การแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

A GENETIC ALGORITHM FOR THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

นายกอบเจตน์ สิงห์สิกุล รหัส 52360034

นางสาวธิดารัตน์ มูลวงค์ รหัส 50360270

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 1 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 16322967
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก362ก 2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกอบเจตน์ สิงห์สิกุล รหัส 52360034
	นางสาวธิดารัตน์ มูลวงค์ รหัส 52360270
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

....**กรรมการ**
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายกอบเจตน์ สิงห์สิกุล รหัส 52360034
	นางสาวธิดารัตน์ มูลวงค์ รหัส 52360270
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยมุ่งเน้นที่การจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าที่คำนึงถึงช่วงเวลาของการรับสินค้าของลูกค้า และความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงสำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้หลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา

ในการดำเนินโครงงานจะเริ่มจากการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาและหลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม จากนั้นจึงออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ ซึ่งในโครงงานนี้มีกระบวนการทางพันธุกรรม คือ การหาคำตอบแบบการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการคัดเลือก (Selection) โดยการหาปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่ได้จำลองขึ้นมา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ออกแบบมาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการดำเนินงานตลอดมา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน และขอขอบคุณคุณพ่อ และคุณแม่ ที่สนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายกอบเจต สิงห์สิกุล
นางสาวธิดารัตน์ มูลวงค์

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์........ก
บทคัดย่อภาษาไทย........ข
กิตติกรรมประกาศ........ค
สารบัญ........ง
สารบัญตาราง........ฉ
สารบัญรูป........ช

บทที่ 1 บทนำ........1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน........1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน........1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)........2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)........2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน........2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน........3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน........3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน........3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น........4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ........4
2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ........4
2.1.2 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP)........7
2.1.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW)........8
2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา........12
2.2 วิธีการเชิงพันธุกรรม........15
2.2.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ........15
2.2.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น........16
2.2.3 สมการแทนค่าคำตอบหรือค่าความแข็งแรง........17
2.2.4 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม........17
2.2.5 พารามิเตอร์ (Parameter)........20
2.3 ภาษา Visual Basic for Application บน Excel........21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 22

3.1 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา 22

3.2 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel 22

3.3 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel 22

3.4 การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม 24

3.5 จัดทำรายงานสรุปผล และนำเสนอผลงาน 24

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 25

4.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ การประเมินคำตอบ และการหาค่าคำตอบ 25

4.2 กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม 29

4.3 กระบวนการทางพันธุกรรม 34

4.4 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ 38

4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการหาค่าคำตอบแบบวิธีการเชิงพันธุกรรมและวิธีการหาค่าคำตอบแบบอบอ่อนจำลอง 45

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 48

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 48

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน 48

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา 49

เอกสารอ้างอิง 50

ภาคผนวก ก 51

ภาคผนวก ข 54

ภาคผนวก ค 94

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 123

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.1 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน	6
2.2 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.2 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน	10
2.3 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบไบนารี	16
2.4 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบลำดับ	16
2.5 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบใช้ค่า / เครื่องหมายจริง	16
2.6 วงล้อเสี่ยงทายจากตัวอย่างที่ 2.3	18
2.7 แสดงการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	19
2.8 แสดงโครโมโซมพ่อและแม่ ในตัวอย่างที่ 2.4	19
2.9 แสดงโครโมโซมลูกที่เกิดจากการส่งผ่านยีนของพ่อและแม่ ในตัวอย่างที่ 2.4	20
2.10 แสดงการกลายพันธุ์ในตัวอย่างที่ 2.4	20
3.1 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการทางพันธุกรรม	23
4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบแบบกำหนดให้ n = 5 และ k=2	25
4.2 แสดงตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของตัวอย่างที่ 4.1	26
4.3 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ	27
4.4 แสดงเวลาในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ	27
4.5 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งของตัวอย่างโจทย์การหาค่าคำตอบ	28
4.6 แสดงการคำนวณค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการการเดินทาง	29
4.7 การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1	30
4.8 การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2	32
4.9 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน	35
4.10 แสดงวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม	35
4.11 แสดงวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	35
4.12 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน	36
4.13 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ	36
4.14 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1	38
4.15 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2	39
4.16 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1	39
4.17 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2	40
4.18 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1	40
4.19 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบตัวแทนคำตอบทั้ง 2 แบบ 42

4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 42

4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ 43

4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์ 44

4.24 แสดงค่าเฉลี่ยต่ำสุดผลการทดลอง 44

4.25 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการอบอ่อนจำลอง 46

ก.1 แสดงการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม 52

ก.2 แสดงการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ 53

ข.1 แสดงคำสั่งเข้าสู่โปรแกรม 55

ข.2 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น 55

ข.3 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า 70

ข.4 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง 71

ข.5 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง 72

ข.6 แสดงคำสั่งของหน่างแสดงผลการคำนวณ 74

ข.7 แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module 74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem with Time Windows : VRPTW) เป็นปัญหาที่ถูกพัฒนาขึ้นจากปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) โดยเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดทางด้านเวลาของการส่งสินค้า ซึ่งในปัจจุบันมีการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากมีการแข่งขันทางธุรกิจกันมากขึ้นจึงมีผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ถูกนำเสนอต่อตลาด ส่งผลให้ลูกค้ามีทางเลือกหลากหลายขึ้น และอาจมีลูกค้าบางรายที่กำหนดช่วงเวลาในการรับผลิตภัณฑ์อีกด้วย ซึ่งสิ่งที่ผู้ผลิตอาจนำเอามาแข่งขันกันในสภาวการณ์ปัจจุบัน คือ สินค้าที่มีราคาต่ำกว่าของสินค้าชนิดเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้ผู้ผลิตสามารถแข่งขันในเรื่องของราคาได้การลดต้นทุนให้ต่ำที่สุดจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ โดยการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพก็จะเป็นส่วนช่วยในการลดต้นทุนการขนส่งให้ต่ำลง และยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน คือ ความรวดเร็วในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าในเวลาที่ต้องการ เพราะจะส่งผลให้สร้างโอกาสในขายได้ก่อนที่คู่แข่งรายอื่นจะเข้ามาในตลาดมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วในเวลาที่ต้องการ และเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้ต่ำลง

จากเหตุผลข้างต้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าให้ต่ำลงทางกลุ่มผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยนำหลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และใช้โปรแกรม Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel ในการประมวลผลของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลานี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาบน Microsoft Excel โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 วิธีการเชิงพันธุกรรม และโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

1.3.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

วิธีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาและโปรแกรมที่ช่วยในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา สามารถนำไปเป็นส่วนช่วยจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งของภาคอุตสาหกรรมได้ ภายใต้ข้อสมมติฐานเดียวกับปัญหาที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1.5.1.1 กำหนดจำนวนลูกค้าเท่ากับ N ราย และเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นค่าคงที่

1.5.1.2 กำหนดจำนวนรถที่ใช้เท่ากับ K คัน และเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นค่าคงที่

1.5.1.3 รถทุกคันเป็นรถชนิดเดียวกันและมีความจุเท่ากันทั้งหมดทุกคัน

1.5.1.4 มีการกำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

1.5.1.5 มีศูนย์กระจายสินค้าอยู่ 1 แห่ง

1.5.1.6 มีการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทางจาก i ไปยัง j เท่ากับ C_{ij} และเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นค่าคงที่

1.5.1.7 มีการกำหนดเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าเมื่อไปถึงลูกค้าจุดที่ j ใช้เวลาเท่ากับ f_j ชั่วโมง และเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นค่าคงที่

1.5.1.8 มีการกำหนดจำนวนเวลาที่สามารถใช้รถคันที่ k ใช้เวลาเท่ากับ r_k ชั่วโมง และเป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่เป็นค่าคงที่

1.5.2 ศึกษาวิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

1.5.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา และวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ถูกพัฒนาขึ้นจะนำมาใช้ทดลองกับโจทย์ปัญหาที่ได้จำลองไว้โดยแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก, ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

1.5.4 เป็นลักษณะปัญหาแบบไม่สมมาตร คือ ระยะทางจาก จุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i ไม่เท่ากัน

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

กรกฎาคม พ.ศ. 2555 – พฤษภาคม พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา											
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย	พ.ค.
1.8.1	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา	←	→										
1.8.2	ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel		←	→									
1.8.3	ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel					←	—	—	→				
1.8.4	การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม								←	—	—	→	
1.8.5	จัดทำรายงานสรุปผลและนำเสนอผลงาน											←	→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ว่ามีความหมายอย่างไร รูปแบบลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ เช่น เป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ แบบมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว, ศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง และปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา ว่ามีความหมายอย่างไร และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา วิธีการเชิงพันธุกรรม หมายความอย่างไร มีองค์ประกอบหลักๆอะไรบ้าง เช่น การออกแบบโครโมโซม, การสร้างประชากรเริ่มต้น และสุดท้ายกล่าวถึงการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic for Application

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ คือ การเลือกเส้นทางยานพาหนะเพื่อไปบริการลูกค้าในจุดต่างๆ โดยมีจุดประสงค์หลัก คือ ลดระยะทาง และค่าใช้จ่ายให้ต่ำลง ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ มีองค์ประกอบหลักอยู่ด้วยกัน 4 อย่าง คือ 1. ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) คือ จุดที่ทำหน้าที่กระจายสินค้าไปยังลูกค้า โดยจะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเดินทางของยานพาหนะแต่ละคัน 2. เส้นทาง (Route) คือ เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะโดยจะมีการกำหนดว่ายานพาหนะใดมีเส้นทางและลำดับการเดินทางอย่างไรบ้าง 3. ลูกค้า (Customer) คือ ผู้รอรับบริการโดยจะถูกกำหนดให้กระจายอยู่ในจุดต่างๆและมีความต้องการสินค้าปริมาณที่แตกต่างกัน 4. ยานพาหนะ (Vehicle) คือ รถ, เรือ, เครื่องบิน หรือยานพาหนะอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวมาที่ใช้ในการรับ-ส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะได้ชัดเจนขึ้นจะขอแสดงลักษณะของปัญหาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะผ่านทางตัวอย่างที่ 2.1

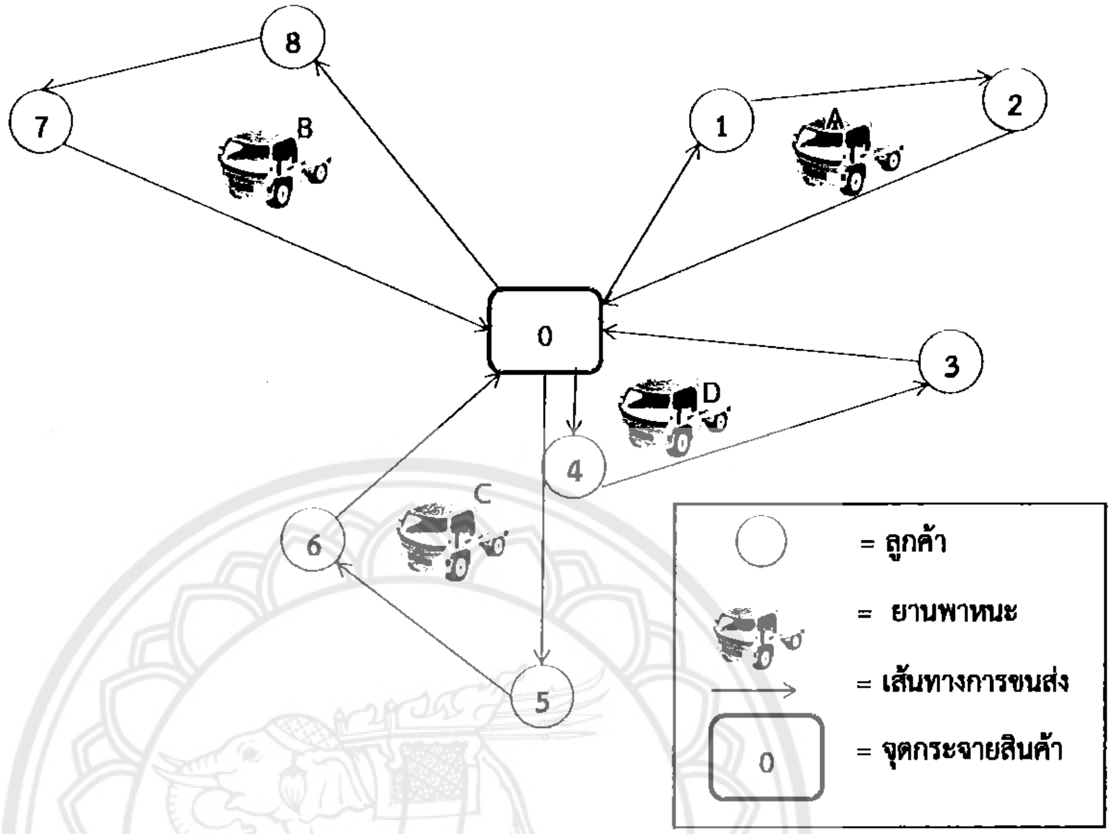
ตัวอย่างที่ 2.1 มีลูกค้าตามจุดต่างๆ อยู่ 8 ราย 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และมีจุดกระจายสินค้า (0) อยู่ 1 แห่ง โดยมีสมมุติฐานดังนี้ กำหนดให้ 1. รถบรรทุกวิ่งออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม 2. รถบรรทุกทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ 250 หน่วย 3. ไม่จำกัดช่วงเวลาส่งสินค้า 4. ปัญหาเป็นแบบสมมาตร คือ ระยะทางจาก จุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i เท่ากัน 5. ลูกค้ามีจำนวนความต้องการและระยะทางการขนส่ง ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 เช่น ในตารางที่ 2.2 ระยะทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3, ระยะทางจากจุดที่ 7 ไปยังจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 9 และระยะทางจากจุดที่ 3 ไปยังจุดที่ 5 มีค่าเท่ากับ 9 เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)
1	60
2	100
3	75
4	120
5	50
6	100
7	170
8	80

ตารางที่ 2.2 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุด 0-8

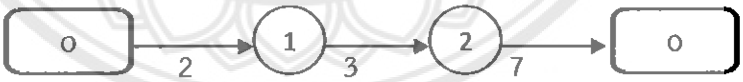
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1	2								
2	7	3							
3	5	4	3						
4	1	3	10	6					
5	6	8	11	9	4				
6	4	7	14	12	3	3			
7	7	12	16	13	9	13	7		
8	5	8	11	12	7	10	9	3	



รูปที่ 2.1 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.1 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน

สมมุติว่ารูปแบบการเดินทาง 1 แบบกำหนดเส้นทางการเดินทางดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่ามีการใช้ยานพาหนะทั้งหมด 4 คัน โดยรถ A ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 1, 2 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 12 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 160 หน่วย

รถ A



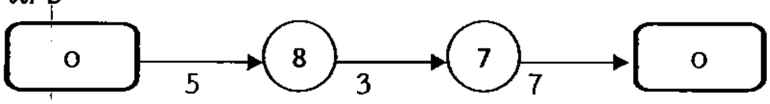
จำนวนสินค้า 60 100

ระยะทาง = 2 + 3 + 7 = 12

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้าทั้งหมด = 60 + 100 = 160 หน่วย

รถ B ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 8, 7 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 15 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 250 หน่วย โดยจะพบได้ว่ารถบรรทุก B บรรทุกสินค้าเต็มความจุของรถพอดี

รถ B



จำนวนสินค้า 80 170

ระยะทาง = 5 + 3 + 7 = 15

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้า = 80 + 170 = 250 หน่วย

รถ C ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 5, 6 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 13 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 150 หน่วย

รถ C

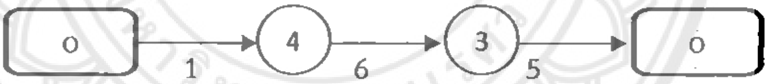
จำนวนสินค้า 50 100

ระยะทาง = 6 + 3 + 4 = 13

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้า = 50 + 100 = 150

รถ D ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 4, 3 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 12 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 195 หน่วย

รถ D



จำนวนสินค้า 120 75

ระยะทาง = 1 + 6 + 5 = 12

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้า = 120 + 75 = 195

โดยผลรวมของระยะทางที่รถ A, B, C และ D ใช้ไปส่งสินค้าตามจุดต่างๆ ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 53

2.1.2 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP)

เนื่องจากปัญหาในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะมีหลากหลายแบบตามรายละเอียดของปัญหานั้นๆ เช่น บางปัญหามีการใช้รถขนส่งได้คันเดียว บางปัญหาใช้รถขนส่งได้หลายคัน และมีปัญหาแบบอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งการเข้าใจในรายละเอียดของปัญหาที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อที่จะได้วิเคราะห์และแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลักๆ สรุปได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะและทางเลือกที่เป็นไปได้ของปัญหาในการจัดเส้นสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือกที่เป็นไปได้
2.1.1.1 จำนวนพาหนะ (Number of Vehicle)	ก. ใช้จำนวน 1 คัน ข. ใช้จำนวนมากกว่า 1 คัน
2.1.1.2 ประเภทของยานพาหนะ (Type of Vehicle)	ก. ประเภทเดียว ข. หลายประเภท ค. พาหนะแบบพิเศษ
2.1.1.3 ความจุของยานพาหนะ (Capacity of Vehicle)	ก. เท่ากันทุกคัน ข. ไม่เท่ากันทุกคัน
2.1.1.4 ความต้องการของลูกค้า (Customer Demand)	ก. มีความต้องการแบบคงที่ ข. มีความต้องการแบบไม่คงที่ ค. มีความต้องการแบบคงที่และแบบไม่คงที่
2.1.1.5 มีข้อจำกัดทางด้านเวลา (Time Window)	ก. มีการจำกัดช่วงเวลาในการส่งสินค้าไปถึงลูกค้า ข. มีการจำกัดช่วงเวลาในการใช้ถนน ค. มีการจำกัดช่วงเวลาในการเข้ารับสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้า ง. มีการจำกัดช่วงเวลาในการใช้รถ
2.1.1.6 จุดกระจายสินค้า (Distribution Center)	ก. มีจุดกระจายสินค้าแห่งเดียว ข. มีจุดกระจายสินค้าหลายแห่ง

2.1.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา เป็นรูปแบบของปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยมีข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไป คือ ลูกค้ากำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้า และ Solomon ได้ให้ความหมายของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาว่า เป็นการขนส่งภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่าไปถึงก่อนเวลาต้องรอคอยจนกว่าจะถึงช่วงเวลาที่กำหนด (Solomon, 1987) เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาได้ชัดเจนขึ้นจะขอแสดงลักษณะของปัญหาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาผ่านทางตัวอย่างที่ 2.2

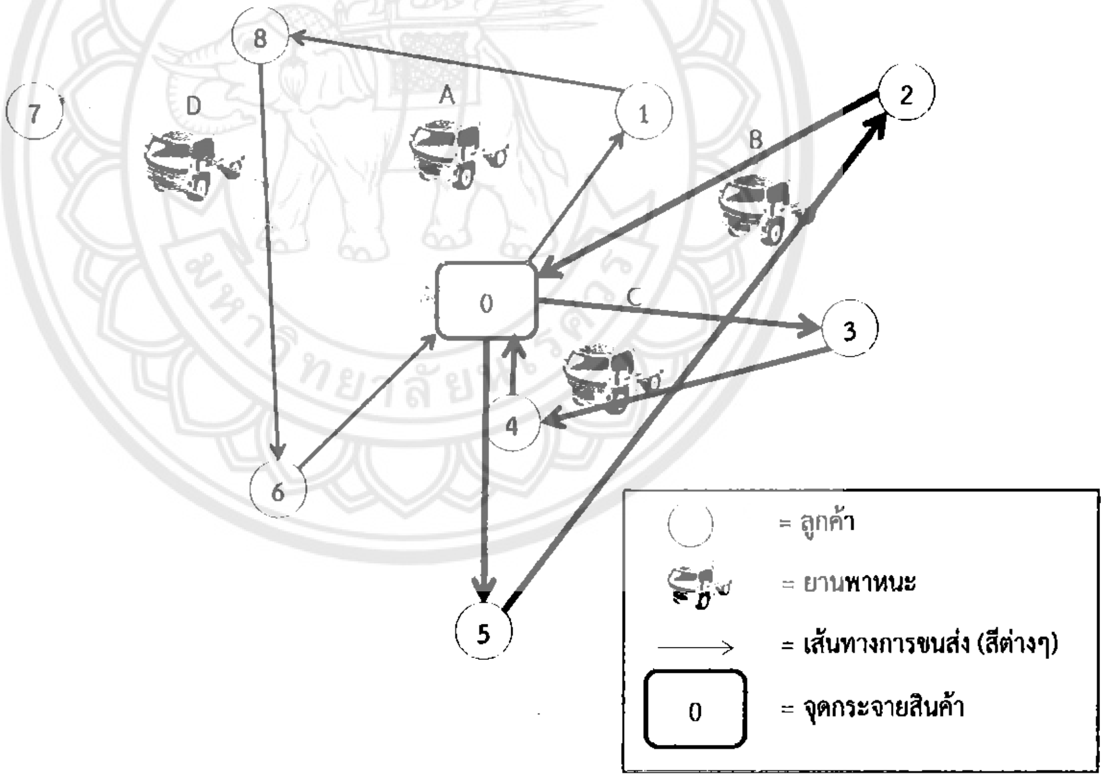
ตัวอย่างที่ 2.2 มีลูกค้าตามจุดต่างๆ อยู่ 8 ราย 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 และมีจุดกระจายสินค้า (0) อยู่ 1 แห่ง โดยมีสมมุติฐานดังนี้ กำหนดให้ 1. รถบรรทุกวิ่งออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม 2. รถบรรทุกทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ 250 หน่วย 3. ปัญหาเป็นแบบสมมาตร คือ ระยะทางจาก จุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยัง จุด i เท่ากัน 4. มีรถบรรทุกสินค้าทั้งหมด 4 คัน 5. รถบรรทุกทุกคันมีเวลาในการใช้งานตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 8 6. เวลาในการเดินทางจาก จุด i ไปยังจุด j เท่ากับ 1 ชั่วโมงเท่ากันทุกเส้นทาง 7. เวลาในการให้บริการเท่ากับ 1 ชั่วโมง 8. ลูกค้ามีความต้องการสินค้าและมีการจำกัดเวลาในการรับสินค้าโดยที่เวลาจะเริ่มต้นจากชั่วโมงที่ 0 – 8 ดังตารางที่ 2.4 9. มีระยะทางการขนส่งดังตารางที่ 2.5 เช่น ในตารางที่ 2.5 ระยะทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 3, ระยะทางจากจุดที่ 7 ไปยังจุดที่ 4 มีค่าเท่ากับ 9 และระยะทางจากจุดที่ 3 ไปยังจุดที่ 5 มีค่าเท่ากับ 9 เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 แสดงความต้องการสินค้าและกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)	กรอบเวลาในการรับสินค้า (ชั่วโมงที่)
1	60	1 – 2
2	100	5 – 7
3	75	3 – 6
4	120	5 – 8
5	50	0 – 5
6	100	6 – 8
7	170	4 – 6
8	80	3 – 5

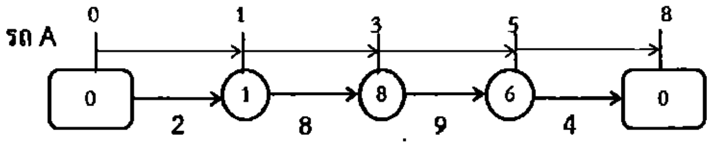
ตารางที่ 2.5 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุด 0-8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1	2								
2	7	3							
3	5	4	3						
4	1	3	10	6					
5	6	8	11	9	4				
6	4	7	14	12	3	3			
7	7	12	16	13	9	13	7		
8	5	8	11	12	7	10	9	3	



รูปที่ 2.2 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.2 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน

สมมุติว่ารูปแบบการเดินทาง 1 แบบกำหนดเส้นทางกานเดินทางดังรูปที่ 2.2 โดยรถ A ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 1, 8, 6 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า มีผลรวมระยะทางเท่ากับ 23 หน่วย บรรทุกสินค้าทั้งหมด 240 หน่วย



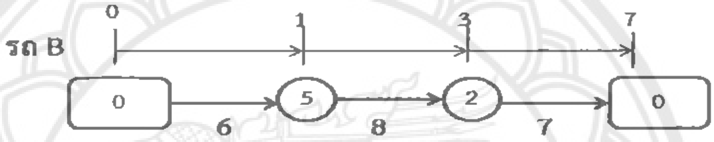
จำนวนสินค้า 60 80 100

ระยะทางทั้งหมด = 2 + 8 + 9 + 4 = 23

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้าทั้งหมด = 60 + 80 + 100 = 240 หน่วย

เวลาการใช้รถ = 8 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาที่ 0 - 8

รถ B ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 5, 2 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 21 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 150 หน่วย



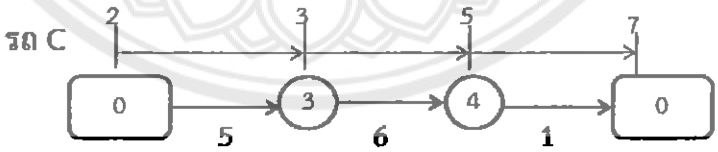
จำนวนสินค้า 50 100

ระยะทางทั้งหมด = 6 + 8 + 7 = 21

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้าทั้งหมด = 50 + 100 = 150 หน่วย

