

การใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขนส่ง
กรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
Genetic Algorithm for Productivity Improvement of Transportation Management;
Case study of a Recycle Company in Amphoe Hadyai, Songkhla

เปรมวดี จิตเที่ยง
Pramwadee Jittiang

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial Management
Prince of Songkla University
2557
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
ผู้เขียน	นางสาวเปรมวดี จิตเที่ยง
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรณ ไชยประพัทธ์)
กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)
กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชานา สีนธวัลย์)
กรรมการ
	(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ปทุมนากุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ
อุตสาหกรรม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วน
ช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....

(นางสาวเปรมวดี จิตเที่ยง)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวเปรมวดี จิตเที่ยง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา
ผู้เขียน	นางสาวเปรมวดี จิตเที่ยง
สาขาวิชา	การจัดการอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่งกรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสัดส่วนกำไรอย่างน้อยร้อยละ 15 โดยการพัฒนาโปรแกรมการออกแบบเส้นทางการขนส่งแบบบูรณาการที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการวิจัยเชิงพันธุกรรม ตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรสูงสุด การทำการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานของบริษัทกรณีโดยการออกแบบเส้นทางการขนส่งแบบบูรณาการให้มีการรวมการเดินทางของพาหนะที่ไปรับซื้อและการส่งขายขยะรีไซเคิลเข้าด้วยกัน ออกแบบให้มีการส่งขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง เป็นการส่งขายขยะรีไซเคิลประเภทที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูปที่บริษัท การนำการวิจัยเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์กับการแก้ปัญหานี้ให้ตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรสูงสุด ซึ่งได้จากการคำนวณต้นทุนลบออกด้วยรายได้จากการขาย ต้นทุนประกอบด้วยต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนวัตถุดิบ และรายได้จากการขายซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ประเภทการขายขยะรีไซเคิลที่เก็บอยู่ในคลังสินค้า และการขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของการวิจัยทางพันธุกรรมโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับจำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 1100 ประชากร จำนวนรอบการทำงานเท่ากับ 100 รอบ ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.5 และจากการทดสอบกับข้อมูลจริงของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าการทำงานของโปรแกรมสามารถทำให้กำไรเพิ่มขึ้นได้เฉลี่ยเท่ากับ 3,000 บาทต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 30

Thesis Title	Genetic Algorithm for Productivity Improvement of Transportation Management; Case study of a Recycle Company in Amphoe Hadyai, Songkhla
Author	Miss.Pramwadee Jittiang
Major Program	Industrial Management
Academic Year	2013

ABSTRACT

This study was applying genetic algorithm for productivity improvement of transportation management; case study of Recycle Company in Amphoe Hadyai, Songkhla. The aim of this study is increasing the profit at least 15% by designs and develops transportation programing using genetic algorithm with the indicator is maximize profit. The productivity improvement of transportation in this study is called the integration of transportation management. The improvements are combine process of picking together with sending; create processing of sending product direct to customer with product that no needs to pass production process such a metal and a glass bottle. Genetic Algorithm have been apply with the solution and the indicator is maximize profit by calculate the total cost of transportation management that concern with cost of transportation, cost of labor, cost of direct material and the revenue. The revenue is form two type of selling process. One is selling from stock and the other is selling product directly to customer. The genetic algorithm parameters had been test by design of experimental using 2^k factorial design and found that at 1100 population of initial population, 500 generation of looping, 0.5% of crossover probability rate and 0.5% of mutation probability rate are the optimal parameter. The increasing of profit by compare the result of actual work and programing is creasing average at 3,000 Baht per day or 30%.of increasing.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความเมตตาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพรรณ ไชยประพัทธ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐชนา สีนธวาลัย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ตลอดการศึกษาในสาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม

สุดท้ายกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องสาว ที่คอยเป็นกำลังใจ เข้าใจ และสนับสนุนทุกด้านในชีวิต ขอขอบคุณพี่ศ เจ้าของบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ข้อมูลและความรู้เกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้นของบริษัท ขอขอบคุณพี่สุ เมรี และบิวตี้ ที่มีส่วนร่วมให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดมา

ผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงมีประโยชน์สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดผู้สนใจทั่วไป

เปรมวดี จิตเพียง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
ABSTRACT	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(13)
บทที่ 1	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	8
1.4 ขอบเขตการวิจัย	8
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย	9
1.6 สมมุติฐานของงานวิจัย	9
1.7 คำจำกัดความของงานวิจัย	9
บทที่ 2	10
2.1 ธุรกิจบริการตัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล	10
2.2 การขนส่งวัตถุดิบแบบระบบมิลค์รัน	13
2.3 การหาระยะทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path)	14
2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง	19
2.5 การแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถ	21
2.6 วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม	22
2.7 การออกแบบการทดลอง	32
บทที่ 3	37
3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา	37
3.2 การดัดแปลงกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมกับลักษณะปัญหา	45
บทที่ 4	80
4.1 การใช้ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการทดสอบโปรแกรม	80
4.2 การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดพารามิเตอร์	91
4.3 การใช้ข้อมูลทดสอบโปรแกรม	95
4.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมกับข้อมูลจริง	101
4.5 คู่มือการใช้โปรแกรม	102
บทที่ 5	109

