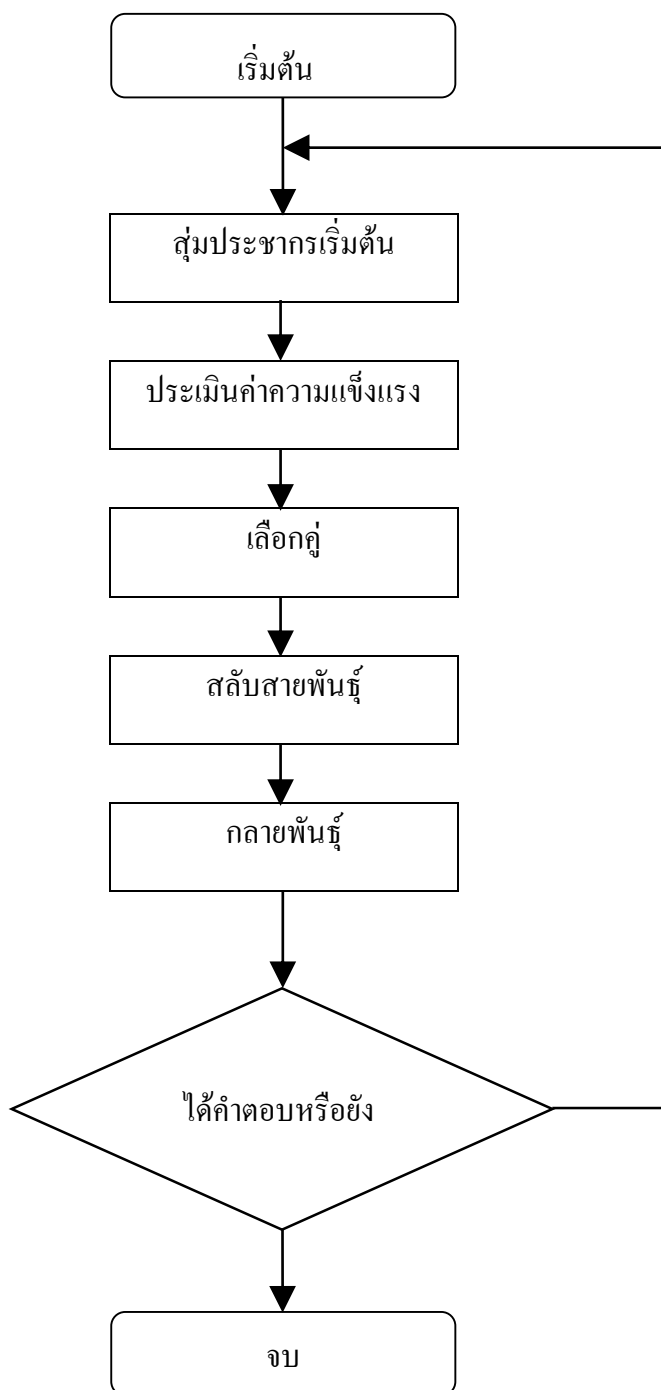
2.1.1.1 กำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย

2.1.1.2 กำหนดรูปแบบการแทนโครโมโซม

2.1.1.3 กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซม และฟังก์ชันความเหมาะสมได้แล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำงานของขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) ซึ่งจะสร้างวิวัฒนาการของกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อ ๆ ไป โดยจะมีตัวแปรต่าง ๆ เป็นตัวกำหนดการทำงานของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

- สร้างประชากรเริ่มต้น
- วิเคราะห์ความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
- คัดเลือกโครโมโซมต้นแบบเพื่อสร้าง mating pool
- ดำเนินขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมรวมทั้งรูปแบบโครโมโซมเสียก่อน จากนั้นจึงเริ่มสร้างประชากรเริ่มต้นกำเนิดตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เมื่อได้ประชากรเริ่มต้นแล้ว ก็ทำการประเมินค่าความเหมาะสม ของแต่ละโครโมโซมเพื่อคัดเลือกเข้าสู่กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยทำการคัดเลือกเอาเฉพาะโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมเป็นที่น่าพอใจชุดหนึ่งเก็บไว้ โครโมโซมที่คัดเลือกไว้นั้นจะถูกนำมาทำการสลับสายพันธุ์และกลายพันธุ์ ได้เป็นโครโมโซมชุดใหม่ ซึ่งจะนำโครโมโซมชุด

ใหม่มาประเมินค่าความเหมาะสมเพื่อทำการคัดเลือก และดำเนินการต่อไปจนสิ้นสุดตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ จะได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมเป็นที่น่าพอใจ หรือได้คำตอบของปัญหาที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

2.1.2 ทฤษฎีขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

วิธีการแก้ปัญหา เพื่อหาคำตอบในกลุ่มประเภท Searching Algorithms ซึ่งเป็นวิธีการที่ประสิทธิภาพสูง กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบัน ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทำให้วิธีการแก้ปัญหากลุ่มประเภทนี้ พัฒนาต่อไปได้อย่างเร็วในงานวิจัยนี้ก็เช่นกัน โดยจะเลือกวิธีการแบบวิธีการขั้นตอนทางพันธุกรรม

Genetic Algorithm เป็นวิธีการหาคำตอบแบบที่ค้นหาสุ่มตามโอกาส (Stochastic Search) ที่มีหลักการพื้นฐานได้มาจากการเลียนแบบพันธุกรรมและกระบวนการวิวัฒนาการ (Evolution) ของสิ่งมีชีวิตเริ่มแรก คำตอบที่เป็นไปได้จำนวนกลุ่มหนึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวแทนของ “ประชากร” (population) ของ “โครโมโซม” (Chromosome) โดยในแต่ละโครโมโซม จะใช้แทนหนึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ “โครโมโซม” เหล่านี้จะผ่านการเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการเป็นประชากรใน “รุ่น” (Generation) ถัดไป โครโมโซมของรุ่นลูกได้จากผลของ “ปฏิบัติการจับคู่ แลกเปลี่ยนยีนส์” (Chromosomes Operation) ของโครโมโซมรุ่นพ่อแม่ และ “ปฏิบัติการกลายพันธุ์” (Mutation Operation) ของยีนส์ใด ๆ ในโครโมโซมรุ่นลูกนั้น กระบวนการวิวัฒนาการนี้ จะถูกกำหนดด้วยหลักการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) หรือ “Survival of the Fittest” คือการที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ใด ๆ ที่มี “ความแข็งแรง” (Fitness) มากกว่าย่อมมีโอกาสมากกว่าที่จะให้กำเนิดรุ่นลูก ถ่ายทอดโครโมโซมที่ดีไปสู่รุ่นต่อไป ในขณะที่โครโมโซมรุ่นพ่อแม่ที่ไม่แข็งแรงเท่า ก็มีโอกาสจะสูญพันธุ์หายไปโดยไม่ได้ถ่ายทอดไปในรุ่นลูกอีก(น้ำ ผึ้ง แซ่เต๋,2554)

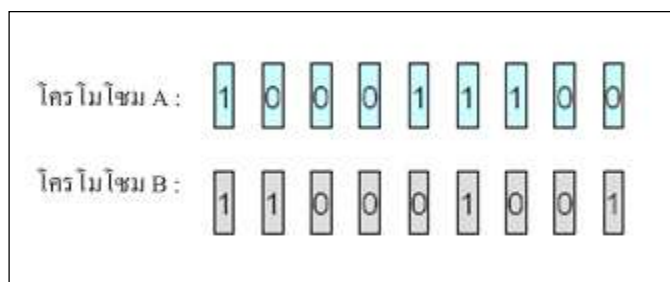
ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) คือ วิธีแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้ในการค้นหา เพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum point) ซึ่งเป็นการได้พัฒนา และจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต จากทฤษฎีวิวัฒนาการจอห์น โฮลแลนด์ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ได้ทำการคิดค้นการลอกเลียนแบบขั้นตอนธรรมชาติของการพัฒนาสิ่งมีชีวิตขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1970 โดยร่วมกับเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธรรมชาติของพันธุกรรม และนำกลไกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรมจากการคิดค้นของจอห์น โฮลแลนด์ ทำให้สามารถค้นหาและแก้ปัญหาให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ทั้งอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (Minimum point) หรือจุดสูงสุด (Maximum point) สำหรับหลักการของ วิธีการค้นหาแบบ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม คือสิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี ในการกำหนดว่า สิ่งมีชีวิตไหนมีลักษณะที่ดีหรือไม่ดีนั้นจะถูกกำหนดจากทฤษฎีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Theory) ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีนั้น จะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดีขึ้น ในส่วนที่มีลักษณะที่ไม่ดีจะไม่ถูกสนับสนุนหรือไม่นำ

ส่วนนี้มาพิจารณา ดังนั้นในหลักการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงถูกนำเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม นั้นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะใช้ค่าความเหมาะสม (Fitness Function) ที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (Objective Function) กำหนดให้แต่ละโครโมโซม และโครโมโซมเหล่านั้นจะถูกนำมาพิจารณาว่าโครโมโซมใดควรนำมาสืบสายพันธุ์ต่อไปหรือโครโมโซมใดไม่ควรนำมาสืบสายพันธุ์ และจากการหาคำตอบโดยใช้โครโมโซม ในแต่ละรุ่นจะมีการสุ่ม (Generations) คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา จึงทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้สมบูรณ์และเหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เนื่องจากคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือ การเลือก (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบในบริเวณของปัญหา ซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลาย (Diversity) ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

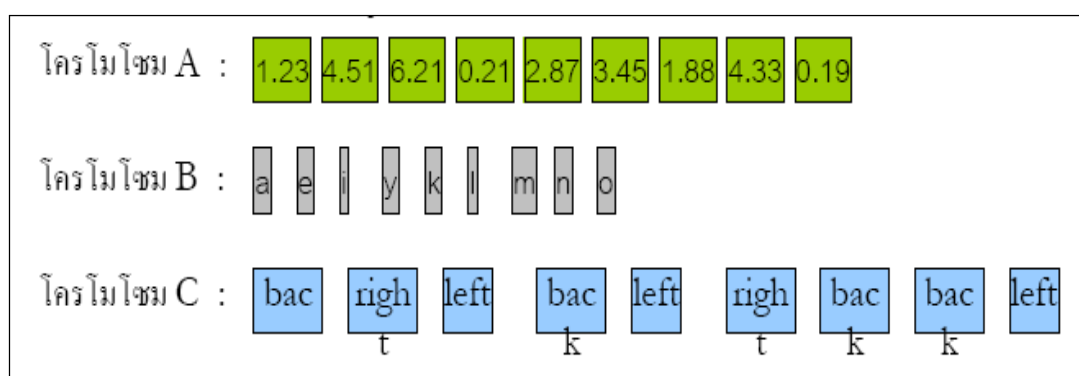
2.1.2.1 รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding) การถอดรหัสหรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาคำตอบโดยใช้ ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึมในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหา และในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความแตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ เช่น

ก. การเข้ารหัสแบบเลขฐาน สอง (Binary Encoding) เป็นรูปแบบโครโมโซมเริ่มแรกที่น่ามาใช้แก้ปัญหาคำตอบของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม จึงทำให้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้เป็นเรื่องธรรมดาที่สุด ลักษณะของไบนารี การเข้ารหัสแบบเลขฐานสองคือทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าเป็น บิต 0 หรือ 1 ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่ใช้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้ในการแก้ปัญหาคำตอบ เช่น ปัญหาของ Knapsack



รูปที่ 2.3 การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง

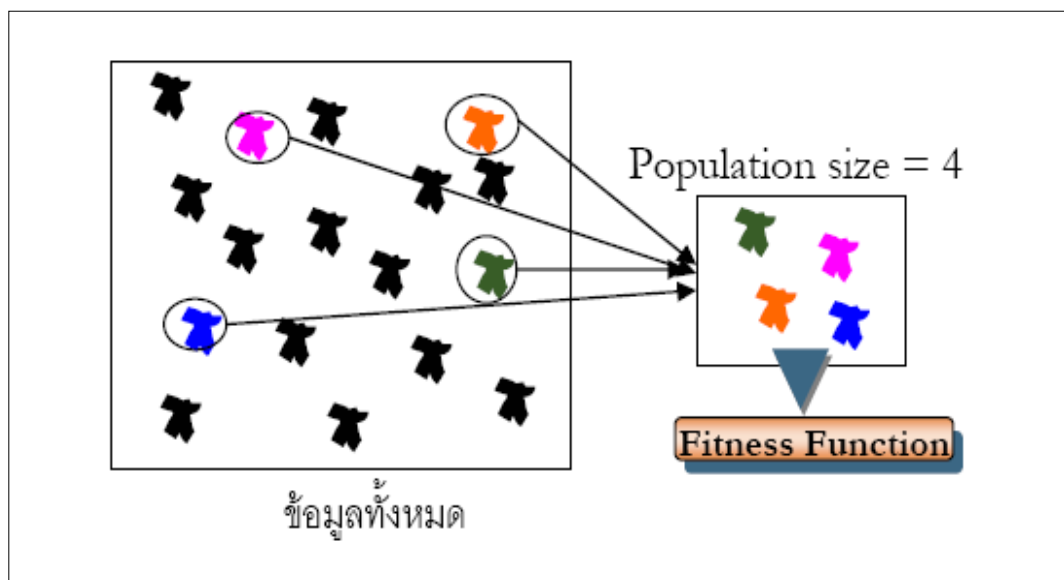
- ข. การเข้ารหัสแบบตัวเลข (Value Encoding) ทุกตำแหน่งของยีนของโครโมโซมจะมีค่าบางค่าซึ่ง สามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่น ๆ รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อนของค่า ตัวอย่างเช่น



รูปที่ 2.4 การเข้ารหัสแบบตัวเลข

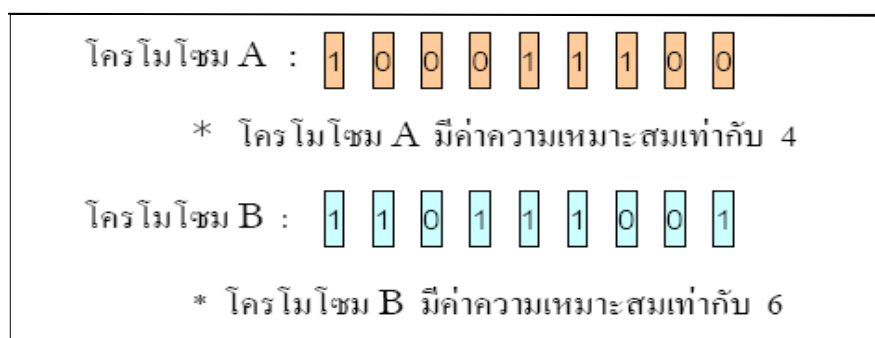
สำหรับ การเข้ารหัสแบบค่า เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับปัญหาพิเศษบางอย่าง รูปแบบโครโมโซมแบบนี้ยังทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาการ สลับสายพันธุ และ กลายพันธุ อีกด้วย

- 2.1.2.2 ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) เป็นการกระทำอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประชากรที่เกิด จากการสุ่ม (Random) ดังรูปที่ 2.5 เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการ ในการสุ่ม จะต้องสุ่มให้ได้ จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้ โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสมของแต่ละ โครโมโซม



รูปที่ 2.5 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม

2.1.2.3 ค่าความเหมาะสม (Fitness Function) โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อ หรือไม่สมควร ดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความเหมาะสมไปพิจารณา โดยใช้สมการหาค่าความเหมาะสมที่สอดคล้องกับปัญหา สรุปได้ว่า ค่าความเหมาะสม คือตัวที่ใช้ประเมินว่าแต่ละเส้นทางเลือก (Solution) นั้น มีความเหมาะสม หรือสามารถใช้แก้ปัญหาได้ดีเพียงใด ตัวอย่างของฟังก์ชันหาค่าความเหมาะสม เช่น ค่าความเหมาะสม = จำนวนของบิต 1 ทั้งหมดในโครโมโซม

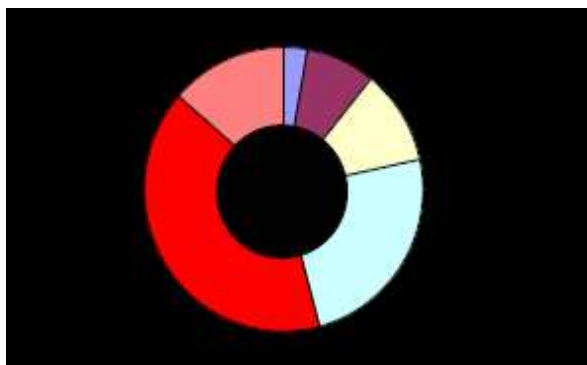


รูปที่ 2.6 การหาค่าความเหมาะสม

2.2.2.3 การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) กล่าวได้ว่า การดำเนินการทางพันธุกรรมเป็นหัวใจสำคัญของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญมี 3 ส่วนดังนี้

ก. การคัดเลือก ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อที่จะนำมาเป็น พ่อแม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรให้เกิดจากคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตาม ทฤษฎีของชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ ดังนี้

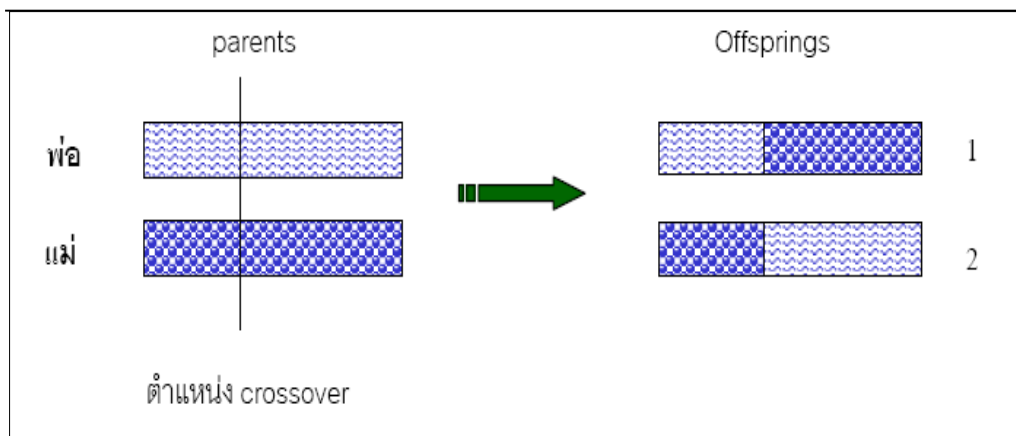
- การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (roulette wheel) คือ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่ามีโอกาสถูกเลือกมากกว่า อธิบายได้จากรูปต่อไป นี้ เมื่อแสดงถึงวงล้อเสี่ยงโชคที่โครโมโซมทั้งหมดอาศัยอยู่ ขนาดพื้นที่ของวงล้อเสี่ยงโชคคือสัดส่วนของค่าความเหมาะสมที่เหมาะสมของทุกโครโมโซม ค่าที่มากที่สุดคือส่วนที่ใหญ่ที่สุดตามตัว รูปที่ 2.7 เมื่อมีการหมุนวงล้อ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกได้บ่อย