เวลาการใช้รถ = 7 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาที่ 0 - 7

รถ C ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 3, 4 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 21 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 195 หน่วย



จำนวนสินค้า 75 120

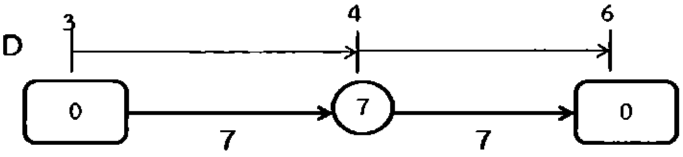
ระยะทางทั้งหมด = 5 + 6 + 1 = 11

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้าทั้งหมด = 75 + 120 = 195 หน่วย

เวลาการใช้รถ = 5 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาที่ 2 – 7

รถ D ต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 7 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้ามีผลรวมระยะทางเท่ากับ 14 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 150 หน่วย

รถ D



จำนวนสินค้า 170

ระยะทางทั้งหมด = 7 + 7 = 14

จำนวนที่ต้องบรรทุกสินค้าทั้งหมด = 170 หน่วย

เวลาการใช้รถ = 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลาที่ 3 – 6

2.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

ธีระศักดิ์ ชุมลออ และคณะ (2549) ได้แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาได้ดังต่อไปนี้

$$\text{Min} \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, i \neq j}^{N} \sum_{k=1}^{K} C_{ij} x_{ijk} \quad (2.1)$$

S.t.

$$\sum_{j=1}^{N} x_{0jk} = 1 \qquad k \in \{1, 2, ..., K\} \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{i0k} = 1 \qquad k \in \{1, 2, ..., K\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{j=0, i \neq j}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad i \in \{1, 2, ..., N\} \quad (2.4)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0, i \neq j}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad j \in \{1, 2, ..., N\} \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^{N} m_j \sum_{j=0, j \neq i}^{N} x_{ijk} \leq q_k \qquad k \in \{1, 2, ..., K\} \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, j \neq i}^{N} x_{ijk} \left(t_{ij} + w_j + f_j\right) \leq r_k \qquad k \in \{1, 2, ..., K\} \quad (2.7)$$

$$t_0 = w_0 = f_0 = 0 \quad (2.8)$$

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{i=0, i \neq j}^{N} x_{ijk} \left(t_i + t_{ij} + w_j + f_j\right) \leq t_j \qquad j \in \{1, 2, ..., N\} \quad (2.9)$$

$$e_j \leq \left(t_i + t_{ij} + w_j\right) \leq l_j \qquad \text{ถ้า } \sum_{k=1}^{K} x_{ijk} = 1 \quad (2.10)$$

โดยที่ พารามิเตอร์ (Parameters) มีดังนี้

C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าจากจุด i ไปยังจุด j เช่น ในการเดินทางไปส่งสินค้าจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 5 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 20

m_j คือ ความต้องการสินค้าของลูกค้าที่จุด j เช่น ลูกค้าจุดที่ 3 มีความต้องการสินค้าเท่ากับ 100 หน่วย

q_k คือ ความจุสูงสุดที่สามารถบรรทุกสินค้าได้ของรถบรรทุกคันที่ k เช่น รถบรรทุกสามารถบรรทุกสินค้าสูงสุดได้เท่ากับ 200 หน่วย

r_k คือ จำนวนเวลาที่สามารถใช้รถบรรทุกในการเดินทางไปส่งสินค้าคันที่ k ได้ เช่น รถบรรทุกคันที่ 2 มีจำนวนเวลาเดินทางในการไปส่งสินค้าตามจุดต่างๆ ได้ 15 ชั่วโมง

t_i คือ เวลาเริ่มต้นในการเดินทางไปส่งสินค้าที่ออกจากลูกค้าจุด i เช่น ในชั่วโมงที่ 8 รถบรรทุกเดินจะต้องเดินทางออกจากจุดที่ 2 เพื่อไปส่งสินค้าให้กับจุดที่ 5 ดังนั้น t_2 จึงเท่ากับ 8

t_j คือ เวลาที่เดินทางออกจากลูกค้าจุด j เช่น ในชั่วโมงที่ 8 รถบรรทุกจะต้องเดินทางออกจากลูกค้าจุดที่ 2 เพื่อไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าจุดที่ 5 และเดินทางออกจากลูกค้าจุดที่ 5 ในชั่วโมงที่ 10 ดังนั้น t_5 จึงเท่ากับ 10

t_{ij} คือ เวลาที่ใช้ในการเดินทางไปส่งสินค้าจากลูกค้าจุด i ไปยังลูกค้าจุด j เช่น รถบรรทุกออกจากลูกค้าจุดที่ 2 ในชั่วโมงที่ 8 ไปถึงลูกค้าจุดที่ 5 ในชั่วโมงที่ 10 ดังนั้น t_{25} มีค่าเท่ากับ 2 ชั่วโมง

w_j คือ เวลารอคอยเมื่อไปถึงก่อนช่วงเวลาที่กำหนด เช่น ลูกค้าได้กำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้าในชั่วโมงที่ 8 – 10 แต่รถบรรทุกได้ไปถึงในชั่วโมงที่ 7 ต้องเสียเวลารอคอยเพื่อส่งสินค้า 1 ชั่วโมง ดังนั้น w_7 จึงเท่ากับ 1 ชั่วโมง

f_j คือ เวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าลูกค้าจุดที่ j เช่น รถบรรทุกเดินทางไปถึงลูกค้าจุดที่ 5 แล้วต้องใช้เวลาในการนำสินค้าออกจากรถบรรทุกขนถ่ายสินค้าไปยังโกดังลูกค้า ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้น f_5 จึงเท่ากับ 1 ชั่วโมง

e_j คือ เวลาเร็วที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ เช่น ลูกค้าได้กำหนดช่วงเวลารับสินค้าในชั่วโมงที่ 7 – 10 เวลาเร็วที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ คือ ชั่วโมงที่ 7 ดังนั้น เวลาที่สามารถส่งสินค้าได้เร็วที่สุดจึงเท่ากับ e_7

l_j คือ คือ เวลาช้าที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ เช่น ลูกค้าได้กำหนดช่วงเวลารับสินค้าในชั่วโมงที่ 7 – 10 เวลาช้าที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ คือ ชั่วโมงที่ 10 ดังนั้น เวลาที่สามารถส่งสินค้าได้เร็วที่สุดจึงเท่ากับ l_{10}

N คือ จำนวนลูกค้าทั้งหมด เช่น มีลูกค้าตามจุดต่างๆ ดังนี้ จุด 1, จุด 2 และจุด 3 เพราะฉะนั้น N จะมีค่าเท่ากับ 3

K คือ จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด เช่น มีรถบรรทุกที่ไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าตามจุดต่างๆ ดังนี้ รถ A, รถ B และรถ C เพราะฉะนั้น K จะมีค่าเท่ากับ 3

ดัชนีชี้วัด (Index) มีดังนี้

k คือ รถบรรทุกคันที่ k จากรถทั้งหมด K เช่น มีรถบรรทุก 3 คัน ได้แก่ รถ A, รถ B และรถ C ดังนั้น k จะเป็น A, B และ C

i คือ จุดเริ่มต้นในการขนส่งสินค้า เช่น ในการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า ไปยังลูกค้าจุดที่ 5 ดังนั้น i จะเป็นศูนย์กระจายสินค้า

j คือ จุดที่ต้องไปส่งสินค้าที่มาจาก i เช่น ในการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า ไปยังลูกค้าจุดที่ 5 ดังนั้น j จะเป็นลูกค้าจุดที่ 5

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) มีดังนี้

x_{ijk} คือ ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเป็น {0, 1}

ถ้า x_{ijk} มีค่าเป็น 0 ทำให้พจน์ของ $C_{ij}x_{ijk}$ มีค่าเป็น 0 ส่งผลให้เส้นทางการเดินทางไปส่งสินค้าเส้นทางนั้นไม่ถูกเลือกที่จะเดินทางไป เช่น ถ้ามีเส้นทางการเดินทางเป็น $C_{12}x_{121}$ และ $C_{13}x_{131}$ ซึ่งหมายถึง การเดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 2 ใช้รถคันที่ 1 และ การเดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 3 ใช้รถคันที่ 1 ถ้าพจน์ของ $C_{12}x_{121}$ มีค่า x_{ijk} เป็น 0 นั่นคือจะไม่เดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยใช้รถคันที่ 1

ถ้า x_{ijk} มีค่าเป็น 1 ทำให้พจน์ของ $C_{ij}x_{ijk}$ มีค่าเป็น 1 ส่งผลให้เส้นทางการเดินทางไปส่งสินค้าเส้นทางนั้นถูกเลือกที่จะเดินทางไป เช่น ถ้ามีเส้นทางการเดินทางเป็น $C_{12}x_{121}$ และ $C_{13}x_{131}$ ซึ่งหมายถึง การเดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 2 ใช้รถคันที่ 1 และการเดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 3 ใช้รถคันที่ 1 ถ้าพจน์ของ $C_{12}x_{121}$ มีค่า x_{ijk} เป็น 1 นั่นคือจะเลือกเดินทางไปส่งสินค้าจากจุด 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยใช้รถคันที่ 1

โดยสมการข้างต้นสามารถสรุปความหมาย ได้ดังนี้

สมการที่ 2.1 คือ สมการเป้าหมาย เพื่อหาต้นทุนการขนส่งให้ต่ำที่สุด

สมการที่ 2.2 คือ รถบรรทุกทุกคันต้องเริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าเสมอ

สมการที่ 2.3 คือ รถบรรทุกทุกคันต้องกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้าเสมอ

สมการที่ 2.4 คือ รถบรรทุกสามารถมีเส้นทางการส่งสินค้าได้เพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น

สมการที่ 2.5 คือ ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้จากรถบรรทุกเพียงคันเดียวเท่านั้น

สมการที่ 2.6 คือ ทุกเส้นทางสามารถบรรทุกสูงสุดได้ไม่เกิน q_k

สมการที่ 2.7 คือ ระยะเวลาสูงสุดในการเดินทางต้องไม่เกิน r_k

สมการที่ 2.8 คือ เริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าในชั่วโมงที่ 0 และไม่รวมเวลาในการเตรียมการ, เวลาขนถ่ายสินค้าใส่รถบรรทุก ที่เกิดขึ้นในศูนย์กระจายสินค้า จึงกำหนดให้เท่ากับ 0

สมการที่ 2.9 คือ ผลรวมระหว่างจำนวนเวลาในการไปส่งสินค้าจากลูกค้าจุด i ไปยังลูกค้าจุด j และเวลาในการให้บริการลูกค้าที่จุด j จะต้องมีค่าน้อยกว่าเวลาที่เดินทางออกจากลูกค้าจุด j เสมอ

สมการที่ 2.10 คือ ผลรวมจำนวนเวลาในการไปส่งสินค้าจะต้องอยู่ในช่วง e_j และ l_j เท่านั้น

2.2 วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย ฮอลแลนด์ (Holland,1975) โดยมีรากฐานมาจากวิวัฒนาการ จาก ชาร์ล ดาวิน (Chrales Dawin) กล่าวว่าเป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ชนิดหนึ่งที่ใช้ค้นหาค่าของคำตอบโดยจำลองวิธีการทางชีววิทยาเรื่องการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือกคำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นคำศัพท์ที่ใช้จึงเป็นคำศัพท์ทางชีววิทยา ลักษณะของวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นใช้การแก้ปัญหาโดยการสร้างสตริงแทนคุณลักษณะของตัวแปรที่ตัดสินใจ ชุดสตริงนั้นจะถูกเรียกว่าโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งในหนึ่งโครโมโซมจะประกอบด้วยกลุ่มของรหัสต่างๆ ซึ่งรหัสเหล่านั้นจะเรียกว่า ยีน (Gene) ตำแหน่งที่ยีนอยู่จะเรียกว่า โลคัส (Locas) ส่วนค่าที่อยู่ในยีนซึ่งสามารถมีได้หลายค่า ค่าเหล่านั้นจะถูกเรียกว่า อัลลีน (Allele) และลักษณะของยีน เช่น รถ เส้นทาง จะเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) ส่วนค่าที่ได้หลังจากถอดรหัสแล้วเรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype)

ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (ระพีพันธ์, 2554) ไปกล่าวไว้ว่าวิธีการทางพันธุกรรมมีองค์ประกอบหลักๆ คือ การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (Chromosome Encoding) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function) และวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (Genetic Operator) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ

การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ เป็นขั้นตอนการออกแบบโครโมโซมเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาจริงที่ต้องการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางพันธุกรรม การออกแบบโครโมโซมจะมีผลกับความเร็วของวิธีการและค่าคำตอบ รวมถึงวิธีการสืบทอดพันธุกรรม เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งจะส่งผลกับคำตอบสุดท้ายที่ผู้พัฒนาวิธีการต้องการ การออกแบบโครโมโซมจึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมาก และหากผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้ดีจะทำให้ได้คำตอบที่ดีในเวลาอันรวดเร็ว วิธีการออกแบบโครโมโซมเพื่อแทนคำตอบมีหลายวิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1.1 การออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี (Binary Encoding)

เป็นการออกแบบโครโมโซมที่แทนที่ด้วย 0 หรือ 1 เท่านั้น เช่น รูปที่ 2.3

Chromosome A 101100101100101011100101
Chromosome B 111111100000110000011111

รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบไบนารี

2.2.1.2 การออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ (Permutation Encoding)

เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เป็นตัวเลขทั่วไปได้ เช่น ตัวเลข 1-100 หรือมากกว่า ซึ่งตัวเลขแต่ละตัวบอกถึงลำดับขั้นในการทำงานหรือเดินทาง เช่น รูปที่ 2.4

Chromosome A 1 5 3 2 6 4 7 9 8
Chromosome B 8 5 6 7 2 3 1 4 9

รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบลำดับ

2.2.1.3 การออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า / เครื่องหมายจริง (Value Encoding)

เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เลขจำนวนจริงหรือใช้อักษรที่เป็นตัวแทนของคำตอบจริงๆ ได้เลย โดยที่ไม่ต้องแปลงค่าจากไบนารีให้เป็นขนาดการผลิต แต่ละหน่วยของของโครโมโซมอาจจะใช้จำนวนหน่วยความจำมากกว่า เพราะไบนารีใช้เพียง 1 ไบต์เท่านั้น หากแทนด้วยค่าจำนวนจริงอาจจะต้องใช้ 10, 100, 1000 หรือมากว่าตามขนาดของเลขจำนวนจริง หรือแม้แต่การออกแบบโครโมโซมที่แทนด้วยอักษร คำ หรือสัญลักษณ์อื่นใดก็สามารถทำได้ เช่น รูปที่ 2.5

Chromosome A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Chromosome C	(back), (back), (right), (forward), (left)

รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างโครโมโซมแบบใช้ค่า / เครื่องหมายจริง

2.2.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น เป็นการหาคำตอบเริ่มต้นขึ้นมา เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดอาจจะเกิดจากการสุ่มหรือการกระทำ

ใดๆ เพื่อให้ได้ประชากรต้นแบบจำนวนหนึ่ง อาจใช้วิธีเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ โดยจำนวนของประชากรต้นแบบที่สร้างขึ้นมานี้เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องตั้งขึ้นมาก่อนที่จะเริ่มกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม

2.2.3 สมการแทนค่าคำตอบหรือค่าความแข็งแรง

การหาสมการแทนค่าของคำตอบ คือ การหาคำตอบที่ใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนคำตอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมนี้อาจจะเป็นคำตอบของปัญหาที่ต้องการแก้ปัญหานี้โดยตรงหรือเป็นคำตอบอื่นๆ ที่ใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมเท่านั้น

2.2.4 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจะใช้ในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลตลอดกระบวนการ ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ ซึ่งจะเป็นกระบวนการค้นหาและแลกเปลี่ยนผลคำตอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้น

2.2.4.1 การคัดเลือกสายพันธุ์

เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต โดยจะต้องคัดเลือกสายพันธุ์มาเป็นโครโมโซมพ่อ และแม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์ จึงทำให้เกิดรูปแบบการคัดเลือกมากมายเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่น่าพอใจที่สุด เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) การคัดเลือกตามความแข็งแรง, การคัดเลือกแบบจัดอันดับ (Ranking Selection) การคัดเลือกโดยการแข่งขัน (Tournament Selection) และอื่นๆ มากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดี โดยจะขอยกตัวอย่างการคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทางดังต่อไปนี้

ก. การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย การคัดเลือกวิธีนี้จะใช้ความน่าจะเป็นในการในการถูกคัดเลือก ซึ่งจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนค่าความแข็งแรง (Fitness) ของแต่ละโครโมโซมเทียบกับค่าความแข็งแรงรวมของโครโมโซมทั้งหมด ตามสมการที่ 2.11 และนำเอาอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้มาสร้างวงล้อเสี่ยงทายดังรูปที่ 2.6 และพิจารณาเลือกโครโมโซมที่มีพื้นที่เสี่ยงทายเยอะที่สุด เช่นตัวอย่างที่ 2.3 เป็นปัญหาในการหาค่าสูงสุดปัญหาหนึ่งโดยที่ค่าความแข็งแรงยิ่งมากยิ่งดี

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{n=1}^{N} F_i} \tag{2.11}$$

เมื่อ

P_i คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกของโครโมโซม i

F_i คือ ค่าความแข็งแรง (Fitness) ของโครโมโซม i

N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด

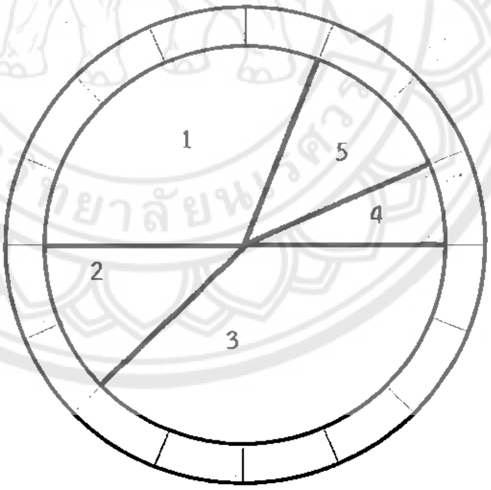
N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด

ตัวอย่างที่ 2.3 เมื่อทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกตามสูตรที่ 2.11 แล้วได้ตามตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก

โครโมโซม	ค่าความแข็งแรง	ความน่าจะเป็นในการถูกเลือก
1	580	580/2044=28.37%
2	245	245/2044=11.98%
3	790	790/2044=38.64%
4	122	122/2044=5.96%
5	307	307/2044=15.01%
รวม	2044	≈10

จากตารางที่ 2.6 นำอัตราค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมาสร้างวงล้อเสี่ยงทายดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 วงล้อเสี่ยงทายจากตัวอย่างที่ 2.3

จากรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาแล้วพบว่า ที่โครโมโซมหมายเลข 3 มีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมากที่สุดหลังจากทำการสุ่มเพื่อการเลือกโครโมโซมไปเป็นประชากรในรุ่นถัดไป

2.2.4.2 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

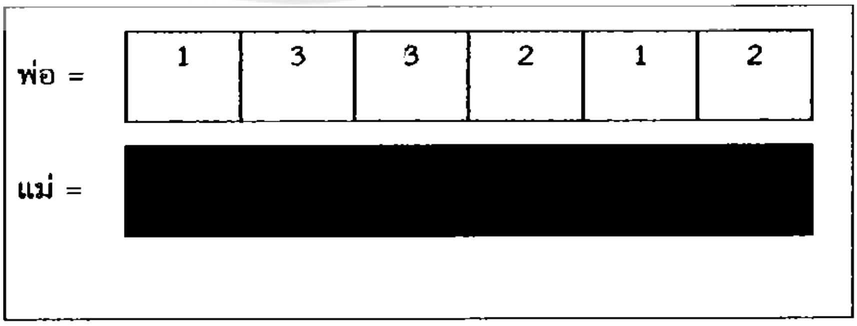
การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นกระบวนการที่สำคัญของวิธีการเชิงพันธุกรรม เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ขึ้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ซึ่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จะต้องอาศัยวิวัฒนาการเป็นเวลานาน จึงจะสามารถเลือกเอา

โครโมโซมพ่อ และแม่ (Parents) มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ สุ่มตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของแม่รวมกัน จะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของแม่ และคัดลอกหลังตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของพ่อรวมกัน จะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมาดังรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.7 แสดงการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

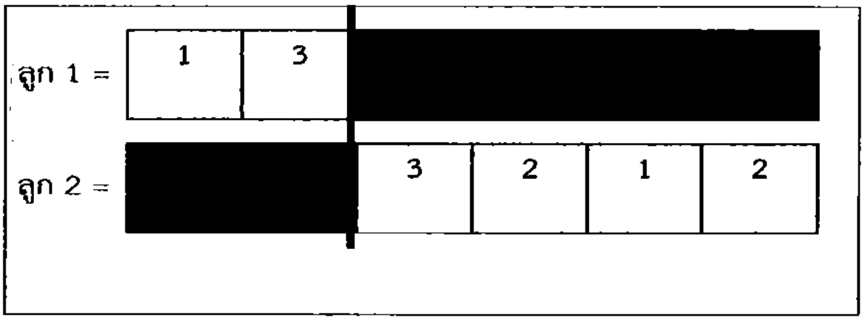
เราสามารถเลือกตำแหน่งอื่นๆ ในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ได้ ขึ้นอยู่กับการเข้ารหัสโครโมโซม ลักษณะของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จะสร้างตามลักษณะของปัญหาซึ่งสามารถปรับปรุงได้ตามประสิทธิภาพของวิธีการเชิงพันธุกรรม เช่น ตัวอย่างที่ 2.4

ตัวอย่างที่ 2.4 เมื่อได้โครโมโซมพ่อ และแม่ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 แสดงโครโมโซมพ่อและแม่ ในตัวอย่างที่ 2.4

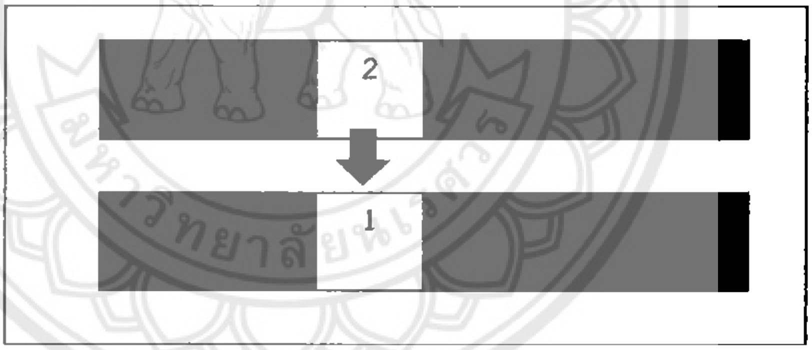
จากรูปที่ 2.8 ทำการสุ่มตัดจุดบนโครโมโซม (ตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธ์) หลังจากนั้นทำการแลกเปลี่ยนสายพันธ์ โดยการทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ของแม่รวมกัน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโครโมโซมลูกที่เกิดจากการส่งผ่านยีนของพ่อและแม่ ในตัวอย่างที่ 2.4

2.2.4.3 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์เกิดขึ้นหลังจากการแลกเปลี่ยนเสร็จสิ้นจะทำการสุ่มประชากรเปลี่ยนแปลงผลที่ได้จากการแลกเปลี่ยน หมายความว่ารุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้วจึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการการกลายพันธุ์ต่อไป ซึ่งการการกลายพันธุ์ ทางพันธุศาสตร์จะทำให้ได้ลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนในการกลายพันธุ์ เมื่อได้ตำแหน่งการกลายพันธุ์แล้ว เปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้น ดังเช่นรูปที่ 2.10 แสดงการกลายพันธุ์ของตัวอย่างที่ 2.3



รูปที่ 2.10 แสดงการกลายพันธุ์ในตัวอย่างที่ 2.4

2.2.5 พารามิเตอร์ (Parameter)

พารามิเตอร์เป็นวิธีการที่ใช้ในการสร้างจำนวนโครโมโซมรุ่นถัดไป ถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากจะทำให้วิธีการทางพันธุกรรม ประมวลผลได้ช้าลง เช่น ขนาดของประชากร (Population Size) ความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยน ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 60-95 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0-1 และจำนวนโครโมโซมที่ใช้ในการสร้างรุ่นถัดไป

2.3 ภาษา Visual Basic for Application บน Excel

Visual Basic for Application เป็นภาษาที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Microsoft Office โครงสร้างของภาษาจะเหมือนกับภาษา Visual Basic แต่มีส่วนเพิ่มเติมในวิธีการอ้างถึงองค์ประกอบในโปรแกรม Microsoft Office

Visual Basic for Application เป็นเครื่องมือพัฒนาระบบงานใน Microsoft Excel ให้ทำงานอัตโนมัติ โดยสามารถควบคุม Microsoft Excel ให้ทำงานตามต้องการ เช่น สร้างรายงาน หรือวิเคราะห์ข้อมูลอัตโนมัติ สร้างแบบจำลองการเงิน (Financial Model) หรือเหมาะสำหรับ งานวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก เช่น ดึงข้อมูล (Database) และวิเคราะห์สรุปผลใน Microsoft Excel จัดรูปแบบรายงานอัตโนมัติทันที