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	109
5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัย	111
บรรณานุกรม	112
ประวัติผู้เขียน	116

รายการตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ข้อมูลจำนวนประชากรเปรียบเทียบกับปริมาณขยะ	2
1.2	สัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่ส่งผลต่อกำไรของกิจการ	5
2.1	ขั้นตอนที่ 1 Dequeue “A”	15
2.2	ขั้นตอนที่ 2 Dequeue “D”	16
2.3	ขั้นตอนที่ 3 Dequeue “B”	17
2.4	สรุปการเดินทางทุกเส้นทางในกราฟ	18
2.5	ความหมายของคำศัพท์	22
2.6	วิธีการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	31
2.7	การคัดเลือกตามความแข็งแรง	31
3.1	ตัวอย่างข้อมูลที่ผู้ใช้โปรแกรมทำการป้อนเข้า	49
3.2	วิธีการสลับแบบสุมของ ฟิชเชอร์-เยตส์	50
3.3	การหาจำนวนสถานที่ขนส่งต่อรอบการเดินทางของพาหนะ	53
3.4	นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนรวม	56
3.5	นิยามของตัวแปรในสมการการคำนวณต้นทุนการขนส่ง	57
3.6	ตารางแผนภูมิจากไป	58
3.7	นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนค่าแรงงาน	60
3.8	ช่วงเวลาของกิจกรรมการเดินทางไปรับหรือส่งขยะรีไซเคิลของพาหนะ	61
3.9	นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขาย	62
3.10	ตัวอย่างจำนวนประชากรเบื้องต้นที่มี 5 ประชากร	63
3.11	การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก และค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม	66
3.12	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมชุดใหม่	67
3.13	ตัวอย่างโครโมโซมชุดใหม่ที่ผ่านการคัดเลือก	68
3.14	ตัวอย่างโครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ	70
3.15	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ	71
3.16	โครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ	71
3.17	ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ	72

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3.18	ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมที่ได้หลังจากกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	72
3.19	ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการกลายพันธุ์	74
3.20	ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการกลายพันธุ์	75
3.21	สายลำดับโครโมโซมก่อนเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	75
3.22	สายลำดับโครโมโซมชุดที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม	75
3.23	สายลำดับโครโมโซมชุดที่ผ่านการกลายพันธุ์	76
3.24	ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	77
4.1	ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับง่ายสำหรับการทดสอบโปรแกรม	81
4.2	แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง	81
4.3	ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง	82
4.4	การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับง่าย	82
4.5	ราคารับซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล	83
4.6	ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรม	83
4.7	แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง	84
4.8	ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง	85
4.9	การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับปานกลาง	85
4.10	ราคารับซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล	86
4.11	การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับปานกลาง	87
4.12	ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรม	88
4.13	ราคารับซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล	88
4.14	แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง	89
4.15	ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง	90
4.16	ผลการหาสภาวะทดลองที่มี 4 ปัจจัย และค่าผลตอบแทน	91
4.17	ตารางวิเคราะห์ความสัมพันธ์	93
4.18	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง	94

รายการตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.19	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน	95
4.20	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน	96
4.21	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน	97
4.22	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน	98
4.23	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 3 คัน	98
4.24	การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 4 คัน	99
4.25	เวลาการประมวลผลของโปรแกรมทั้ง 6 กรณี	99
4.26	ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน	99
4.27	ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน และ 2 คัน	100
4.28	ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน 3 คัน และ 4 คัน	100
4.29	การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรม กรณีที่ 1	101
4.30	การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรม กรณีที่ 2	102
4.31	การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรม กรณีที่ 3	102