รูปที่ 2.7 สัดส่วนของค่าความเหมาะสม

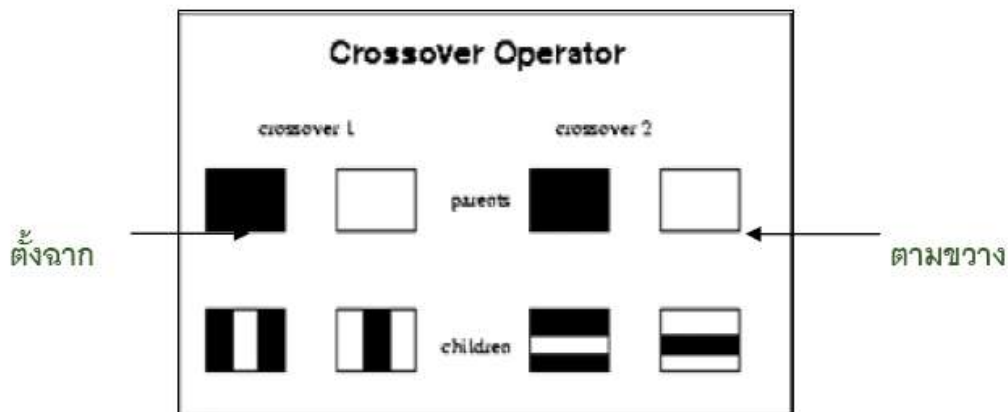
- การคัดเลือกแบบช่วง (ranking) คือ เลือกประชากรที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยที่ไม่สนใจประชากรตัวอื่นเลย
- การคัดเลือกแบบ elitist เป็นแนวคิดที่ป้องกันการหาของเส้นทางที่ดีที่สุดหมายความว่ามีการคัดลอกโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้ก่อน ส่วนประชากรส่วนที่เหลือจะต้องคัดเลือกจะใช้วิธีการเลือกแบบอื่นๆ

ข. การสลับสายพันธุ เป็นกระบวนการที่สำคัญของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเมื่อเกิดการ สลับสายพันธุ เกิดขึ้นในทางพันธุศาสตร์แล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายขึ้น ซึ่งการ สลับสายพันธุ จะต้องอาศัยกระบวนการวิวัฒนาการที่เป็นเวลานาน แต่ในทำนองเดียวกันในทางการแก้ปัญหา แล้วจะทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบที่ได้ทำให้เราได้รับคำตอบที่หลากหลาย จึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุดขั้นตอนในการสลับสายพันธุ นำ 2 โครโมโซม มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซม ใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุดคือ สุ่มตำแหน่ง สลับสายพันธุ และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งสลับสายพันธุ ของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่ง สลับสายพันธุ ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่ง สลับสายพันธุ ของแม่และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งสลับสายพันธุ ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมา



รูปที่ 2.8 การสลับสายพันธุ

การสลับสายพันธุ มี 2 แบบด้วยกัน คือ แบบขวาง (horizontal) และแบบตั้งฉาก (vertical) ดังรูป 2.9 ในการสลับสายพันธุ แบบขวางจะต้องมีการดำเนินการกับข้อมูลที่เป็น array 2 มิติเท่านั้น แต่ในกรณีการสลับสายพันธุ แบบตั้งฉากจะสามารถทำได้กับข้อมูลทุกรูปแบบทั้งแบบมิติเดียวหรือ 2 มิติ



รูปที่ 2.9 การสลับสายพันธุแบบขวาง และแบบตั้งฉาก

เทคนิคของการสลับสายพันธุ ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่าง ๆ ตัวอย่างการ สลับสายพันธุกับรูปแบบโครโมโซมแบบต่าง ๆ เช่น การสลับสายพันธุกับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง ที่มีลักษณะการสลับสายพันธุหลายลักษณะดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะการสลับสายพันธุแบบต่าง ๆ กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง

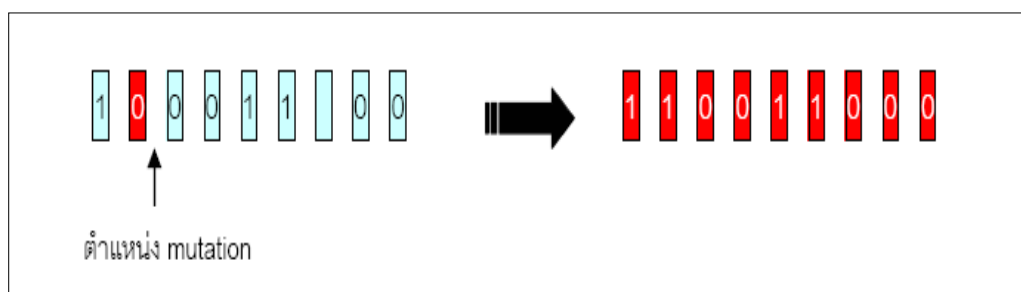
ลักษณะการสลับสายพันธุ	พ่อ	แม่	ลูกที่ 1	ลูกที่ 2
Single Point	110110010	001011111	111011111	000110010
Two Point	110110010	001011111	111011110	000110011
Arithmetic	110110010	001011111	000010010 and	111111111 or

คือ ตำแหน่ง สลับสายพันธุ

- สุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุเพียง 1 ตำแหน่ง (single point)
- สุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุเพียง 2 ตำแหน่ง (two point)
- การใช้ operator and และ or (arithmetic)

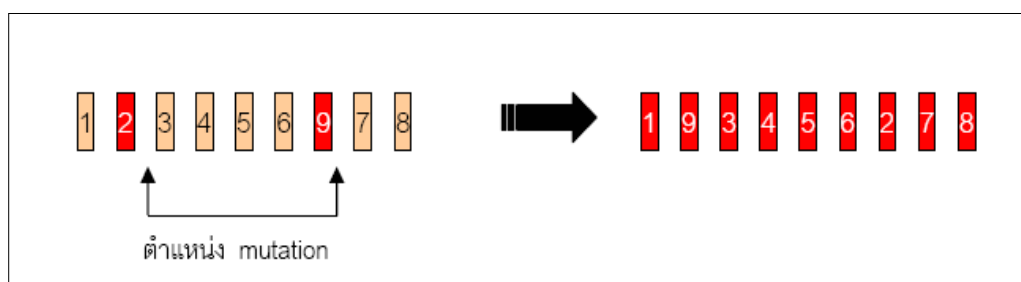
ค. การสลับสายพันธุเป็นกระบวนการที่สำคัญของขั้นตอนวิธีเชิงการกลายพันธุ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการสลับสายพันธุเสร็จสิ้นนั้น หมายความว่า ได้รุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุในการกลายพันธุ นั้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้

เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆเกิดขึ้น และทำให้เกิดวิวัฒนาการ สำหรับการแก้ปัญหาแล้วการที่เกิดผลลัพธ์ในลักษณะที่แตกต่างออกไปจากเดิมการกลายพันธุ์ จะทำหน้าที่ป้องกันข้อผิดพลาดของวิธีการแก้ไขปัญหาทั้งหมดในการเข้าไปในเฉพาะปัญหาที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา ขั้นตอนในการกลายพันธุ์ เมื่อได้ตำแหน่งกลายพันธุ์แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นในตัวอย่างดำเนินการกับ การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง จะมีการเปลี่ยนที่เป็นไปได้จาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็นหนึ่ง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การกลายพันธุ์

สำหรับการ กลายพันธุ์สามารถเกิดได้มากกว่า 2 ตำแหน่งขึ้นอยู่กับการสุ่มที่อยู่ภายใต้ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์เทคนิคของการกลายพันธุ์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ ในที่นี้จะยกตัวอย่างของการกลายพันธุ์กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding ที่ใช้กับปัญหาของ การเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman)

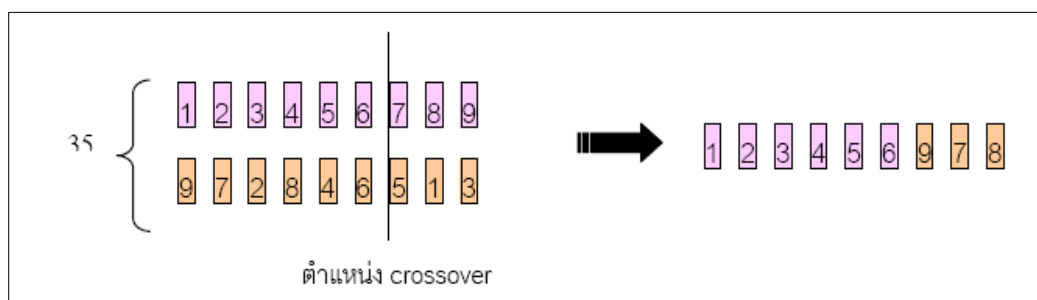


รูปที่ 2.11 การกลายพันธุ์กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding

มีตำแหน่ง กลายพันธุ์ 2 ตำแหน่ง เพื่อที่จะสลับค่าระหว่าง 2 ตำแหน่งที่ได้มา แต่การกลายพันธุ์กับ การเข้ารหัสแบบค่า ที่เป็นจำนวนจริงอาจจะทำการเพิ่มค่าหรือลบค่าก็ได้

2.2.2.4 ตัวแปร (Parameter) ตัวแปร ที่สำคัญหรือเป็นพื้นฐานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมี 3 ตัว คือ

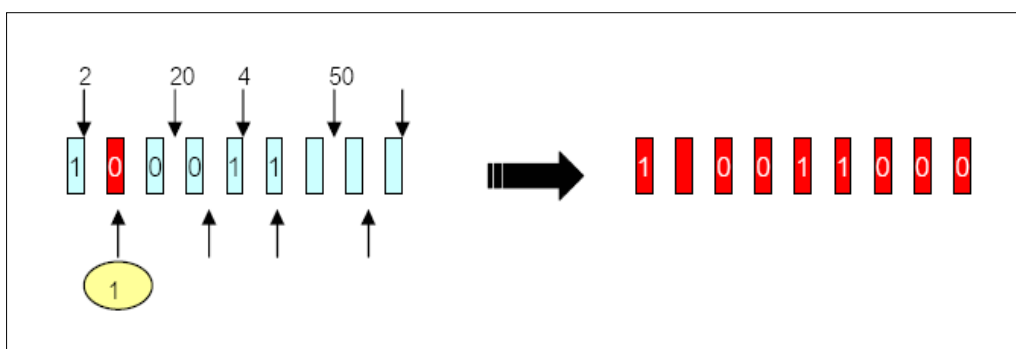
ก. ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 – 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้พบว่าความน่าจะเป็นของการ สลับสายพันธุ ส่วนใหญ่อยู่ที่ 60% - 95% ถ้าหากไม่มีการสลับสายพันธุ (0%) ผลที่ได้คือการทำสำเนาที่ถูกต้องจาก parent แต่ถ้ามีการสลับสายพันธุเกิดขึ้นบ่อยจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่หลากหลาย บางปัญหาอาจจะแก้ปัญหาคิดได้ในความน่าจะเป็นอยู่ที่ 85% - 95% ตัวอย่างการเกิดการสลับสายพันธุ กำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิดสลับสายพันธุเป็น 85% ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-100 นั้นหมายความว่าหากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่ ≤ 85 ก็จะเกิดการสลับสายพันธุ นอกจากนั้นจะไม่เกิดการสลับสายพันธุจากตัวอย่างสุ่มค่าได้ 35 จึงเกิดการสลับสายพันธุรูป 2.12 แสดงโอกาสเกิดการสลับสายพันธุ



รูปที่ 2.12 โอกาสเกิดการสลับสายพันธุ

ข. ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 – 100 จากการทดลองจากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน ได้พบว่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ ส่วนใหญ่อยู่ที่ 0% - 1% ต่อ 1 ตำแหน่งของโครโมโซมถ้าไม่มีการกลายพันธุ นั้นหมายความว่าผลที่ได้เกิดจากการสลับสายพันธุ เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าหากมีการกลายพันธุ 100% จะทำให้โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งการเกิดกลายพันธุ จะไม่เกิดบ่อยมากนักเพราะจะทำให้วิธีการแบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเปลี่ยนไปเป็น random search ตัวอย่างการเกิดกลายพันธุ โดยกำหนด

ให้ความน่าจะเป็นของการเกิดกลายพันธุ์ เป็น 1% ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0-100 นั้นหมายความว่า ณ ตำแหน่งนั้นหากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่ ≤ 1 ก็จะเกิดการกลายพันธุ์ จากตัวอย่างจะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซมมีการสุ่มที่มีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขจึงเกิดกลายพันธุ์ ส่วน ณ ตำแหน่งอื่นๆของโครโมโซมได้ค่าสุ่มที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจึงไม่เกิดกลายพันธุ์ขึ้น



รูปที่ 2.13 โอกาสเกิดการกลายพันธุ์

- ค. จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นถ้ามีจำนวนมากจะทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประมวลผลได้ช้าลง การวิจัยจะแสดงให้เห็นว่ามีข้อจำกัดบางอย่างซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการถอดรหัส

(John Holland , 1970)

ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบทั่วไป จะเริ่มจากการกำหนดค่า ต่าง ๆ ให้เรียบร้อยก่อน คือ กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ และกำหนดรูปแบบโครโมโซม เมื่อกำหนดค่าต่าง ๆ เสร็จแล้วจะเข้าสู่กระบวนการทำงาน คือ การเข้ารหัสโครโมโซม การหาค่าความแข็งแกร่งการคัดเลือก การสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) เป็นการกำหนดฟังก์ชันที่เกี่ยวกับเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องการขึ้นมา เพื่อใช้ในการหาค่าความแข็งแกร่ง

- ฟังก์ชันแบบจุดประสงค์เดียว (Single Objective Function) เป็นการกำหนดฟังก์ชันขึ้นมาหนึ่งฟังก์ชัน ที่ต้องการเพียงคำตอบเดียว ซึ่งเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยและไม่ขัดแย้งกัน

- ฟังก์ชันแบบหลายจุดประสงค์ (Multi Objectives Function) เป็นการกำหนดฟังก์ชันขึ้นมาหลาย ๆ ฟังก์ชัน ที่ต้องการคำตอบหลาย ๆ คำตอบแต่ละคำตอบจะเป็นคำตอบที่เป็นคู่แข่งกัน (Candidate) ซึ่งเหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากและขัดแย้งกัน

2.2 การประยุกต์ใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

2.2.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการตารางสอนของโรงเรียน

กาญจน์ วงศ์วิภาพร (2541) ศึกษาการจัดการตารางสอนของโรงเรียนแบบอัตโนมัติ โดยขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) โดยมีจุดประสงค์ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบสุ่มที่จำลองแบบวิวัฒนาการทางธรรมชาติกับวิศวกคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดการตารางสอนของโรงเรียนแบบอัตโนมัติ โดยสร้างรูปแบบโครโมโซมตารางสอนจากการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการจัดการตารางสอน คือ การจัดแผนการเรียน ชั้นเรียน วิชาและครูที่จัดสอน แล้ว วิเคราะห์ความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซมจากฟังก์ชันเป้าหมายที่กำหนดตามขอบเขตเงื่อนไข การจัดการตารางสอนที่ต้องการ เช่น ตรวจสอบจำนวนวิชาเรียนในแต่ละคาบเรียนของแต่ละชั้นเรียน หรือตรวจสอบจำนวนวิชาที่สอนในแต่ละคาบเรียนของครูแต่ละคน เป็นต้น เพื่อคัดเลือกต้นแบบและดำเนินการตามกระบวนการต่าง ๆ ของขั้นตอนเชิงพันธุกรรม เช่นการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ โดยทดสอบกับข้อมูลจริงของโรงเรียนตัวอย่าง ซึ่งผลการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมพบว่า สามารถประมวลผลทำให้เกิดรูปแบบตารางสอนได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ

1) กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์

F1 = แต่ละชั้นเรียนไม่มีเรียนวิชาใดชนกันในแต่ละคาบเรียน

F2 = แต่ละชั้นเรียนไม่เรียนวิชาเดียวกันในคาบเรียนติดกัน

F3 = แต่ละชั้นเรียนไม่เรียนวิชาเดียวกันในวันเดียวกัน

F4 = ไม่มีชั้นเรียนใดในวิชากลุ่มเรียนในคาบเรียนที่ต่างกัน

F5 = ครูแต่ละคนไม่มีสอนวิชาใดชนกันในแต่ละคาบสอน

F6 = ครูแต่ละคนไม่มีสอนติดต่อกันเกิน 2 คาบ

2) การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม โดยการถอดรหัสโครโมโซมตารางสอนและประมวลผลตามฟังก์ชันจุดประสงค์ เพื่อหาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

3) การคัดเลือกโดยการอ้างอิงลำดับแบบไม่เชิงเส้นที่ $q=0.4$

- 4) การสลับสายพันธุ์แบบ 1 จุด ให้ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์เป็น 0.7 และการกลายพันธุ์แบบตัวเลข ให้ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เป็น 0.005 โดยการระบุข้อมูล 16 คาบที่แน่นอนให้กับวิชากลุ่มค่าบิตของตำแหน่งวิชากลุ่มบนโครโมโซม ที่เกิดการกลายพันธุ์จะกลับค่าบิตเป็นค่าคาบเรียนที่ระบุนั้น

ศิริลักษณ์ จุณณทัสน์ (2547) ศึกษาการจัดตารางสอน โรงเรียนด้วยขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) แบบหลายจุดประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์ ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึมหลายจุดประสงค์ โดยสร้างโปรแกรมประยุกต์ สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางสอนของโรงเรียน ผลการดำเนินงานพบว่า ขั้นตอนเจเนติก อัลกอริทึม (GA) แบบหลายจุดประสงค์ สามารถหาคำตอบได้ดี โดยสามารถจัดตารางสอนและได้ตารางสอนที่มีคุณภาพดี ตรงตามเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งประหยัดแรงงานมนุษย์ รวมทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