2.3.1 จุดเด่น Excel

ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมาก งานคำนวณซับซ้อนทำให้การพัฒนา Visual Basic for Application ใน Microsoft Excel สามารถดึงเครื่องมือใน Microsoft Excel มาใช้งานต่อได้เลย เช่น Filter, Sort, Pivot Table รวมทั้งสูตรต่างๆ Financial, Statistical, Mathematical, Engineering จากเครื่องมือสำเร็จรูปการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้การพัฒนา Visual Basic for Application ใน Microsoft Excel ทำได้อย่างรวดเร็ว และง่ายซึ่งผู้ที่ต้องการพัฒนา Visual Basic for Application ใน Microsoft Excel ไม่จำเป็นต้องเป็นผู้ที่ศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์ (Programmer) มาก่อน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

วิธีการดำเนินโครงงานการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ ได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม จากนั้นจึงเริ่มเขียนและทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อนำไปหาเส้นทางการเดินทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา และจัดทำรายงานสรุปผลการทดลอง

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา

ในโครงงานนี้จะศึกษาปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา ซึ่งก็คือ ปัญหาที่มีการจัดเส้นทางการเดินทางของยานพาหนะที่กระจายไปตามจุดต่างๆ เพื่อทำการส่งสินค้า โดยมีข้อกำหนดที่เกี่ยวกับช่วงเวลาที่ลูกค้าต้องการสินค้าที่แตกต่างกัน มีจุดประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้ต่ำลง ซึ่งจะใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษาดังกล่าวได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 และมีการหาค่าคำตอบจากค่าใช้จ่ายในการเดินทางซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา และค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก ตามสมการที่ 3.1 ซึ่งเพิ่มเติมจากสมการที่ 2.1

$$C = \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, i \neq j}^{N} \sum_{k=1}^{K} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, i \neq j}^{N} \sum_{k=1}^{K} x_{ijk} T_k + \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, i \neq j}^{N} \sum_{k=1}^{K} x_{ijk} L_k \qquad (3.1)$$

โดยที่

C = ค่าคำตอบ

T_k = ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลาของรถคันที่ k

L_k = ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุกคันที่ k

3.2 ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel

VBA เป็นภาษาที่มีอยู่ใน Microsoft Excel ซึ่งมีจุดเด่นในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก และงานคำนวณที่ซับซ้อน โดยสามารถเรียกคำสั่งใน Microsoft Excel มาใช้งานได้เลย เช่น สูตรต่างๆ ในเรื่องของ Statistical, Engineering และ Financial เป็นต้น และเป็นเครื่องมือสำเร็จรูปสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้การพัฒนา VBA ใน Microsoft Excel ทำได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งผู้ที่ต้องการพัฒนาไม่จำเป็นต้องเป็นโปรแกรมเมอร์ (Programmer) หรือศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์มาก่อนก็สามารถใช้งานได้

3.3 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel

เป็นขั้นตอนการออกแบบวิธีการหาคำตอบที่ใช้แก้ปัญหาด้วยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ซึ่งอธิบายเป็นขั้นตอนในภาพรวม ได้แสดงในรูปที่ 3.1 ดังนี้

3.3.1 ออกแบบโครโมโซม

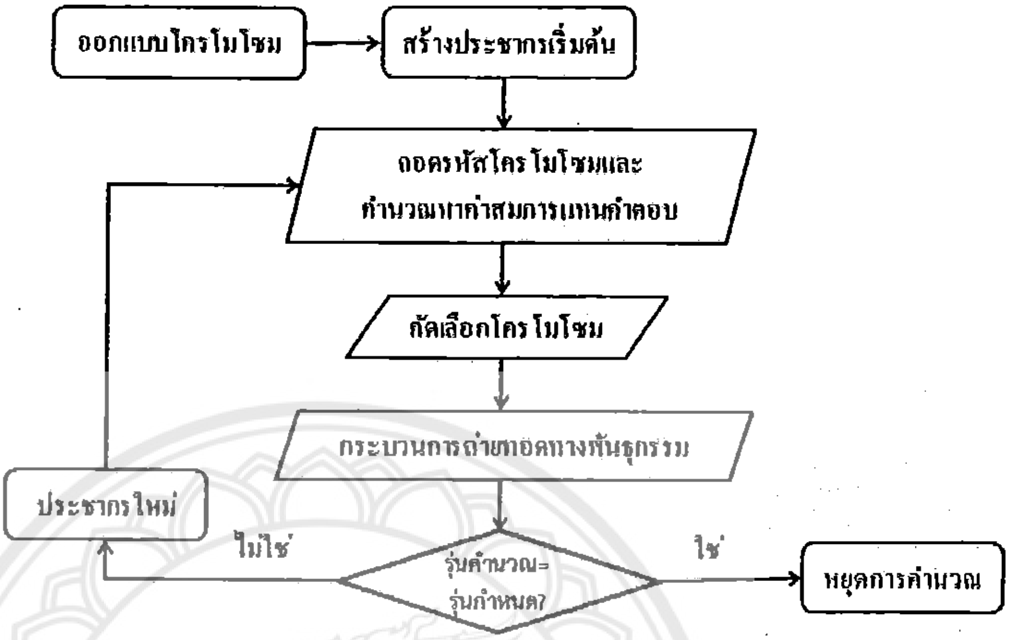
3.3.2 สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้จุดเริ่มต้นของขั้นตอนวิวัฒนาการ

3.3.3 ถอดรหัสโครโมโซมเพื่อให้ได้ตัวแปรของปัญหา และคำนวณค่าสมการแทนคำตอบ

3.3.4 คัดเลือกโครโมโซมเข้าไปสู่กระบวนการดำเนินการทางพันธุกรรม โดยพิจารณาจากค่าสมการแทนคำตอบ

3.3.5 นำโครโมโซมที่ผ่านการคัดเลือกมากระทำด้วยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และ การกลายพันธุ์

3.3.6 ตรวจสอบจำนวนรุ่นของการคำนวณว่าตรงตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าใช่ให้หยุดการคำนวณ ถ้าไม่ให้กลับไปทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.3.3 จนถึง 3.3.5 จนกระทั่งได้ครบจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.1 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการทางพันธุกรรม

3.4 การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

นำวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA บน Microsoft Excel เพื่อนำไปจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา และทดสอบประสิทธิภาพ

3.5 จัดทำรายงานสรุปผล และนำเสนอผลงาน

สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง และจัดทำเป็นรูปเล่มเสนอต่อคณะกรรมการคุมสอบโครงงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

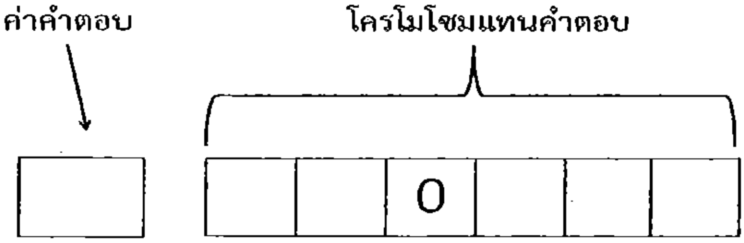
บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานนี้ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยเริ่มจากการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ การประเมินคำตอบและการหาค่าคำตอบ จากนั้นจึงออกแบบกระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม เพื่อนำไปทดลองกับปัญหาที่จำลองขึ้นมา ซึ่งจะมีการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และการคัดเลือกสายพันธ์ นอกจากนี้ยังมีการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่นประชากร ความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นของการเกิดกลายพันธุ์ โดยผลการทดลองนี้จะนำคำตอบมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบจากวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีการอบอ่อนจำลอง

4.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ การประเมินคำตอบ และการหาค่าคำตอบ

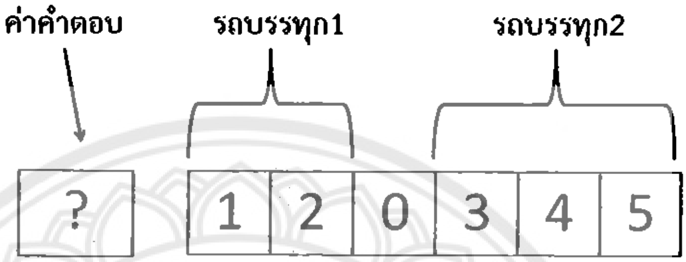
4.1.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ

การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม การสร้างโครโมโซมจะมีผลต่อความเร็วกระบวนการหาค่าตอบ รวมถึงวิธีการสืบทอดพันธุกรรม โดยโครโมโซมแทนคำตอบที่ออกแบบในโครงงานนี้ จะถูกแบ่งออกเป็นช่องๆ แต่ละช่องเรียกว่า “ยีน (gene)” จำนวนช่องทั้งหมดในแต่ละแถวเรียกว่า “โครโมโซม (Chromosome)” โครโมโซม (N) จะเท่ากับจำนวนลูกค้า (n) บวกกับจำนวนรถบรรทุก (k) ลบหนึ่ง (หรือ $N = n + k - 1$) ภายในโครโมโซมจะบอกถึงการจัดการขนส่งสินค้าของรถบรรทุกในแต่ละคัน โดยที่แต่ละคันในโครโมโซมจะมียีนที่มีค่าเป็นศูนย์ (0) แยกรถแต่ละคันภายในโครโมโซม ดังรูปที่ 4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบ $n = 5$ และ $k = 2$ ($N = 5 + 2 - 1 = 6$)



รูปที่ 4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบแบบกำหนดให้ $n = 5$ และ $k=2$

ตัวอย่างที่ 4.1 กำหนดให้มีลูกค้า 5 ราย และมีรถบรรทุก 2 คัน โครโมโซมแทนคำตอบนี้ได้จากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด โดยกำหนดให้เป็น 1-2-0-3-4-5 ซึ่งหมายถึงรถบรรทุกคันที่ 1 เริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1 2 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ส่วนรถบรรทุกคันที่ 2 เริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งให้ลูกค้ารายที่ 3 4 5 ตามลำดับ และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า โดยจะมีโครโมโซมแทนคำตอบ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของตัวอย่างที่ 4.1

4.1.2 การประเมินคำตอบ

เมื่อทำการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเรียบร้อยแล้ว จะนำโครโมโซมที่ได้ไปประเมินคำตอบโดยจะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ การละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา และการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก ถ้าหากโครโมโซมที่ได้มีการละเมิดข้อกำหนดจะมีการเพิ่มค่าปรับทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของค่าคำตอบมากขึ้น

4.1.2.1 การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา

การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา จะเป็นการตรวจสอบว่าส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ตรงตามช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้หรือไม่ โดยปัจจัยที่ตรวจสอบ คือ ช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้า เวลาในการเดินทาง และเวลาในการขนถ่ายสินค้า เพื่อให้เข้าใจวิธีการตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลามากขึ้นจะขอแสดงผ่านตัวอย่างที่ 4.2

ตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้มีลูกค้า 5 ราย รถบรรทุก 2 คัน มีช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ดังรูปที่ 4.3 มีเวลาในการเดินทางซึ่งเป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าหรือลูกค้า i ไปยังลูกค้า j หรือกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า เช่น การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 3 มีเวลาในการเดินทางเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 4.4 และมีค่าปรับจากการส่งสินค้าไม่ทันเท่ากับ 5,000 บาท โดยสมมติให้เวลาในการขนถ่ายเท่ากับ 1 ชั่วโมง และเวลาเริ่มต้นในการเดินทางไปส่งสินค้าเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 0

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า	ช่วงเวลาในการรับสินค้า (ชั่วโมงที่)	
		เปิดรับสินค้า	ปิดรับสินค้า
1	10	5	8
2	5	1	2
3	7	1	6
4	15	3	6
5	5	3	7

รูปที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ

0	1	2	1	3	1
1	0	1	1	1	2
1	3	0	2	2	1
2	1	2	0	1	2
2	1	1	1	0	1
1	2	3	1	1	0

รูปที่ 4.4 แสดงเวลาในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ

สมมติโครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการประเมินคำตอบ คือ 2–1–4–0–3–5 หมายความว่า รถบรรทุกคันที่ 1 ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 2 1 และ 4 ตามลำดับโดยเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าในชั่งโมงที่ 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 2 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง สามารถเริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 2 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลารับสินค้าโดยใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที 2 ในชั่วโมงที่ 3 ไปยังลูกค้ารายที่ 1 ใช้เวลาในการเดินทาง 1 ชั่วโมง แต่เนื่องจากลูกค้ารายที่ 1 เปิดรับสินค้าในชั่วโมงที่ 5 จึงต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาเปิดรับสินค้า และเริ่มขนถ่ายใช้เวลา 1 ชั่วโมง และเริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที่ 1 ไปยังลูกค้ารายที่ 4 ใช้เวลาในการเดินทาง 1 ชั่วโมง สามารถ ซึ่งจะพบว่าเกินช่วงเวลารับสินค้าของลูกค้ารายที่ 4 จึงมีค่าปรับของรถบรรทุกคันที่ 1 5,000 บาท ส่วนรถบรรทุกคันที่ 2 ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 3 และ 5 โดยเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าในชั่งโมงที่ 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 3 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง สามารถเริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 1 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลารับสินค้าโดยใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที่ 3 ในชั่วโมงที่ 2 ไปยังลูกค้ารายที่ 5 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง สามารถขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 4 ซึ่งยังอยู่ใน

ช่วงเวลารับสินค้าโดยใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง และเดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า โดยที่ไม่เสียค่าปรับจากการส่งสินค้าไม่ทัน

4.1.2.1 การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก

การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก จะตรวจสอบว่าสินค้าที่ส่งให้ลูกค้าของรถบรรทุกแต่ละคันเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ โดยมีปัจจัยที่ตรวจสอบคือ ความต้องการของลูกค้า และความจุของรถบรรทุก เพื่อให้เข้าใจในวิธีการการตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุกมากขึ้นจะขอแสดงผ่านตัวอย่างจากตัวอย่างที่ 4.2

จากตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้รถบรรทุกมีความจุเท่ากับ 20 มีความต้องการสินค้าจากลูกค้า ดังรูปที่ 4.3 และมีค่าปรับจากการบรรทุกสินค้าเกินความจุเท่ากับ 5,000 บาท

โครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการประเมินคำตอบเป็น 2–1–4–0–3–5 หมายความว่ารถบรรทุกคันที่ 1 ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 2 1 และ4 มีสินค้าที่ต้องส่งให้ลูกค้าตามความต้องการดังรูปที่ 4.3 เท่ากับ 5 + 10 + 15 = 30 ซึ่งถือว่าเกินความจุของรถที่กำหนดไว้จึงมีค่าปรับเกิดขึ้น 5,000 บาท ส่วนรถบรรทุกคันที่ 2 ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 3 และ5 มีสินค้าที่ต้องส่งให้ลูกค้าตามความต้องการดังรูปที่ 4.3 เท่ากับ 7+ 5 = 12 ซึ่งถือว่าไม่เกินความจุของรถที่กำหนดไว้จึงไม่มีค่าปรับเกิดขึ้น

4.1.3 การหาค่าคำตอบ

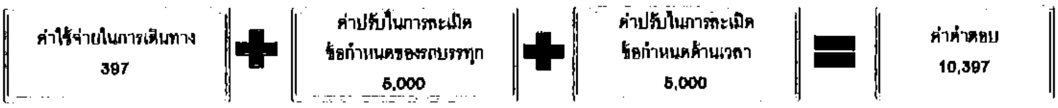
เมื่อทำการประเมินคำตอบเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถทำการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งในส่วนของค่าใช้จ่ายจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา และค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก เพื่อให้เข้าใจในกระบวนการในการหาค่าคำตอบมากขึ้นจะขอแสดงผ่านตัวอย่างที่ 4.2

จากตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งเป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าหรือลูกค้า i ไปยังลูกค้า j หรือกลับศูนย์กระจายสินค้า เช่น การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 3 มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 65 ดังรูปที่ 4.5

i/j	0	1	2	3	4	5
0	0	63	45	65	46	57
1	42	0	44	55	43	45
2	54	45	0	65	67	35
3	43	35	63	0	53	75
4	53	64	63	46	0	66
5	53	36	44	74	64	0

รูปที่ 4.5 แสดงค่าใช้จ่ายในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การหาค่าคำตอบ

โครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการหาค่าคำตอบ คือ 2-1-4-0-3-5 ในการคำนวณค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการเดินทางของการจัดเส้นทางการขนส่ง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการคำนวณค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

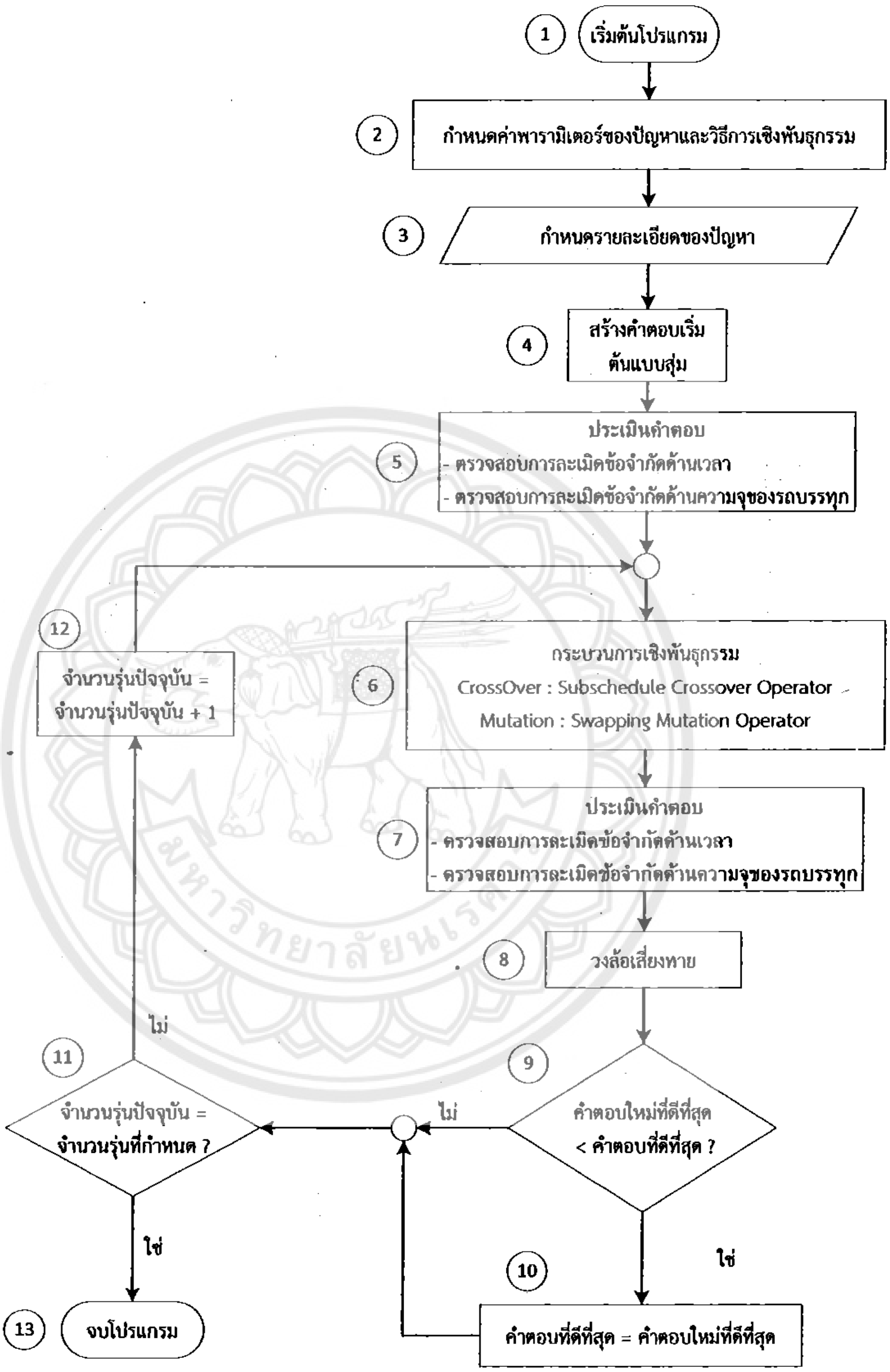
จากรูปที่ 4.4 มีวิธีการคำนวณค่าคำตอบ ดังนี้ (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากศูนย์กระจ่ายสินค้าที่ 0 ถึงลูกค้ารายที่ 2) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้าที่ 2 ถึงลูกค้าที่ 1) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้าที่ 1 ถึงลูกค้าที่ 4) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้าที่ 4 ถึงศูนย์กระจ่ายสินค้าที่ 0) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากศูนย์กระจ่ายสินค้าที่ 0 ถึงลูกค้าที่ 3) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้าค้าที่ 3 ถึงลูกค้าที่ 5) +(ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้าที่ 5 ถึงศูนย์กระจ่ายสินค้าที่ 0) + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลาของรถบรรทุกคันที่ 1 + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลาของรถบรรทุกคันที่ 2 + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุกคันที่ 1 + ค่าปรับจากการบรรทุกสินค้าเกินความจุของรถบร่รทุกคันที่ 2 = ค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวม ค่าที่ได้คือ 45 + 45 + 43 + 53 + 65 + 75 + 53 + 5,000 + 0 + 5,000 + 0 = 10,379

4.2 กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ เป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับของยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยการหาค่าคำตอบเริ่มต้น และประเมินคำตอบเพื่อหาค่าใช้จ่ายซึ่งมีกระบวนการทางพันธุกรรม 2 วิธี คือ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Subschedule Preservation Crossover Operator และการกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator แล่ะได้มีการใช้วิธีการหาตัวแทนคำตอบไว้ 2 แบบ คือ แบบตัวแทนคำตอบแบบที่ 1 และแบบตัวแทนคำตอบแบบที่ 2

4.2.1 วิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1

วิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบ 1 คือ วิธีการทางพันธุกรรมที่มีการสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ดังแสดงในภาคผนวก ก และนำตัวแทนคำตอบที่ได้มาประเมินคำตอบ เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และเข้าสู่กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่าการทำงานของโปรแกรมวิธีการเชิงพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

4.2.1.1 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม

4.2.1.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนประชากร หรือจำนวนโครโมโซมแทนคำตอบ จำนวนรุ่น (จำนวนรอบในการหาคำตอบ) กำหนดให้จำนวนรุ่นปัจจุบันเริ่มต้นที่ 0 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการแลกเปลี่ยนสายพันธ์ และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ กำหนดจำนวนลูกค้า จำนวนรถบรรทุก ความจุของรถบรรทุกและเวลาเริ่มต้นของรถบรรทุก

4.2.1.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความต้องการของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาในการขนถ่ายสินค้าและเวลาในการเดินทาง

4.2.1.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นการสร้างประชากรเริ่มต้นขึ้นมาด้วยวิธีการสุ่มค่ายีนในโครโมโซม

4.2.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ประเมินคำตอบว่าเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ เวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

4.2.1.6 ขั้นตอนที่ 6 เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

4.2.1.7 ขั้นตอนที่ 7 เป็นการประเมินคำตอบของประชากรรุ่นใหม่ว่าเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ เวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

4.2.1.8 ขั้นตอนที่ 8 เป็นการคัดเลือกประชากรรุ่นใหม่ โดยจะนำประชากรของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และประชากรชุดเดิม มาคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย

4.2.1.9 ขั้นตอนที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดไม่น้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 10

4.2.1.10 ขั้นตอนที่ 10 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดแทน

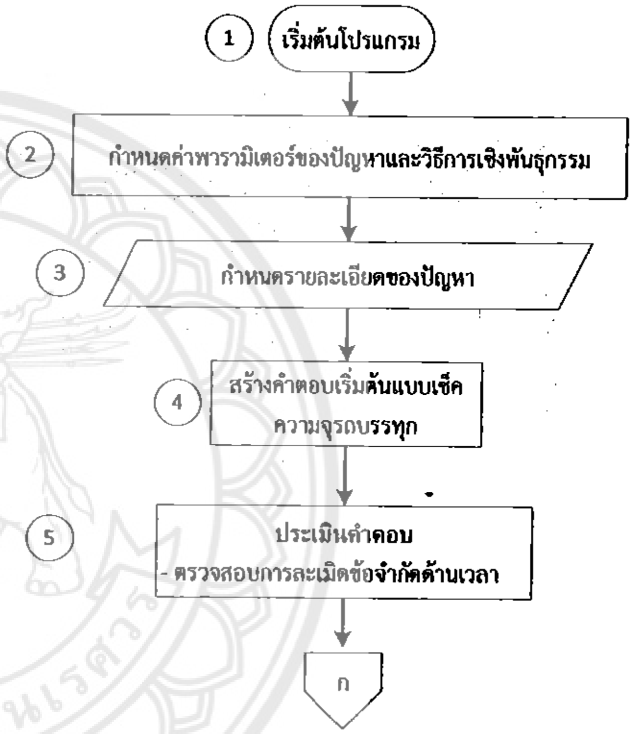
4.2.1.11 ขั้นตอนที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำขั้นตอนที่ 12 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 13

4.2.1.12 ขั้นตอนที่ 12 เป็นการให้จำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นปัจจุบันบวก 1 แล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 5