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 กระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา	3
2.1 โซ่อุปทานของธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล	11
2.2 กระบวนการทำงานของระบบมัลแวร์	13
2.3 กราฟที่มีน้ำหนัก	14
2.4 อธิบายอัลกอริทึม Dijkstra ด้วย Pseudocode	15
2.5 ขั้นตอนที่ 1 Dequeue “A”	16
2.6 ขั้นตอนที่ 2 Dequeue “D”	16
2.7 ขั้นตอนที่ 3 Dequeue “B”	17
2.8 แสดงระยะทางสั้นที่สุดจากโหนด A ถึง โหนด Z	18
2.9 การจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งแบบ SDVRP	19
2.10 ลำดับวิธีการเชิงพันธุกรรม	23
2.11 รูปแบบของโครโมโซมชนิดแถวเดียวและชนิดหลายแถว	23
2.12 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม	24
2.13 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point	25
2.14 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ two point	26
2.15 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX)	27
2.16 การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation)	28
2.17 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation)	29
2.18 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation)	30
2.19 วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel)	31
3.1 กระบวนการ ขั้นตอน และผู้รับผิดชอบการทำงานของ บริษัท กรณีศึกษา	39
3.2 ขั้นตอนการทำงานในแต่ละกระบวนการ	40
3.3 กำลังการผลิตของกระบวนการ	40
3.4 แผนการใช้รถเพื่อรับและส่งขยะรีไซเคิล	40
3.5 ผังแสดงตำแหน่งที่ตั้งของขยะรีไซเคิล	41
3.6 การจัดเรียงขยะรีไซเคิลบนพาหนะอย่างไม่เป็นระบบ	42

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
3.7 ขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องเข้ากระบวนการแปรรูป	43
3.8 พื้นที่วางกระดาษาเพื่อเข้าสู่กระบวนการอัด	44
3.9 การวางแผนการเดินทางของพาหนะ	45
3.10 การออกแบบกระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา	46
3.11 ขั้นตอนการส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้า	48
3.12 การสร้างโครโมโซม	49
3.13 สายลำดับโครโมโซมจากวิธีการสลับแบบสุ่มของ พิชเซอร์-เยตส์	51
3.14 สถานที่ปลายทางของพาหนะคันที่ 1 2 และ 3	52
3.15 การคำนวณหาจำนวนสถานที่ปลายทางต่อรอบการเดินทาง	52
3.16 สายลำดับโครโมโซมสถานที่ปลายทางของพาหนะคันที่ 1	53
3.17 น้ำหนักและปริมาตรสะสมของพาหนะคันที่ 1	53
3.18 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 1	53
3.19 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 2	54
3.20 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 1 ถึง 3	54
3.21 ขั้นตอนการตรวจสอบสถานที่ส่งขยะในแต่ละเที่ยวการเดินทาง	55
3.22 น้ำหนักและปริมาตรสะสมรอบที่ 2 มีการส่งขาย	55
3.23 สายลำดับโครโมโซมสำหรับการสร้างแผนภูมิจากไป	57
3.24 กระบวนการสร้างแผนภูมิจากไป	58
3.25 กระบวนการหาเวลาการทำงานรวม	59
3.26 การหาต้นทุนค่าวัตถุุดิบและรายได้จากการขาย	62
3.27 กระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์	65
3.28 ตัวอย่างการสร้างวงล้อเสี่ยงทาย	67
3.29 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	69
3.30 ตัวอย่างวิธีการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแบบ Order Crossover (OX)	72
3.31 ผังการทำงานของกระบวนการกลายพันธุ์	74
3.32 ตัวอย่างวิธีการกลายพันธุ์แบบ Two Change Mutation	75
3.33 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการวางแผนการจัดการขนส่ง	79

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.1	ปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับต้นทุนของการวางแผนการขนส่ง	92
4.2	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	93
4.3	แผนภูมิเส้นแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเหมาะสม กับจำนวนรอบการทำงาน	94
4.4	หน้าจอการใส่รหัสผู้ใช้อีกก่อนเข้าสู่โปรแกรมหลัก	103
4.5	หน้าจอหลักของโปรแกรมการทำงาน	104
4.6	หน้าจอการป้อนข้อมูลสำหรับการประมวลผล	104
4.7	ตำแหน่งสถานที่ขนส่งหลังจากกดปุ่มแสดงตำแหน่ง	105
4.8	แผนที่ลำดับการเดินทางของพาหนะเมื่อสิ้นสุดการประมวลผล	105
4.9	หน้าจอการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม	106
4.10	หน้าจอการป้อนข้อมูลค่าคงที่	106
4.11	หน้าจอการเพิ่มหรือแก้ไขฐานข้อมูลลูกค้า	107
4.12	หน้าจอข้อมูลสำหรับการเพิ่มหรือแก้ไขฐานข้อมูลลูกค้า	107
4.13	หน้าจอฐานข้อมูลราคารับซื้อ ราคาขาย และอัตราการเปลี่ยนจากน้ำหนักเป็นปริมาตร	107
4.14	หน้าจอการแยกประเภทของขยะรีไซเคิลของการบันทึกในฐานข้อมูล	108