- 1) กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์

F1 = ในวันและเวลาเดียวกันผู้สอนหนึ่งคนสอนได้หนึ่งกลุ่ม

F2 = ในหนึ่งสัปดาห์ผู้สอนจะสอนวิชาที่กำหนดเท่ากับจำนวนคาบของวิชานั้น

F3 = ในหนึ่งสัปดาห์ผู้สอนจะมีจำนวนวันที่สอนเท่ากับจำนวนครั้งของวิชานั้น

F4 = คาบที่ถูกกำหนดไว้ก่อน

F5 = ยกเว้นคาบ

- 2) การเข้ารหัสโครโมโซม จะใช้การเข้ารหัสแบบเลขจำนวนเต็ม (Integer Encoding) ซึ่งเป็นเลขลำดับของรหัสอาจารย์ จะนำมาแทนในยีนแต่ละตัวในโครโมโซม
- 3) การหาค่าความแข็งแรง นำค่าลำดับที่ได้จากการหาค่าลำดับจาก ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์มารวมกัน
- 4) การคัดเลือก จะคัดเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นโครโมโซมพ่อแม่ โดยใช้วิธีวงล้อรูเล็ต
- 5) การสลับสายพันธุ์ จะนำโครโมโซมที่ได้จากการคัดเลือกมา 2 โครโมโซมแล้วทำการสุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุ์ โดยกำหนดความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เป็น 0.5 ใช้วิธีการสลับสายพันธุ์ แบบหลายส่วน (N-point crossover) โดยสุ่มตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุ์ จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงความยาวโครโมโซม -1

จากนั้นแลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิต ตั้งแต่ตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุถึงความยาวโครโมโซม

- 6) การกลายพันธุ์ นำโครโมโซมที่ได้จากการคัดเลือกมา 1 โครโมโซม แล้วทำการสุ่มตำแหน่งที่จะกลายพันธุ์ แล้วสุ่มค่าใหม่แทนค่าเดิม โดยกำหนดความน่าจะเป็นของการกลาย 17 พันธุ์เป็น 0.1 ใช้วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรก โดยสุ่มตำแหน่งที่จะกลายพันธุ์ แล้วสุ่มค่าใหม่ขึ้นมาแทนค่าเดิม

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเส้นทางเดินรถ

ทัศนวรรณ กังสาและคณะ(2548) ศึกษาการจัดการเส้นทางเดินรถรับ-ส่งนักเรียนโดยใช้เจเนติก อัลกอริทึม (GA) โดยมีจุดประสงค์ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA) เพื่อใช้ในการค้นหาคำตอบที่ดีในคำตอบชุดหนึ่ง แล้วเลือกโครงสร้างเพื่อผลิตคำตอบใหม่แล้วค้นหาคำตอบที่ดีกว่าต่อไปเรื่อย ๆ ในการทดสอบประสิทธิภาพของเจเนติก อัลกอริทึม สำหรับปัญหาจัดการเส้นทางเดินรถรับ - ส่งนักเรียน โดยใช้ข้อมูลของโรงเรียนแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าประสิทธิภาพของเจเนติก อัลกอริทึม (GA) อยู่ในเกณฑ์ที่ดี สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และลดระยะเวลาที่เด็กนักเรียนต้องอยู่บนรถ รวมทั้งยังเป็นประหยัดทรัพยากร และการลดค่าใช้จ่ายของประเทศ อันเนื่องมาจากปัญหาทางด้านราคาน้ำมันที่มีราคาค่อนข้างสูงขึ้นทุกวัน

- 1) กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Minimize} = \sum_{i=0}^n t_{i,i} + 1$$

โดยที่ $t_{i,i+1}$ คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางจากโหนดในลำดับที่ i ไปยังโหนด $i+1$

กำหนดให้ $i+1 = 1$ เมื่อ $i = n$ และจุดเริ่มต้นที่โหนดลำดับที่ 1 คือ โรงเรียน

อัตราการครอสโอเวอร์ (Pc) = 0.8

อัตราการมิวเทชัน (Pm) = 0.2

Number of Generation = 2,500

Popsize = 1,500

การลอกแบบโครโมโซมที่ดีที่สุด (Elitism) = 2

Time Limit = infinite

Fitness Limit = infinite

StallGen Limit = 1000 รุ่นประชากร

- 2) การวิเคราะห์ค่าความเหมาะสม โดยการถอดรหัสโครโมโซมเส้นทางการเดินทางรับ-ส่งนักเรียนและประมวลผลตามฟังก์ชันจุดประสงค์ เพื่อหาค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม
- 3) การคัดเลือกโดยการอ้างอิงลำดับแบบไม่เชิงเส้นที่ $q=0.4$
- 4) การสลับสายพันธุ จะนำโครโมโซมที่ได้จากการคัดเลือกมา 2 โครโมโซมแล้วทำการสุมตำแหน่งสลับสายพันธุ โดยกำหนดความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ เป็น 0.5 ใช้วิธีการสลับสายพันธุ แบบหลายส่วน (N-point crossover) โดยสุมตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุ จะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงความยาวโครโมโซม -1 จากนั้นแลกเปลี่ยนค่าในแต่ละบิต ตั้งแต่ตำแหน่งที่จะสลับสายพันธุถึงความยาวโครโมโซม
- 5) การกลายพันธุ นำโครโมโซมที่ได้จากการคัดเลือกมา 1 โครโมโซม แล้วทำการสุมตำแหน่งที่จะกลายพันธุ แล้วสุมค่าใหม่แทนค่าเดิม โดยกำหนดความน่าจะเป็นของการกลาย 14 พันธุเป็น 0.1 ใช้วิธีการกลายพันธุแบบแทรก โดยสุมตำแหน่งที่จะกลายพันธุ แล้วสุมค่าใหม่ขึ้นมาแทนค่าเดิม

จิรนนท์ แซ่จิว, ชุมพล มณฑาทิพย์กุล(2550) ศึกษาการจัดเส้นทางเดินทางสำหรับรถยนต์บรรทุกขนบัตรเติมตู้เอทีเอ็มหนึ่งคัน โดยพิจารณาถึงประเด็นเรื่องความปลอดภัยจากการโจรกรรม วิธีการดังกล่าวนี้ได้มีการประยุกต์ใช้โมเดลปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน โดยทั่วไป (General Traveling Salesman Problem) ในการหากลุ่มของเส้นทางที่มีระยะการเดินทางรวมต่ำสุด โดยมีการนำสเปคตริมาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบของกลุ่มของเส้นทางดังกล่าว สำหรับเส้นทางจริงที่ถูกนำไปใช้ (Implemented) ในแต่ละวันจะถูกเลือกแบบสุ่มจากกลุ่มคำตอบดังกล่าว โดยไม่ให้ซ้ำเส้นทางเดิมเพื่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพของวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ได้ถูกทดสอบและนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันของธนาคารตัวอย่าง ผลการทดลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอโดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สำหรับสองกรณีศึกษาซึ่งนำมาทดสอบ พบว่าวิธีการที่นำเสนอโดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ให้ระยะเดินทางรวมที่ลดลง 42.6% และ 46.4%

Lee and Ueng (1999) ได้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางเดินรถที่มีน้ำหนักบรรทุกด้วยการจัดสมดุลภาระ โดยมุ่งหวังที่ลดการใช้เวลาในการเดินทาง เพื่อทำการจัดส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพทันต่อเวลามากขึ้น โดยผู้วิจัยได้ทำการนำเอาวิธี Heuristic Algorithm ซึ่งมีกระบวนการคิด และขั้นตอนคล้ายคลึงกับ Saving Algorithm มาแก้ปัญหา และทำการเปรียบเทียบ โดยทำการแก้ปัญหาด้วยวิธี Optimal Solution Method นำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาวิธีแก้ปัญหาที่ดีกว่า ผลที่

ได้ Optimal Solution Method ได้ผลที่ดีกว่าเพียง 0.73% แต่ที่ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานมากกว่าวิธี Heuristic Algorithm มาก

Baker and Ayechev (2003) ทำการนำเสนอวิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งรู้ความต้องการของลูกค้าในแต่ละราย และมีจุดคลังสินค้าจุดเดียว โดยมีข้อจำกัดที่น้ำหนักบรรทุก และเวลาในการเดินทางเดินทาง ในกระบวนการเลือกใช้การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ด้วยวิธี Two Point และการกลายพันธุ์แบบพื้นฐาน (Simple Mutation) ในการคัดเลือกใช้วิธี Tournament และนำเสนอเกี่ยวกับการใช้วิธีอื่น ๆ เข้ามาผสมใช้ร่วมกับวิธีการเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

Shuguang, Weilai and Huiming (2008) ได้นำเสนอการศึกษาการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีขนาดรถหลายขนาด ทำการศึกษาที่ประสิทธิภาพของวิธีแก้ปัญหาที่ต่างวิธี ที่เคยถูกนำมาทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อให้ได้วิธีการที่ดีที่สุดในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

Junhyuk and Byung-In (2009) ทำการนำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน โดยทำการแบ่งจัดกลุ่มบ้านกับป้ายจอดรถรับส่ง ซึ่งเส้นทางการเดินรถจะมาจากจุดอื่นนอกเส้นทาง และวิ่งเข้าเส้นทางเพื่อทำการรับส่งรถนักเรียน โดยรถทุกคันจะวิ่งไปจุดสุดท้ายที่โรงเรียน จุดมุ่งหมายเพื่อให้รถแต่ละคันรับนักเรียนให้ได้มากที่สุด และทำการส่งนักเรียนทันภายในเวลาที่กำหนด

Nanthavanji et al (2009) นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะส่งสินค้าโดยใช้แรงงานพนักงานในการขนสินค้า ในตัวปัญหานี้มีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินรถรับส่งของ แต่เพิ่มจุดพิจารณาถึงเรื่องพนักงานที่ทำงานด้วย โดยผู้วิจัยได้ทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายถึงปัญหา และคิดต้นทุนในการเดินทาง โดยมีข้อจำกัดด้านภาระงานที่พนักงานได้รับ เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดสินค้าสู่ลูกค้า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

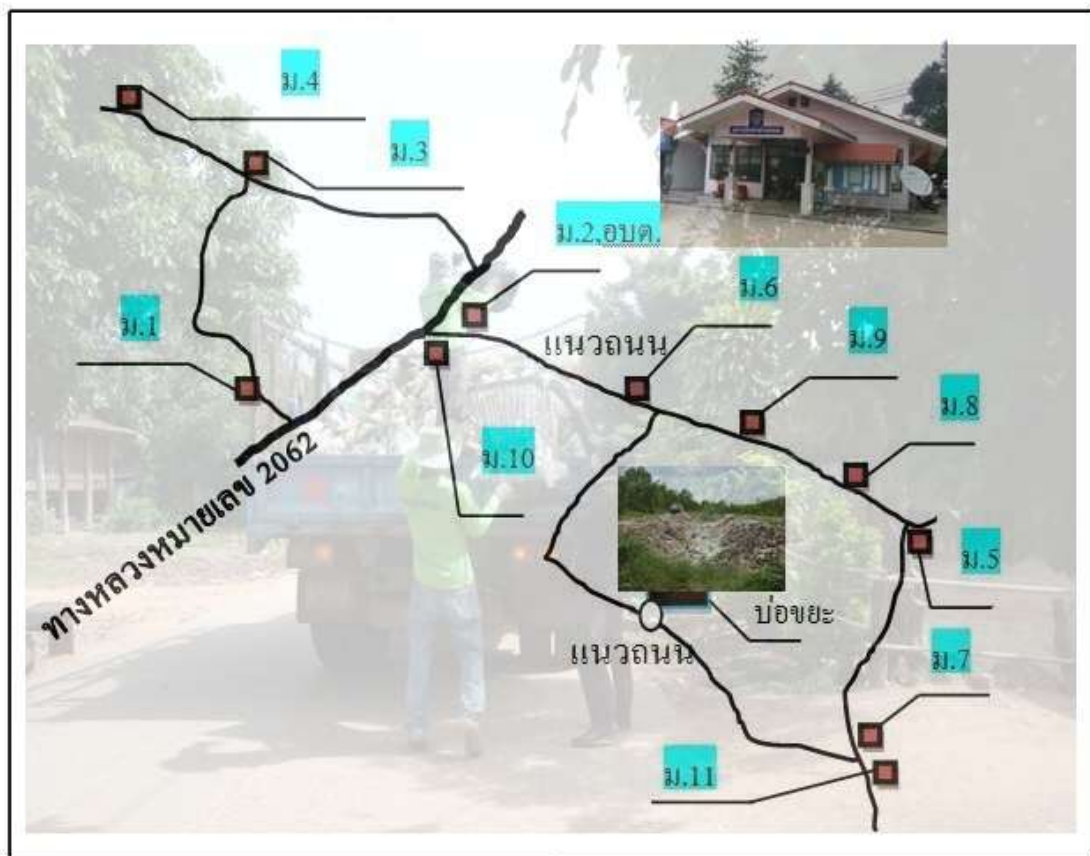
เก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางจากการศึกษารูปแบบพฤติกรรมการใช้เส้นทางและระยะเวลาในการจัดเก็บขยะต่อวันทั้ง 11 หมู่บ้าน รายละเอียดแผนงานการจัดเก็บขยะในหนึ่งสัปดาห์แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนงานการจัดเก็บขยะในหนึ่งสัปดาห์(ข้อมูลจากองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา)

วัน	หมู่บ้าน	จำนวนหมู่บ้าน	เวลา/วัน
จันทร์	1 บ้านโนนตุน หมู่ที่ 3	2 หมู่บ้าน	06.00 – 14.00 น.
	2 บ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4		
อังคาร	1 บ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1	2 หมู่บ้าน	06.00 – 14.00 น.
	2 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10		
พุธ	1 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	2 หมู่บ้าน	06.00 – 14.00 น.
	2 บ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6		
พฤหัสบดี	1 บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	3 หมู่บ้าน	06.00 – 14.00 น.
	2 บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8		
	3 บ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9		
ศุกร์	1 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7	2 หมู่บ้าน	06.00 – 14.00 น.
	2 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 11		

รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังเส้นทาง ตำแหน่งหมู่บ้านและบ่อขยะ ซึ่งประกอบด้วยหมู่บ้าน 11 หมู่บ้าน บ่อทิ้งขยะแบบฝังกลบจำนวนหนึ่งแห่ง เส้นทางที่ใช้ขนลำเลียงขยะไปทิ้งจะใช้อ้อยู่ 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 เริ่มจากหมู่ที่ 6 บ้านห้วยนาเหนือ และเส้นทางที่ 2 เริ่มจากหมู่ที่ 11 บ้านท่าสวรรค์

หลังจากที่ดำเนินการจัดเก็บขยะแล้วเสร็จ หมู่บ้านที่ใช้เส้นทางขนลำเลียงขยะไปทิ้งมีรายละเอียดดังนี้ หมู่บ้านที่ใช้เส้นทางที่ 1 ประกอบไปด้วย บ้านไล่ไก่ หมู่ที่ 1 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2 บ้านโนนตุน หมู่ที่ 3 บ้านโนนคูน หมู่ที่ 4 บ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10 หมู่บ้านที่ใช้เส้นทางที่ 2 ประกอบไปด้วย บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8 บ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 11



รูปที่ 3.1 แผนผังเส้นทาง ตำแหน่งหมู่บ้านและบ่อขยะ

3.1.1 ข้อมูลระยะทางการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม

รูปแบบพฤติกรรมการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะทั้ง 11 หมู่บ้าน ไม่มีการวางแผนเส้นทาง การจัดเก็บขยะที่เป็นรูปแบบ ทำให้เกิดจุดตัดและเกิดการซ้อนทับกันของเส้นทาง จึงส่งผลให้การ

จัดเก็บขยะใช้ระยะเวลาหลายชั่วโมงต่อวัน ทำให้สูญเสียงบประมาณด้านเชื้อเพลิง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

วันจันทร์เก็บขยะที่บ้านโนนคูน หมู่ที่ 3 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 3,223 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.2 และสิ้นสุดที่บ้าน โนนคูน หมู่ที่ 4 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 4,675 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.3

วันอังคารเก็บขยะที่บ้านไล่ไก่ หมู่ที่ 1 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 6,491 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.4 และสิ้นสุดที่บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 2,426 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.5

วันพุธเก็บขยะที่บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 4,051 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.6 และสิ้นสุดที่บ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 3,051 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.7

วันพฤหัสบดีเก็บขยะที่บ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 2,570 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.8 ต่ไปยังบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 1,795 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.9 และสิ้นสุดที่บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 4,085 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.10

วันศุกร์เก็บขยะที่บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11 ความยาวเส้นทางที่ใช้จัดเก็บขยะรวม 4,642 เมตร ซึ่งแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.2 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านโนนคูน หมู่ที่ 3



รูปที่ 3.3 แผนผังการใช้เส้นทางในการกำจัดยุงแบบดั้งเดิมของบ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4



รูปที่ 3.4 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1



รูปที่ 3.5 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10



รูปที่ 3.6 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2



รูปที่ 3.7 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6



รูปที่ 3.8 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านหวนากลาง หมู่ที่ 9



รูปที่ 3.9 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านโนนจิว หมู่ที่ 8



รูปที่ 3.10 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านดงเต็ง หมู่ที่ 5



รูปที่ 3.11 แผนผังการใช้เส้นทางในการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมของบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11

ระยะเวลาการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิมในหนึ่งวันแสดงในตารางที่ 3.2 และค่าใช้จ่ายน้ำมันแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ระยะเวลาการจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม(หนึ่งสัปดาห์)

วัน	หมู่บ้าน	จำนวนหมู่บ้าน	ระยะเวลา/วัน(ชม.)
จันทร์	หมู่ที่ 3 และหมู่ที่ 4	2 หมู่บ้าน	5 ชั่วโมง
อังคาร	หมู่ที่ 1 และหมู่ที่ 10	2 หมู่บ้าน	6 ชั่วโมง
พุธ	หมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 6	2 หมู่บ้าน	4 ชั่วโมง 40 นาที
พฤหัสบดี	หมู่ที่ 5 หมู่ที่ 8 และหมู่ที่ 9	3 หมู่บ้าน	5 ชั่วโมง 30 นาที
ศุกร์	หมู่ที่ 7 และหมู่ที่ 11	2 หมู่บ้าน	3 ชั่วโมง

ตารางที่ 3.3 การเบิกจ่ายค่าน้ำมันย้อนหลัง 3 เดือน (ปีงบประมาณ 2556)