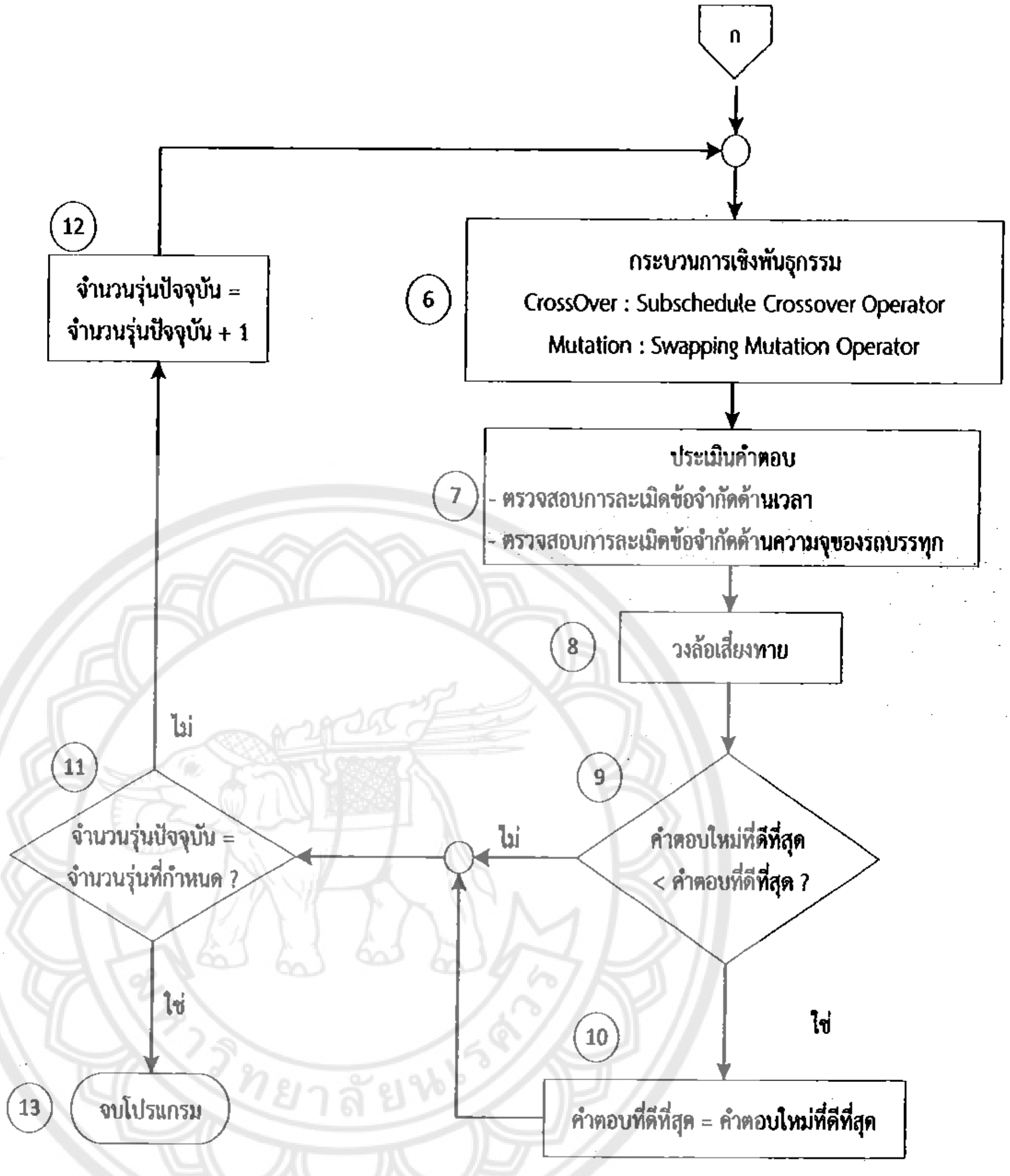
4.2.1.13 ขั้นตอนที่ 13 เป็นการจบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนด

4.2.2 วิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2

วิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบ 2 คือ วิธีการทางพันธุกรรมที่มีการสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุของรถบรรทุก ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยที่มีการสุ่มลูกค้าให้กับรถบรรทุกทีละคันเมื่อเต็มความจุของรถบรรทุกแล้วให้เปลี่ยนรถบรรทุกเป็นคันใหม่ และนำตัวแทนคำตอบที่ได้มาประเมินคำตอบ เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และเข้าสู่กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2



รูปที่ 4.8 (ต่อ) การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2

จากรูปที่ 4.8 จะพบว่าการทำงานของโปรแกรมวิธีการเชิงพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

4.2.1.1 ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม

4.2.1.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนประชากร หรือจำนวนโครโมโซมแทนคำตอบ จำนวนรุ่น (จำนวนรอบในการหาคำตอบ) กำหนดให้จำนวนรุ่นปัจจุบันเริ่มต้นที่ 0 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการแลกเปลี่ยนสายพันธ์ และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ กำหนดจำนวนลูกค้า จำนวนรถบรรทุก ความจุของรถบรรทุกและเวลาเริ่มต้นของรถบรรทุก

4.2.1.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นกำหนดการค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ความต้องการของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาในการขนถ่ายสินค้าและเวลาในการเดินทาง

4.2.1.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นการสร้างประชากรเริ่มต้นขึ้นมาด้วยวิธีการเช็คค่าความจุของรถบรรทุก

4.2.1.5 ขั้นตอนที่ 5 ประเมินคำตอบว่าเวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

4.2.1.6 ขั้นตอนที่ 6 เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

4.2.1.7 ขั้นตอนที่ 7 เป็นการประเมินคำตอบของประชากรรุ่นใหม่ว่าเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ เวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

4.2.1.8 ขั้นตอนที่ 8 เป็นการคัดเลือกประชากรรุ่นใหม่ โดยนำประชากรที่ได้จากการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และประชากรชุดเดิม มาคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย

4.2.1.9 ขั้นตอนที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดไม่น้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 10

4.2.1.10 ขั้นตอนที่ 10 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดแทน

4.2.1.11 ขั้นตอนที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำขั้นตอนที่ 12 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 13

4.2.1.12 ขั้นตอนที่ 12 เป็นการให้จำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นปัจจุบันบวก 1 แล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 5

4.2.1.13 ขั้นตอนที่ 13 เป็นการจบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนด

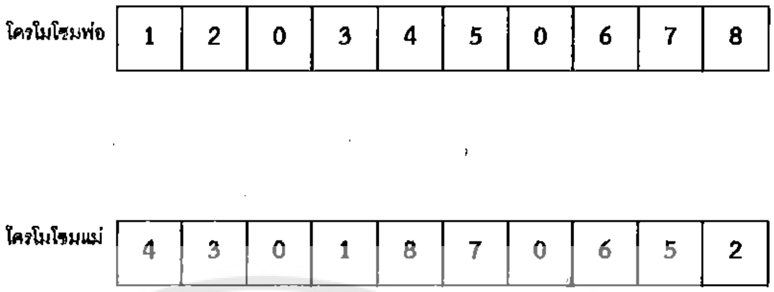
4.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการที่ใช้ค้นหา และปรับปรุงค่าของคำตอบเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ การคัดเลือกสายพันธุ์ และมีค่าพารามิเตอร์เป็นองค์ประกอบของกระบวนการทางพันธุกรรมที่สำคัญต่อการพัฒนาคำตอบ

4.3.1 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Subschedule Preservation Crossover Operator

การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Subschedule Preservation Crossover Operator คือการยึดตำแหน่งหลักของ 0 และค่ายืนภายในโครโมโซมจากรถที่ทำการสุ่มขึ้นมา โดยมีวิธีการตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

4.3.1.1 เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมา 2 โครโมโซม เพื่อแทนเป็นโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ ดังรูปที่ 4.9

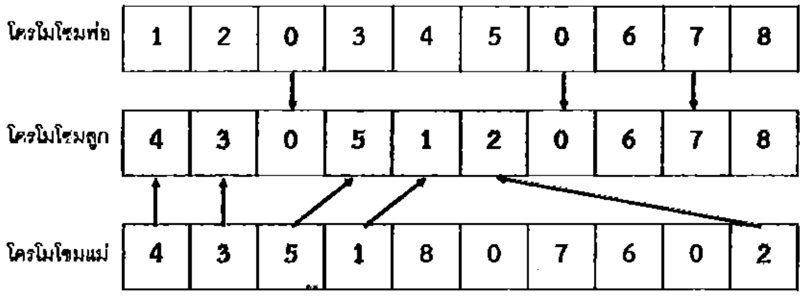


รูปที่ 4.9 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

4.3.1.2 เลือกตำแหน่ง 0 ของโครโมโซมพ่อแทนค่าลงไปในโครโมโซมลูก 1 และสุ่มเลือกตำแหน่ง 0 เพื่อนำค่าที่อยู่หลัง 0 แทนไปในโครโมโซมลูก 1 ดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 แสดงวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

4.3.1.3 นำค่าที่อยู่ในโครโมโซมแม่แทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 1 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางซ้ายไปขวาซึ่งค่าจากโครโมโซมแม่ที่นำไปแทนในโครโมโซมลูก 1 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 1 ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

4.3.1.4 จากขั้นตอนในข้อที่ 4.3.1.1 ถึง 4.3.1.3 จะได้โครโมโซมลูก 1 โครโมโซม ให้ทำขั้นตอนในข้อที่ 4.3.1.1 ถึง 4.3.1.3 อีกรอบ โดยที่สลับโครโมโซมพ่อกับโครโมโซมแม่ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมลูกเพิ่มอีก 1 โครโมโซม

4.3.2 การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator

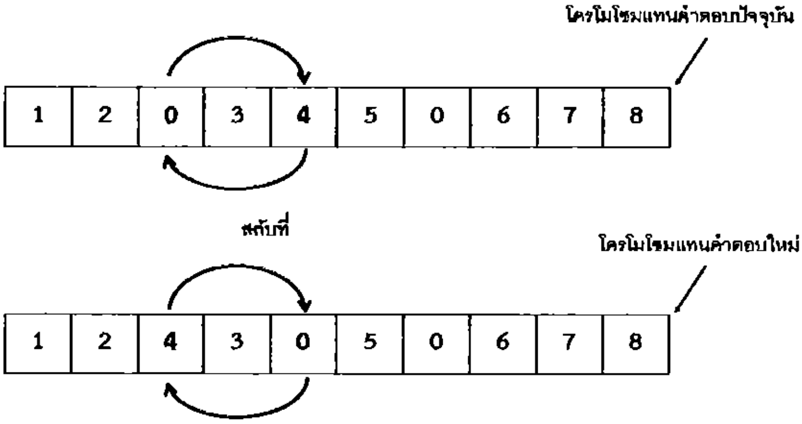
การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator จะเป็นการนำเอาโครโมโซมปัจจุบันมาสลับตำแหน่งของยีน ซึ่งการสลับตำแหน่งของยีนโครโมโซมในแต่ละครั้งจะมีการสุ่มช่องของยีนที่มีค่าเป็น 0 ของโครโมโซมเพื่อที่จะสลับกับช่องของยีนที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 ของโครโมโซมเดียวกัน โดยที่จำนวนของการสุ่มตำแหน่ง และสลับที่ของโครโมโซมแทนคำตอบจะเท่ากับจำนวนเต็มบวกที่มีค่าเท่ากับ 1 บวกกับค่าร้อยละ 5 ความยาวโครโมโซม โดยกระบวนการสามารถอธิบายได้ตามตัวอย่างดังต่อไปนี้

4.3.2.1 เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมาสมมติให้โครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันเป็น 1–2–0–3–4–5–0–6–7–8 เรียงกัน ดังรูปที่ 4.12

1	2	0	3	4	5	0	6	7	8

รูปที่ 4.12 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

4.3.2.2 จากรูปที่ 4.8 มีความยาวโครโมโซมเท่ากับ 10 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธ์เท่ากับ 0.05 ทำให้จำนวนการสุ่มตำแหน่งและสลับเท่ากับ 1 + (0.05 x 10) = 1.5 = 1 ครั้ง (ในการหาจำนวนการสลับให้เอาเฉพาะจำนวนเต็ม) สุ่มหาตำแหน่งของยีนที่มีค่า 0 และตำแหน่งของยีนที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 สมมุติให้สุ่มตำแหน่งของยีนที่มีค่า 0 ได้ยีนตำแหน่งที่ 3 และยีนที่มีค่า 4 ในยีนตำแหน่งที่ 5 มาสลับค่าของยีนกัน ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ

4.3.2.3 ถ้าจำนวนการสลับที่คำนวณได้มากกว่า 1 ให้กลับไปสุ่มตำแหน่งของยีน และสลับที่กันจนครบจำนวนการสลับที่คำนวณได้

4.3.3 การคัดเลือกสายพันธุ์แบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทายจะใช้ความน่าจะเป็นในการในการถูกคัดเลือก ซึ่งจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนค่าคำตอบของแต่ละโครโมโซม เทียบกับค่าคำตอบรวมของโครโมโซมทั้งหมด ตามสมการที่ 2.11 (สมการหาค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกของโครโมโซม) และนำเอาอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้มาสร้างวงล้อเสี่ยงทาย ดังรูปที่ 2.6 และจะสุ่มค่าร้อยละขึ้นมาเพื่อพิจารณาเลือกโครโมโซมจากการเสี่ยงทาย โดยที่ค่าคำตอบยิ่งดีโอกาสในการถูกเสี่ยงทายก็จะมาก

4.3.4 ค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ความเกี่ยวเนื่องกับวิธีการเชิงพันธุกรรมทั้ง 3 กล่าวมาข้างต้นนี้ก็ส่งผลกับคำตอบ ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์จึงมีความสำคัญต่อการดำเนินการต่างๆ ทางพันธุกรรม โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์สามารถสามารถอธิบายได้ ดังนี้

4.3.4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 100 โดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบการทดสอบหาค่าความเหมาะสมกับปัญหา ยกตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ให้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 90 จากนั้นสุ่มเลือกตัวเลขเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ สมมุติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 – 100 ได้เท่ากับ 45 จะเห็นว่าตัวเลขที่ได้น้อยกว่า 90 ซึ่งจะยอมให้มีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เกิดขึ้น โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์อยู่ที่ ร้อยละ 70 และร้อยละ 90

4.3.4.2 ค่าความน่าจะเป็นในเกิดการกลายพันธุ์

เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ในรุ่นลูก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 100 ซึ่งโดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบการทดสอบหาค่าความเหมาะสมกับปัญหา เช่น ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ให้เป็นร้อยละ 10 จากนั้นสุ่มเลือกตัวเลขเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ สมมุติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 – 100 ได้เท่ากับ 70 จะเห็นว่าตัวเลขที่ได้มากกว่า 10 ซึ่งจะไม่ยอมให้มีการเกิดการกลายพันธุ์เกิดขึ้น โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์อยู่ที่ ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

4.3.4.3 ขนาดของประชากรและจำนวนรุ่น

เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดขึ้นมาก่อน เพื่อสร้างกลไกในการสร้างคำตอบให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ หากมีจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นมากจะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายมาก

ขึ้น แต่ถ้ามีจำนวนมากเกินไปจะทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมาก ส่งผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานช้าลง โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 5/153 และ 15/51

4.4 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ

โครงงานนี้ได้มีการสร้างโจทย์ที่มีจำนวนลูกค้าเป็นตัวกำหนดขนาดของปัญหาขึ้นมา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์ นั้นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งปัญหาขนาดเล็กเป็นปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 10 ราย ต่อมาจะเป็นปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ มีจำนวนลูกค้า 20 ราย และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โจทย์ จะมีจำนวนลูกค้า 30 ราย มาทำการทดสอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบได้กำหนดปัจจัยไว้ 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 แบบ ได้แก่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen) คือ 5/153 และ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Pcrossover) คือ ร้อยละ 90 และร้อยละ 70 ความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ (Pmutation) คือ ร้อยละ 10 และร้อยละ 5 และวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT1 และ RT2 ซึ่งมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบของปัญหาแต่ละขนาด

4.4.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนลูกค้า 10 ราย จำนวนรถบรรทุก 3 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีช่วงเวลาการ เปิด-ปิด รับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดเล็กทั้ง 2 โจทย์ดังรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	5632	4185.23	3509	67.44	3632	262.104	3248	63.29
5/153	90	5	8546.2	3339.543	4011	66.02	3841.2	314.1826	3410	61.92
5/153	70	10	6542.8	4188.652	3509	70.61	4815.6	2080.328	3713	65.94
5/153	70	5	7351.6	3964.975	3100	68.92	4642.6	2178.688	3328	63.26
15/51	90	10	3714	399.5885	3207	72.25	3314.4	347.8287	2778	66.83
15/51	90	5	7469.4	3694.845	3798	71.44	3408.8	336.6604	3055	65.25
15/51	70	10	4003.8	218.0865	3697	72.3	3348.8	222.4223	3143	69.72
15/51	70	5	6994.4	2578.208	4077	71.37	3418.8	280.2913	3122	67.03

รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.14 ผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กโจทย์ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 3314.4 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 90 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ

ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 และค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	12388	1784.669	9201	69.13	10494.6	2156.02	8681	65.53
5/153	90	5	12566.2	1906.866	9201	64.98	10712.8	2469.905	8681	63.43
5/153	70	10	13281.4	3251.507	9011	71.1	11324.8	2206.404	8693	60.95
5/153	70	5	13413.6	490.369	12967	67.56	11567.6	2732.667	8595	66.67
15/51	90	10	11207	2320.727	8442	72.89	7895	2396.074	3626	62.48
15/51	90	5	13077.4	88.94549	12994	70.12	9652.4	2056.506	8514	63.76
15/51	70	10	11379.2	2238.987	8849	74.76	7517.6	2013.205	3928	60.76
15/51	70	5	12137.4	1849.565	8849	73.38	9534.4	2053.566	8350	68.76

รูปที่ 4.15 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.15 ผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กโจทย์ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 7517.6 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 70 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 และค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

4.4.1.2 ปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนลูกค้า 20 ราย จำนวนรถบรรทุก 6 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีช่วงเวลาการ เปิด-ปิด รับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดกลางทั้ง 2 โจทย์ดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	19263.4	2702.62	17070	77.42	10561.8	2388.344	7292	76.83
5/153	90	5	20806.4	3973.055	16632	73.73	13660.2	2106.628	11826	72.11
5/153	70	10	17506.4	2435.184	16000	85.83	12531.4	5019.649	7219	79.13
5/153	70	5.	17956.8	2327.751	16537	79.83	13317.8	4235.978	8062	77.43
15/51	90	10	16588.4	371.8713	15969	85.32	9812	2421.483	7779	83.53
15/51	90	5	17836	2466.531	16152	81.02	11253.8	1916.858	7928	79.59
15/51	70	10	16623.4	709.6001	16065	88.93	10340	2404.845	7047	85.89
15/51	70	5	16851	379.6689	16357	79.28	10342	2303.323	7603	78.11

รูปที่ 4.16 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.16 ผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางโจทย์ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 9812 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 90 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 และค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	21341.2	2383.225	17149	80.06	25178.4	2629.221	23251	77.71
5/153	90	5	23616.6	4322.972	16632	75.92	29559.8	2483.13	26673	74.43
5/153	70	10	21605.8	4619.13	17070	83.87	25176.4	2347.072	22188	81.11
5/153	70	5	22418.6	5203.759	17318	82.31	27373.6	1038.175	26451	80.93
15/51	90	10	18785.4	2658.129	16781	84.66	21694.4	3891.714	17868	82.91
15/51	90	5	20796.2	4223.531	16075	82.86	22352.4	711.0283	21767	80.79
15/51	70	10	21302	2847.027	17834	85.7	24559.4	2870.343	22306	83.98
15/51	70	5	28268.6	1610.155	26491	81.28	25783.2	2102.273	22953	81.32

รูปที่ 4.17 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.17 ผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางโจทย์ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 18785.4 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 90 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT1 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT1 และค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

4.4.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่

ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนลูกค้า 30 ราย จำนวนรถบรรทุก 8 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีช่วงเวลาการ เปิด-ปิด รับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดใหญ่ทั้ง 2 โจทย์ดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	25813.8	4798.601	19910	99.62	17683.4	2186.758	16245	93.65
5/153	90	5	27454.2	4562.442	19910	97.34	19169.8	2499.366	16406	90.34
5/153	70	10	24377	5182.895	19872	92.48	16534	1022.36	15191	86.45
5/153	70	5	25747.8	3802.138	20011	100.32	18268.2	4279.017	11458	91.31
15/51	90	10	20940.6	802.4402	20061	95.31	14193.2	2298.25	11450	80.72
15/51	90	5	23850.6	3667.277	19750	94.62	16101	3427.183	11279	90.43
15/51	70	10	21852.8	3173.871	20224	97.42	17150.4	1976.317	15900	85.63
15/51	70	5	24446.2	3922.212	20288	100.68	15346.4	1790.58	12336	89.76

รูปที่ 4.18 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.18 ผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 14193.2 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 90 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT2 และค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

ค่าพารามิเตอร์			RT1				RT2			
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time	Average	SD	Min	Time
5/153	90	10	30142.2	7113.331	20173	98.23	39808.4	3936.242	35957	87.79
5/153	90	5	31945	5695.023	24524	97.35	37985	2500.846	35548	86.98
5/153	70	10	32639	5377.561	25067	100.78	40020	427.6734	39558	89.32
5/153	70	5	32153	4097.904	26643	99.12	38878	4444.246	35562	90.56
15/51	90	10	28858.2	2227.358	26118	98.36	35643	3390.243	30694	89.95
15/51	90	5	29940.8	3009.992	25325	97.52	38268.4	2746.291	34975	90.54
15/51	70	10	26372.8	6193.891	20244	97.33	37614.2	4203.647	30906	93.14
15/51	70	5	28132.6	4014.264	20960	95.78	36121.2	2335.192	33961	88.63

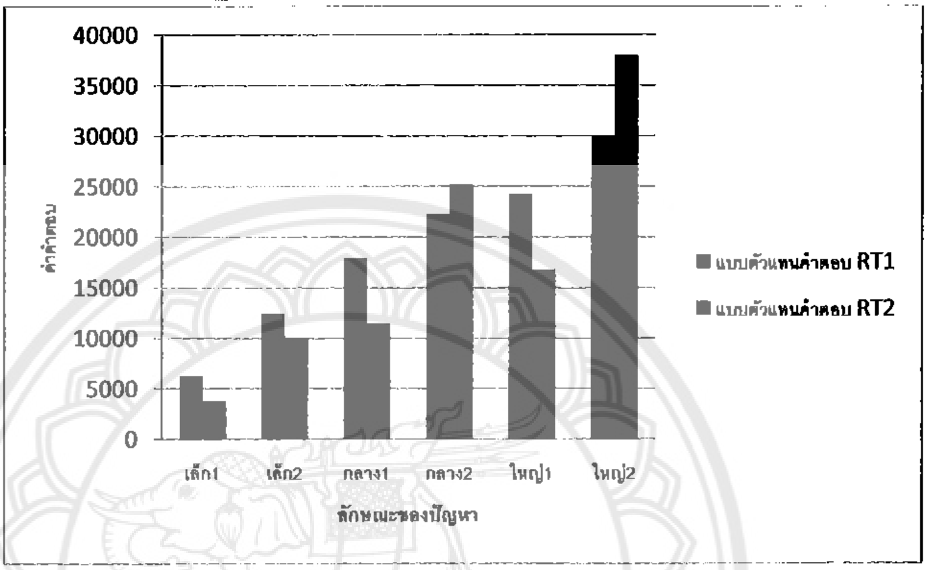
รูปที่ 4.19 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.19 ผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 26372.8 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นของการการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 70 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์เท่ากับร้อยละ 10 และมีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT1 เมื่อพิจารณาค่าคำตอบอื่นๆ ทำให้ทราบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าต่ำสุดของค่าคำตอบที่มีค่าน้อยส่วนใหญ่มีวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น คือ RT1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ 3 อันดับที่น้อยที่สุดมี จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นเท่ากับ 15/51

4.4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

4.4.2.1 การเปลี่ยนแบบตัวแทนคำตอบ

แบบตัวแทนคำตอบได้กำหนดไว้ 2 แบบ คือ RT1 และ RT2 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนแบบตัวแทนคำตอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

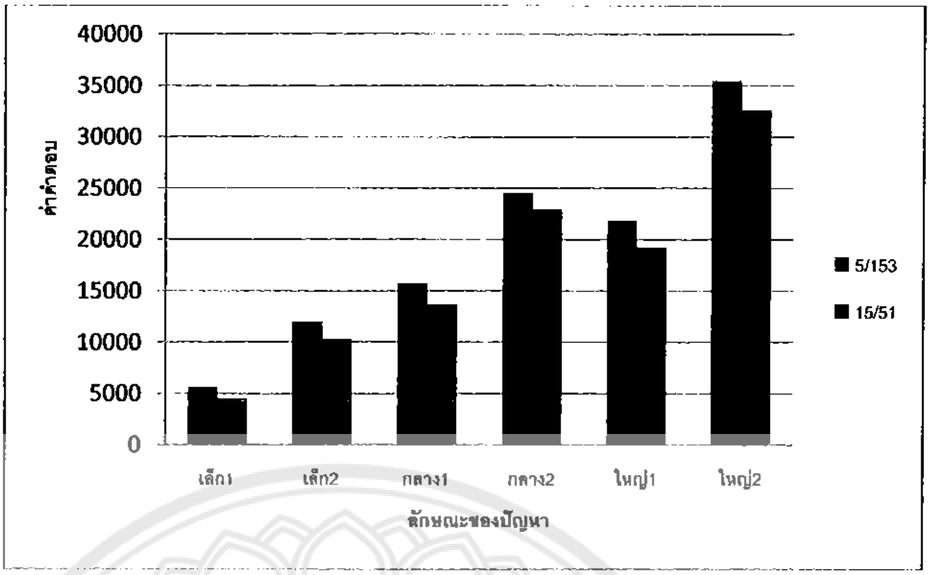


รูปที่ 4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของแบบตัวแทนคำตอบทั้ง 2 แบบ