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาขยะในชุมชนเมืองที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามจำนวนของประชากรเมืองนั้น เป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขและป้องกันไม่ให้ขยะล้นเมือง หากมองย้อนกลับไปในเมื่อ 10 ปีก่อน ทั่วโลกมีคนอาศัยอยู่ในเมืองเพียง 2,900 ล้านคน และโดยเฉลี่ยแล้วคนหนึ่งคนจะสร้างขยะประมาณวันละ 0.64 กิโลกรัม ซึ่งรวมแล้วคนเมืองจะทำให้เกิดขยะปีละ 680 ล้านตัน แต่ในปัจจุบันมีคนเมืองอยู่ประมาณ 3,000 ล้านคนทั่วโลก และแต่ละคนทำให้เกิดขยะประมาณวันละ 1.2 กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อรวมแล้วจะสร้างขยะ 1,300 ล้านตันต่อปี และในปี 2025 คาดการณ์ว่าจำนวนประชากรเมืองน่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 4,300 ล้านคน [1] และแต่ละคนจะสร้างขยะประมาณวันละ 1.42 กิโลกรัม รวมแล้วประมาณ 2,200 ล้านตันต่อปี จากตาราง 1.1 ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อวันในโลกมีปริมาณถึง 3.5 ล้านตัน ประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเท่ากับ 738,958 ตันต่อวัน ซึ่งขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในภูมิภาคนี้ จะประกอบด้วยสัดส่วนของวัสดุอินทรีย์ร้อยละ 62 กระดาษร้อยละ 10 พลาสติกร้อยละ 13 แก้วร้อยละ 3 โลหะร้อยละ 2 และอื่นๆ ร้อยละ 10 การจัดการกับขยะมูลฝอยจะขึ้นอยู่กับประเภทของขยะเหล่านั้น วัสดุอินทรีย์จะถูกทำให้สลายไปด้วยความร้อนและการฝังกลบ ส่วนกระดาษ พลาสติก แก้ว และโลหะที่มีสัดส่วนร้อยละ 28 นั้นเป็นวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ดังนั้นการรีไซเคิลขยะจึงเป็นแนวทางที่จำเป็นและสำคัญในการลดปริมาณขยะ ซึ่งในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้พบว่ามีปริมาณขยะที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ 206,908 ตันต่อวัน ในส่วนของประเทศไทย จากข้อมูลในปี 2554 [2] พบว่าปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนเท่ากับ 15.98 ล้านตันต่อปีคิดเป็นปริมาณ 43,779 ตันต่อวัน และเป็นขยะที่สามารถรีไซเคิลได้ 11,383 ตันต่อวัน แต่ปัจจุบันสามารถนำมารีไซเคิลได้เพียง 9,448 ตันต่อวัน ที่เหลืออีกประมาณ 1,935 ตันต่อวัน ถูกทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ ในส่วนปริมาณขยะรีไซเคิลในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา [3] พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยต่อวันที่เก็บได้เท่ากับ 216.62 ตันต่อวัน เป็นปริมาณขยะที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ประมาณ 60 ตันต่อวัน แต่พบว่ามีขยะที่เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลที่เป็นร้านรับซื้อของเก่า 35.85 ตัน ดังนั้นยังมีขยะอีกประมาณ 25 ตันต่อวันที่สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้และพบว่าจำนวนร้านรับซื้อของเก่าที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่มีจำนวนเพียง 28 แห่ง เมื่อเทียบกับปริมาณขยะรีไซเคิลที่มีปริมาณมาก ดังนั้นร้านรับซื้อของเก่าต้องปรับเปลี่ยนกลยุทธ์เพื่อนำขยะรีไซเคิลอีก 25 ตันต่อวันที่เหลืออยู่นอกกระบวนการให้เข้ามาสู่ระบบกระบวนการรีไซเคิล ลักษณะการทำงานของร้านรับซื้อของเก่าต้องเปลี่ยนจากการรอรับซื้อสินค้าที่ประชาชนมาขาย เป็นการส่งพาหนะออกไปรับซื้อถึงสถานที่ ซึ่งการทำงานในรูปแบบดังกล่าวต้องมีการวางแผนการทำงานเป็นอย่างดีเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของกิจการการส่งพาหนะออกไปรับขยะรีไซเคิลนั้นเป็น

การเพิ่มต้นทุนค่าใช้จ่ายของกิจการเพื่อให้กิจการเข้าถึงแหล่ง ดังนั้นการจัดการการทำงานของกิจการ จำเป็นต้องวางแผนการทำงานควบคู่กันระหว่างกระบวนการทำงานที่อยู่ภายในอาคารของกิจการและการวางแผนการทำงานของพาหนะเพื่อรับส่งสินค้า ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในร้านรับซื้อของเก่าที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 1.1 ข้อมูลจำนวนประชากรเปรียบเทียบกับปริมาณขยะ