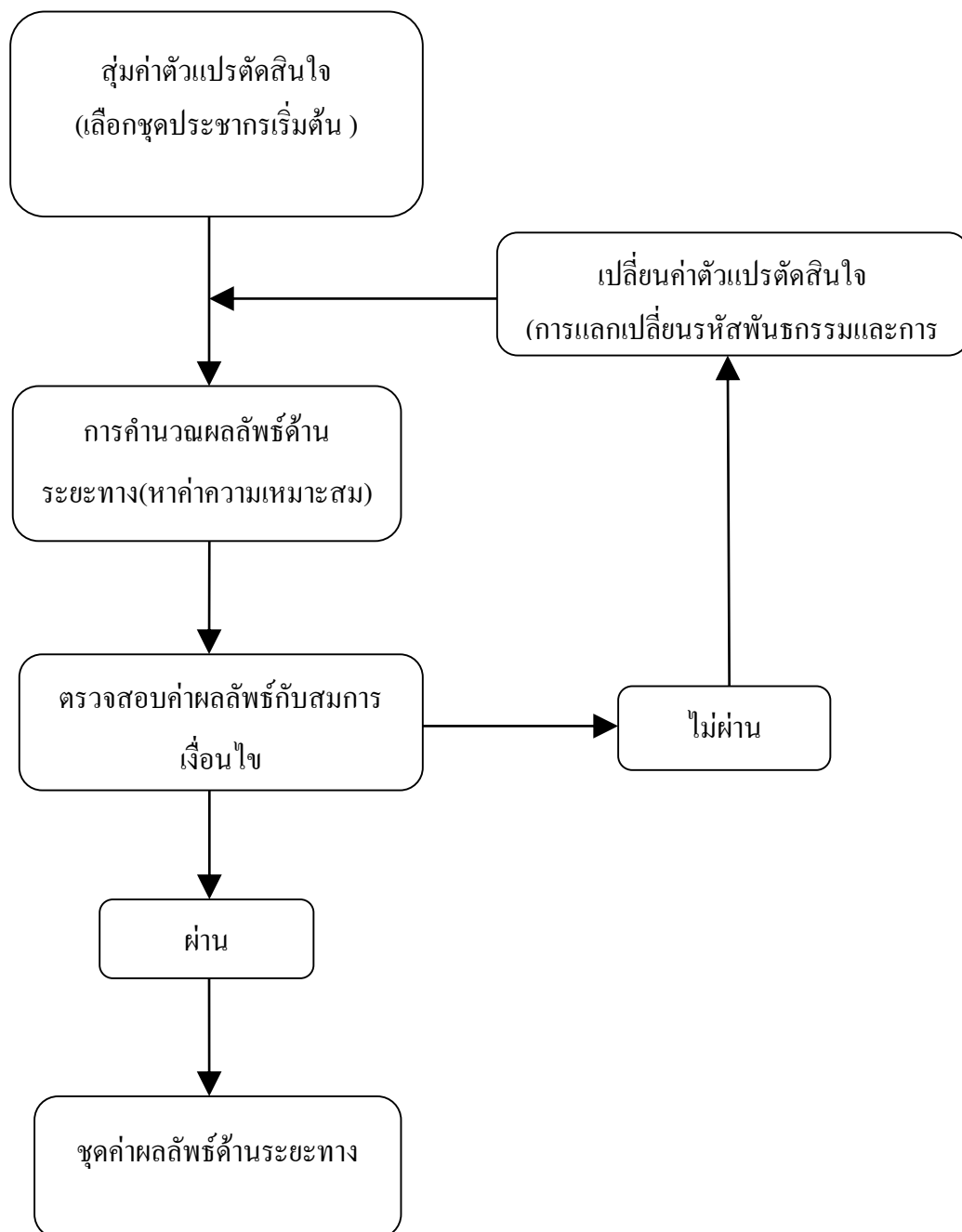
เดือน	สัปดาห์	ค่าน้ำมัน(บาท)	รวมค่าน้ำมัน(บาท)
มิถุนายน	สัปดาห์ ที่ 1	1,500	6,000
	สัปดาห์ ที่ 2	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 3	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 4	1,500	
กรกฎาคม	สัปดาห์ ที่ 1	1,500	6,000
	สัปดาห์ ที่ 2	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 3	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 4	1,500	

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

เดือน	สัปดาห์	ค่าน้ำมัน(บาท)	รวมค่าน้ำมัน(บาท)
สิงหาคม	สัปดาห์ ที่ 1	1,500	6,000
	สัปดาห์ ที่ 2	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 3	1,500	
	สัปดาห์ ที่ 4	1,500	

3.2 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

สร้างโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะ โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย รูปแบบโครโมโซม ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ และเงื่อนไขของอัลกอริทึม กำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population) เป็นชุดโครโมโซมที่จะถูกเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ ประชากรเริ่มต้นสร้างขึ้นโดยการสุ่มตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น (Population Size) หาค่าความเหมาะสมโดยประมวลผลตามฟังก์ชันเป้าหมาย เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม และหาโครโมโซมที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมต่ำที่สุด หากเงื่อนไขการของอัลกอริทึมไม่มีข้อใดเป็นจริง อัลกอริทึมจะคัดเลือกโครโมโซมในประชากรปัจจุบันเพื่อสร้างโครโมโซมของประชากรรุ่นใหม่ โดยวิธีการคัดเลือกใช้วิธีสุ่มทศนิยมแบบไม่คืนกลับเมื่อสุ่มโครโมโซมขึ้นมา 2 โครโมโซม จะเรียกโครโมโซมทั้งสองนี้ว่าโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ตามลำดับ นำโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่มาสร้างโครโมโซมลูก 2 โครโมโซมสำหรับประชากรใหม่



รูปที่ 3.12 กระบวนการทำงานของแบบจำลองขั้นตอนเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

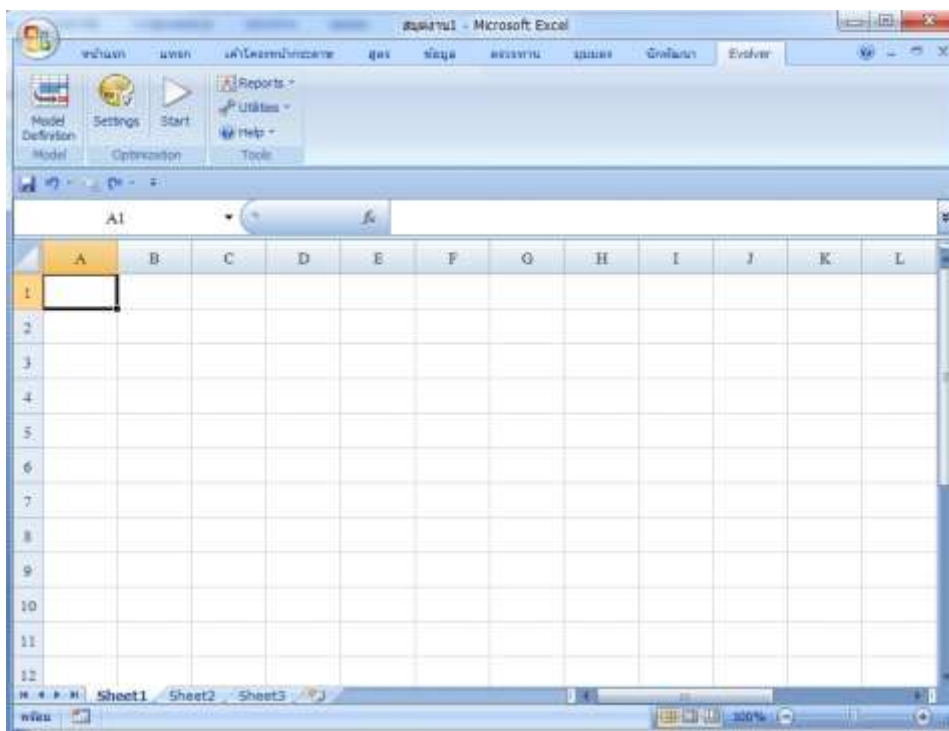
3.3 วิธีหาคำตอบแก้ปัญหาเพื่อสร้างโมเดลเส้นทาง

โมเดลปัญหาที่พัฒนาขึ้นนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบเจเนติก อัลกอริทึม (GA) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปคือ Evolver ของบริษัท Palisade Corp. ซึ่งเป็นโปรแกรม Add-in ใน Microsoft

Excel ซึ่งหลังจากติดตั้งโปรแกรมแล้วจะปรากฏในเมนูของ Microsoft Excel เพื่อรอการเรียกใช้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.13

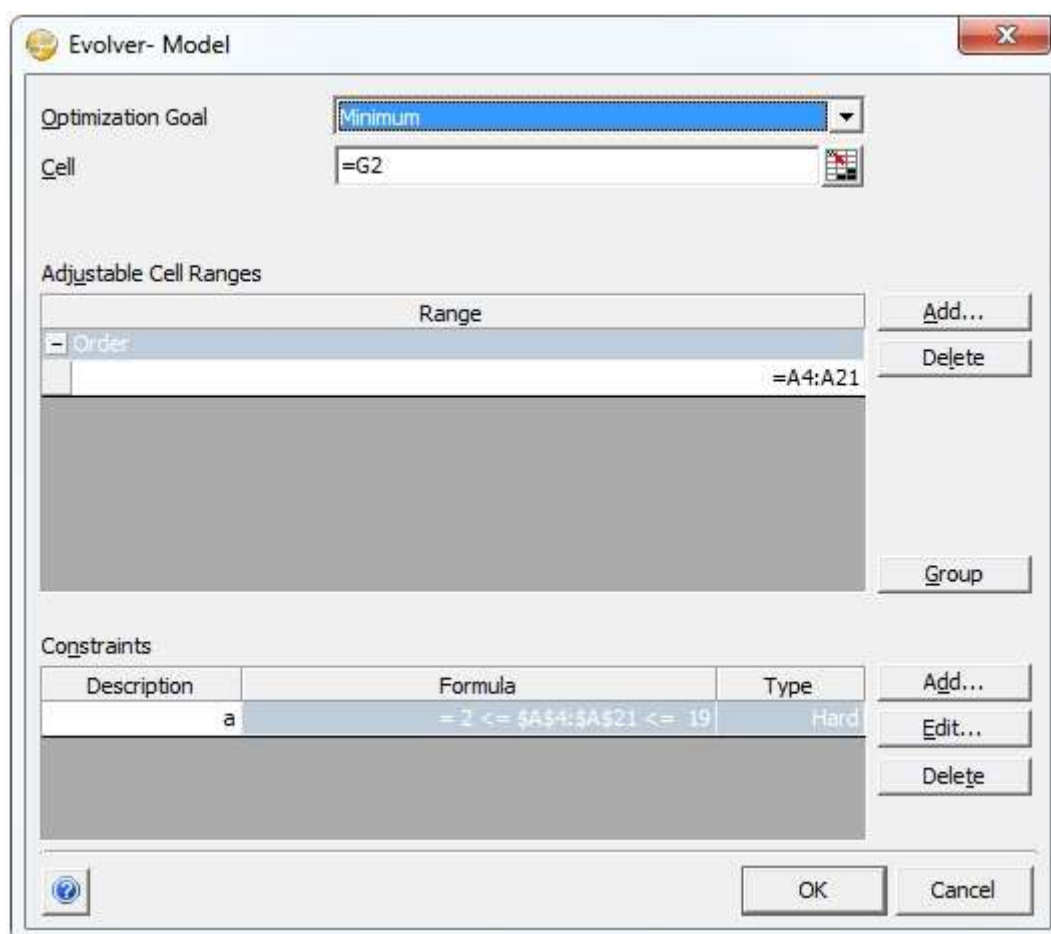


รูปที่ 3.13 หน้าต่างแสดงโปรแกรม Evolver ของ Palisade Corp.



รูปที่ 3.14 เมนู Ribbon ของ Evolver ที่ได้ติดตั้ง Add-in แล้ว

ขั้นตอนการใช้งาน Evolver คล้ายคลึงกับ โปรแกรม Solver คือเริ่มจากการกำหนด ส่วนประกอบหลักของโมเดลซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และ ฟังก์ชันข้อจำกัด หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลนำเข้าของโมเดลทั้ง 3 ส่วนนี้ แสดงดังในรูปที่ 3.15 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถกำหนดได้ว่าเป็น Optimization แบบการ Minimization หรือ Maximization และโดยการกำหนดเซลล์ที่จะใช้คำนวณค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

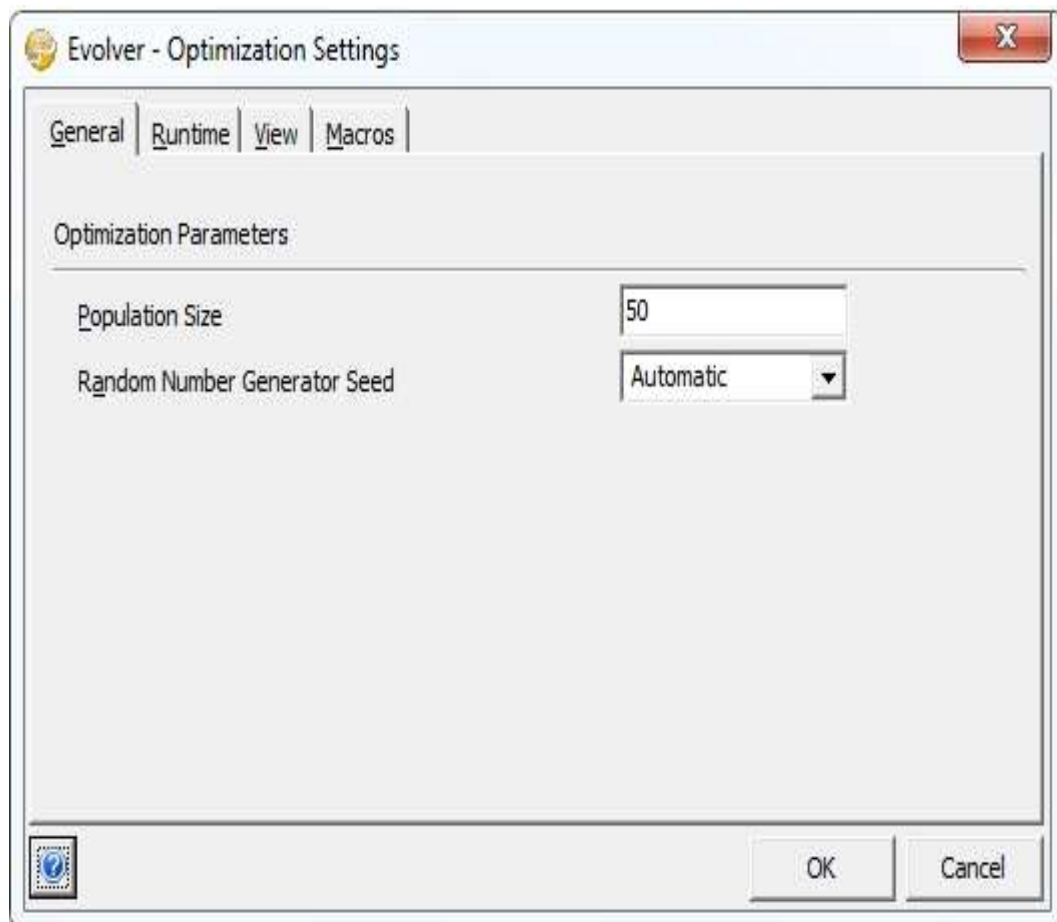


รูปที่ 3.15 หน้าต่างสำหรับป้อนข้อมูลส่วนประกอบหลักของโมเดล

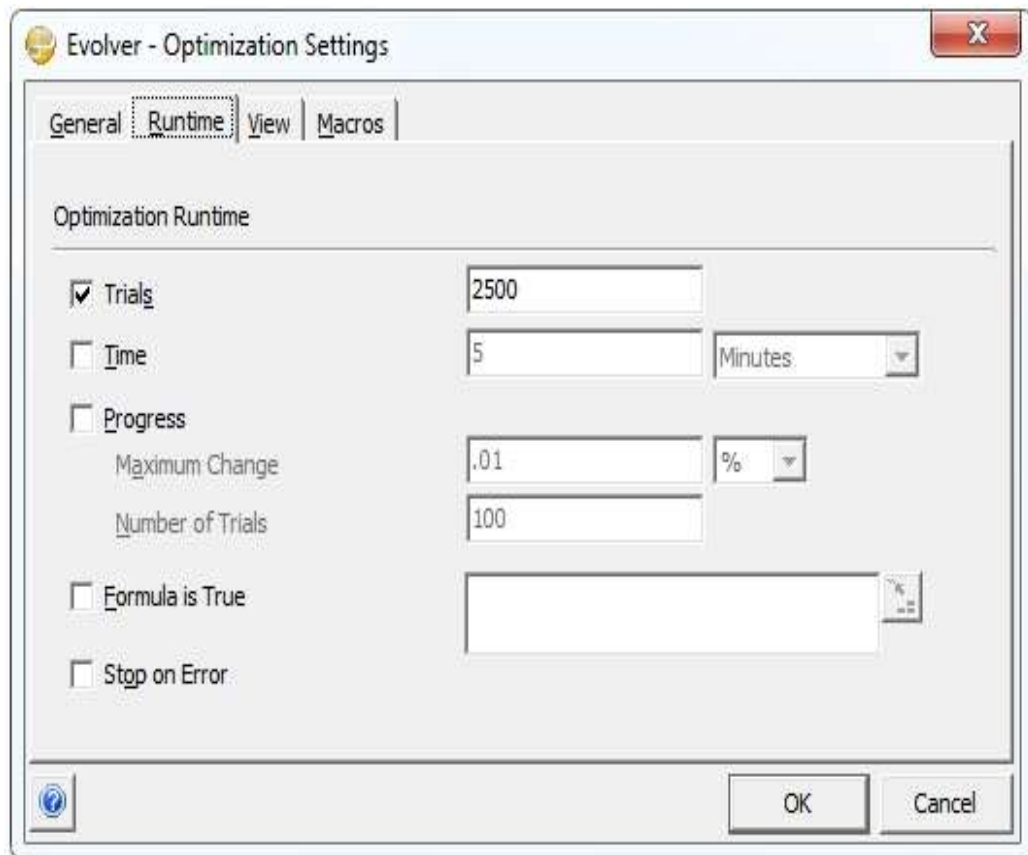
ตัวแปรตัดสินใจกำหนดให้เป็นกลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า Adjustable Cell Ranges ซึ่ง โปรแกรม Evolver จะบังคับให้กำหนดขอบเขตบนและล่างของค่าตัวแปรตัดสินใจต่างๆทั้งหมดด้วย นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของค่าตัวแปรเป็นจำนวนเต็มหรือจำนวนจริงก็ได้ ฟังก์ชันข้อจำกัดสามารถป้อนข้อมูลแบ่งเป็นชุดๆตามต้องการได้ โดยอ้างอิงไปที่กลุ่มเซลล์ที่มีสูตรฟังก์ชันข้อจำกัดที่ต้องการ จากนั้นกำหนดขอบเขตบนและล่างที่เหมาะสม ทั้งนี้ยังสามารถกำหนดชนิดของฟังก์ชันข้อจำกัดเป็นแบบ Soft หรือ Hard constraints ก็ได้