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแบบตัวแทนคำตอบมีผลต่อค่าคำตอบมาก ซึ่ง RT2 จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า RT1 แต่ถ้าโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นโอกาสที่ RT1 จะดีกว่า RT2 ก็อาจจะเป็นไปได้เมื่อดูจากผลการทดลองของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

4.4.2.2 การเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นได้กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 5/153 และ 15/51 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น ดังแสดงในรูปที่ 4.21

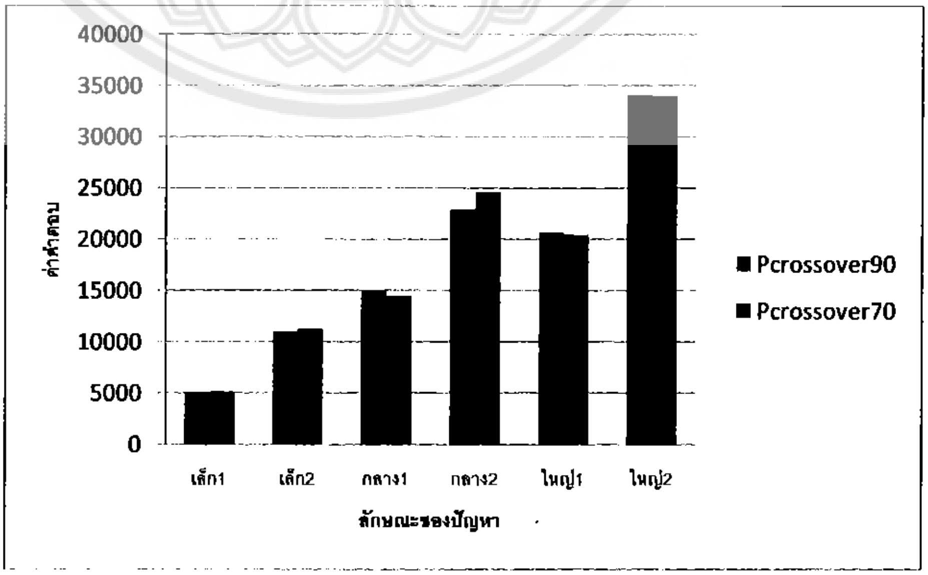


รูปที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนค่าของ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น มีผลต่อค่าคำตอบ โดยที่ค่าของจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น ที่มีค่า 15/51 จะทำให้ค่าคำตอบดีกว่า 5/153 จากทุกปัญหา

4.4.2.3 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 90 และ 70 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

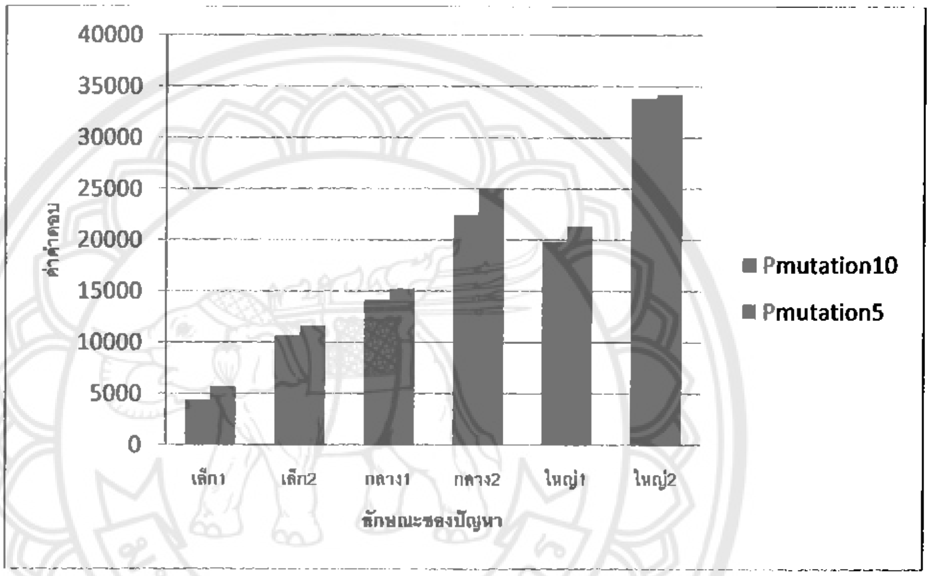


รูปที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ในการทดลองนี้ส่งผลต่อค่าคำตอบน้อยมาก ซึ่งจะพบว่าผลการทดลองนี้ไม่ค่อยแตกต่างกัน

4.4.2.4 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 10 และ 5 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์ ในการทดลองนี้มีผลต่อค่าคำตอบไม่มาก โดยที่ค่าของคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

4.4.2 สรุปการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโครงงานนี้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ จะสามารถสรุปได้จากค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของแต่ละปัญหาที่ต่ำที่สุด ดังรูปที่ 4.24

ขนาดของปัญหา	Average	แบบคำตอบ	Pop/Gen	Pcrossover	Pmutation
เล็ก1	3314.4	RT2	15/51	90	10
เล็ก2	7517.6	RT2	15/51	70	10
กลาง1	9812	RT2	15/51	90	10
กลาง2	18785.4	RT1	15/51	90	10
ใหญ่1	14193.2	RT2	15/51	90	10
ใหญ่2	26372.8	RT1	15/51	70	10

รูปที่ 4.24 แสดงค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นว่าแบบคำตอบ RT2 เหมาะสมกับการทดลองนี้ โดยที่ RT2 ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า RT1 จาก 4 โจทย์ใน 6 โจทย์ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen) มีค่าที่เหมาะสม คือ 15/51 ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีกับทุกโจทย์ ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Pcrossover) ค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 90 ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า 70 จาก 4 โจทย์ใน 6 โจทย์ และค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดคือ 10 ที่ให้ค่าคำตอบดีที่สุดทั้ง 6 โจทย์

4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการหาค่าคำตอบแบบวิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการหาค่าคำตอบแบบอบอ่อนจำลอง

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มีค่าต่ำที่สุดเป็นตัวเปรียบเทียบค่าคำตอบ โดยที่วิธีการที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงและหาค่าคำตอบมีมากมายหลายแบบ เช่น วิธีการค้นหาค่าคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony System) เป็นต้น ในส่วนของโครงงานนี้จะนำเอา การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาด้วยวิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวสุกัญญา โทนทอง และนางสาวสุปราณี อุดมสุข (2555) มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการทดลอง ภายใต้โจทย์ข้อเดียวกัน ขนาดของปัญหาเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการอบอ่อนจำลอง

ขนาดของปัญหา	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ย (หน่วย)		ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด (หน่วย)	
	วิธีการเชิงพันธุกรรม	วิธีการอบอ่อนจำลอง	วิธีการเชิงพันธุกรรม	วิธีการอบอ่อนจำลอง
ขนาดเล็ก 1	3,314.40	2,598.10	2,778.00	2,475.00
ขนาดเล็ก 2	7,517.60	3,119.20	3,626.00	2,929.00
ขนาดกลาง 1	9,812.00	5,410.80	7,047.00	5,144.00
ขนาดกลาง 2	18,785.40	6,510.40	16,075.00	6,267.00
ขนาดใหญ่ 1	14,193.20	8,060.60	11,279.00	7,959.00
ขนาดใหญ่ 2	26,372.80	16,321.67	20,173.00	10,574.00

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลที่ได้จากการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายแบบวิธีการอบอ่อนจำลองดีกว่า วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยดูได้จากค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และค่าคำตอบที่ต่ำที่สุด

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองโดยการใช้โจทย์ข้อเดียวกัน ขนาดของปัญหาเดียวกัน และคอมพิวเตอร์ที่ใช้รันโปรแกรมเครื่องเดียวกัน คือ Win XP Intel Core i3-2100 @3.10 Hz RAM 4.00 GB ได้ผลดังรูปที่ 4.25

วิธีการเชิงพันธุกรรม

ค่าพารามิเตอร์			RT1		RT2		Average Time (sec)
Pop/gen	Pcrossover	Pmutation	ค่าคำตอบ	Time	ค่าคำตอบ	Time	
5/153	90	10	20122	82.23	15477	72.41	
5/153	90	5	21290	88.41	16875	68.36	
5/153	70	10	26174	74.08	17537	70.02	
5/153	70	5	29558	72.18	20042	65.51	
15/51	90	10	19445	69.35	16017	67.05	
15/51	90	5	26260	70.34	11845	68.14	
15/51	70	10	20015	66.82	11896	67.29	
15/51	70	5	21990	67.18	11559	67.74	71.07

วีการอบอ่อนจำลอง

วิธีการปรับปรุง	สลับที่		เลื่อนตำแหน่ง		คงที่ 1 ตำแหน่ง		
	ค่าคำตอบ	Time	ค่าคำตอบ	Time	ค่าคำตอบ	Time	
ครั้งที่1	9072	1233.6	15390	922.2	8919	1201.8	
ครั้งที่2	9256	1268.4	8555	1215.6	9039	1215.6	
ครั้งที่3	8004	1209	7959	1201.2	8801	1203	1185.60

รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการอบอ่อนจำลอง

จากรูปที่ 4.25 พบว่าเวลาในการรันโปแกรมของวิธีการเชิงพันธุกรรมเร็วกว่าวิธีการอบอ่อนจำลอง เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรม ได้ทำการเปรียบเทียบในปัญหาขนาดใหญ่ปัญหาที่ 5 โดยที่โปรแกรมของวิธีการเชิงพันธุกรรมใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 71.07 วินาที เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมที่น้อยที่สุดเท่ากับ 65.51 วินาที โปรแกรมของวิธีการอบอ่อนจำลอง ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ยเท่ากับ 1185.6 วินาที และเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมน้อยที่สุดเท่ากับ 922.2 วินาที

จากผลการเปรียบเทียบสำหรับโครงงานนี้สามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมของวิธีการอบอ่อนจำลองจะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรมของวิธีการเชิงพันธุกรรม เนื่องมาจากโปรแกรมของวิธีการอบอ่อนจำลองในโครงงานของสุกัญญา และสุปราณี ได้มีการปรับปรุงคำตอบ 3 แบบ ซึ่งโปรแกรมของวิธีการเชิงพันธุกรรมของผู้ทำโครงงานนี้ได้มีวิธีการปรับปรุงคำตอบเพียง 1 แบบเท่านั้น จึงทำให้คำตอบที่ได้ของสำหรับโครงงานของสุกัญญา และสุปราณีจึงมีความหลากหลายในคำตอบมากกว่า และถึงแม้ว่าจำนวนรอบในการหาคำตอบทั้งหมดจะเท่ากัน คือ 765 รอบ แต่จำนวนคำตอบที่ค้นหาไม่เท่ากัน โดยที่คำตอบของสุกัญญา และสุปราณีมีจำนวนคำตอบทั้งหมดมากกว่า จึงทำให้สามารถหาคำตอบได้ดีกว่า แต่เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โปรแกรมของผู้ทำโครงงานจะใช้เวลาน้อยกว่า หรือสามารถหาคำตอบได้รวดเร็วกว่าโปรแกรมของสุกัญญา และสุปราณี

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลของการดำเนินโครงงาน ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงงาน และแนวทางในการแก้ปัญหา

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงานการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบ และสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยมีจุดประสงค์ คือ การหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางที่จะทำให้ประหยัดเวลา และลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้น้อยลง ซึ่งผู้ดำเนินโครงงานได้ออกแบบวิธีการหาคำตอบเพื่อใช้สร้างโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา เพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาทดสอบ คือ

5.1.1.1 วิธีการสร้างประชากรเริ่มต้น มี 2 แบบ คือ แบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1 และแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2

5.1.1.2 จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น มี 2 ค่า คือ 5/153 และ 15/51

5.1.1.3 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ มี 2 ค่า คือ ร้อยละ 90 และร้อยละ 70

5.1.1.4 ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์ มี 2 ค่า คือ 10 และ 5

จากนั้นผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการสร้างโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้ Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel โดยโปรแกรมที่ได้จะเป็นโปรแกรมที่มีการหาค่าใช้จ่ายในเดินทางสำหรับยานพาหนะที่ไปยังเมืองต่างๆ ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

จากการที่ได้มีการทดลองใช้โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา สรุปได้ว่าในการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาจากโจทย์ที่มีการกำหนดขึ้นมา จะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ แบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2 จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น มีค่าเท่ากับ 15/51 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์มีค่าเท่ากับ 90 และค่าความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์มีค่าเท่ากับ 10

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน

5.2.1 ขั้นตอนในการออกแบบวิธีการทางพันธุกรรม ยังมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการทางพันธุกรรมน้อยมากและมีความซับซ้อน ทำให้ใช้เวลาในการดำเนินงานในส่วนนี้มาก

5.2.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic for Application (VBA) ใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมมากเนื่องจากไม่มีความรู้พื้นฐานของ VBA มาก่อน จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองและมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลอง

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

ขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา และสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากทางอินเตอร์เน็ต

มหาวิทยาลัยนเรศวร

เอกสารอ้างอิง

ธีระศักดิ์ ชุมลออ และคณะ. (2549). **วิธีฮิวริสติกเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งสำหรับรถที่มีความจุจำกัดในปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา.** การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงาน ประจำปี 2549. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

นลินี อุดมสมบัติมีชัย. (2548). **การประยุกต์วิธีศึกษาสำนึกสำหรับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

สรสิทธิ์ เสริญดี และอภิชาติ ปานเทือก. (2554). **การพัฒนาโปรแกรมเจเนติกอัลกอลิทึมสำหรับแก้ปัญหาการสร้างเซลล์.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สุกัญญา โทนทอง สุปราณี อุดมสุข. (2555). **การแก้ปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Marius M. Solomon. (1987). **ALGORITHMS FOR THE VEHICLE ROUTING AND SCHEDULING PROBLEMS WITH TIME WINDOW CONSTRAINTS.** Operations Research, Vol. 35, No. 2. (Mar. - Apr. 1987), pp. 254-265.
Northeastern University, Boston, Massachusetts

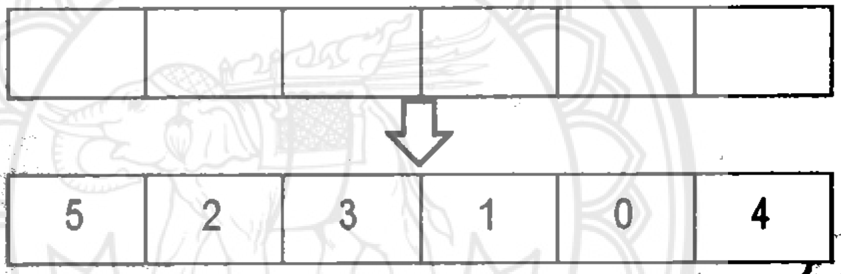
ภาคผนวก ก

วิธีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้น

วิธีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้น

การสร้างโครโมโซมคำตอบเริ่มต้น ในโครงงานได้แบ่งเป็น 2 วิธี คือ แบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1 และแบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2 มีวิธีการสร้างดังนี้

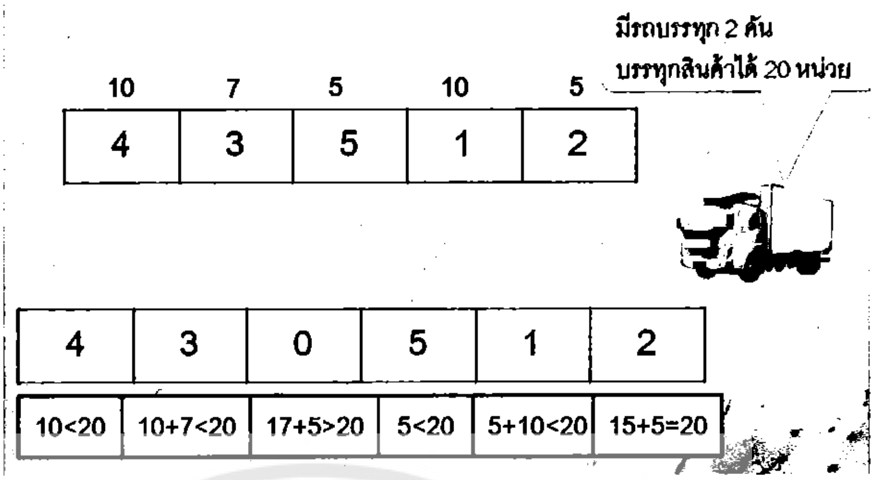
แบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 1 มีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม โดยที่จะนำค่ายีนที่เป็นตัวเลขลำดับจำนวนลูกค้า และค่ายีนที่มีค่าเป็นศูนย์ (0) ตามจำนวนรถลบ 1 มาสุ่มใส่ช่องโครโมโซมที่ได้สร้างไว้ ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม

จากรูปที่ ก.1 เป็นการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ของปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 5 ราย และรถบรรทุก 2 คัน

แบบตัวแทนคำตอบชนิดที่ 2 มีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ โดยที่จะนำค่ายีนที่เป็นตัวเลขลำดับจำนวนลูกค้ามาสุ่มเรียงลำดับการส่ง และนำค่ายีนที่ได้ไปใส่ลงในโครโมโซมตามลำดับ และเช็คค่าความจุไปด้วย เมื่อเต็มความจุแล้วจึงใส่ศูนย์ (0) และเริ่มรถคันใหม่ในโครโมโซมเดียวกัน ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ

จากรูปที่ ก.2 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ ของปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 5 ราย ดังนี้ 1 2 3 4 5 มีความต้องการสินค้า คือ 10 5 7 10 5 ตามลำดับ และรถบรรทุก 2 คัน บรรทุกสินค้าได้ 20 หน่วย

ภาคผนวก ข

Source Code

ของโปรแกรมการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

เพื่อสะดวกแก่ความเข้าใจ จะขอแบ่งการแสดงคำสั่งหรือ Source Code ตามลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งได้ดังนี้

1. หน้าแรก (หน้าหลัก) ที่เป็นส่วนต้อนรับโปรแกรม
2. หน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น
3. หน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า
4. หน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง
5. หน้าต่างในการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง
6. หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ
7. คำสั่งเรียกใช้ และคำสั่งใน Module

1. การเปิดโปรแกรม และหน้าแรก (หน้าหลัก) ที่เป็นส่วนต้อนรับโปรแกรม

เมื่อเปิดโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าแรกที่เป็นหน้าต้อนรับของโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

```
Private Sub Workbook_Open()
หน้าหลัก.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.1 แสดงคำสั่งเข้าสู่โปรแกรม

2. หน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

เมื่อเข้าทำงานโปรแกรม หน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้นซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าจำนวนลูกค้า จำนวนรถบรรทุก ความจุรถบรรทุก เวลาเริ่มต้นใช้รถบรรทุก และค่าพารามิเตอร์ นอกจากนี้แล้ว หน้าต่างนี้ยังมีการนำไปสู่หน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า หน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง หน้าต่างการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง และหน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

```
Private Sub BackForm2_Click()
กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
หน้าหลัก.Show
End Sub

Private Sub CostofTripForm2_Click()
Sheet2.Range("d5:az5").Clear
Sheet2.Range("b7:b2000").Clear
Sheet2.Range("d7:az2000").Clear

If PutNumCustomer.Value = "" Then
    MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
Else
    Sheet2.Activate
```

รูปที่ ข.2 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
    Application.ScreenUpdating = False
    For i = 0 To NumCustomer
        Sheet2.Range("d5").Offset(0, i).Value = i  'สร้างตัวเลขอัตโนมัติแนว Column
        Sheet2.Range("d5").Offset(0, i).Select      'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Column อัตโนมัติ
        Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
        Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeRight)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideVertical)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With    'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Column อัตโนมัติ
        Range("b7").Offset(i, 0).Value = i  'สร้างตัวเลขอัตโนมัติแนว Row
        Range("b7").Offset(i, 0).Select      'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Row อัตโนมัติ
        Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
        Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With   'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Row อัตโนมัติ
    Range("c6").Offset(i + 1, i + 1).Value = 0   'สร้างอักษร X ในแนวทแยงลง 45 องศา
    For j = 0 To NumCustomer
      Range("c6").Offset(i + 1, j + 1).Interior.Color = RGB(100, 220, 80) 'ใส่สีตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
      Range("c6").Offset(i + 1, j + 1).Select 'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
      Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
      Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
      With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeRight)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
        With Selection.Borders(xlInsideVertical)
              .LineStyle = xlContinuous
              .Weight = xlThin
              .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
              .LineStyle = xlContinuous
              .Weight = xlThin
              .ColorIndex = xlAutomatic
        End With   'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
      Next j
Next i  'สิ้นสุดสร้างตารางตามค่าที่กรอก
Application.ScreenUpdating = True
End If
End Sub
Private Sub CustomerDemandForm2_Click()
Sheet1.Range("c7:g5000").Clear

If PutNumCustomer.Value = "" Then
   MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
Else
   Sheet1.Activate
   กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
   Application.ScreenUpdating = False
   For i = 1 To NumCustomer
      Sheet1.Range("c6").Offset(i, 0).Value = i  'สร้างตัวเลขอัตโนมัติแนว Row
      Sheet1.Range("d6:g6").Offset(i, 0).Interior.Color = RGB(100, 220, 80) 'ใส่สีตารางแนว Column อัตโนมัติ
      Sheet1.Range("c6:g6").Offset(i, 0).Select  'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Column อัตโนมัติ
      Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
      Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
      With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
         .LineStyle = xlContinuous
         .Weight = xlThin
         .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeTop)
         .LineStyle = xlContinuous
         .Weight = xlThin
         .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
         .LineStyle = xlContinuous
         .Weight = xlThin
         .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeRight)
         .LineStyle = xlContinuous
         .Weight = xlThin
         .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
        With Selection.Borders(xlInsideVertical)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
    Next i  'สิ้นสุดการสร้างตารางกรอกค่าอัตโนมัติ
    Application.ScreenUpdating = True
End If
End Sub
Private Sub DurationofTripForm2_Click()
Sheet3.Range("d5:az5").Clear
Sheet3.Range("b7:b2000").Clear
Sheet3.Range("d7:az2000").Clear

If PutNumCustomer.Value = "" Then
    MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
Else
    Sheet3.Activate
    กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
    Application.ScreenUpdating = False
    For i = 0 To NumCustomer
        Sheet3.Range("d5").Offset(0, i).Value = i  'สร้างตัวเลขอัตโนมัติแนว Column
        Sheet3.Range("d5").Offset(0, i).Select      'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Column อัตโนมัติ
        Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
        Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeRight)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With    'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Column อัตโนมัติ
    Sheet3.Range("b7").Offset(i, 0).Value = i  'สร้างตัวเลขอัตโนมัติแนว Row
    Sheet3.Range("b7").Offset(i, 0).Select     'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Row อัตโนมัติ
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
    End With    'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนว Row อัตโนมัติ
    Sheet3.Range("c6").Offset(i + 1, i + 1).Value = 0    'สร้างอักษร X ในแนวทแยงลง 45 องศา
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
For j = 0 To NumCustomer
    Sheet3.Range("c6").Offset(i + 1, j + 1).Interior.Color = RGB(100, 220, 80) 'ใส่สีตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
    Sheet3.Range("c6").Offset(i + 1, j + 1).Select 'เริ่มต้นคำสั่งใส่กรอบตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeTop)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeRight)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideVertical)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
        End With   'สิ้นสุดคำสั่งใส่กรอบตารางแนวจตุรัสอัตโนมัติ
  Next j
  Next i 'สิ้นสุดสร้างตารางตามค่าที่กรอก
Application.ScreenUpdating = False
End If
End Sub

Private Sub Label11_Click()

End Sub
Private Sub Label2_Click()

End Sub
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
Private Sub Model1Form1_Click()

End Sub

Private Sub NextForm2_Click()
If PutNumVehicle.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of vehicle", vbOKOnly
    ElseIf PutMaxCapacity.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of the maximum capacity of vehicle", vbOKOnly
    ElseIf PutTimeUseCar.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of the maximum time to use car", vbOKOnly
    ElseIf PutTimeStart.Value = "" Then
        MsgBox "Please input time start use car", vbOKOnly
    ElseIf PutTimeComeback.Value = "" Then
        MsgBox "Please input time finished use car", vbOKOnly
    ElseIf PutNumCustomer.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
    ElseIf PutPopulationSize.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of population size", vbOKOnly
    ElseIf PutNumGeneration.Value = "" Then
        MsgBox "Please input number of generation", vbOKOnly
    ElseIf PutPercentSelection.Value = "" Then
        MsgBox "Please input probability of selection", vbOKOnly
    ElseIf PutPercentMutation.Value = "" Then
        MsgBox "Please input probability of mutation", vbOKOnly
    ElseIf PutPercentCrossover.Value = "" Then
        MsgBox "Please input probability of crossover", vbOKOnly
    Else
        การแสดงผล.Show
        กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
End If
End Sub

Private Sub OptionButton1_Click()

End Sub
Private Sub PutMaxCapacity_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutMaxCapacity

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutMaxCapacity = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        CapCar = PutMaxCapacity
    End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutMaxCapacity = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please integer the integer number only", vbCritical
        PutMaxCapacity = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        CapCar = PutMaxCapacity
    End If
End If

End Sub
Private Sub PutNumCustomer_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutNumCustomer

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutNumCustomer = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        NumCustomer = PutNumCustomer
    End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutNumCustomer = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutNumCustomer = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        NumCustomer = PutNumCustomer
    End If
End If
End Sub

Private Sub PutNumGeneration_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutNumGeneration
If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        NumGeneration = PutNumGeneration
    End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        NumGeneration = PutNumGeneration
    End If
End If
End Sub
Private Sub PutNumVehicle_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutNumVehicle

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutNumVehicle = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        NumVehicle = PutNumVehicle
    End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutNumVehicle = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutNumVehicle = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        NumVehicle = PutNumVehicle
    End If
End If
End Sub
Private Sub PutPercentCrossover_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutPercentCrossover
If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please Input the number", vbCritical
        PutPercentCrossover = Left(x, Len(x) - 1)
    End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutPercentCrossover = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutPercentCrossover = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        PercentCrossover = PutPercentCrossover
    End If
End If
End Sub
Private Sub PutPercentMutation_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutPercentMutation

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please Input The Number", vbCritical
        PutPercentMutation = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        PercentMutation = PutPercentMutation / 100
    End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutPercentMutation = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutPercentMutation = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        PercentMutation = PutPercentMutation
    End If
End If
End Sub

Private Sub PutPercentSelection_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutPercentSelection

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutPercentSelection = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        PercentSelection = PutPercentSelection
    End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutPercentSelection = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutPercentSelection = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        PercentSelection = PutPercentSelection
    End If
End If
End Sub

Private Sub PutPopulationSize_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutPopulationSize

If Len(x) > 0 Then
    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutPopulationSize = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        PopulationSize = PutPopulationSize
    End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutPopulationSize = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutPopulationSize = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        PopulationSize = PutPopulationSize
    End If
End If
End Sub
Private Sub PutTimeFinished_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutTimeFinished
If Len(x) > 0 Then

    If IsNumeric(x) = False Then
        MsgBox "Please input the number", vbCritical
        PutTimeFinished = Left(x, Len(x) - 1)
    Else
        FinishedUseCar = PutTimeFinished
    End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
   If x = 0 Then
      MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
      PutTimeFinished = Left(x, Len(x) - 1)
   ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
      MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
      PutTimeFinished = Left(x, Len(x) - Len(x))
   Else
      FinishedUseCar = PutTimeFinished
   End If
End If

End Sub

Private Sub PutTimeStart_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutTimeStart

If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
      MsgBox "Please input the number", vbCritical
      PutTimeStart = Left(x, Len(x) - 1)
   Else
      StartUseCar = PutTimeStart
   End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
   If x = 0 Then
      StartUseCar = PutTimeStart
   ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
      MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
      PutTimeStart = Left(x, Len(x) - Len(x))
   Else
      StartUseCar = PutTimeStart
   End If
End If

End Sub

Private Sub PutTimeUseCar_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutTimeUseCar
If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
   MsgBox "Please input the number", vbCritical
   PutTimeUseCar = Left(x, Len(x) - 1)
   End If
End If
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
    MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
    PutTimeUseCar = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
    MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
    PutTimeUseCar = Left(x, Len(x) - Len(x))
    End If
End If
End Sub
Private Sub ResetForm2_Click()
Dim x As Variant

MsgBox "Do you want to reset this data", vbOKCancel
Set x = PutNumVehicle
PutNumVehicle = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutMaxCapacity
PutMaxCapacity = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutNumCustomer
PutNumCustomer = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutPopulationSize
PutPopulationSize = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutNumGeneration
PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutPercentMutation
PutPercentMutation = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutPercentCrossover
PutPercentCrossover = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutTimeStart
PutTimeStart = Left(x, Len(x) - Len(x))
Set x = PutTimeFinished
PutTimeFinished = Left(x, Len(x) - Len(x))
End Sub
Private Sub SaveForm2_Click()

End Sub
Private Sub ShowEvalutionForm1_Click()

If PutNumVehicle.Value = "" Then
    MsgBox "Please input number of vehicle", vbOKOnly
ElseIf PutMaxCapacity.Value = "" Then
    MsgBox "Please input number of the maximum capacity of vehicle", vbOKOnly
ElseIf PutTimeStart.Value = "" Then
    MsgBox "Please input time start use car", vbOKOnly
ElseIf PutNumCustomer.Value = "" Then
    MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