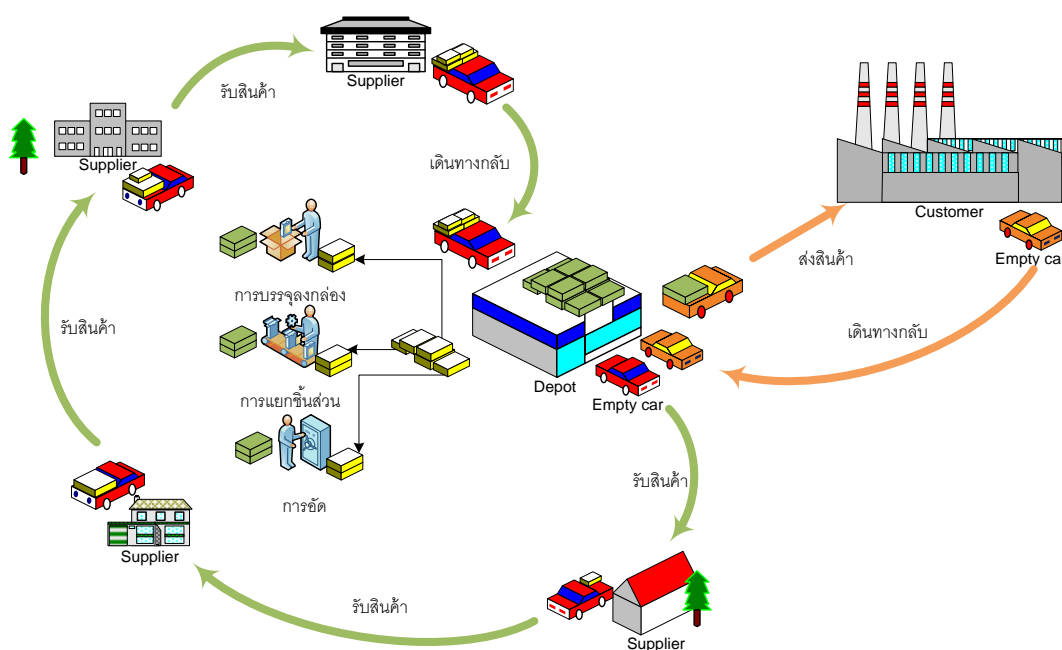
ภูมิภาค	ข้อมูลปัจจุบัน			คาดการณ์ในปี 2025			
	จำนวนประชากรเมือง	การผลิตของขยะชุมชนเมือง		คาดการณ์จำนวนประชากร		คาดการณ์ปริมาณขยะในเมือง	
		ปริมาณขยะ	รวม	จำนวนประชากร	จำนวนประชากร	ปริมาณขยะ	รวม
	(ล้านคน)	(กก.ต่อคนต่อวัน)	(ตันต่อวัน)	(ล้านคน)	(ล้านคน)	(กก.ต่อคนต่อวัน)	(ตันต่อวัน)
แอฟริกา	260	0.65	169,119	1,152	518	0.85	441,840
เอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแปซิฟิก	777	0.95	738,958	2,124	1,229	1.50	1,865,379
ยุโรปและเอเชียกลาง	227	1.10	254,389	339	239	1.50	354,810
ละตินอเมริกาและแคริบเบียน	399	1.10	437,545	681	466	1.60	728,392
ตะวันออกกลางและแอฟริกาเหนือ	162	1.10	173,545	379	257	1.43	369,320
กลุ่มประเทศ OECD	729	2.20	1,566,286	1,031	842	2.10	1,742,417
เอเชียใต้	426	0.45	192,410	1,938	734	0.77	567,545
รวม	2,980	1.20	3,532,252	7,644	4,285	1.40	6,069,703

ลักษณะกระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาดังภาพประกอบที่ 1.1 แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลักได้แก่

1. การรับซื้อขยะรีไซเคิลโดยการส่งพาหนะออกไปรับ เป็นขั้นตอนการออกไปรับขยะรีไซเคิลนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการได้รับการนัดหมายจากลูกค้าเพื่อให้เดินทางไปรับสินค้า โดยการวางแผนการทำงานจะมีการบันทึกข้อมูลการจัดลำดับเส้นทางการเดินทางใน Microsoft excel ประกอบด้วยรายละเอียดของหมายเลขพาหนะที่ใช้ วันที่ของการทำงาน ตำแหน่งของสถานที่ขนส่ง ช่วงเวลาการเดินทาง ซึ่งเรียงลำดับการเดินทางตามลำดับการโทรนัดหมาย โดยมีพาหนะจำนวน 3 คันในการเดินทางไปรับขยะรีไซเคิล