หลังจากที่ได้กำหนดส่วนประกอบหลักของโมเดลเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GA ที่จะใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ค่า Population size, Random seed, Crossover rate, Mutation rate และเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ค่า Population Size จะเป็นตัวกำหนดความหลากหลายของกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละรุ่นประชากร ค่า Random Number Generator Seed เป็นวิธีการหาตัวเลขสุ่มที่ต้องใช้ในการหาคำตอบ ค่า Crossover rate และ Mutation rate เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมปฏิบัติการทางพันธุกรรม ในกระบวนการวิวัฒนาการของ GAs รวมทั้งการกำหนดเงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถบังคับความพยายามในการค้นหาตอบให้เป็นไปตามต้องการได้อีกด้วย

เงื่อนไขการสิ้นสุด (Runtime) สามารถเลือกใช้ได้หลายลักษณะได้แก่ การกำหนดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ที่ถูกพิจารณา (Trials) การกำหนดระยะเวลาของการค้นหา หรือการกำหนดเปอร์เซ็นต์ การปรับปรุงของคำตอบที่ดีขึ้นภายในจำนวน Trials ที่กำหนด



รูปที่ 3.16 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ Population Size ของ GA



รูปที่ 3.17 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าเงื่อนไขการจบ Runtime

จากการทดสอบเบื้องต้นเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเจเนติก อัลกอริทึมที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในการหาคำตอบของโมเดล ได้กำหนดค่าที่เหมาะสมรายละเอียดดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเจเนติก อัลกอริทึม

ค่าพารามิเตอร์ของ Genetic Algorithms	
พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
- Optimization Goal	Minimum
- Constraints	Hard
- Population Size	50
- Random Number Generator Seed	Automatic
- Crossover rate	0.5
- Mutation rate	0.1
- Trials	2,500

3.4 การทดสอบจริงเปรียบเทียบข้อมูลเดิม

เก็บข้อมูลระยะทางการจัดเก็บขยะทั้ง 11 หมู่บ้านจากโมเดลเส้นทางที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมทั้งหมดจำนวน 4 รอบ(1 เดือน) นำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบหาความแตกต่างของระยะทางในการเดินรถ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และระยะเวลาการปฏิบัติงาน รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.5 รูปแบบการเปรียบเทียบข้อมูลในการจัดเก็บขยะ

ตารางรูปแบบการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้เส้นทางจัดเก็บขยะ	
เก็บข้อมูลเส้นทางแบบดั้งเดิมในการจัดเก็บขยะ	ข้อมูลเส้นทางในการจัดเก็บขยะจากวิธีเจเนติก อัลกอริทึม(GA)
-ความยาวระยะทางในการเดินรถ	-ความยาวระยะทางการในเดินรถ
-ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน	-ระยะเวลาในการปฏิบัติงาน
-ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง	-ค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง
สรุปผลค่าความแตกต่างของข้อมูล	

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

4.1 การสร้างโมเดลเส้นทางด้วยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (GA)

4.1.1 การจำลองกำหนดตำแหน่งที่ตั้งถังขยะ

การจำลองเพื่อกำหนดตำแหน่งที่จัดวางถังขยะทั้ง 11 หมู่บ้าน จะเห็นได้ว่าการกำหนดจำนวนตำแหน่งที่ตั้งถังขยะมีจำนวนที่แตกต่างกันในแต่ละหมู่บ้าน ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนสายทาง ลักษณะการจัดวางผังถนนและขนาดของหมู่บ้านนั้น ๆ เงื่อนไขเส้นทางการจัดเก็บขยะจุด เริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดมี 2 กรณี คือ

- กรณีที่ 1 เส้นทางที่มีตำแหน่งจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดในการจัดเก็บขยะเป็นจุดเดียวกัน
- กรณีที่ 2 เส้นทางที่มีตำแหน่งจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดในการจัดเก็บไม่เป็นจุดเดียวกัน

หมู่บ้านที่มีตำแหน่งจุดเริ่มเก็บขยะ และจุดสิ้นสุดการเก็บขยะเป็นจุดเดียวกัน คือ บ้านใ้ไก่ หมู่ที่ 1 และบ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4 จำนวน 2 หมู่บ้าน

หมู่บ้านที่มีตำแหน่งจุดเริ่มเก็บขยะ และจุดสิ้นสุดการเก็บขยะไม่เป็นจุดเดียวกัน คือ บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2 บ้านโนนคูน หมู่ที่ 3 บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5 บ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8 บ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10 และบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 11 จำนวน 9 หมู่บ้าน

การกำหนดที่ตั้งถังขยะในแบบจำลอง ได้พิจารณาถึงจุดที่ตั้งถังขยะจริงในปัจจุบันของแต่ละหมู่บ้าน เส้นทางการเดินรถจะครอบคลุมทุกเส้นทางที่ผ่านจุดที่ตั้งถังขยะ โดยกำหนดจุดตำแหน่งที่ตั้งถังขยะช่วงต้นและท้ายของถนนในแต่ละหมู่บ้าน

4.1.2 การหาคำตอบแก้ปัญหาเพื่อสร้างโมเดลเส้นทาง

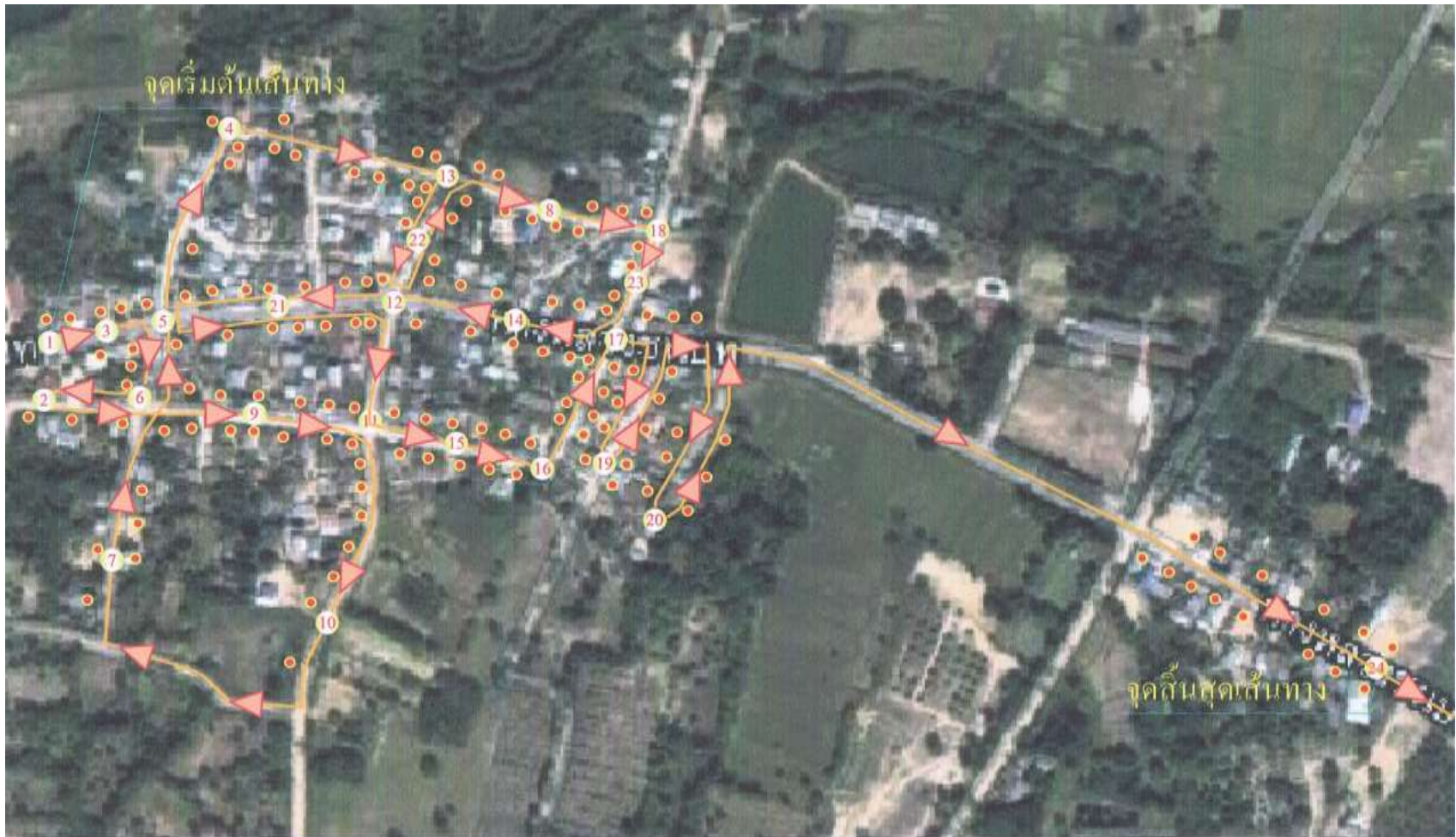
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์คำตอบเส้นทางเดินรถเก็บขยะโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมซึ่งทำการ Trials = 8 ครั้งต่อเส้นทาง ระยะเวลาในการประมวลผลประมาณ 3 นาที จากผลลัพธ์เส้นทางเดินรถนำไปสร้างโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะได้ดังรูปที่ 4.1 – 4.10

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์คำตอบเส้นทางเดินรถเก็บขยะโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม

ชื่อหมู่บ้าน	ผลลัพธ์เส้นทางเดินรถการจัดเก็บขยะ	ระยะทาง (กิโลเมตร)
บ้านไส้ไก่ หมู่ที่ 1	1>5>3>4>2>20>6>10>12>21>11>9>22>8>13>15>14>19> 17>18>16>7>1	5.792
บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	1>3>6>2>9>10>7>5>4>13>22>8>18>23>14>12>21>11> 15>16>17>19>20>24	3.915
บ้านโนนคูน หมู่ที่ 3	1>3>2>6>4>12>11>5>7>8>9>10>13	2.952
บ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4	1>2>6>4>15>14>7>18>17>12>19>13>8>16>9>10>11>5> 20>3>1	4.566
บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	1>2>24>5>25>3>15>6>9>16>8>13>22>7>23>10>11>21> 19>14>20>4>17>12>18>26	3.243
บ้านหัวนาเหนือ หมู่ที่ 6	1>2>4>5>14>3>7>6>11>9>8>13>12>15>10>16	3.051
บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7, 11	1>4>3>2>7>30>31>8>10>17>18>19>20>24>29>21>23> 25>22>16>15>9>14>12>13>11>6>27>5>26>28>32	4.583
บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8	1>4>11>7>12>10>2>5>3>6>14>9>8>13>15	1.718
บ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9	1>2>3>5>8>11>12>7>4>13>6>9>10>14	2.463
บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10	1>3>4>5>7>11>6>9>8>2>10>12	2.413
ผลรวมระยะทาง		34.696



รูปที่ 4.1 แผนผังแบบจำลองเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1



รูปที่ 4.2 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2



รูปที่ 4.3 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านโนนตุ่น หมู่ที่ 3



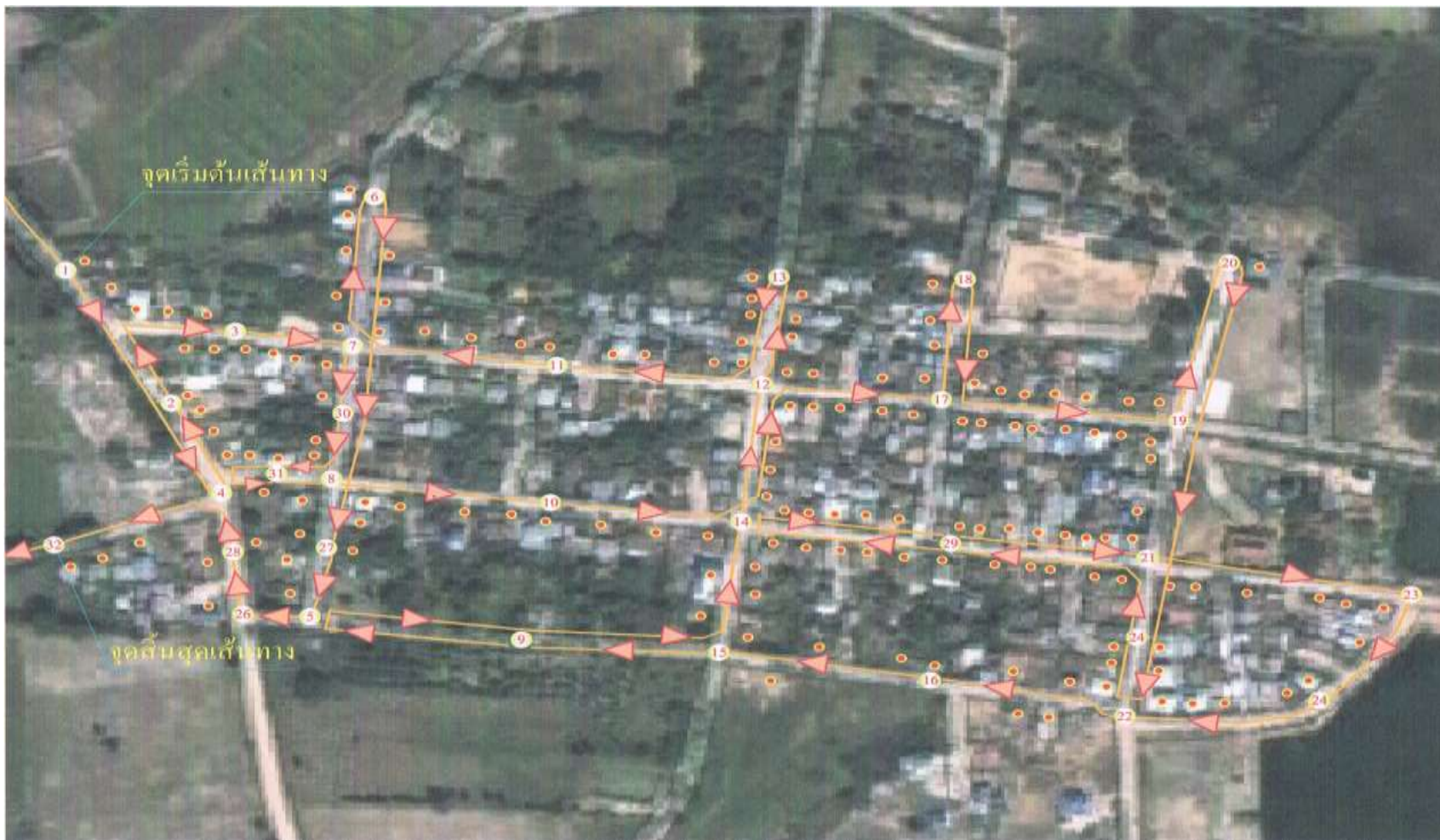
รูปที่ 4.4 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้าน โนนคูณ หมู่ที่ 4



รูปที่ 4.5 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านดงเต็ง หมู่ที่ 5



รูปที่ 4.6 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านห้วยน้ำเหือง หมู่ที่ 6



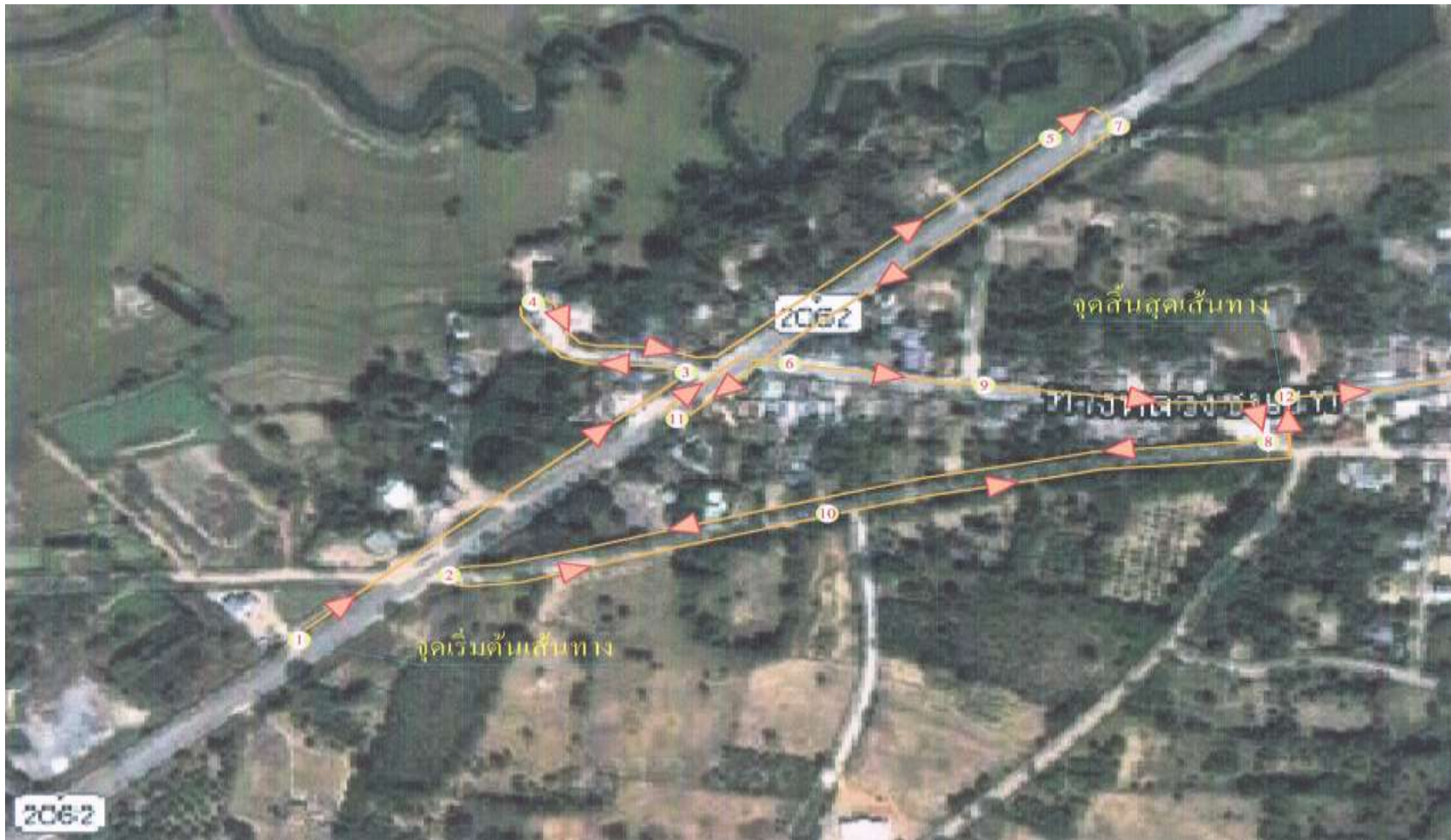
รูปที่ 4.7 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 และ 11