```
ElseIf PutPopulationSize.Value = "" Then
   MsgBox "Please Input number of population size", vbOKOnly
ElseIf PutNumGeneration.Value = "" Then
   MsgBox "Please input number of generation", vbOKOnly
ElseIf PutPercentMutation.Value = "" Then
   MsgBox "Please input probability of mutation", vbOKOnly
ElseIf PutPercentCrossover.Value = "" Then
   MsgBox "Please input probability of crossover", vbOKOnly
Else
   กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
  Call Main
End If
End Sub
Private Sub ShowFinalAnswerForm1_Click()
If PutNumVehicle.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of vehicle", vbOKOnly
   ElseIf PutMaxCapacity.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of the maximum capacity of vehicle", vbOKOnly
   ElseIf PutTimeUseCar.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of the maximum time to use car", vbOKOnly
   ElseIf PutTimeStart.Value = "" Then
      MsgBox "Please input time start use car", vbOKOnly
   ElseIf PutTimeComeback.Value = "" Then
      MsgBox "Please input time finished use car", vbOKOnly
   ElseIf PutNumCustomer.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of customer", vbOKOnly
   ElseIf PutPopulationSize.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of population size", vbOKOnly
   ElseIf PutNumGeneration.Value = "" Then
      MsgBox "Please input number of generation", vbOKOnly
   ElseIf PutPercentSelection.Value = "" Then
      MsgBox "Please input probability of selection", vbOKOnly
   ElseIf PutPercentMutation.Value = "" Then
      MsgBox "Please input probability of mutation", vbOKOnly
   ElseIf PutPercentCrossover.Value = "" Then
      MsgBox "Please input probability of crossover", vbOKOnly
   Else
   Sheet5.Activate
   กำหนดค่าเริ่มต้น.Hide
   End If
End Sub

Private Sub UserForm_Click()

End Sub

Private Sub กำหนดค่าของปัญหา_Click()

                                          End Sub
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเริ่มต้น

3. หน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า

หลังจากกำหนดจำนวนลูกค้าแล้ว จะมีปุ่มนำมาสู่หน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า ซึ่งจะเป็นการบอกความต้องการสินค้าของลูกค้า ช่วงเวลารับสินค้า และเวลาการขนถ่ายสินค้า

```
Private Sub BackSetParameterPG1_Click()
Dim x As Integer
x = NumCustomer

For i = 1 To x
   If Range("d6").Offset(i, 0) = "" Then
   MsgBox "Please input demand data customer  " & i & " ", vbOKOnly
   End If
   If Len(Range("d6").Offset(i, 0)) > 0 Then
      If IsNumeric(Range("d6").Offset(i, 0)) = False Then
         MsgBox "Please input the number", vbCritical
         Range("d6").Offset(i, 0).ClearContents
      End If
   End If
Next i

For i = 1 To x
   If Range("e6").Offset(i, 0) = "" Then
      MsgBox "Please input early data customer  " & i & " ", vbOKOnly
   End If
   If Len(Range("e6").Offset(i, 0)) > 0 Then
      If IsNumeric(Range("e6").Offset(i, 0)) = False Then
         MsgBox "Please input the number", vbCritical
         Range("e6").Offset(i, 0).ClearContents
      End If
   End If
Next i

For i = 1 To x
   If Range("f6").Offset(i, 0) = "" Then
      MsgBox "Please input lately data customer  " & i & " ", vbOKOnly
   End If
   If Len(Range("f6").Offset(i, 0)) > 0 Then
      If IsNumeric(Range("f6").Offset(i, 0)) = False Then
         MsgBox "Please input the number", vbCritical
         Range("f6").Offset(i, 0).ClearContents
      End If
   End If
Next i
```

รูปที่ ข.3 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า

```
For i = 1 To x
   If Range("g6").Offset(i, 0) = "" Then
      MsgBox "Please input handling time data customer  " & i & " ", vbOKOnly
   End If
If Len(Range("g6").Offset(i, 0)) > 0 Then
      If IsNumeric(Range("g6").Offset(i, 0)) = False Then
         MsgBox "Please input the number", vbCritical
         Range("g6").Offset(i, 0).ClearContents
      End If
   End If
Next i
กำหนดค่าเริ่มต้น.Show
End Sub
Private Sub HelpPG1_Click()

End Sub

Private Sub ResetPG1_Click()
MsgBox "Do you want to reset this data", vbOKCancel
Sheet1.Range("d7:g2000").ClearContents
End Sub
```

รูปที่ ข.3 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดรายละเอียดของลูกค้า

4. หน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

หลังจากกำหนดจำนวนลูกค้าแล้ว จะมีปุ่มนำมาสู่หน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้า

```
Private Sub BackSetParameterPG2_Click()
Dim x As Integer
x = Sheet2.Range("k3")
Dim i As Integer
Dim j As Integer

For i = 0 To x
   For j = 0 To x
      If Range("d7").Offset(i, j) = "" Then
         MsgBox "Please input data on excel between customer " & i & " to " & j, vbOKOnly
      End If
      If Len(Range("d7").Offset(i, j)) > 0 Then
         If IsNumeric(Range("d7").Offset(i, j)) = False Then
            MsgBox "Please input the number", vbCritical
            Range("d7").Offset(i, j).ClearContents
         End If
      End If
```

รูปที่ ข.4 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

```
If Range("d7").Offset(i, i).Value <> 0 Then
        MsgBox "Don't change data on cell " & i & " to " & i, vbCritical
        Range("d7").Offset(i, i).ClearContents
    Else: Range("d7").Offset(i, i) = ""
        Range("d7").Offset(i, i) = 0
    End If
  Next j
Next i
กำหนดค่าเริ่มต้น.Show
End Sub

Private Sub HelpPG2_Click()

End Sub

Private Sub ResetPG2_Click()
MsgBox "Do you want to reset this data", vbOKCancel
Sheet2.Range("d7:ZZ5000").ClearContents
End Sub

Private Sub SavePG2_Click()

End Sub
```

รูปที่ ข.4 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

5. หน้าต่างในการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง

หลังจากกำหนดจำนวนลูกค้าแล้ว จะมีปุ่มนำมาสู่หน้าต่างการกำหนดเวลาในการเดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้า

```
Private Sub HelpPG4_Click()

End Sub

Private Sub NextPG4_Click()
  Sheet6.Activate
  Sheet6.Range("d6").Select
End Sub
```

รูปที่ ข.5 แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง

```
Private Sub BackSetParameterPG3_Click()
Dim x As Integer
x = Sheet3.Range("k2")
Dim i As Integer
Dim j As Integer

For i = 0 To x
    For j = 0 To x
        If Range("d7").Offset(i, j) = "" Then
            MsgBox "Please input data on excel between customer " & i & " to " & j, vbOKOnly
        End If
        If Len(Range("d7").Offset(i, j)) > 0 Then
            If IsNumeric(Range("d7").Offset(i, j)) = False Then
             MsgBox "Please input the number", vbCritical
             Range("d7").Offset(I, j).ClearContents
            End If
        End If
        If Range("d7").Offset(i, i).Value <> 0 Then
        MsgBox "Don't change data on cell " & i & " to " & i, vbCritical
        Range("d7").Offset(i, i).ClearContents
        Else: Range("d7").Offset(i, i) = ""
        Range("d7").Offset(i, i) = 0
        End If
        Next j
Next i

กำหนดค่าเริ่มต้น.Show
End Sub
Private Sub ResetPG4_Click()
MsgBox "Do you want to reset", vbOKCancel
Sheet3.Range("d7:ZZ2000").ClearContents
End Sub

Private Sub SavePG4_Click()

End Sub
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) แสดงคำสั่งของหน้าต่างการกำหนดค่าเวลาในการเดินทาง

6. หน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

หลังจากกำหนดข้อมูลแล้ว จะมีปุ่มสำหรับทำเริ่มคำนวณซึ่งจะนำมาสู่หน้าต่างแสดงผลการคำนวณที่จะบอกค่าคำตอบ และคำตอบที่ได้จากการคำนวณ

```
Private Sub BackSetParameterPG4_Click()
    กำหนดค่าเริ่มต้น.Show
End Sub

Private Sub ShowFinalAnswerPG4_Click()
    Sheet5.Activate
End Sub

Private Sub StartPG4_Click()

End Sub

Private Sub StopPG4_Click()

End Sub
```

รูปที่ ข.6 แสดงคำสั่งของหน้าต่างแสดงผลการคำนวณ

7. คำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Public BestTotalCost As Long
Public BestSolution() As Integer
Public z As Integer
Public NumCustomer As Integer
Public NumVehicle As Integer
Public CapCar As Integer
Public StartUseCar As Integer
Public FinishedUseCar As Integer
Public CurrentSolution() As Integer
Public CurrentTotalCost() As Long
Public CostTrip() As Integer
Public DurationTrip() As Integer
Public CustomerOpen() As Integer
Public CustomerClosed() As Integer
Public HandlingTime() As Single
Public Demand() As Integer
Public PreCheckPosition() As Integer
Const Penalty = 5000
Public PopulationSize As Integer
Public PercentCrossover As Integer
Public PercentMutation As Integer
Public NumGeneration As Integer
Public CrossoverSelection() As Integer
Public MutationSelection() As Integer
Public CrossoverProcess() As Integer
Public NumCrossover As Integer
Public NumMutation As Integer
```

รูปที่ ข.7 แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Public Sub Main()
Application.ScreenUpdating = False
Dim i As Integer
Dim NewCurrentEvalution() As Integer
ReDim NewCurrentEvalution(1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
ReDim CurrentSolution(1 To PopulationSize, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
ReDim CurrentTotalCost(1 To PopulationSize)
ReDim BestSolution(1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)

Sheet4.Range("e8").ClearContents
Sheet4.Range("e9:zz2000").Clear
Sheet4.Range("f7:zz2000").Clear
Sheet4.Activate
If PopulationSize Mod 2 <> 0 Then
   NumCrossover = PopulationSize + 1
End If

Call GetData
Call CreateFormSolution
Call InitialSolution
Call SelectCrossover
Call SelectMutation
z = PopulationSize + 1
Call CrossoverModel_2
Call Swap_Mutation
Call RouletteWheel_Process

If NumGeneration <> 1 Then
   For k = 2 To NumGeneration
      z = 0
      For j = 1 To PopulationSize
         For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            NewCurrentEvalution(i) = CurrentSolution(j, i)
         Next i
         CurrentTotalCost(j) = EvaluationSumCost(NewCurrentEvalution())
         TotalPenalty = EvaluationCheckCap(NewCurrentEvalution())
         CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
         TotalPenalty = EvaluationTimeWindows(NewCurrentEvalution())
         CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
      Next j
      z = PopulationSize + 1
      Call CrossoverModel_2
      Call Swap_Mutation
      Call RouletteWheel_Process
   Next k
End If
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub GetData()
Application.ScreenUpdating = False
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
ReDim Demand(1 To NumCustomer)
ReDim CostTrip(0 To NumCustomer, 0 To NumCustomer)
ReDim CustomerOpen(1 To NumCustomer)
ReDim CustomerClosed(1 To NumCustomer)
ReDim HandlingTime(1 To NumCustomer)
ReDim DurationTrip(0 To NumCustomer, 0 To NumCustomer)

For i = 1 To NumCustomer
   Demand(i) = Sheet1.Range("d6").Offset(i, 0).Value
Next i

For j = 0 To NumCustomer
   For i = 0 To NumCustomer
      CostTrip(j, I) = Sheet2.Range("d7").Offset(j, i).Value
   Next i
Next j

For i = 1 To NumCustomer
   CustomerOpen(i) = Sheet1.Range("e6").Offset(i, 0).Value
Next i

For i = 1 To NumCustomer
   CustomerClosed(i) = Sheet1.Range("f6").Offset(i, 0).Value
Next i

For i = 1 To NumCustomer
   HandlingTime(i) = Sheet1.Range("g6").Offset(i, 0).Value
Next i

For j = 0 To NumCustomer
   For i = 0 To NumCustomer
   DurationTrip(j, i) = Sheet3.Range("d7").Offset(j, i).Value
   Next i
Next j
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub CreateFormSolution()
Application.ScreenUpdating = False
For i = 1 To PopulationSize
   Sheet4.Range("e9").Offset(i, 0).Interior.Color = RGB(255, 0, 0)
   Sheet4.Range("e9").Offset(i, 0).Select
   Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
   Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
   With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
      .LineStyle = xlContinuous
      .Weight = xlThin
      .ColorIndex = xlAutomatic
   End With
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With

  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
Next i

For i = 1 To PopulationSize
    For j = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        Range("f9").Offset(i, j).Interior.Color = RGB(100, 220, 80)
        Range("f9").Offset(i, j).Select
        Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
        Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
        With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeTop)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        With Selection.Borders(xlEdgeRight)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideVertical)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
    Next j
Next i
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub InitialSolution()
Application.ScreenUpdating = False
Dim CurrentEvalution() As Integer
Dim Temp(1, 1) As Integer
Dim Random As Integer
Dim TotalPenalty As Long
ReDim CurrentEvalution(1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)

For j = 1 To PopulationSize
    For i = 1 To NumCustomer
        CurrentSolution(j, i) = i
    Next i
Next j

For j = 1 To PopulationSize
    For i = NumCustomer + NumVehicle - 1 To 2 Step -1
        Random = Int(Rnd() * i) + 1
        Temp(1, 1) = CurrentSolution(j, Random)
        CurrentSolution(j, Random) = CurrentSolution(j, i)
        CurrentSolution(j, i) = Temp(1, 1)
    Next i
Next j

For j = 1 To PopulationSize
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    Sheet4.Range("f9").Offset(j, i) = CurrentSolution(j, i)
    Sheet1.Range("m8").Offset(j, i) = CurrentSolution(j, i)
    Next i
Next j
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For j = 1 To PopulationSize
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        CurrentEvalution(i) = CurrentSolution(j, i)
    Next i
    CurrentTotalCost(j) = EvaluationSumCost(CurrentEvalution())
    TotalPenalty = EvaluationCheckCap(CurrentEvalution())
    CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
    TotalPenalty = EvaluationTimeWindows(CurrentEvalution())
    CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
    Sheet4.Range("e9").Offset(j, 0) = CurrentTotalCost(j)
Next j
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Function EvaluationSumCost(Solution() As Integer) As Long
Application.ScreenUpdating = False
Dim TotalCost As Long
Dim i As Integer

For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    If i = 1 Then
    TotalCost = TotalCost + CostTrip(0, Solution(i))
    Else
    TotalCost = TotalCost + CostTrip(Solution(i - 1), Solution(i))
    End If
Next i
TotalCost = TotalCost + CostTrip(Solution(i - 1), 0)
EvaluationSumCost = TotalCost
TotalCost = 0
Application.ScreenUpdating = True
End Function
Public Function EvaluationCheckCap(Solution() As Integer) As Long
Application.ScreenUpdating = False
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim TotalCap As Integer
Dim TotalCost As Long
Dim CurrentPosition() As Integer
ReDim PreCheckPosition(1 To NumVehicle)
ReDim CurrentPosition(1 To NumVehicle)

a = 1
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    If Solution(i) <> 0 Then
        PreCheckPosition(a) = PreCheckPosition(a) + 1
    Else
        a = a + 1
    End If
Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
a = 1
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    If Solution(i) <> 0 Then
        CurrentPosition(a) = CurrentPosition(a) + 1
        TotalCap = TotalCap + Demand(Solution(i))
    Else:
        a = a + 1
        TotalCap = 0
    End If
    Select Case TotalCap
    Case Is > CapCar
      TotalCost = TotalCost + Penalty
       b = PreCheckPosition(a) - CurrentPosition(a)
       i = i + b + 1
        If a = NumVehicle Then
          i = NumCustomer + NumVehicle - 1
       Else
          a = a + 1
       End If
      TotalCap = 0
    Case Is = CapCar
       If PreCheckPosition(a) <> CurrentPosition(a) Then
          TotalCost = TotalCost + Penalty
          b = PreCheckPosition(a) - CurrentPosition(a)
          i = i + b + 1
       Else
        i = i + 1
       End If
       If a = NumVehicle Then
          i = NumCustomer + NumVehicle - 1
       Else
          a = a + 1
       End If
       TotalCap = 0
    End Select
Next i
TotalCap = 0
EvaluationCheckCap = TotalCost
TotalCost = 0
a = 1
Application.ScreenUpdating = True
End Function
Public Function EvaluationTimeWindows(Solution() As Integer) As Long
Application.ScreenUpdating = False
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim i As Integer
Dim Runtime As Single
Dim TotalCost As Long
Dim CurrentPosition() As Integer
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
ReDim CurrentPosition(1 To NumVehicle)
a = 1
Runtime = StartUseCar
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
   If i = 1 Then
      If Solution(i) <> 0 Then
         CurrentPosition(a) = CurrentPosition(a) + 1
         Runtime = Runtime + DurationTrip(0, Solution(i))
         If Runtime > CustomerClosed(Solution(i)) Then
            TotalCost = TotalCost + Penalty
            b = PreCheckPosition(a) - CurrentPosition(a)
            i = i + b + 1
         ElseIf Runtime < CustomerOpen(Solution(i)) Then
            WaitTime = CustomerOpen(Solution(i)) - Runtime
            Runtime = Runtime + WaitTime + HandlingTime(Solution(i))
            WaitTime = 0
         Else
            Runtime = Runtime + HandlingTime(Solution(i))
         End If
      Else
         a = a + 1
      End If
   Else
      If Solution(i) <> 0 Then
         CurrentPosition(a) = CurrentPosition(a) + 1
         Runtime = Runtime + DurationTrip(Solution(i - 1), Solution(i))
         If Runtime > CustomerClosed(Solution(i)) Then
            TotalCost = TotalCost + Penalty
            b = PreCheckPosition(a) - CurrentPosition(a)
            i = i + b + 1
            If a = NumVehicle Then
               i = NumCustomer + NumVehicle - 1
            Else
               a = a + 1
            End If
ElseIf Runtime < CustomerOpen(Solution(i)) Then
            WaitTime = CustomerOpen(Solution(i)) - Runtime
            Runtime = Runtime + WaitTime + HandlingTime(Solution(i))
            WaitTime = 0
         Else
            Runtime = Runtime + HandlingTime(Solution(i))
         End If
      Else
         a = a + 1
      End If
   End If
Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
EvaluationTimeWindows = TotalCost
TotalCost = 0
Runtime = 0
WaitTime = 0
a = 1
Application.ScreenUpdating = True
End Function
Public Sub SelectCrossover()
Application.ScreenUpdating = False
Dim j As Integer
Dim Random As Single
Dim NumCrossover As Integer
ReDim CrossoverSelection(1 To PopulationSize, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)

j = 1
NumCrossover = 0
Do Until NumCrossover = PopulationSize
    Random = Rnd() * 100
    If Random < PercentCrossover Then
        For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CrossoverSelection(NumCrossover + 1, i) = CurrentSolution(j, i)
        Next i
        NumCrossover = NumCrossover + 1
    End If
    j = j + 1
    If j = PopulationSize + 1 Then
        j = 1
    End If
Loop
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub SelectMutation()
Application.ScreenUpdating = False
Dim Random As Single
Dim Temp() As Integer
ReDim Temp(1 To PopulationSize, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)

NumMutation = 0
For j = 1 To PopulationSize
    Random = Rnd() * 100
    If Random < PercentMutation Then
        For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            Temp(NumMutation + 1, i) = CurrentSolution(j, i)
        Next i
        NumMutation = NumMutation + 1
    End If
Next j
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
If NumMutation <> 0 Then
   ReDim MutationSelection(1 To NumMutation, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
   For j = 1 To NumMutation
      For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
         MutationSelection(j, i) = Temp(j, i)
      Next i
   Next j
End If
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub CrossoverModel_2()
Application.ScreenUpdating = False
Dim x As Integer
Dim j As Integer
ReDim CrossoverProcess(1 To 2, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
j = 1
x = 1
 If PopulationSize Mod 2 = 0 Then
   Do Until j = PopulationSize + 1
      For j = j To j + 1
         For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CrossoverProcess(x, i) = CrossoverSelection(j, i)
         Next i
      x = x + 1
      Next j
      Call SubSchedule_Crossover
      x = 1
   Loop
Else
   Do Until j = PopulationSize + 1
      For j = j To j + 1
         For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CrossoverProcess(x, i) = CrossoverSelection(j, i)
         Next i
         x = x + 1
      Next j
      Call SubSchedule_Crossover
      If j = PopulationSize Then
         For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CrossoverProcess(1, i) = CrossoverSelection(j, i)
         Next i
         For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CrossoverProcess(2, i) = CrossoverSelection(1, i)
         Next i
         Call SubSchedule_Crossover
         j = PopulationSize + 1
      End If
      x = 1
   Loop
End If
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub SubSchedule_Crossover()
Application.ScreenUpdating = False
Dim x As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim c As Integer
Dim d As Integer
Dim CountCarNoUse
Dim Temp() As Integer
Dim PositionZero() As Integer
Dim FirstCustomer() As Integer
Dim CountCustomer() As Integer
Dim ChildChromosome() As Integer
Dim DummyCrossoverProcess() As Integer
ReDim PositionZero(1 To 2, 1 To NumVehicle)
ReDim CountCustomer(1 To 2, 1 To NumVehicle)
ReDim ChildChromosome(1 To 2, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
ReDim FirstCustomer(1 To 2, 1 To NumVehicle)
ReDim DummyCrossoverProcess(1 To 2, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)