2. ขั้นตอนการแปรรูปขยะรีไซเคิล เป็นขั้นตอนหลังจากการไปรับขยะรีไซเคิลแล้ว กลับมาเก็บขยะรีไซเคิลที่บริษัทโดยแบ่งขยะรีไซเคิลออกเป็น 4 ประเภทหลักได้แก่ ประเภทกระดาษ และพลาสติก ประเภทโลหะ ประเภทขวดแก้ว และประเภทเครื่องมือและอุปกรณ์ ขยะรีไซเคิลที่เข้าสู่กระบวนการแปรรูปได้แก่ขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษและพลาสติก และขยะรีไซเคิลประเภทอุปกรณ์เครื่องมือ ส่วนที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปได้แก่ประเภทโลหะ และประเภทขวดแก้วจะถูกนำเข้าสู่จัดเก็บเพื่อให้มีปริมาณที่เหมาะสมจึงส่งขาย การแปรรูปขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษและพลาสติกจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการอัด โดยใช้เครื่องอัดเป็นเครื่องจักรในการดำเนินงาน การแปรรูปขยะรีไซเคิลประเภทเครื่องมือและอุปกรณ์จะถูกนำเข้าสู่การแยกชิ้นส่วนตามประเภทของส่วนประกอบนั้น

3. ขั้นตอนการส่งขายขยะรีไซเคิลโดยการใช้พาหนะออกไปส่ง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณขยะรีไซเคิลที่จัดเก็บในคลังสินค้ามากเพียงพอที่จะเดินทางไปขายโดยการใช้พาหนะ 1 คันที่เตรียมแยกไว้เฉพาะการส่งขายขยะรีไซเคิลเท่านั้น



ภาพประกอบ 1.1 กระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

จากการวิเคราะห์และสรุปตามขั้นตอนและกระบวนการทำงานที่ส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของกำไร พบว่าปัญหาหลักเกิดจากการวางแผนการทำงาน เนื่องจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1. การวางแผนการใช้พาหนะที่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

ก. ลำดับการจัดเส้นทางเดินทางของพาหนะ ที่ทำโดยการเรียงลำดับสถานที่ปลายทางขึ้นอยู่กับการนัดหมายของลูกค้านั้นไม่ได้สนใจลำดับเส้นทางเดินทางที่ควรจะต้องทำให้การเดินทางนั้นเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด

ข. การจัดเรียงขยะรีไซเคิลบนพาหนะ ไม่มีการจัดเรียงขยะรีไซเคิลเป็นกลุ่มหรือประเภทเดียวกันอยู่ด้วยกันทำให้สูญเสียพื้นที่การบรรทุกของพาหนะ

ค. ขนาดความจุของพาหนะไม่ได้มีการคำนวณเพื่อป้องกันไม่ให้พาหนะเดินทางไปรับขยะรีไซเคิลที่มีปริมาณน้อยแล้วเดินทางกลับ หรือเพื่อไม่ให้พาหนะเดินทางไปรับขยะรีไซเคิลแต่ไม่สามารถรับกลับมาได้หมดเพราะเกินความจุของพาหนะ

ง. การไปรับขยะรีไซเคิล สำหรับขยะรีไซเคิลประเภทที่ไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูปแล้วกลับมาพักไว้ที่บริษัทเพื่อรอปริมาณที่เพียงพอแล้วทำการส่งขายนั้นทำให้สูญเสียพื้นที่การจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าและเป็นการเพิ่มต้นทุนจม

จ. การจัดการการใช้พาหนะที่แยกกัน ระหว่างการรับสินค้าและการส่งขยะรีไซเคิล ทำให้พาหนะคันที่ไปรับขยะรีไซเคิลต้องวิ่งรถเปล่าออกไป และในทางกลับกันพาหนะคันที่ไปส่งขยะรีไซเคิลต้องวิ่งรถเปล่ากลับมา

2. การไหลของขยะรีไซเคิลไม่สม่ำเสมอ ในการเข้าสู่กระบวนการอัด อันเนื่องมาจากปริมาณการจัดเก็บสินค้าในการเข้าสู่กระบวนการอัดไม่เพียงพอเพราะพื้นที่ในการจัดเก็บมีน้อย และจากการไม่สามารถจัดการและวางแผนความต้องการขยะรีไซเคิลเพื่อเข้าสู่กระบวนการอัดได้