รูปที่ 4.8 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านโนนจั่ว หมู่ที่ 8



รูปที่ 4.9 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9



รูปที่ 4.10 แผนผังโมเดลเส้นทางในการจัดเก็บขยะบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10

4.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเจเนติก อัลกอริทึมกับข้อมูลดั้งเดิม

จากการจำลองเส้นทางในการจัดเก็บขยะทั้ง 11 หมู่บ้าน ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองเส้นทางไปใช้ปฏิบัติในการจัดเก็บขยะโดยเริ่มเก็บข้อมูลในวันจันทร์ ที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2557 ถึงวันศุกร์ ที่ 9 เมษายน พ.ศ. 2557 รวมระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 4 สัปดาห์ (ประมาณ 1 เดือน) จากผลการทดสอบพบว่าระยะทางการเดินรถโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม สั้นกว่าระยะเส้นทางเดินรถโดยวิธีดั้งเดิม ซึ่งระยะทางลดลงเท่ากับ 9.252 กิโลเมตร (ร้อยละ 6.25) และระยะเวลาในการปฏิบัติงานลดลงเท่ากับ 380 นาที (ร้อยละ 6.55) ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบข้อมูลระยะทางแบบเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูลระยะทางในหนึ่งสัปดาห์)

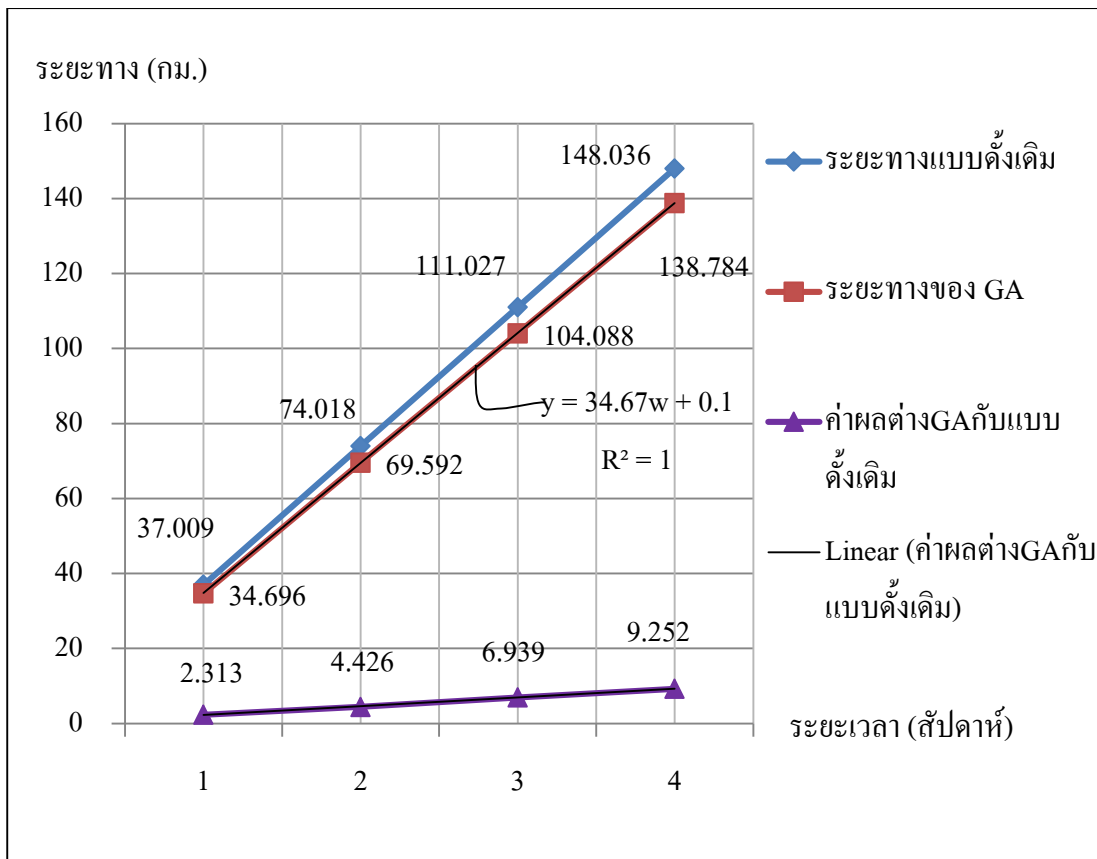
หมู่บ้าน	ผลลัพธ์แบบดั้งเดิม	ผลลัพธ์แบบ GA	ค่าผลต่างระยะทาง (กิโลเมตร)
	ผลรวมระยะทาง (กิโลเมตร)	ผลรวมระยะทาง (กิโลเมตร)	
บ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1	6.491	5.792	0.699
บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2	4.051	3.915	0.136
บ้านโนนตุน หมู่ที่ 3	3.223	2.952	0.271
บ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4	4.675	4.566	0.109
บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5	4.085	3.243	0.842
บ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6	3.051	3.051	0
บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7, 11	4.642	4.583	0.590
บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8	1.795	1.718	0.770
บ้านห้วยนากลาง หมู่ที่ 9	2.570	2.463	0.107
บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10	2.426	2.413	0.130
ผลรวม	37.009	34.696	2,313

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบข้อมูลระยะเวลาแบบเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูลระยะเวลาเวลาในหนึ่งสัปดาห์)

หมู่บ้าน	ผลลัพธ์แบบดั้งเดิม	ผลลัพธ์แบบ GA	ค่าผลต่าง เวลา
	เวลาที่ใช้ ปฏิบัติงาน	เวลาที่ใช้ ปฏิบัติงาน	
วันจันทร์			
บ้านโนนคูน หมู่ที่ 3 บ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4	5 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง 45 นาที	15 นาที
วันอังคาร			
บ้านไส้ไก่ หมู่ที่ 1 บ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10	6 ชั่วโมง	5 ชั่วโมง 35 นาที	25 นาที
วันพุธ			
บ้านท่าศชล หมู่ที่ 2 บ้านหัวนาเหนือ หมู่ที่ 6	4 ชั่วโมง 40 นาที	4 ชั่วโมง 30 นาที	10 นาที
วันพฤหัสบดี			
บ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5 บ้านโนนจิว หมู่ที่ 8 บ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9	5 ชั่วโมง 30 นาที	4 ชั่วโมง 55 นาที	25 นาที
วันศุกร์			
บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 7 บ้านท่าสวรรค์ หมู่ที่ 11	3 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง 50 นาที	10 นาที
ผลรวม	24 ชั่วโมง 10 นาที	22 ชั่วโมง 35 นาที	1 ชั่วโมง 25 นาที

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบข้อมูลโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมกับวิธีแบบดั้งเดิม (ข้อมูล 4 สัปดาห์)

วัน	หมู่บ้าน	หมู่ที่	การปฏิบัติงานแบบดั้งเดิม (4 สัปดาห์)		การปฏิบัติงานโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (4 สัปดาห์)	
			ผลรวมระยะทาง (กิโลเมตร)	ระยะเวลา การปฏิบัติงาน	ผลรวมระยะทาง (กิโลเมตร)	ระยะเวลา การปฏิบัติงาน
วันจันทร์	บ้านโนนตุ่น,บ้านโนนคูณ	3, 4	31.592	20 ชั่วโมง	30.072	19 ชั่วโมง
วันอังคาร	บ้านใส่ไก่,บ้านท่าศาลา	1, 10	35.668	24 ชั่วโมง	32.820	22 ชั่วโมง 20 นาที
วันพุธ	บ้านท่าศาลา, บ้านหัวนาเหนือ	2, 6	28.408	18 ชั่วโมง 40 นาที	27.864	18 ชั่วโมง
วันพฤหัสบดี	บ้านดงเค็ง,บ้านโนนจิว, บ้านหัวนากลาง	5, 8, 9	33.800	22 ชั่วโมง	29.696	19 ชั่วโมง 40 นาที
วันศุกร์	บ้านท่าสวรรค์	7, 11	18.568	12 ชั่วโมง	18.332	11 ชั่วโมง 20 นาที
รวม			148.036	96 ชั่วโมง 40 นาที	138.784	90 ชั่วโมง 20 นาที



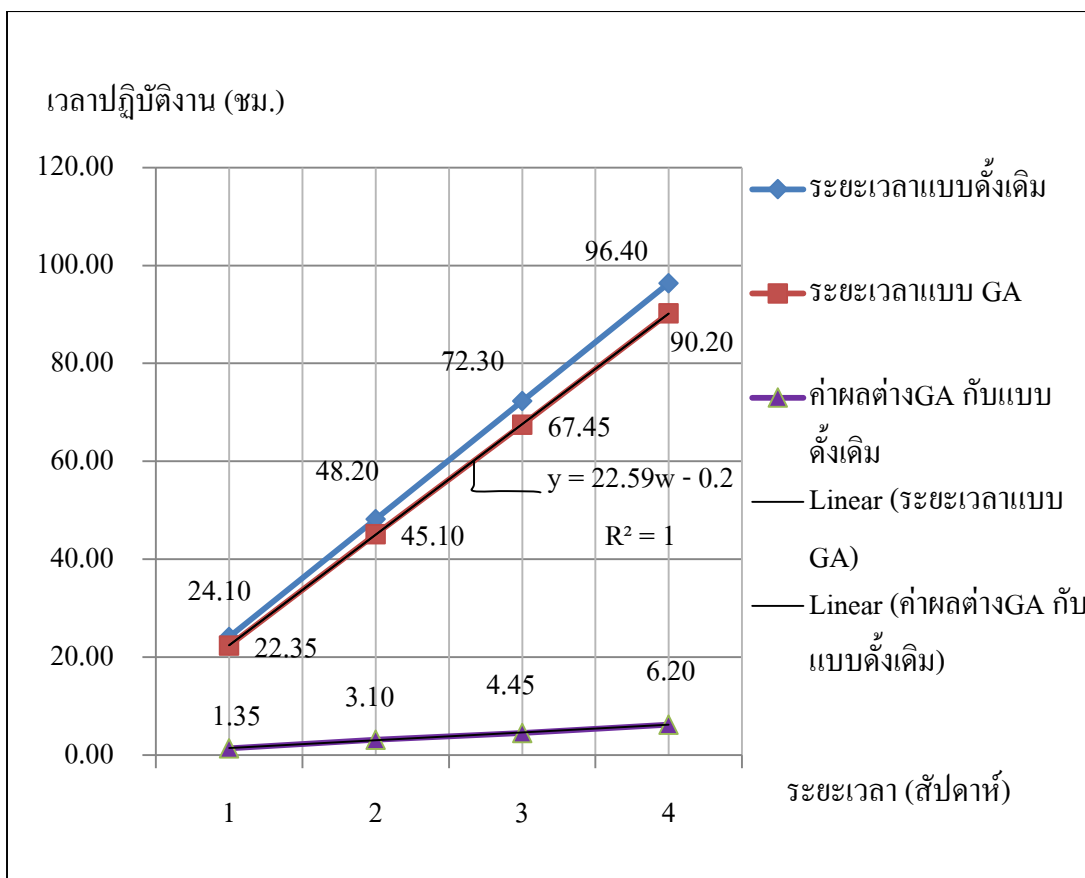
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับระยะทาง

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับระยะทาง พบว่าระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและแบบดั้งเดิมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ผลรวมระยะทางโดยวิธีดั้งเดิมมีค่าสูงกว่าผลรวมระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.25 สัปดาห์ที่ 4 เส้นทางการเดินทางตามวิธีการปฏิบัติงานโดยวิธีดั้งเดิมมีความยาวระยะทางรวมสะสมเท่ากับ 148.036 กิโลเมตร เส้นทางการเดินทางจากการจำลองเส้นทางโดยวิธี เจเนติก อัลกอริทึมมีความยาวระยะทางสะสมเท่ากับ 138.784 กิโลเมตร ผลต่างระยะทางเท่ากับ 9.252 กิโลเมตร (ร้อยละ 6.25)

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับระยะทางจากการจำลองเส้นทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม แสดงในสมการที่ (4.1)

$$y = 34.67w + 0.1 \quad (4.1)$$

เมื่อ y คือระยะทาง (กิโลเมตร) และ w คือระยะเวลา (สัปดาห์)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับเวลาในการปฏิบัติงาน

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับเวลาในการปฏิบัติงาน พบว่าเวลาในการปฏิบัติงานโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและแบบดั้งเดิมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ผลรวมระยะเวลาในการปฏิบัติงานโดยวิธีดั้งเดิมมีค่าสูงกว่าผลรวมระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.55 สัปดาห์ที่ 4 เวลาการปฏิบัติงานโดยวิธีดั้งเดิมรวมสะสมเท่ากับ 96 ชั่วโมง 40 นาที เวลาการปฏิบัติงานจากการจำลองเส้นทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมสะสมเท่ากับ 90 ชั่วโมง 20 นาที ผลต่างของเวลาเท่ากับ 6 ชั่วโมง 20 นาที (ร้อยละ 6.55)

ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับเวลาในการปฏิบัติงานจากการจำลองเส้นทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม แสดงในสมการที่ (4.2)

$$y = 22.59w - 0.2 \quad (4.2)$$

เมื่อ y คือระยะเวลาในการปฏิบัติงาน (ชั่วโมง) และ w คือระยะเวลา (สัปดาห์)

จากสมการที่ (1) และ (2) เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการคำนวณหาระยะทางการเดินทาง และระยะเวลาการปฏิบัติงานจัดเก็บขยะ และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงใน 1 ปีงบประมาณ (52 สัปดาห์) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

- ระยะทาง

$$y = 34.67w + 0.1$$

$$y = 34.67(52) + 0.1$$

$$y = 1,802.94 \text{ กิโลเมตร}$$

- ระยะเวลาการปฏิบัติงาน

$$y = 22.59x - 0.2$$

$$y = 22.59(52) - 0.2$$

$$y = 1,174 \text{ ชั่วโมง } 48 \text{ นาที}$$

- ค่าใช้จ่ายน้ำมัน

- รถบรรทุกทำการทดสอบ 6 ล้อขนาดกลาง เครื่องยนต์ 6 สูบ 150 แรงม้า อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 1.13 กิโลเมตรต่อลิตร
- ราคาน้ำมันดีเซล ณ วันที่ 15 เมษายน 2557 ลิตรละ 30.50 บาท (ราคาขายปลีก ณ จังหวัดขอนแก่น)

$$\begin{aligned} 1 \text{ ปีงบประมาณใช้น้ำมัน} &= \text{ระยะทางรวม } 52 \text{ สัปดาห์} / \text{อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง} \\ &= 1,802.94 \text{ กิโลเมตร} / 1.13 \text{ กิโลเมตรต่อลิตร} \\ &= 1,595.52 \text{ ลิตร} \\ \text{คิดเป็นเงินค่าน้ำมัน} &= 1,595.52 \text{ ลิตร} \times 30.50 \text{ บาท} \\ &= 48,663.36 \text{ บาท} \end{aligned}$$

จากผลการคำนวณใน 1 ปีงบประมาณ ได้ระยะทางการเดินทางจัดเก็บขยะ 1,802.94 กิโลเมตร ระยะเวลาการปฏิบัติงานจัดเก็บขยะ 1,174 ชั่วโมง 48 นาที และค่าน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 48,663 บาท จากผลคำนวณหน่วยงานราชการสามารถนำข้อมูลไปประกอบในการพิจารณาจัดตั้งงบประมาณค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราเงินเดือนค่าจ้างของพนักงานจัดเก็บขยะได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะ โดยการประยุกต์วิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) ด้วยการจำลองเส้นทางจัดเก็บขยะในหมู่บ้านที่อยู่ในเขตรับผิดชอบขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลาทั้งหมด 11 หมู่บ้าน ใช้ระยะเวลาทดสอบจำนวน 4 สัปดาห์ผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

- 5.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับระยะทาง พบว่าระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและแบบดั้งเดิมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ผลรวมระยะทางโดยวิธีดั้งเดิมมีค่าสูงกว่าผลรวมระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.25 สัปดาห์ที่ 4 เส้นทางการเดินทางตามวิธีการปฏิบัติงานโดยวิธีดั้งเดิมมีความยาวระยะทางรวมสะสมเท่ากับ 148.036 กิโลเมตร เส้นทางการเดินทางจากการจำลองเส้นทางโดยวิธี เจเนติก อัลกอริทึมมีความยาวระยะทางสะสมเท่ากับ 138.784 กิโลเมตร ผลต่างระยะทางเท่ากับ 9.252 กิโลเมตร (ร้อยละ 6.25)
- 5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลากับเวลาในการปฏิบัติงาน พบว่าเวลาในการปฏิบัติงานโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและแบบดั้งเดิมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ผลรวมระยะเวลาในการปฏิบัติงาน โดยวิธีดั้งเดิมมีค่าสูงกว่าผลรวมระยะทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.55 สัปดาห์ที่ 4 เวลาการปฏิบัติงานโดยวิธีดั้งเดิมรวมสะสมเท่ากับ 96 ชั่วโมง 40 นาที เวลาการปฏิบัติงานจากการจำลองเส้นทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมสะสมเท่ากับ 90 ชั่วโมง 20 นาที ผลต่างของเวลาเท่ากับ 6 ชั่วโมง 20 นาที (ร้อยละ 6.55)
- 5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางรวม 52 สัปดาห์กับอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า 1 ปีงบประมาณใช้น้ำมันเท่ากับ 1,595.52 ลิตร คิดเป็นเงินค่าน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณ 48,663 บาท
- 5.1.4 แบบจำลองโมเดลเส้นทางรถเดินทางโดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) เป็นประโยชน์อย่างมากต่อองค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา ในด้านงบประมาณน้ำมันเชื้อเพลิงและด้านระยะเวลาการปฏิบัติงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