For j = 1 To 2
   For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
      DummyCrossoverProcess(j, i) = CrossoverProcess(j, i)
   Next i
Next j

a = 1
For j = 1 To 2
   For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
      If CrossoverProcess(j, i) <> 0 Then
         CountCustomer(j, a) = CountCustomer(j, a) + 1
         If CountCustomer(j, a) = 1 Then
            FirstCustomer(j, a) = i
         End If
      Else
         PositionZero(j, a) = i
         a = a + 1
      End If
   Next i
a = 1
Next j
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
b = 1 + ((NumVehicle - 1) * Rnd())
c = CountCustomer(1, b)
d = FirstCustomer(1, b)
If c = 0 Then
    Do Until c <> 0
        b = 1 + ((NumVehicle - 1) * Rnd())
        c = CountCustomer(1, b)
        d = FirstCustomer(1, b)
    Loop
ElseIf c = 1 Then
    ChildChromosome(1, d) = DummyCrossoverProcess(1, d)
End If

x = 1
ReDim Temp(1 To 2, 1 To c)
For i = d To d + c - 1
    ChildChromosome(1, i) = DummyCrossoverProcess(1, i)
    Temp(1, x) = DummyCrossoverProcess(1, I)
    x = x + 1
Next i

a = 1
CountCarNoUse = 0
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    If i = PositionZero(1, a) Then
        a = a + 1
        If a = NumVehicle Then
            For k = 1 To NumVehicle
                If CountCustomer(1, k) = 0 Then
                    CountCarNoUse = CountCarNoUse + 1
                    If CountCarNoUse = NumVehicle - 1 Then
                        i = NumCustomer + NumVehicle - 1
                    End If
                End If
            Next k
        End If
    ElseIf i = d Then
        If a <> NumVehicle Then
            i = i + c - 1
        Else
            i = NumCustomer + NumVehicle - 1
        End If
    Else
        If a = NumVehicle Then
            If b = PositionZero(1, NumVehicle) Then
                i = NumCustomer + NumVehicle - 1
            End If
        End If
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        j = 1
        For x = 1 To c
            If j = NumCustomer + NumVehicle - 1 Then
                If DummyCrossoverProcess(2, j) = 0 Then
                    j = j
                End If
            ElseIf DummyCrossoverProcess(2, j) = 0 Then
                x = 0
                j = j + 1
            ElseIf Temp(1, x) = DummyCrossoverProcess(2, j) Then
                DummyCrossoverProcess(2, j) = 0
                j = j + 1
                x = 0
            End If
        Next x
        ChildChromosome(1, i) = DummyCrossoverProcess(2, j)
        DummyCrossoverProcess(2, j) = 0
    End If
Next i

For j = 1 To 2
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        DummyCrossoverProcess(j, i) = CrossoverProcess(j, i)
    Next i
Next j

b = 1 + ((NumVehicle - 1) * Rnd())
c = CountCustomer(2, b)
d = FirstCustomer(2, b)
If c = 0 Then
    Do Until c <> 0
        b = 1 + ((NumVehicle - 1) * Rnd())
        c = CountCustomer(2, b)
        d = FirstCustomer(2, b)
    Loop
ElseIf c = 1 Then
    ChildChromosome(2, d) = DummyCrossoverProcess(2, d)
End If

x = 1
ReDim Temp(1 To 2, 1 To c)
For i = d To d + c - 1
    ChildChromosome(2, i) = DummyCrossoverProcess(2, i)
    Temp(2, x) = DummyCrossoverProcess(2, i)
    x = x + 1
Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
a = 1
CountCarNoUse = 0
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
   If i = PositionZero(2, a) Then
      a = a + 1
      If a = NumVehicle Then
         For k = 1 To NumVehicle
            If CountCustomer(2, k) = 0 Then
               CountCarNoUse = CountCarNoUse + 1
               If CountCarNoUse = NumVehicle - 1 Then
                  i = NumCustomer + NumVehicle - 1
               End If
            End If
         Next k
      End If
   ElseIf i = d Then
      If a <> NumVehicle Then
         i = i + c - 1
      Else
         i = NumCustomer + NumVehicle - 1
      End If
   Else
      If a = NumVehicle Then
         If b = PositionZero(2, NumVehicle) Then
            i = NumCustomer + NumVehicle - 1
         End If
      End If
      j = 1
      For x = 1 To c
         If j = NumCustomer + NumVehicle - 1 Then
            If DummyCrossoverProcess(1, j) = 0 Then
               j = j
            End If
         ElseIf DummyCrossoverProcess(1, j) = 0 Then
            x = 0
            j = j + 1
         ElseIf Temp(2, x) = DummyCrossoverProcess(1, j) Then
            DummyCrossoverProcess(1, j) = 0
            j = j + 1
            x = 0
         End If
      Next x
      ChildChromosome(2, i) = DummyCrossoverProcess(1, j)
      DummyCrossoverProcess(1, j) = 0
   End If
Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For j = 1 To 2
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        Sheet1.Range("m8").Offset(z, i) = ChildChromosome(j, i)
     Next i
z = z + 1
Next j
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub Swap_Mutation()
Application.ScreenUpdating = False
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim Temp() As Integer
Dim Temp2 As Integer
Dim Random As Single
Dim NumSwap As Integer
Dim CurrentEvalution() As Integer
Dim PositionZero() As Integer
Dim ChildChromosome() As Integer
ReDim CurrentEvalution(1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
ReDim Temp(1 To 2)

If NumMutation = 0 Then
    Exit Sub
Else
    ReDim PositionZero(1 To NumMutation, 1 To NumVehicle)
    ReDim ChildChromosome(1 To NumMutation, 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
End If

a = 1
For j = 1 To NumMutation
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        If MutationSelection(j, i) = 0 Then
            PositionZero(j, a) = i
            a = a + 1
        End If
    Next i
a = 1
Next j

b = 1 + ((NumVehicle - 2) * Rnd())  'ÊØèÁµÓáË¹è§ÈÙ¹Âì
NumSwap = 1 + Int(0.05 * (NumCustomer + NumVehicle - 1))
Random = 1 + Int((NumCustomer + NumVehicle - 2) * Rnd())
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Do Until k = NumSwap
For j = 1 To NumMutation
      Temp(1) = PositionZero(j, b)
      Do Until MutationSelection(j, Temp(1)) <> MutationSelection(j, Random)
         Random = 1 + Int((NumCustomer + NumVehicle - 2) * Rnd())
      Loop
      Temp(2) = Random
      Temp2 = MutationSelection(j, Temp(2))
      MutationSelection(j, Temp(2)) = MutationSelection(j, Temp(1))
      MutationSelection(j, Temp(1)) = Temp2
      For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
         ChildChromosome(j, i) = MutationSelection(j, i)
      Next i
Next j
k = k + 1
Loop

For j = 1 To NumMutation
   For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
      Sheet1.Range("m8").Offset(z, i) = ChildChromosome(j, i)
   Next i
z = z + 1
Next j
Application.ScreenUpdating = True
End Sub

Public Sub RouletteWheel_Process()
Application.ScreenUpdating = False
Dim Random As Single
Dim x As Integer    º¹¡µÓáË¹è§á¶ÇÇÍ§âcÃâÁâ«ÁÃØè¹ÅÙ¡·ÕèàÇéÓÃÙàÅçµÇÕÅ
Dim TotalPercent As Single
Dim RouletteWheel() As Integer
Dim RouletteWheelCost() As Long
Dim FalsePercentSelect() As Single
Dim PercentSelect() As Single
Dim CurrentEvalution() As Integer
Dim PercentCumulative() As Single
ReDim CurrentEvalution(1 To NumCustomer + NumVehicle - 1)
ReDim RouletteWheelCost(1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation)
ReDim RouletteWheel(1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation, 1 To NumCustomer + NumVehicle -
1)
ReDim FalsePercentSelect(1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation)
ReDim PercentSelect(1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation)
ReDim PercentCumulative(1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For j = 1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        RouletteWheel(j, i) = Sheet1.Range("m8").Offset(j, i).Value
    Next i
Next j

Sheet1.Range("j7:zz2000").ClearContents
For j = 1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        CurrentEvalution(i) = RouletteWheel(j, i)
    Next i
    RouletteWheelCost(j) = EvaluationSumCost(CurrentEvalution())
    TotalPenalty = EvaluationCheckCap(CurrentEvalution())
    RouletteWheelCost(j) = RouletteWheelCost(j) + TotalPenalty
    TotalPenalty = EvaluationTimeWindows(CurrentEvalution())
    RouletteWheelCost(j) = RouletteWheelCost(j) + TotalPenalty
Next j

For j = 1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation
    FalsePercentSelect(j) = 1 / RouletteWheelCost(j)
    TotalPercent = TotalPercent + FalsePercentSelect(j)
Next j

For j = 1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation
    PercentSelect(j) = FalsePercentSelect(j) / TotalPercent
Next j

For j = 1 To PopulationSize + NumCrossover + NumMutation
    If j = 1 Then
        PercentCumulative(j) = PercentSelect(j)
    Else
        PercentCumulative(j) = PercentCumulative(j - 1) + PercentSelect(j)
    End If
Next j
j = 1
Do Until x = PopulationSize
    Random = Rnd()
    If Random < PercentCumulative(j) Then
        For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            CurrentSolution(x + 1, i) = RouletteWheel(j, i)
        Next i
        If x <> PopulationSize Then
            x = x + 1
        End If
        j = 1
    Else
        j = j + 1
    End If
Loop
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For j = 1 To PopulationSize
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
        CurrentEvalution(i) = CurrentSolution(j, i)
    Next i
    CurrentTotalCost(j) = EvaluationSumCost(CurrentEvalution())
    TotalPenalty = EvaluationCheckCap(CurrentEvalution())
    CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
    TotalPenalty = EvaluationTimeWindows(CurrentEvalution())
    CurrentTotalCost(j) = CurrentTotalCost(j) + TotalPenalty
Next j

For j = 1 To PopulationSize
    For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    Sheet4.Range("e9").Offset(j) = CurrentTotalCost(j)
    Sheet4.Range("f9").Offset(j, i) = CurrentSolution(j, i)
    Sheet1.Range("m8").Offset(j, i) = CurrentSolution(j, i)
    Next i
Next j

BestTotalCost = CurrentTotalCost(1)
Sheet4.Range("e8") = CurrentTotalCost(1)
For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
    Sheet4.Range("f8").Offset(0, i) = CurrentSolution(1, i)
    Sheet4.Range("f8").Offset(0, i).Interior.Color = RGB(255, 255, 0)
    Sheet4.Range("e8").Interior.Color = RGB(255, 255, 0)
    Sheet4.Range("f8").Offset(0, i).Select
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
Next i

For j = 1 To PopulationSize
    If CurrentTotalCost(j) < BestTotalCost Then
        Sheet4.Range("e8") = CurrentTotalCost(j)
        BestTotalCost = CurrentTotalCost(j)
        For i = 1 To NumCustomer + NumVehicle - 1
            Sheet4.Range("f8").Offset(0, i) = CurrentSolution(j, i)
            Sheet4.Range("f8").Offset(0, i).Interior.Color = RGB(255, 255, 0)
            Sheet4.Range("e8").Interior.Color = RGB(255, 255, 0)
            Sheet4.Range("f8").Offset(0, i).Select
            Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
            Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
            With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
            End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
            End With
            With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
            End With
            With Selection.Borders(xlEdgeRight)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
            End With
            With Selection.Borders(xlInsideVertical)
                .LineStyle = xlContinuous
                .Weight = xlThin
                .ColorIndex = xlAutomatic
            End With
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
            .LineStyle = xlContinuous
            .Weight = xlThin
            .ColorIndex = xlAutomatic
        End With
    Next i
  End If
Next j
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

ภาคผนวก ค
โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

1. โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 1

กำหนดให้มีลูกค้า 10 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ดังตาราง

ตารางที่ ค.1 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า(ตัน)
1	6
2	5
3	4
4	5
5	6
6	5
7	3
8	5
9	4
10	5

ตารางที่ ค.2 แสดงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	เวลาเริ่ม (น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
1	8.00	24.00	0.60
2	7.00	18.00	0.50
3	9.00	24.00	0.40
4	13.00	18.00	0.50
5	6.00	24.00	0.60
6	9.00	24.00	0.50
7	18.00	24.00	0.30
8	6.00	12.00	0.50
9	7.00	24.00	0.40
10	13.00	24.00	0.50

ตารางที่ ค.3 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	1	1	3	4	3	5	1	1	4
1	3	0	1	4	5	3	1	4	3	3	3
2	2	2	0	3	1	5	1	3	2	5	4
3	2	4	2	0	1	2	4	2	2	3	2
4	2	1	3	2	0	3	4	5	2	3	1
5	4	3	5	1	5	0	2	1	3	2	5
6	1	1	2	3	5	3	0	5	5	4	4
7	5	2	3	3	4	1	3	0	5	3	3
8	3	2	4	3	4	5	2	2	0	1	3
9	2	3	2	5	3	1	4	4	4	0	1
10	5	2	5	1	1	4	2	3	1	1	0

ตารางที่ ค.4 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118
1	266	0	416	249	485	449	122	480	245	310	407
2	121	337	0	219	349	359	205	212	432	430	336
3	495	465	190	0	492	197	314	142	500	371	106
4	330	140	141	420	0	118	218	253	220	480	492
5	260	211	164	165	359	0	265	385	230	353	183
6	174	333	132	283	463	204	0	251	216	468	353
7	351	271	139	324	378	466	434	0	317	467	272
8	371	301	306	285	241	262	208	122	0	492	124
9	256	246	296	162	290	203	352	317	162	0	362
10	302	256	143	414	284	402	339	433	107	184	0

2. โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 2

กำหนดให้มีลูกค้า 10 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ดังตาราง

ตารางที่ ค.5 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)
1	5
2	6
3	5
4	4
5	6
6	3
7	5
8	5
9	5
10	4

ตารางที่ ค.6 แสดงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	เวลาเริ่ม(น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
1	6.00	11.00	0.50
2	7.00	12.00	0.60
3	9.00	14.00	0.50
4	13.00	18.00	0.40
5	8.00	13.00	0.60
6	16.00	21.00	0.30
7	18.00	23.00	0.50
8	13.00	18.00	0.50
9	7.00	12.00	0.50
10	18.00	23.00	0.40

ตารางที่ ค.7 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	1	1	3	4	3	5	1	1	4
1	3	0	1	4	5	3	1	4	3	3	3
2	2	2	0	3	1	5	1	3	2	5	4
3	2	4	2	0	1	2	4	2	2	3	2
4	2	1	3	2	0	3	4	5	2	3	1
5	4	3	5	1	5	0	2	1	3	2	5
6	1	1	2	3	5	3	0	5	5	4	4
7	5	2	3	3	4	1	3	0	5	3	3
8	3	2	4	3	4	5	2	2	0	1	3
9	2	3	2	5	3	1	4	4	4	0	1
10	5	2	5	1	1	4	2	3	1	1	0

ตารางที่ ค.8 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118
1	266	0	416	249	485	449	122	480	245	310	407
2	121	337	0	219	349	359	205	212	432	430	336
3	495	465	190	0	492	197	314	142	500	371	106
4	330	140	141	420	0	118	218	253	220	480	492
5	260	211	164	165	359	0	265	385	230	353	183
6	174	333	132	283	463	204	0	251	216	468	353
7	351	271	139	324	378	466	434	0	317	467	272
8	371	301	306	285	241	262	208	122	0	492	124
9	256	246	296	162	290	203	352	317	162	0	362
10	302	256	143	414	284	402	339	433	107	184	0

ตารางที่ ค.9 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	2	1	1	3	4	3	5	1	1	4
1	3	0	1	4	5	3	1	4	3	3	3
2	2	2	0	3	1	5	1	3	2	5	4
3	2	4	2	0	1	2	4	2	2	3	2
4	2	1	3	2	0	3	4	5	2	3	1
5	4	3	5	1	5	0	2	1	3	2	5
6	1	1	2	3	5	3	0	5	5	4	4
7	5	2	3	3	4	1	3	0	5	3	3
8	3	2	4	3	4	5	2	2	0	1	3
9	2	3	2	5	3	1	4	4	4	0	1
10	5	2	5	1	1	4	2	3	1	1	0

ตารางที่ ค.10 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

I/j	0	1	2	3	4	5	6	7	**8**	**9**	**10**
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118
1	266	0	416	249	485	449	122	480	245	310	407
2	121	337	0	219	349	359	205	212	432	430	336
3	495	465	190	0	492	197	314	142	500	371	106
4	330	140	141	420	0	118	218	253	220	480	492
5	260	211	164	165	359	0	265	385	230	353	183
6	174	333	132	283	463	204	0	251	216	468	353
7	351	271	139	324	378	466	434	0	317	467	272
8	371	301	306	285	241	262	208	122	0	492	124
9	256	246	296	162	290	203	352	317	162	0	362
10	302	256	143	414	284	402	339	433	107	184	0

3. โจทย์ปัญหาขนาดกลาง ปัญหาที่ 3

กำหนดให้มีลูกค้า 20 ราย มีจำนวนรถ 6 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ระลาย ดังตาราง

ตารางที่ ค.11 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)	เวลาเริ่ม (น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
1	4	6.00	24.00	0.40
2	6	6.00	24.00	0.60
3	5	7.00	18.00	0.50
4	5	7.00	18.00	0.50
5	4	8.00	24.00	0.40
6	3	8.00	18.00	0.30
7	6	9.00	24.00	0.60
8	5	9.00	18.00	0.50
9	6	6.00	12.00	0.60
10	4	6.00	18.00	0.40
11	5	7.00	18.00	0.50
12	6	7.00	18.00	0.60
13	5	13.00	24.00	0.50
14	5	8.00	24.00	0.50
15	6	6.00	24.00	0.60
16	3	7.00	18.00	0.30
17	5	6.00	18.00	0.50
18	6	6.00	13.00	0.60
19	5	6.00	18.00	0.50
20	6	13.00	24.00	0.60

ตารางที่ ค.12 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	3	2	3	3	3	1	3	2	5	5	5	5	3	5	5	2	1	4	1	2
1	4	0	1	2	2	3	2	2	5	2	2	3	5	3	4	4	3	5	4	3	2
2	3	4	0	5	2	4	5	2	2	1	2	5	4	3	4	2	3	4	5	1	3
3	3	1	3	0	3	3	5	5	3	3	4	1	1	2	1	1	3	3	3	4	1
4	3	1	2	4	0	3	2	5	4	3	3	4	1	1	2	4	5	2	4	4	1
5	4	3	2	4	5	0	4	1	4	5	1	5	1	2	3	5	1	1	3	2	3
6	3	4	3	2	1	3	0	4	3	4	5	3	4	4	4	4	1	4	1	2	5
7	5	2	1	2	5	2	2	0	4	4	4	2	5	4	5	2	2	3	2	2	3
8	4	1	1	4	5	4	3	1	0	5	4	2	3	3	4	1	4	5	2	1	3
9	4	2	3	4	3	4	3	1	2	0	5	2	4	2	5	2	4	1	2	1	3
10	3	3	1	2	1	2	4	4	5	5	0	4	1	5	2	4	3	4	4	4	4
11	2	3	3	3	2	3	2	5	3	3	3	0	2	1	4	1	1	2	1	4	4
12	3	3	2	4	2	1	5	1	3	4	4	5	0	3	5	5	3	3	2	2	5
13	3	3	4	1	4	2	1	2	5	2	4	2	2	0	2	2	3	4	2	4	3
14	4	1	1	1	2	2	3	2	5	5	3	2	1	2	0	4	5	2	2	5	1
15	3	4	4	4	5	1	2	5	2	4	2	5	3	5	2	0	5	2	5	5	5

ตารางที่ ค.12 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16	3	4	3	1	4	4	5	2	1	3	1	2	3	2	5	1	0	4	3	1	4
17	2	5	2	2	2	2	2	3	4	2	3	3	5	5	2	5	4	0	4	3	3
18	1	5	1	3	4	1	4	4	4	3	1	3	3	1	3	1	1	2	0	4	2
19	3	3	1	3	3	5	2	1	3	2	3	2	2	1	4	2	3	5	3	0	2
20	1	1	1	1	4	2	1	1	4	5	3	5	5	3	1	4	2	2	4	3	0

ตารางที่ ค.13 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118	266	445	416	249	485	449	122	480	245	310
1	407	0	337	287	219	349	359	205	212	432	430	336	495	465	190	378	492	197	314	142	500
2	371	106	0	140	141	420	214	118	218	253	220	480	492	260	211	164	165	359	264	265	385
3	230	353	183	0	333	132	283	463	204	414	251	216	468	353	351	271	139	324	378	466	434
4	109	317	467	272	0	301	306	285	241	262	208	122	197	492	124	256	246	296	162	290	203
5	352	317	162	476	362	0	256	143	414	284	402	339	433	107	184	129	142	233	151	100	315
6	363	318	431	132	176	372	0	243	160	382	472	312	135	403	261	285	297	183	232	138	336
7	168	471	139	277	209	449	401	0	370	202	136	112	229	416	219	194	292	202	236	118	293
8	182	446	336	402	472	232	317	132	0	264	485	145	470	348	239	159	292	187	498	152	111

ตารางที่ ค.13 (ต่อ) แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
9	238	319	470	315	262	439	431	369	389	0	236	298	265	378	171	269	317	426	316	271	304
10	191	348	296	373	455	248	221	217	160	312	0	334	245	451	291	176	374	399	346	413	164
11	423	181	483	126	124	418	252	285	147	146	169	0	386	313	324	186	287	399	401	259	462
12	399	135	354	385	106	272	261	210	495	421	379	267	0	211	242	273	478	148	359	239	141
13	174	131	273	484	317	298	490	187	251	258	212	301	155	0	487	323	464	363	276	377	125
14	403	380	299	162	189	230	414	120	307	403	421	230	490	422	0	462	451	267	149	482	419
15	379	261	106	167	165	304	262	142	210	357	440	299	175	459	249	0	409	187	279	194	452
16	344	250	256	445	334	473	307	232	448	203	204	171	239	101	397	437	0	381	262	425	397
17	275	131	264	236	384	225	420	160	337	483	197	476	145	494	353	340	461	0	198	444	130
18	275	404	198	251	259	311	208	333	184	131	459	144	361	461	192	480	439	276	0	408	434
19	253	178	230	265	161	348	139	182	377	302	173	497	289	101	270	215	401	457	429	0	143
20	104	160	251	175	492	449	333	392	158	203	111	431	414	417	233	280	322	422	326	181	0

4. โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 4

กำหนดให้มีลูกค้า 20 ราย มีจำนวนรถ 6 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ระลาย ดังตาราง

ตารางที่ ค.14 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)	เวลาเริ่ม (น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	**เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)**
1	7	6.00	12.00	0.70
2	3	6.00	12.00	0.30
3	5	7.00	13.00	0.50
4	6	7.00	14.00	0.60
5	4	8.00	15.00	0.40
6	3	8.00	15.00	0.30
7	6	9.00	15.00	0.60
8	7	9.00	15.00	0.70
9	4	10.00	15.00	0.40
10	2	13.00	18.00	0.20
11	5	13.00	18.00	0.50
12	7	8.00	15.00	0.70
13	5	15.00	20.00	0.50
14	5	6.00	12.00	0.50
15	5	6.00	13.00	0.50
16	4	7.00	15.00	0.40
17	7	8.00	13.00	0.70
18	6	6.00	12.00	0.60
19	5	6.00	12.00	0.50
20	4	13.00	18.00	0.40

ตารางที่ ค.15 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	5	1	3	4	3	4	1	2	1	4	5	2	2	5	1	3	2	2	5	3
1	3	0	5	1	4	4	2	5	3	4	2	2	4	3	3	4	4	1	1	1	1
2	3	5	0	2	5	3	2	5	1	1	5	5	5	5	2	4	4	5	3	1	5
3	1	2	4	0	3	5	3	5	4	3	4	3	3	1	1	2	3	2	4	1	3
4	1	5	2	1	0	4	2	4	5	5	2	3	5	5	3	5	3	3	5	4	5
5	1	4	4	5	5	0	4	3	4	3	1	2	3	5	5	2	5	3	5	3	4
6	2	1	5	3	5	5	0	5	1	5	2	2	1	5	5	2	3	2	2	2	1
7	4	3	5	1	2	4	3	0	5	2	5	2	4	5	4	2	3	4	3	1	5
8	1	1	2	3	3	5	1	5	0	1	4	1	1	4	2	5	2	2	3	4	4
9	1	5	2	2	1	5	3	3	5	0	3	1	5	3	3	2	1	4	2	2	2
10	3	4	1	3	5	3	4	2	1	4	0	4	2	4	1	5	2	5	1	3	1
11	4	5	2	3	3	1	4	5	1	4	1	0	5	4	4	1	1	5	4	5	1
12	1	2	1	2	5	2	4	5	1	5	5	2	0	4	1	4	3	5	1	2	4
13	2	2	1	1	5	4	3	3	3	5	3	4	2	0	2	2	1	4	5	2	3
14	5	4	3	5	2	1	5	3	4	4	2	5	2	2	0	4	5	1	5	4	5
15	4	2	3	5	1	4	3	3	1	1	5	5	1	4	5	0	2	3	5	1	5

ตารางที่ ค.15 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16	4	2	1	5	3	4	1	1	5	2	5	3	1	2	4	5	0	2	5	5	3
17	3	1	5	2	1	2	4	2	4	4	4	1	1	2	1	5	1	0	5	2	2
18	4	4	2	1	3	1	2	5	4	3	3	2	1	2	5	1	5	1	0	2	5
19	1	3	3	5	3	5	5	1	3	3	4	3	5	1	4	4	4	3	5	0	1
20	4	2	5	4	2	1	4	1	4	2	1	4	3	3	5	5	2	1	4	5	0