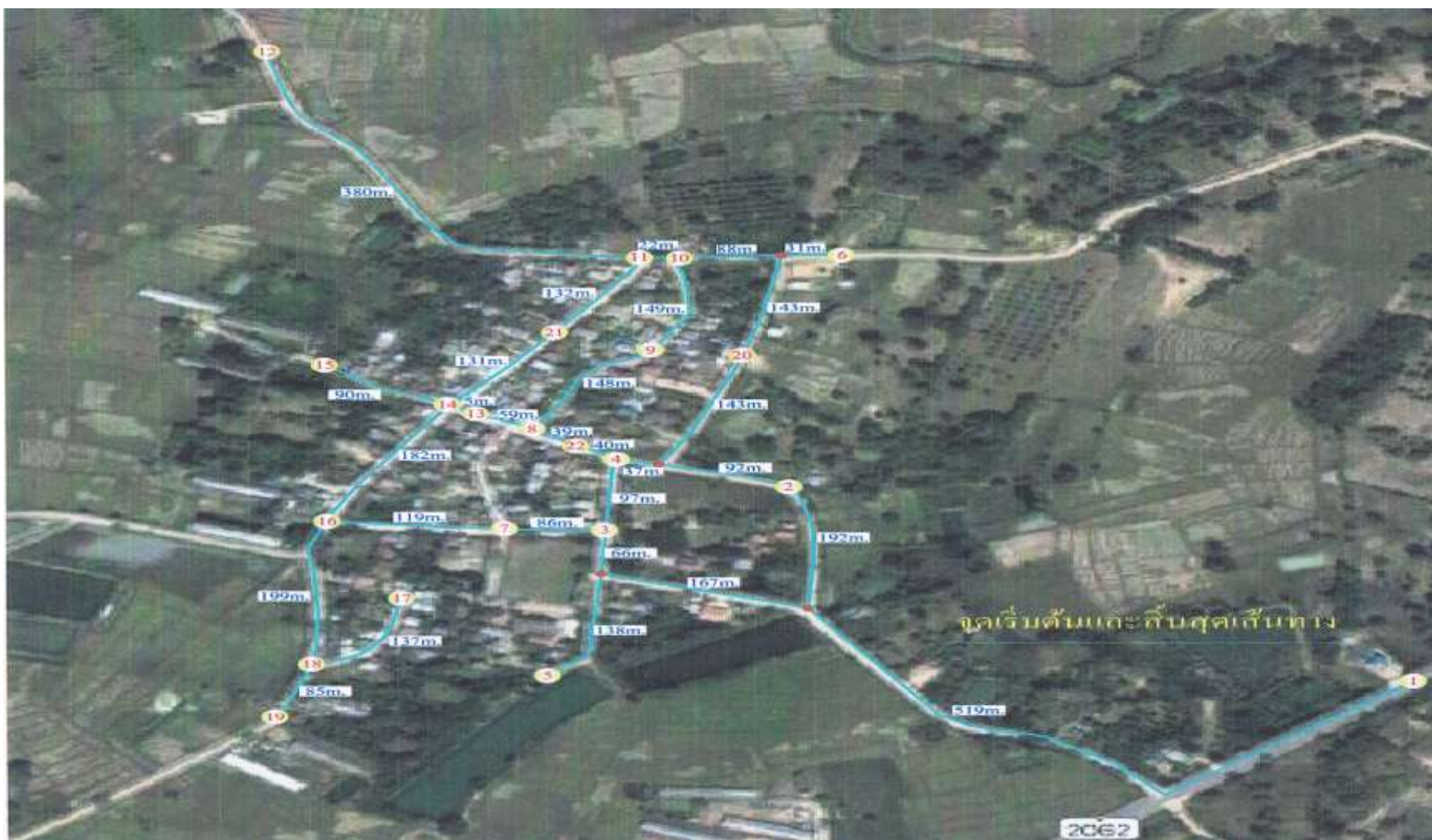
งานวิจัยนี้เน้นไปที่การสร้างเครื่องมือ เพื่อหาระยะทางในการจัดเก็บขยะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งไม่ได้วิจัยในประเด็นแรงงานในการจัดเก็บขยะ ปริมาณขยะในแต่ละวัน ขนาดความจุของรถเก็บขยะ ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง โดยใช้รถบรรทุก 6 ล้อขนาดกลาง เครื่องยนต์ 6 สูบ 150 แรงม้า ดังนั้นควรมีการพัฒนาต่อโดยเพิ่มเงื่อนไขดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- จักรี วรวัฒนสกุล. (2554). โปรแกรมจัดสรรความถี่ของช่องสัญญาณเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบจีเอสเอ็มโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นริศ กุณาศล, วรเศรษฐ สุวรรณิก, และ ประภาส จงสถิตย์วัฒนา. (2548). การเข้ารหัสแบบ LZW ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหรือ LZW-Encoding in Genetic Algorithm, Proceedings of Electrical Engineering Conference(EECON-28), หน้า 861-864, October 20-21.
- กาญจน์ วงศ์วิภาพร. (2541). การศึกษาการจัดตารางสอนของโรงเรียนแบบอัตโนมัติ โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม. วิทยานิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. 154 น.
- ศิริลักษณ์ จุณณทัสน์. (2547). จีเนติกอัลกอริทึมแบบหลายจุดประสงค์ สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางสอนของโรงเรียน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทัศนวรรณ กังฮาและคณะ. (2548). การจัดเส้นทางการเดินรถรับ-ส่งนักเรียนโดยใช้ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม รายงานประกอบการประชุมวิชาการ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ กรุงเทพฯ. 58 น.
- จิรนนท์ แซ่จิว. (2550). การจัดเส้นทางการเดินรถยนต์ขนรับเพื่อเติมเงินลงตู้เอทีเอ็มโดยคำนึงถึงความปลอดภัยจากการโจรกรรม การศึกษาอิสระ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สุภิญญา จินดาเลิศอุดมดีและคณะ. (2547). การจัดเส้นทางการเดินรถรับ-ส่งนักเรียน รายงานประกอบการสัมมนา คณะสถิติประยุกต์. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ ม. กรุงเทพฯ. 80 น.
- Carter A, E., Ragsdale, C.T., (2006). “A new approach to solving the multiple traveling salesperson problem using genetic algorithms”, European Journal of Operational Research, 175, 246–257.

ภาคผนวก ก

แผนผังจำลองโมเดลตำแหน่งถึงขยะและระยะทางระหว่างถึงขยะ



รูปที่ ก-1 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านใส่ไก่ หมู่ที่ 1

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16	Bin 17	Bin 18	Bin 19	Bin 20	Bin 21	Bin 22
1	Bin 1	0	711	752	840	824	1120	838	919	1067	1177	1199	1579	978	983	1073	957	1293	1156	1241	946	1114	880
2	Bin 2	711	0	226	129	430	409	312	208	356	466	488	868	267	272	362	431	767	630	715	235	403	169
3	Bin 3	752	226	0	97	204	451	86	176	324	473	484	864	235	240	330	205	461	324	409	226	371	137
4	Bin 4	840	129	97	0	301	354	183	79	227	376	398	778	138	143	233	302	638	501	586	180	274	40
5	Bin 5	824	430	204	301	0	655	290	380	528	677	699	1079	439	444	534	409	745	608	693	481	575	341
6	Bin 6	1120	409	451	354	655	0	537	416	268	119	141	521	475	404	494	596	932	795	880	174	273	394
7	Bin 7	838	312	86	183	290	537	0	262	410	559	581	961	306	301	391	119	455	318	403	363	432	223
8	Bin 8	919	208	176	79	380	416	262	0	148	297	319	699	59	64	154	246	582	445	530	259	195	39
9	Bin 9	1067	356	324	227	528	268	410	148	0	149	171	551	207	212	302	394	730	593	678	380	303	187
10	Bin 10	1177	466	473	376	677	119	559	297	149	0	22	402	290	285	375	467	803	666	751	231	154	336
11	Bin 11	1199	488	484	398	699	141	581	319	171	22	0	380	268	263	353	445	781	644	729	253	132	358
12	Bin 12	1579	868	864	778	1079	521	961	699	551	402	380	0	648	643	733	825	1161	1024	1109	633	512	738
13	Bin 13	978	267	235	138	439	475	306	59	207	290	268	648	0	5	95	187	523	386	471	318	136	98
14	Bin 14	983	272	240	143	444	404	301	64	212	285	263	643	5	0	90	182	518	381	466	323	131	103
15	Bin 15	1073	362	330	233	534	494	391	154	302	375	353	733	95	90	0	272	608	471	556	413	221	193
16	Bin 16	957	431	205	302	409	596	119	246	394	467	445	825	187	182	272	0	336	199	284	482	313	285
17	Bin 17	1293	767	461	638	745	932	455	582	730	803	781	1161	523	518	608	336	0	137	222	818	649	621
18	Bin 18	1156	630	324	501	608	795	318	445	593	666	644	1024	386	381	471	199	137	0	85	681	512	484
19	Bin 19	1241	715	409	586	693	880	403	530	678	751	729	1109	471	466	556	284	222	85	0	766	597	569
20	Bin 20	946	235	226	180	481	174	363	259	380	231	253	633	318	323	413	482	818	681	766	0	385	220
21	Bin 21	1114	403	371	274	575	273	432	195	303	154	132	512	136	131	221	313	649	512	597	385	0	234
22	Bin 22	880	169	137	40	341	394	223	39	187	336	358	738	98	103	193	285	621	484	569	220	234	0



รูปที่ ก-2 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 2

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16	Bin 17	Bin 18	Bin 19	Bin 20	Bin 21	Bin 22	Bin 23	Bin 24
1	Bin 1	0	306	52	273	127	184	334	474	275	427	349	308	395	393	426	494	465	484	564	625	217	352	507	1102
2	Bin 2	306	0	254	325	179	113	254	526	195	391	278	360	462	445	346	414	517	599	676	737	269	404	559	1154
3	Bin 3	52	254	0	221	75	141	282	422	223	419	306	256	343	341	374	442	413	495	572	633	165	300	455	1050
4	Bin 4	273	325	221	0	146	212	363	231	294	490	294	239	152	324	362	430	391	309	550	613	236	195	349	1028
5	Bin 5	127	179	75	146	0	66	207	377	148	344	231	181	268	266	299	367	338	420	497	558	90	225	380	975
6	Bin 6	184	113	141	212	66	0	141	443	82	278	165	247	334	332	233	301	404	486	563	624	156	291	446	1041
7	Bin 7	334	254	282	353	207	141	0	584	223	137	306	403	490	488	374	442	560	642	719	782	297	432	602	1197
8	Bin 8	474	526	422	231	377	443	584	0	346	475	263	166	79	232	331	293	160	78	319	380	257	122	118	797
9	Bin 9	275	195	223	294	148	82	223	346	0	295	83	180	267	265	151	219	337	419	496	557	238	224	379	974
10	Bin 10	427	391	419	490	344	278	137	475	295	0	212	309	396	394	280	348	466	548	625	686	400	353	508	1103
11	Bin 11	349	278	306	294	231	165	306	263	83	212	0	97	184	182	68	136	254	336	413	474	188	141	296	891
12	Bin 12	308	360	256	239	181	247	403	166	180	309	97	0	87	85	165	233	157	239	316	377	91	44	199	794
13	Bin 13	395	462	343	152	268	334	490	79	267	396	184	87	0	172	252	320	239	157	398	459	178	43	197	876
14	Bin 14	393	445	341	324	266	332	488	232	265	394	182	85	172	0	250	205	72	154	231	292	176	129	114	709
15	Bin 15	426	346	374	362	299	233	374	331	151	280	68	165	252	250	0	68	201	283	360	421	256	209	243	838
16	Bin 16	494	414	442	430	367	301	442	293	219	348	136	233	320	205	68	0	133	215	292	353	324	277	175	770
17	Bin 17	465	517	413	391	338	404	560	160	337	466	254	157	239	72	201	133	0	82	159	220	248	201	42	637
18	Bin 18	484	599	495	309	420	486	642	78	419	548	336	239	157	154	283	215	82	0	241	302	330	200	40	719
19	Bin 19	564	676	572	550	497	563	719	319	496	625	413	316	398	231	360	292	159	241	0	313	407	360	201	730
20	Bin 20	625	633	633	613	558	624	782	380	557	686	474	377	459	292	421	353	220	302	313	0	468	421	262	707
21	Bin 21	217	165	165	236	90	156	297	257	238	400	188	91	178	176	255	324	248	330	407	468	0	135	290	885
22	Bin 22	352	300	300	195	225	291	432	122	224	353	141	44	43	129	209	277	201	200	360	421	135	0	240	838
23	Bin 23	507	559	455	349	380	446	602	118	379	508	296	199	197	114	243	175	42	40	201	262	290	240	0	679
24	Bin 24	1102	1154	1050	1028	975	1041	1197	797	974	1103	891	794	876	709	838	770	637	719	730	707	885	838	679	0

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้าน โนนตุ่น หมู่ที่ 3

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13
1	Bin 1	0	510	373	431	511	664	621	681	1091	649	502	500	569
2	Bin 2	510	0	253	311	391	143	501	561	971	368	382	380	448
3	Bin 3	373	253	0	58	200	291	310	319	729	276	129	127	196
4	Bin 4	431	311	58	0	142	233	252	261	671	218	71	69	138
5	Bin 5	511	391	200	142	0	375	110	280	690	360	71	211	390
6	Bin 6	664	143	291	233	375	0	485	494	904	225	304	302	305
7	Bin 7	621	501	310	252	110	485	0	203	613	470	181	321	80
8	Bin 8	681	561	319	261	280	494	203	0	410	203	241	192	123
9	Bin 9	1091	971	729	671	690	904	613	410	0	613	651	602	533
10	Bin 10	649	368	276	218	360	225	470	203	613	0	289	149	80
11	Bin 11	502	382	129	71	71	304	181	241	651	289	0	140	209
12	Bin 12	500	380	127	69	211	302	321	192	602	149	140	0	69
13	Bin 13	569	448	196	138	390	305	80	123	533	80	209	69	0



รูปที่ ก-4 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านโนนคูณ หมู่ที่ 4

ตารางที่ ก-4 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้าน โนนคูณ หมู่ที่ 4

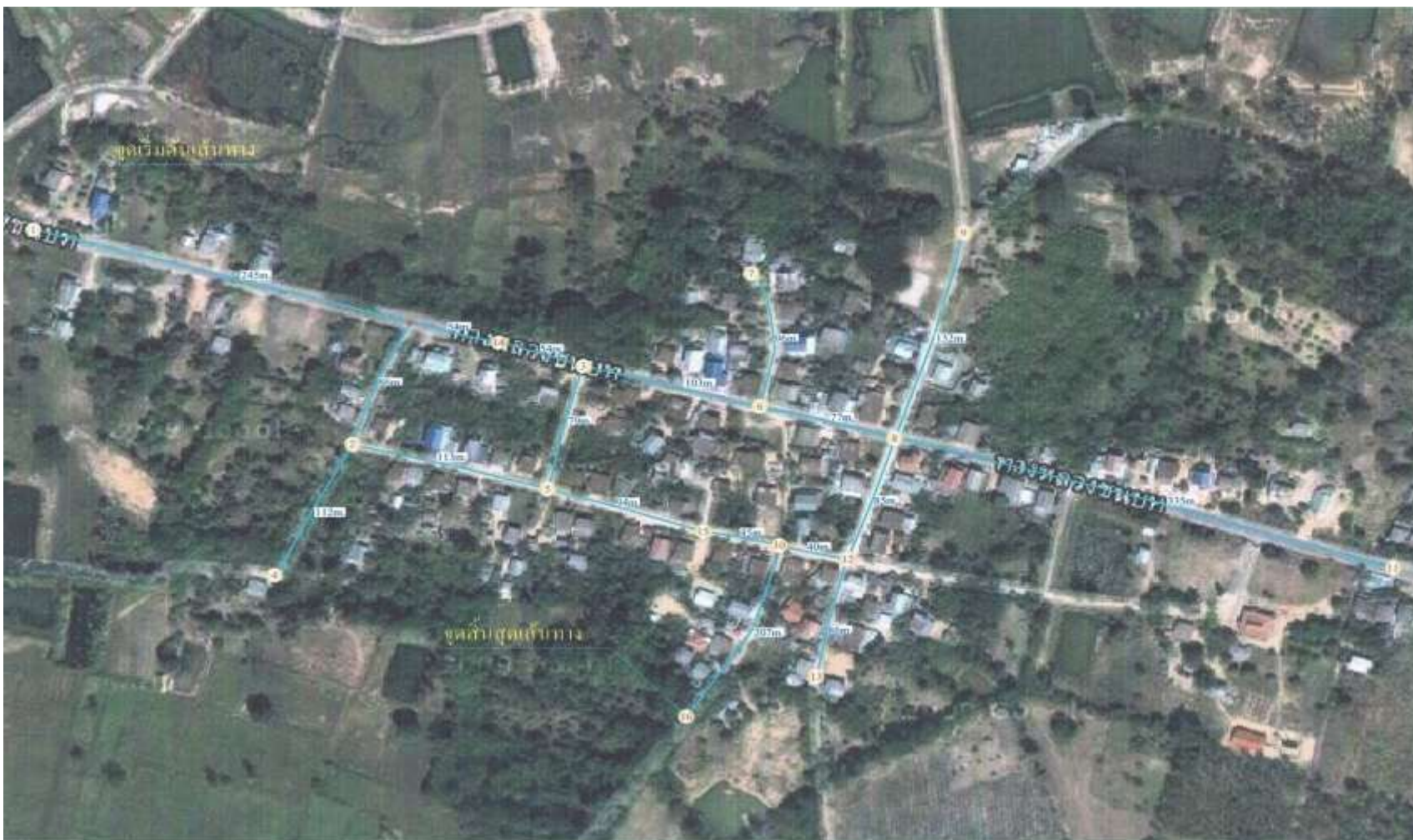
Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16	Bin 17	Bin 18	Bin 19	Bin 20
1	Bin 1	0	351	404	527	553	955	754	585	599	457	435	377	458	601	523	519	302	456	541	426
2	Bin 2	351	0	311	364	320	592	403	538	506	425	342	284	365	250	172	426	209	251	334	284
3	Bin 3	404	311	0	675	351	903	714	545	437	356	273	337	418	561	483	416	262	416	501	322
4	Bin 4	527	364	675	0	526	442	423	558	612	531	448	350	431	423	192	492	425	271	354	399
5	Bin 5	553	320	351	526	0	754	565	384	242	161	78	176	257	412	334	221	251	255	340	127
6	Bin 6	955	592	903	442	754	0	651	786	840	759	676	578	659	498	420	720	653	499	582	627
7	Bin 7	754	403	714	423	565	651	0	447	522	441	487	389	320	153	231	381	464	310	237	438
8	Bin 8	585	538	545	558	384	786	447	0	329	248	306	208	127	294	366	188	283	287	210	257
9	Bin 9	599	506	437	612	242	840	522	329	0	81	164	262	202	369	420	141	337	341	285	213
10	Bin 10	457	425	356	531	161	759	441	248	81	0	83	181	121	288	339	60	256	260	204	132
11	Bin 11	435	342	273	448	78	676	487	306	164	83	0	98	179	334	256	143	173	177	262	49
12	Bin 12	377	284	337	350	176	578	389	208	262	181	98	0	81	236	158	142	75	79	164	49
13	Bin 13	458	365	418	431	257	659	320	127	202	121	179	81	0	167	239	61	156	160	83	130
14	Bin 14	601	250	561	423	412	498	153	294	369	288	334	236	167	0	78	228	311	157	84	285
15	Bin 15	523	172	483	192	334	420	231	366	420	339	256	158	239	78	0	300	233	79	162	207
16	Bin 16	519	426	416	492	221	720	381	188	141	60	143	142	61	228	300	0	217	221	144	191
17	Bin 17	302	209	262	425	251	653	464	283	337	256	173	75	156	311	233	217	0	149	239	124
18	Bin 18	456	251	416	271	255	499	310	287	341	260	177	79	160	157	79	221	149	0	241	128
19	Bin 19	541	334	501	354	340	582	237	210	285	204	262	164	83	84	162	144	239	241	0	213
20	Bin 20	426	284	322	399	127	627	438	257	213	132	49	49	130	285	207	191	124	128	213	0