ตารางที่ ค.16 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118	266	445	416	249	485	449	122	480	245	310
1	407	0	337	287	219	349	359	205	212	432	430	336	495	465	190	378	492	197	314	142	500
2	371	106	0	140	141	420	214	118	218	253	220	480	492	260	211	164	165	359	264	265	385
3	230	353	183	0	333	132	283	463	204	414	251	216	468	353	351	271	139	324	378	466	434
4	109	317	467	272	0	301	306	285	241	262	208	122	197	492	124	256	246	296	162	290	203
5	352	317	162	476	362	0	256	143	414	284	402	339	433	107	184	129	142	233	151	100	315
6	363	318	431	132	176	372	0	243	160	382	472	312	135	403	261	285	297	183	232	138	336
7	168	471	139	277	209	449	401	0	370	202	136	112	229	416	219	194	292	202	236	118	293
8	182	446	336	402	472	232	317	132	0	264	485	145	470	348	239	159	292	187	498	152	111
9	238	319	470	315	262	439	431	369	389	0	236	298	265	378	171	269	317	426	316	271	304

ตารางที่ ค.16 (ต่อ) แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	191	348	296	373	455	248	221	217	160	312	0	334	245	451	291	176	374	399	346	413	164
11	423	181	483	126	124	418	252	285	147	146	169	0	386	313	324	186	287	399	401	259	462
12	399	135	354	385	106	272	261	210	495	421	379	267	0	211	242	273	478	148	359	239	141
13	174	131	273	484	317	298	490	187	251	258	212	301	155	0	487	323	464	363	276	377	125
14	403	380	299	162	189	230	414	120	307	403	421	230	490	422	0	462	451	267	149	482	419
15	379	261	106	167	165	304	262	142	210	357	440	299	175	459	249	0	409	187	279	194	452
16	344	250	256	445	334	473	307	232	448	203	204	171	239	101	397	437	0	381	262	425	397
17	275	131	264	236	384	225	420	160	337	483	197	476	145	494	353	340	461	0	198	444	130
18	275	404	198	251	259	311	208	333	184	131	459	144	361	461	192	480	439	276	0	408	434
19	253	178	230	265	161	348	139	182	377	302	173	497	289	101	270	215	401	457	429	0	143
20	104	160	251	175	492	449	333	392	158	203	111	431	414	417	233	280	322	422	326	181	0

5. โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 5

กำหนดให้มีลูกค้า 30 ราย มีจำนวนรถ 8 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ระลาย ดังตาราง

ตารางที่ ค.17 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)	เวลาเริ่ม (น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
1	6	6.00	24.00	0.60
2	5	8.00	18.00	0.50
3	4	6.00	18.00	0.40
4	3	9.00	18.00	0.50
5	6	6.00	24.00	0.60
6	5	8.00	18.00	0.50
7	6	6.00	24.00	0.30
8	5	9.00	20.00	0.50
9	4	6.00	24.00	0.40
10	5	7.00	18.00	0.50
11	5	6.00	24.00	0.5
12	4	13.00	24.00	0.4
13	5	6.00	24.00	0.5
14	3	13.00	18.00	0.3
15	4	6.00	24.00	0.4
16	6	8.00	24.00	0.6
17	5	6.00	24.00	0.5
18	4	7.00	24.00	0.4
19	3	6.00	24.00	0.3
20	6	9.00	18.00	0.6

ตารางที่ ค.17 (ต่อ) แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (ตัน)	เวลาเริ่ม (น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
21	3	6.00	24.00	0.3
22	4	8.00	16.00	0.4
23	6	6.00	24.00	0.6
24	5	9.00	18.00	0.5
25	4	6.00	24.00	0.4
26	5	13.00	24.00	0.5
27	3	6.00	24.00	0.3
28	5	13.00	18.00	0.5
29	4	6.00	24.00	0.4
30	4	6.00	18.00	0.4

ตารางที่ ค.18 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	2	4	1	3	1	5	2	1	5	4	2	4	5	5	2	3	5	5	3	5	3	3	5	4	5	1	4	4	5	5
1	4	0	3	4	3	1	2	3	5	5	2	5	3	5	3	4	2	1	5	3	5	5	4	5	1	5	2	2	1	5	5
2	2	3	0	2	2	1	4	3	5	1	2	4	3	2	5	2	5	2	4	5	4	2	3	4	3	1	5	1	1	2	3
3	3	5	1	0	2	1	4	1	1	4	2	5	2	2	3	4	4	1	5	2	2	1	5	3	3	5	2	3	1	5	3
4	3	2	1	4	0	2	2	3	4	1	3	5	3	4	2	1	4	3	4	2	4	1	5	2	5	1	3	1	4	5	2
5	3	3	1	4	5	0	4	1	5	5	4	4	1	1	5	4	5	1	1	2	1	2	5	2	4	5	1	5	5	2	1
6	4	1	4	3	5	1	0	4	2	2	1	1	5	4	3	3	3	5	3	4	2	2	2	2	1	4	5	2	3	5	4
7	3	5	2	1	5	3	4	0	2	5	2	2	2	4	5	1	5	4	5	4	2	3	5	1	4	3	3	1	1	5	5
8	1	4	5	1	2	3	5	1	0	4	2	1	5	3	4	1	1	5	2	5	3	1	2	4	5	2	2	5	5	3	3
9	1	5	2	1	2	4	2	4	4	0	1	1	2	1	5	1	4	5	2	2	4	4	2	1	3	1	2	5	4	3	3
10	2	1	2	5	1	5	1	4	2	5	0	3	3	5	3	5	5	1	3	3	4	3	5	1	4	4	4	3	5	5	1
11	4	2	5	4	2	1	4	1	4	2	1	0	3	3	5	5	2	1	4	5	2	5	4	2	3	2	3	3	3	4	2
12	2	5	2	1	1	2	1	3	5	2	2	4	0	4	2	1	5	2	4	5	2	2	3	4	2	5	4	3	1	1	2
13	5	1	2	4	2	2	1	2	3	5	1	4	1	0	4	4	3	4	1	5	2	1	2	4	1	5	1	3	5	3	5
14	3	4	4	2	1	4	5	4	3	2	2	4	2	4	0	1	5	5	4	1	3	1	4	4	3	1	3	4	5	2	2

ตารางที่ ค.18 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
15	4	2	3	4	4	1	4	5	4	5	1	2	4	2	5	0	5	5	1	5	1	4	4	5	3	5	1	3	2	3	1
16	2	4	1	2	1	5	2	4	5	4	3	4	2	1	2	2	0	2	4	3	5	3	3	4	4	5	1	3	1	4	1
17	3	3	5	3	4	2	5	5	2	5	3	2	5	3	5	1	5	0	2	2	3	4	2	5	1	4	1	5	1	3	3
18	1	1	2	1	5	5	3	1	4	4	2	3	1	4	2	3	5	3	0	2	4	1	4	4	5	5	4	2	3	3	1
19	1	5	2	5	3	1	5	2	2	1	3	2	4	2	5	4	1	2	2	0	2	5	3	2	5	4	5	3	2	5	1
20	1	4	2	2	4	2	2	2	3	5	4	5	3	2	5	3	2	3	1	5	0	3	1	1	4	1	5	5	5	5	5
21	2	5	2	3	5	5	4	3	1	4	1	1	2	3	2	4	3	2	2	3	3	0	5	2	2	5	2	2	2	4	3
22	5	3	3	2	1	1	5	3	3	2	1	5	3	2	3	2	5	4	5	2	1	3	0	1	3	5	4	4	1	2	3
23	5	4	1	4	4	5	3	3	2	3	5	5	4	5	1	5	5	2	5	3	4	3	2	0	4	4	3	1	4	5	2
24	3	5	3	3	1	3	2	3	4	1	3	3	3	2	4	2	4	5	2	2	1	5	2	3	0	2	5	2	2	1	2
25	5	1	5	1	2	4	1	4	3	2	1	4	1	1	1	1	2	3	4	4	3	2	4	5	3	0	4	1	1	4	2
26	5	3	1	4	5	2	1	4	4	5	5	2	5	5	1	1	1	2	2	1	3	3	2	4	1	3	0	3	3	5	3
27	2	5	2	3	5	3	4	1	2	5	1	2	1	2	2	4	3	5	4	4	4	5	2	2	3	5	5	0	2	1	3
28	1	2	2	5	5	2	1	2	4	5	4	3	2	2	4	4	1	4	1	2	3	2	5	4	4	5	2	2	0	5	5

ตารางที่ ค.18 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

29	5	4	3	2	4	1	2	4	1	2	1	4	3	4	3	3	4	4	3	2	1	3	3	2	4	4	3	4	1	0	4
30	4	5	4	1	4	5	5	4	3	4	2	4	3	3	2	2	2	3	5	2	1	4	4	4	3	1	3	4	3	3	0

ตารางที่ ค.19 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	313	332	216	221	410	105	405	426	384	118	266	445	416	249	485	449	122	480	245	310	407	121	337	287	219	349	359	205	212	432
1	430	0	495	465	190	378	492	197	314	142	500	371	106	330	140	141	420	214	118	218	253	220	480	492	260	211	164	165	359	264	265
2	385	230	0	183	174	333	132	283	463	204	414	251	216	468	353	351	271	139	324	378	466	434	109	317	467	272	371	301	306	285	241
3	262	208	122	0	492	124	256	246	296	162	290	203	352	317	162	476	362	302	256	143	414	284	402	339	433	107	184	129	142	233	151
4	100	315	363	318	0	132	176	372	282	243	160	382	472	312	135	403	261	285	297	183	232	138	336	168	471	139	277	209	449	401	209
5	370	202	136	112	229	0	219	194	292	202	236	118	293	182	446	336	402	472	232	317	132	354	264	485	145	470	348	239	159	292	187
6	498	152	111	238	319	470	0	262	439	431	369	389	499	236	298	265	378	171	269	317	426	316	271	304	191	348	296	373	455	248	221
7	217	160	312	189	334	245	451	0	176	374	399	346	413	164	423	181	483	126	124	418	252	285	147	146	169	119	386	313	324	186	287
8	399	401	259	462	399	135	354	385	0	272	261	210	495	421	379	267	394	211	242	273	478	148	359	239	141	174	131	273	484	317	298
9	490	187	251	258	212	301	155	307	487	0	464	363	276	377	125	403	380	299	162	189	230	414	120	307	403	421	230	490	422	370	462
10	451	267	149	482	419	379	261	106	167	165	0	262	142	210	357	440	299	175	459	249	229	409	187	279	194	452	344	250	256	445	334
11	473	307	232	448	203	204	171	239	101	397	437	0	381	262	425	397	275	131	264	236	384	225	420	160	337	483	197	476	145	494	353
12	340	461	330	198	444	130	275	404	198	251	259	311	0	333	184	131	459	144	361	461	192	480	439	276	297	408	434	253	178	230	265

ตารางที่ ค.19 (ต่อ) แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
13	161	348	139	182	377	302	173	497	289	101	270	215	401	0	429	170	143	104	160	251	175	492	449	333	392	158	203	111	431	414	417
14	233	280	322	422	326	181	183	246	329	238	311	270	329	120	0	182	486	474	498	436	264	422	496	203	169	378	106	235	377	144	144
15	216	259	324	224	218	423	224	250	260	437	264	390	364	262	481	0	306	189	333	400	283	462	213	367	456	212	247	105	218	494	405
16	332	342	207	303	418	443	137	317	266	129	281	380	300	263	478	494	0	313	346	135	173	213	107	161	268	319	323	413	117	262	123
17	225	341	307	339	232	464	408	330	273	393	165	123	197	404	481	238	374	0	114	418	293	182	341	464	479	362	105	365	486	103	482
18	129	217	333	423	116	121	326	226	265	304	394	280	229	129	263	329	406	332	0	423	267	419	389	378	393	177	410	128	199	481	428
19	188	173	195	471	203	202	386	366	409	404	223	430	388	459	189	242	321	242	181	0	352	155	124	354	436	357	270	175	298	490	408
20	252	294	319	370	115	359	460	236	147	270	409	243	265	399	275	388	303	169	211	134	0	213	347	222	441	227	418	169	220	129	297
21	281	339	112	227	154	231	404	351	486	431	322	343	176	461	227	340	339	407	386	375	404	0	320	304	326	212	266	240	489	307	333
22	286	112	251	155	362	161	179	250	138	346	381	276	268	234	381	185	117	455	117	283	396	402	0	184	287	448	432	264	285	239	199
23	423	318	315	351	135	385	203	123	210	485	231	359	245	248	231	186	185	269	347	196	375	336	341	0	117	161	198	259	334	215	435
24	460	311	255	101	200	165	358	493	225	196	452	151	328	343	344	378	440	139	258	429	207	372	258	434	0	435	187	393	460	187	493
25	487	449	309	361	283	162	357	345	442	247	121	302	121	250	280	219	488	105	360	346	313	111	387	225	493	0	246	229	241	194	337
26	381	207	330	331	497	473	200	424	408	263	352	297	299	153	488	171	336	373	143	361	395	412	273	133	300	330	0	265	147	158	226
27	497	342	210	266	288	125	283	275	478	209	169	302	237	305	258	204	127	357	246	319	453	269	338	252	122	143	158	0	404	206	155
28	116	377	438	307	420	494	310	127	350	232	211	373	261	254	182	451	160	261	344	320	392	149	230	103	414	469	220	190	0	175	267
29	245	230	492	332	311	153	460	112	417	388	197	477	287	390	259	193	341	321	285	360	407	126	163	140	120	318	483	190	238	0	292
30	193	440	127	153	486	434	430	499	195	365	351	489	268	122	452	165	199	343	246	312	468	319	484	406	262	403	330	278	118	115	0

6. โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 6

กำหนดให้มีลูกค้า 30 ราย มีจำนวนรถ 8 คัน แต่ละคันมีความจุเท่ากันคือ 20 ตัน รถสามารถเริ่มใช้งานหรือออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. โดยมีความต้องการสินค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ระลาย ดังตาราง

ตารางที่ ค.20 แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า(ตัน)	เวลาเริ่ม(น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
1	6	8.00	12.00	0.60
2	5	8.00	12.00	0.50
3	6	9.00	15.00	0.40
4	3	9.00	15.00	0.50
5	4	10.00	16.00	0.60
6	5	10.00	16.00	0.50
7	6	12.00	18.00	0.30
8	3	13.00	18.00	0.50
9	4	13.00	18.00	0.40
10	4	12.00	17.00	0.50
11	5	18.00	24.00	0.5
12	6	18.00	24.00	0.4
13	5	15.00	20.00	0.5
14	3	15.00	20.00	0.3
15	5	6.00	15.00	0.5
16	3	8.00	15.00	0.3
17	4	6.00	18.00	0.4
18	5	7.00	12.00	0.5
19	4	13.00	18.00	0.4
20	4	9.00	18.00	0.4
21	5	9.00	15.00	0.5
22	4	10.00	16.00	0.4

ตารางที่ ค.20 (ต่อ) แสดงความต้องการสินค้าของลูกค้า เวลาเปิด-ปิดรับสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า(ตัน)	เวลาเริ่ม(น.)	เวลาสิ้นสุด (น.)	เวลาที่ใช้ขนถ่าย (ชม.)
23	6	11.00	18.00	0.6
24	5	13.00	18.00	0.5
25	3	15.00	20.00	0.3
26	5	18.00	24.00	0.5
27	3	6.00	12.00	0.3
28	6	13.00	18.00	0.6
29	4	13.00	20.00	0.4
30	5	6.00	18.00	0.5

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ ค.21 แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	4	4	4	4	1	5	4	2	5	1	1	3	4	2	4	4	3	4	4	4	5	3	4	2	1	3	2	3	2	1
1	2	0	5	5	3	1	2	2	5	2	1	2	1	3	5	3	4	5	5	3	2	5	5	3	3	1	3	2	3	1	2
2	4	5	0	4	3	5	1	2	5	2	2	2	2	5	5	3	5	1	3	5	1	1	1	5	1	1	3	2	2	4	5
3	3	2	1	0	5	1	5	3	5	4	3	3	1	5	4	1	5	4	3	2	2	3	5	1	3	3	2	3	2	4	3
4	1	2	2	4	0	3	5	4	4	1	2	5	5	5	4	2	4	3	2	3	3	5	2	2	5	2	1	4	2	3	5
5	3	3	5	5	1	0	3	1	3	2	3	5	3	3	1	5	5	5	5	1	5	5	4	4	1	3	2	5	5	4	5
6	1	4	3	5	4	2	0	3	1	3	4	2	5	3	2	5	4	5	4	1	1	2	5	4	5	4	2	5	4	4	5
7	1	3	2	4	4	3	4	0	4	5	4	4	2	2	1	2	1	3	2	3	1	5	2	1	5	2	1	4	5	1	3
8	5	2	3	3	3	4	5	1	0	5	1	2	3	4	4	3	4	4	2	3	4	4	2	3	5	5	1	3	2	3	5
9	2	4	2	3	2	4	1	1	5	0	5	4	3	5	4	1	3	3	3	5	1	4	4	1	3	5	4	3	5	4	1
10	1	2	2	5	3	5	3	4	3	1	0	4	2	3	2	1	5	5	4	3	1	5	3	2	2	2	4	2	1	5	3
11	5	2	4	5	2	1	3	4	3	5	2	0	2	5	2	1	1	2	2	1	3	2	4	2	5	2	2	5	3	4	2
12	5	4	2	4	2	1	2	1	4	1	3	1	0	3	1	2	1	5	5	2	1	3	1	4	3	1	2	1	3	2	5
13	2	4	4	5	2	4	2	2	1	5	1	3	5	0	2	4	2	4	2	3	3	2	3	2	5	5	2	4	3	5	4

ตารางที่ ค.21 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
14	1	1	3	2	1	5	1	5	5	4	1	3	1	4	0	3	3	5	2	3	5	3	2	1	3	5	1	4	3	1	5
15	2	1	4	4	5	1	1	3	3	4	4	4	5	5	1	0	5	3	5	4	5	5	2	4	3	4	3	2	4	3	3
16	3	2	4	3	4	5	2	5	5	3	4	3	2	4	4	4	0	4	5	3	2	5	1	1	3	3	4	5	2	5	2
17	3	4	3	5	4	2	5	1	4	2	3	3	2	2	3	2	1	0	3	1	1	4	1	3	1	1	5	1	2	3	4
18	5	4	4	5	1	2	4	1	3	1	5	3	5	2	3	2	3	5	0	3	3	4	2	3	5	2	2	4	5	5	3
19	2	5	4	3	1	3	2	5	5	2	1	4	1	5	2	1	5	5	5	0	2	2	2	4	5	5	5	1	5	4	5
20	5	2	2	2	1	2	2	1	5	4	5	5	3	4	4	5	4	2	4	5	0	1	3	2	3	4	2	2	3	2	2
21	1	1	1	3	5	3	2	1	5	4	5	3	4	3	5	5	5	5	2	2	1	0	3	5	4	1	5	5	2	4	5
22	4	1	3	5	4	2	4	1	4	3	3	1	4	3	5	4	3	4	2	2	3	4	0	4	2	5	1	2	4	3	3
23	3	1	5	5	2	2	2	4	3	5	3	1	4	3	3	2	1	1	2	3	2	2	5	0	3	2	4	5	2	1	2
24	2	5	1	4	5	4	3	2	4	3	3	5	4	4	2	1	2	4	3	5	4	1	3	4	0	5	1	3	2	1	2
25	5	4	2	5	3	4	3	4	1	3	5	2	4	1	1	1	1	2	4	3	4	4	5	3	3	0	3	5	2	4	1
26	4	2	1	2	3	4	5	5	5	2	3	3	1	1	5	4	4	5	5	5	1	5	5	2	3	5	0	3	1	3	3
27	5	2	4	1	1	3	1	2	4	5	4	2	3	2	2	2	2	4	2	4	1	3	3	5	2	1	5	0	4	5	5

ตารางที่ ค.21 (ต่อ) แสดงเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
28	3	4	5	3	2	2	1	1	1	5	2	4	1	4	3	4	1	2	2	1	5	3	2	4	2	5	1	1	0	1	4
29	1	5	1	2	3	2	1	3	5	1	1	5	1	1	5	3	1	4	1	4	5	4	4	2	4	3	5	2	4	0	3
30	3	5	3	2	1	1	2	2	5	3	4	5	4	4	1	1	5	4	4	4	2	1	5	4	2	4	1	2	2	5	0

ตารางที่ ค.22 ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	448	248	161	148	387	150	193	135	273	244	353	438	329	488	491	323	276	341	350	190	441	249	317	102	159	427	283	416	289	130
1	194	0	207	249	313	430	125	380	373	196	287	411	434	458	281	202	237	408	444	169	267	226	168	361	100	402	307	441	469	371	482
2	172	209	0	486	397	124	235	195	113	138	401	372	464	152	466	367	413	198	352	336	126	300	416	334	458	427	377	332	124	148	347
3	315	191	394	0	495	254	107	426	410	314	202	211	139	368	421	124	401	481	285	417	364	174	160	422	350	303	406	288	246	239	233
4	405	402	350	261	0	245	182	374	263	181	345	477	289	403	484	150	296	194	169	411	465	140	275	362	307	430	460	353	398	462	347
5	437	207	155	410	123	0	151	146	237	211	121	368	474	498	375	375	256	244	361	441	488	360	479	392	215	134	385	290	179	170	192
6	412	472	216	187	133	293	0	225	106	210	333	444	145	107	299	468	404	448	431	312	257	429	363	191	487	234	365	428	356	197	267
7	250	396	450	496	310	484	283	0	480	427	404	289	160	241	489	357	293	132	440	117	260	182	145	338	491	122	131	262	371	421	320
8	150	248	260	484	306	337	424	406	0	125	269	132	142	284	416	330	131	265	324	344	168	418	378	352	146	188	462	419	288	427	246
9	459	484	197	369	286	112	480	114	173	0	378	395	307	357	226	433	345	288	396	141	273	245	198	205	158	451	498	266	409	106	409
10	396	127	328	111	284	370	375	150	120	298	0	448	369	240	194	200	455	446	287	296	345	339	410	213	229	279	314	230	299	214	178
11	128	230	439	347	402	369	447	358	363	202	293	0	347	151	446	116	419	244	144	391	381	500	255	326	276	210	226	398	199	122	348
12	166	198	314	103	403	283	184	229	122	129	123	471	0	490	106	235	186	294	363	154	464	260	166	133	455	199	312	313	166	418	499
13	121	133	432	410	235	358	165	493	230	131	462	447	343	0	488	195	121	467	439	174	387	367	349	108	486	461	194	297	450	280	498

ตารางที่ ค.22 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (หน่วย)

i\j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
14	191	448	142	240	278	347	475	463	459	162	449	373	133	222	0	352	382	216	219	265	240	355	363	258	288	226	404	474	327	150	203
15	452	362	240	255	237	482	350	215	387	443	138	334	475	147	423	0	498	227	233	308	385	324	371	315	401	268	265	348	451	165	127
16	197	292	173	410	134	234	385	157	243	351	409	270	252	180	250	456	0	135	496	284	394	212	186	348	485	389	411	317	356	338	374
17	294	125	431	388	269	243	445	149	482	421	367	318	270	265	101	205	233	0	480	347	481	139	359	392	198	335	235	278	494	490	347
18	315	161	249	482	168	332	242	280	336	436	210	447	134	251	436	452	174	468	0	340	146	137	409	236	302	234	128	353	233	107	412
19	291	152	442	432	456	277	310	196	354	310	332	273	204	219	326	425	243	319	273	0	131	255	165	464	459	480	368	127	353	238	471
20	184	383	447	249	136	367	276	316	166	479	232	482	474	451	135	206	297	489	404	361	0	265	236	277	365	438	287	112	194	249	256
21	497	270	435	161	295	424	227	128	463	216	466	265	399	273	400	245	406	113	199	190	243	0	354	451	186	177	387	287	180	192	455
22	248	297	333	258	260	493	358	448	197	462	407	127	171	396	334	464	111	235	337	389	241	233	0	411	463	404	363	116	241	484	383
23	180	179	385	433	468	103	354	200	243	444	427	402	479	114	384	120	254	497	209	229	470	318	243	0	448	234	243	182	241	313	135
24	229	239	410	472	234	474	254	191	213	425	431	469	263	129	256	276	292	184	163	439	255	254	184	186	0	477	127	216	100	171	264
25	247	394	243	102	271	199	490	477	317	261	205	121	301	454	494	358	386	314	267	273	236	475	355	402	374	0	111	105	437	179	122
26	258	332	338	206	421	296	390	327	131	245	204	398	277	437	235	183	183	225	448	113	390	114	151	184	334	319	0	164	130	216	481
27	304	457	303	326	140	126	257	469	200	181	286	307	213	462	187	472	211	296	106	155	137	476	187	148	354	142	334	0	246	165	467

ตารางที่ ค.22 (ต่อ) ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (หน่วย)

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
28	266	130	222	473	220	457	383	268	499	321	389	353	431	466	237	467	424	389	456	342	100	351	493	165	127	278	391	332	0	372	171
29	101	401	213	117	352	281	370	351	442	141	101	117	360	438	367	365	185	155	130	428	444	144	366	404	161	150	168	440	225	0	152
30	112	433	144	366	305	255	374	291	395	490	261	154	329	217	190	330	409	257	127	447	372	325	150	196	170	289	281	236	454	325	0