รูปที่ ก-5 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านดงเค็ง หมู่ที่ 5

ตารางที่ ก-5 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านคงเค็ง หมู่ที่ 5

Distances	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16	Bin 17	Bin 18	Bin 19	Bin 20	Bin 21	Bin 22	Bin 23	Bin 24	Bin 25	Bin 26	
1	Bin 1	0	262	392	331	388	465	560	615	635	493	579	734	792	323	519	607	474	674	266	380	357	656	1021	919	925	1007
2	Bin 2	262	0	166	69	126	223	298	353	373	231	317	472	530	121	286	345	212	412	64	118	95	394	276	174	180	745
3	Bin 3	392	166	0	97	108	190	231	320	340	322	408	405	494	69	127	327	194	538	126	48	261	376	326	156	54	911
4	Bin 4	331	69	97	0	57	154	229	284	304	300	386	403	461	166	224	276	143	457	133	49	164	325	275	105	111	814
5	Bin 5	388	126	108	57	0	97	172	227	247	263	349	346	404	177	160	219	86	430	234	106	221	268	218	48	54	871
6	Bin 6	465	223	190	154	97	0	223	130	150	314	400	397	307	259	63	176	183	480	316	203	318	319	315	49	97	968
7	Bin 7	560	298	231	229	172	223	0	93	113	91	177	174	263	349	286	47	86	258	406	278	227	96	46	220	226	1043
8	Bin 8	615	353	320	284	227	130	93	0	20	184	270	267	177	389	193	46	179	350	461	371	320	189	139	179	281	1098
9	Bin 9	635	373	340	304	247	150	113	20	0	204	290	286	197	409	213	66	199	370	481	391	340	209	159	199	301	1118
10	Bin 10	493	231	322	300	263	314	91	184	204	0	86	265	354	261	377	138	177	181	295	349	136	187	45	311	317	976
11	Bin 11	579	317	408	386	349	400	177	270	290	86	0	351	440	347	463	224	263	267	381	435	222	273	131	397	403	1062
12	Bin 12	734	472	405	403	346	397	174	267	286	265	351	0	89	523	459	221	260	84	580	452	401	78	220	394	400	1217
13	Bin 13	792	530	484	461	404	307	263	177	197	354	440	89	0	566	370	223	349	173	669	541	490	161	309	356	458	1275
14	Bin 14	323	121	69	166	177	259	349	389	409	261	347	523	566	0	196	396	263	617	57	117	216	515	397	225	123	866
15	Bin 15	519	286	127	224	160	63	286	193	213	377	463	459	370	196	0	239	246	543	263	175	412	382	332	112	181	1031
16	Bin 16	607	345	327	276	219	176	47	46	66	138	224	221	223	396	239	0	133	305	409	325	274	143	93	225	273	1090
17	Bin 17	474	212	194	143	86	183	86	179	199	177	263	260	349	263	246	133	0	344	276	192	313	182	132	134	140	133
18	Bin 18	674	412	538	457	430	480	258	350	370	181	267	84	173	617	543	305	344	0	476	452	317	162	226	492	498	305
19	Bin 19	266	64	126	133	234	316	406	461	481	295	381	580	669	57	253	409	276	476	0	182	159	458	340	238	180	809
20	Bin 20	380	118	48	49	106	203	278	371	391	349	435	452	541	117	175	325	192	452	182	0	164	374	324	154	102	863
21	Bin 21	357	95	261	164	221	318	227	320	340	136	222	401	490	216	412	274	313	317	159	164	0	323	181	269	275	840
22	Bin 22	656	394	376	325	268	319	96	189	209	187	273	78	161	515	382	143	182	162	458	374	323	0	142	316	322	1139
23	Bin 23	1021	276	326	275	218	315	46	139	159	45	131	220	309	397	332	93	132	226	340	324	181	142	0	266	272	1021
24	Bin 24	919	174	156	105	48	49	220	179	199	311	397	394	356	225	112	225	134	492	238	154	269	316	266	0	102	919
25	Bin 25	925	180	54	111	54	97	228	281	301	317	403	400	458	123	181	273	140	498	180	102	275	322	272	102	0	925
26	Bin 26	1007	745	911	814	871	968	1043	1098	1118	976	1062	1217	1275	1031	1031	1090	133	305	809	863	840	1139	1021	919	925	0



รูปที่ ก-6 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6

ตารางที่ ก-6 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านห้วยนาเหนือ หมู่ที่ 6

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15	Bin 16
1	Bin 1	0	331	353	443	432	456	552	533	665	571	668	611	697	299	526	778
2	Bin 2	331	0	192	112	113	295	391	372	504	252	707	292	378	140	207	459
3	Bin 3	353	192	0	304	79	103	199	180	312	218	515	258	344	54	173	425
4	Bin 4	443	112	304	0	225	407	503	484	616	364	819	404	490	252	319	571
5	Bin 5	432	113	79	225	0	182	278	259	391	139	594	179	265	133	94	346
6	Bin 6	456	295	103	407	182	0	96	77	209	202	412	162	248	157	247	409
7	Bin 7	552	391	199	503	278	96	0	173	305	298	508	258	344	253	343	505
8	Bin 8	533	372	180	484	259	77	173	0	132	125	335	85	171	234	170	332
9	Bin 9	665	504	312	616	391	209	305	132	0	257	467	217	303	366	302	464
10	Bin 10	571	252	218	364	139	202	298	125	257	0	460	40	126	272	45	207
11	Bin 11	668	707	515	819	594	412	508	335	467	460	0	420	506	569	505	667
12	Bin 12	611	292	258	404	179	162	258	85	217	40	420	0	86	319	85	247
13	Bin 13	697	378	344	490	265	248	344	171	303	126	506	86	0	405	171	333
14	Bin 14	299	140	54	252	133	157	253	234	366	272	569	319	405	0	227	479
15	Bin 15	526	173	173	319	94	247	343	170	302	45	505	85	171	227	0	252
16	Bin 16	778	459	425	571	346	409	505	332	464	207	667	247	333	479	252	0

ตารางที่ ก-7 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านท่าสวรรคค์ หมู่ที่ 7 และ 11

Distances	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin10	Bin11	Bin12	Bin13	Bin14	Bin15	Bin16	Bin17	Bin18	Bin19	Bin20	Bin21	Bin22	Bin23	Bin24	Bin25	Bin26	Bin27	Bin28	Bin29	Bin30	Bin31	Bin32	
1	Bin 1	0	94	99	158	289	267	169	228	404	341	297	397	476	455	519	633	500	582	628	739	683	747	822	737	845	194	223	204	569	217	193	260
2	Bin 2	94	0	113	64	195	301	203	134	310	247	331	431	510	361	425	539	534	616	663	773	589	553	728	643	751	156	185	110	478	182	99	166
3	Bin 3	99	113	0	197	268	168	70	166	383	279	198	298	377	393	491	612	401	483	530	640	621	726	750	675	824	289	217	243	607	118	201	299
4	Bin 4	158	64	197	0	131	264	166	70	246	183	294	394	473	297	361	475	497	579	626	736	525	589	664	579	687	92	121	46	411	118	35	102
5	Bin 5	289	195	268	131	0	295	198	102	115	215	326	423	502	325	230	344	526	608	654	765	553	458	692	512	556	39	51	85	439	150	137	233
6	Bin 6	267	301	168	264	296	0	96	194	411	307	226	326	405	421	516	630	429	511	558	668	649	744	788	703	842	335	245	310	535	146	229	366
7	Bin 7	169	203	70	166	198	98	0	96	313	209	128	228	307	323	418	532	331	413	460	570	551	646	690	605	744	237	147	212	437	48	131	268
8	Bin 8	228	134	166	70	102	194	96	0	217	113	224	325	404	227	322	436	428	510	557	667	455	550	594	509	648	141	51	116	341	48	35	172
9	Bin 9	404	310	383	246	115	411	313	217	0	324	408	308	387	210	115	229	411	493	539	649	438	343	538	397	441	154	166	200	324	265	252	348
10	Bin 10	341	247	279	183	215	307	209	113	324	0	312	212	291	114	209	323	315	397	443	553	342	437	481	396	535	254	164	229	228	161	148	285
11	Bin 11	297	331	198	294	326	226	128	224	408	312	0	100	179	198	293	407	203	285	332	442	426	521	565	480	619	365	275	340	312	175	259	396
12	Bin 12	397	431	298	394	423	326	228	325	308	212	100	0	79	98	193	307	103	185	232	342	326	421	465	380	519	462	375	440	212	276	359	496
13	Bin 13	476	510	377	473	502	405	307	404	387	291	179	79	0	177	272	386	182	264	311	421	405	500	544	459	588	541	454	519	291	355	438	578
14	Bin 14	455	361	393	297	325	421	323	227	210	114	198	98	177	0	95	209	201	283	329	439	228	323	367	282	421	364	278	343	114	275	262	399
15	Bin 15	519	425	491	361	230	518	418	322	115	209	293	193	272	95	0	114	296	378	424	534	323	228	423	282	326	269	281	315	209	370	357	463
16	Bin 16	633	539	612	475	344	630	532	436	229	323	407	307	386	209	114	0	410	492	323	433	222	114	309	166	212	383	395	429	323	484	471	577
17	Bin 17	500	534	401	497	526	429	331	428	411	315	203	103	182	201	296	410	0	82	129	239	230	338	369	284	436	565	478	543	315	379	462	599
18	Bin 18	582	616	463	579	606	511	413	510	493	397	285	185	264	283	378	492	82	0	211	321	422	530	561	476	518	647	560	625	397	461	544	661
19	Bin 19	629	663	530	626	654	556	460	557	539	443	332	232	311	329	424	323	129	211	0	110	101	348	240	294	307	693	307	672	215	508	591	728
20	Bin 20	739	773	640	736	765	668	570	667	649	553	442	342	421	439	534	433	239	321	110	0	211	319	350	265	417	804	717	782	325	618	701	838
21	Bin 21	683	589	621	525	553	649	551	455	438	342	426	326	405	228	323	222	230	422	101	211	0	108	139	54	206	592	506	571	114	503	490	627
22	Bin 22	747	653	726	589	458	744	646	550	343	437	521	421	500	323	228	114	338	530	348	319	108	0	195	54	98	497	509	543	222	598	585	691
23	Bin 23	822	728	760	664	692	788	690	594	538	481	565	465	544	367	423	309	369	561	240	350	139	195	0	193	97	692	645	710	253	642	629	766
24	Bin 24	737	643	675	579	512	703	605	509	397	396	480	380	459	282	282	168	284	476	294	265	54	54	193	0	152	551	560	597	168	557	544	661
25	Bin 25	845	751	824	687	556	842	744	648	441	535	619	519	598	421	326	212	436	518	307	417	206	98	97	152	0	595	607	641	320	696	683	789
26	Bin 26	194	156	289	92	39	335	237	141	154	254	365	462	541	364	269	383	565	647	693	804	592	497	692	551	595	0	90	46	478	189	127	194
27	Bin 27	223	185	217	121	51	245	147	51	166	184	275	375	454	276	281	395	478	560	307	717	506	509	845	580	607	90	0	138	392	99	86	223
28	Bin 28	204	110	243	46	85	310	212	116	200	229	340	440	519	343	315	429	543	625	672	782	571	543	710	597	641	46	136	0	457	164	81	148
29	Bin 29	569	475	507	411	439	535	437	341	324	228	312	212	291	114	209	323	315	397	215	325	114	222	253	168	320	478	382	457	0	389	376	513
30	Bin 30	217	182	118	118	150	146	48	48	265	161	176	276	355	275	370	484	379	461	508	618	503	598	642	557	696	189	99	164	389	0	83	220
31	Bin 31	193	99	201	35	137	229	131	36	252	148	259	359	438	262	357	471	462	544	591	701	490	585	629	644	683	127	86	81	376	83	0	137
32	Bin 32	260	166	299	102	233	366	268	172	348	285	396	496	578	399	463	577	599	681	728	838	627	691	786	661	789	194	223	148	513	220	137	0

ตารางที่ ก-8 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้าน โนนจ๋ว หมู่ที่ 8

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14	Bin 15
1	Bin 1	0	343	449	427	502	533	430	621	678	387	549	463	575	488	513
2	Bin 2	343	0	106	184	159	199	87	278	335	44	206	120	232	145	170
3	Bin 3	449	106	0	290	53	93	196	181	238	150	312	226	210	138	279
4	Bin 4	427	184	290	0	343	314	211	402	459	92	228	244	356	269	294
5	Bin 5	502	159	53	343	0	146	246	234	291	203	365	279	263	191	329
6	Bin 6	533	199	93	314	146	0	103	88	145	146	222	147	117	45	186
7	Bin 7	430	87	196	211	246	103	0	191	248	43	119	33	145	58	83
8	Bin 8	621	278	181	344	234	88	191	0	57	234	310	173	61	133	123
9	Bin 9	678	335	238	401	291	145	248	57	0	291	367	230	118	190	180
10	Bin 10	387	44	150	228	203	146	43	234	291	0	162	76	188	101	126
11	Bin 11	549	206	312	92	365	222	119	310	367	162	0	152	264	177	202
12	Bin 12	463	120	226	244	279	147	33	173	230	76	152	0	112	91	50
13	Bin 13	575	232	210	356	263	117	145	61	118	188	264	112	0	171	53
14	Bin 14	488	145	138	269	191	45	58	133	190	101	177	91	171	0	141
15	Bin 15	513	170	279	294	329	186	83	123	180	126	202	50	53	141	0



รูปที่ ก-9 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านหัวนากลาง หมู่ที่ 9

ตารางที่ ก-9 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถังขยะของบ้านห้วยกลาง หมู่ที่ 9

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12	Bin 13	Bin 14
1	Bin 1	0	418	511	472	561	505	535	658	926	682	770	858	445	944
2	Bin 2	418	0	93	54	143	125	117	240	508	264	352	437	27	526
3	Bin 3	511	93	0	147	64	180	210	161	601	351	263	348	120	613
4	Bin 4	472	54	147	0	89	71	63	186	562	210	298	383	27	472
5	Bin 5	561	143	64	89	0	160	152	97	651	287	199	284	116	549
6	Bin 6	505	125	180	71	160	0	134	257	421	281	369	454	98	543
7	Bin 7	535	117	210	63	152	134	0	249	625	147	235	320	90	409
8	Bin 8	658	240	161	186	97	257	249	0	603	190	102	187	213	452
9	Bin 9	926	508	601	562	651	421	625	603	0	413	501	586	535	675
10	Bin 10	682	264	351	210	287	281	147	190	413	0	88	173	237	262
11	Bin 11	770	352	263	298	199	369	235	102	501	88	0	85	325	350
12	Bin 12	858	437	348	383	284	454	320	187	586	173	85	0	410	435
13	Bin 13	445	27	120	27	116	98	90	213	535	237	325	410	0	499
14	Bin 14	944	526	613	472	549	543	409	452	675	262	350	435	499	0



รูปที่ ก-10 แผนผังจำลองจัดวางตำแหน่งที่ตั้งถังขยะและระยะทางของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 10

ตารางที่ ก-10 ข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งถึงขยะของบ้านท่าศาลา หมู่ที่ 1

Distances		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Bin 5	Bin 6	Bin 7	Bin 8	Bin 9	Bin 10	Bin 11	Bin 12
1	Bin 1	0	1163	342	452	557	881	635	1204	996	1384	921	1149
2	Bin 2	1163	0	771	881	556	282	528	452	397	221	322	750
3	Bin 3	342	771	0	110	215	489	243	353	604	992	529	757
4	Bin 4	452	881	110	0	325	599	353	463	714	1102	639	867
5	Bin 5	557	556	215	325	0	274	28	597	389	777	314	542
6	Bin 6	881	282	489	599	274	0	246	323	115	503	40	268
7	Bin 7	635	528	243	353	28	246	0	569	361	749	286	514
8	Bin 8	1204	452	353	463	597	323	569	0	208	673	363	55
9	Bin 9	996	397	604	714	389	115	361	208	0	618	155	153
10	Bin 10	1384	221	992	1102	777	503	749	673	618	0	463	286
11	Bin 11	921	322	529	639	314	40	286	363	155	463	0	308
12	Bin 12	1149	750	757	867	542	268	514	55	153	286	308	0

ภาคผนวก ข
ภาพการทำงานจัดเก็บขยะ



รูปที่ ข-1 เส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะ



รูปที่ ข-2 การโคยขยะลงจากรถ

ประวัติผู้เขียน

นายไพจิตร อุปถัมภ์ เกิดวันที่ 14 สิงหาคม 2518 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) จากมหาวิทยาลัยศรีปทุม เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร พุทธศักราช 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีพุทธศักราช 2555 ปัจจุบันรับราชการที่องค์การบริหารส่วนตำบลท่าศาลา จังหวัดขอนแก่น ตำแหน่งนายช่างโยธา