3. การทำงานแบบเชิงรับ โดยเดินทางไปรับขยะรีไซเคิลเมื่อมีคำสั่งให้ไปรับสินค้าเท่านั้น ส่งผลต่อการวางแผนการทำงานของแต่ละกระบวนการที่ทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของการเข้ามาของขยะรีไซเคิลที่ต้องการแปรรูป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัทกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2555 ในตารางที่ 1.2 พบว่าสัดส่วนรายได้อยู่ที่ร้อยละ 32 เมื่อนำรายได้ร้อยละ 32 มาคิดสัดส่วนของค่าใช้จ่าย พบว่าเป็นค่าใช้จ่ายของค่าแรงร้อยละ 51 ค่าใช้จ่ายในการผลิตร้อยละ 32 ที่เหลือคือส่วนของกำไรร้อยละ 17 และเมื่อแจกแจงค่าใช้จ่ายที่แยกประเภทเป็นแบบคงที่และผันแปรพบว่า ค่าแรงคงที่อยู่ที่ร้อยละ 24 ค่าแรงผันแปรร้อยละ 76 ค่าใช้จ่ายในการผลิตคงที่ร้อยละ 46 และค่าใช้จ่ายในการผลิตแบบผันแปรอยู่ที่ร้อยละ 54 การทำให้กำไรเดิมที่มีอยู่เฉลี่ยร้อยละ 17 มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นนั้น สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การลดสัดส่วนค่าใช้จ่ายในการผลิตแบบผันแปร โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตแบบผันแปรนั้นมีค่าน้ำมันซึ่งสัดส่วนมากถึงร้อยละ 55 ค่าน้ำร้อยละ 4 ค่าไฟฟ้าร้อยละ 11 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ร้อยละ 30

2. การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานซึ่งมีต้นทุนค่าแรงผันแปรสูงเป็นสัดส่วนร้อยละ 76 โดยการเพิ่มอัตราผลิตภาพของทำงานของพนักงาน ซึ่งเกิดจากการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลได้ปริมาณที่มากขึ้นต่อวัน

ตารางที่ 1.2 สัดส่วนของค่าใช้จ่ายที่ส่งผลต่อกำไรของกิจการ

สัดส่วนรายรับที่ยังไม่หักค่าใช้จ่าย 32 % จากการขายขยะรีไซเคิล				
ค่าแรง		ค่าใช้จ่ายในการผลิต		กำไร
51%		32%		17%
ค่าแรงคงที่	ค่าแรงแปรผัน	ค่าใช้จ่ายในการผลิตคงที่	ค่าใช้จ่ายในการผลิตผันแปร	
24%	76%	46%	54%	

หมายเหตุ : ค่าแรงคงที่คือ เงินเดือนผู้จัดการ เงินเดือนแปรผันคือ เงินเดือนคนขับรถ เงินเดือนพนักงานธุรการ เงินเดือนคนงานแปรสภาพขยะรีไซเคิล ค่าใช้จ่ายในการผลิตคงที่คือ ค่าเช่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตแปรผันคือ ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าน้ำมัน และอื่นๆ

ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการวางแผนการขนส่งแบบบูรณาการของบริษัทกรณีศึกษาจึงได้ออกแบบดังแนวทางดังต่อไปนี้

1. ออกแบบให้การทำงานของพาหนะรวมการทำงานของรถไปรับซื้อขยะรีไซเคิลและการไปส่งขายขยะรีไซเคิลให้อยู่ในคันเดียวกันได้
2. การจัดเรียงขยะรีไซเคิลจะถูกจัดเรียงเป็นประเภทของขยะรีไซเคิลเพื่อลดเวลาการทำงานในการขึ้นหรือลงขยะรีไซเคิล
3. เมื่อมีการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลประเภทที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูปนั้น ให้มีการส่งขายขยะรีไซเคิลเหล่านั้นทันทีโดยไม่ต้องส่งนำกลับมาเก็บที่คลังสินค้าบริษัท
4. การออกแบบการเดินทางของพาหนะนั้นจะออกแบบโดยการให้ลำดับการเดินทางไปรับหรือส่งขยะรีไซเคิลที่ทำให้ระยะทางของการเดินทางน้อยที่สุด
5. การออกแบบการเดินทางของพาหนะต้องพิจารณาความสามารถในการบรรทุกของสินค้าทั้งด้านน้ำหนักของการบรรทุกและปริมาตรของการบรรทุก

การออกแบบการทำงานดังกล่าวข้างต้นส่งผลให้มีพื้นที่การจัดเก็บขยะรีไซเคิลในคลังสินค้าเพิ่มมากขึ้นเพราะสินค้าประเภทโลหะและขวดแก้วจะถูกส่งขายทันทีที่มีการรับสินค้า ไม่ต้องนำมาเก็บในคลังสินค้าของบริษัท และสามารถติดต่อไปที่ลูกค้าได้ในกรณีที่ปริมาณขยะรีไซเคิลที่จะเข้ากระบวนการอัดไม่เพียงพอกับการทำงานของเครื่องอัด การออกแบบกระบวนการตัดสินใจของการวางแผนการจัดการขนส่งแบบบูรณาการที่ทำให้กำไรสูงที่สุดนั้น เกิดจากการนำต้นทุนและรายได้ของทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องมาเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ เป็นกระบวนการทำงานที่ค่อนข้างซับซ้อน จึงจัดปัญหานี้เป็นปัญหากลุ่ม NP-Hard เนื่องจากการหาคำตอบต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน และเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น แนวทางในการแก้ปัญหาแบบ NP-Hard นี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristics) เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่อนข้างน้อย และคำตอบที่ได้สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาจริงได้ วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก ที่แพร่หลายในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้แก่ วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) วิธีการวิวิธพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการจำลองแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธี Nearest Algorithm วิธีแบบละโมภ (Greedy Algorithm) และวิธีการค้นหาแบบระบบอาณานิคม (Ant Colony Optimization) จากวิธีการทั้งหมดที่ได้กล่าวมาพบว่า

วิธีการวิจัยเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีที่ให้คำตอบได้เหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่ของเวลาในการประมวลผล ความไม่ซับซ้อนของกระบวนการทำงาน และคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงนำวิธีการวิจัยเชิงพันธุกรรมนำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการขนส่งแบบบูรณาการที่ทำให้เกิดกำไรสูงสุดโดยการออกแบบโปรแกรมการคำนวณการวางแผนการขนส่ง โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมคือลำดับเส้นทางการเดินทางของพาหนะที่รับส่งขยะรีไซเคิลที่ก่อให้เกิดกำไรสูงสุด

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเริ่มจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำการวิจัยเชิงพันธุกรรมและวิธีฮิวริสติกอื่นๆ มาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem; TSP) การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) การจัดลำดับการทำงานในระบบห่วงโซ่อุปทาน และศึกษาวิธีและตัวแปรที่เหมาะสมของกระบวนการทำงานของการวิจัยเชิงพันธุกรรมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษากการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายนั้นมีการนำเสนอทางเลือกหลายทางเลือกเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายโดยที่ผลลัพธ์ของการวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการเปรียบเทียบเรื่องเวลาการทำงานโดยผู้วิจัยได้สรุปว่าการเลือกวิธีใดมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นก็ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ยอมรับได้ในการแก้ปัญหาจากวิธี Nearest Neighbor วิธี Greedy Insertion วิธี Heuristics 2-opt and 3-opt k-opt วิธี Tabu-Search และวิธีการวิจัยเชิงพันธุกรรม [4] การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของปัญหาโดยพบว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุดได้ โดยมีระยะทางรวมเป็น 61.4 กิโลเมตร ซึ่งลดระยะทางรวมลงจากเดิม 19.8 กิโลเมตร หรือลดลงร้อยละ 24.38 โดยทำการเปรียบเทียบทั้งหมด 4 วิธี คือ วิธีแบบละโมภ (Greedy algorithm), วิธี Saving Algorithms, วิธี Nearest Algorithms [5] และวิธีการเชิงพันธุกรรม และได้มีการพัฒนาวิธีการทำงานของการวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อให้ได้ผลคำตอบที่ดีขึ้นโดยการรวมกลุ่มของสถานที่ปลายทางวิธีนี้จะมีการตรวจสอบสถานที่ปลายทางก่อนเข้าสู่กระบวนการคัดเลือก ทำให้กระบวนการคัดเลือกสามารถคัดเลือกได้โครโมโซมที่ดีที่สุดที่จะผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป [6]

การศึกษากการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการเดินทางนั้นต่ำที่สุด โดยได้มีการศึกษาถึงขนาดของจำนวนพาหนะที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุดและพบว่าวิธีฮิวริสติกแบบใหม่ที่เรียกว่า Sweep-based algorithm ใช้สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกขนาดและการจัดเส้นทางพาหนะ หลักการที่ใช้คือ จะสร้างเส้นทางที่ยานพาหนะจะไปให้บริการ จากนั้นทำการเลือกพาหนะและจัดเส้นทางเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด การใช้วิธี Nearest Insertion Approach ร่วมกับ 2-Opt พบว่าสามารถลดจำนวนการใช้รถขององค์กรจากเดิม 4 คันเหลือเพียง 3 คัน และรถหนึ่งใน 3 คันนี้ยังมีเวลาเหลือพอที่จะทำงานอื่นได้อีก [7] นอกจากขนาดของจำนวนพาหนะแล้วการเดินทางของพาหนะให้ความสนใจในเรื่องของกรอบเวลาการเดินทางมีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาโดยที่มีกรอบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อหาจำนวนยานพาหนะและระยะทางการเดินทางรวมต่ำที่สุด โดยถูกค่าแต่ละรายมีเงื่อนไขในการรับและส่งมอบสินค้า

ยานพาหนะมีความจุที่จำกัด ได้แก่วิธี GRASP [8] และวิธีการวิจัยเชิงพันธุกรรม [9], [10] มีการเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่างวิธีฮิวริสติกกับการวิจัยเชิงพันธุกรรมซึ่งคำตอบที่ได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจ [11] และการนำวิธีฮิวริสติกเข้าไปในกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ในการวิจัยเชิงพันธุกรรมพบว่าทำให้การค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น [12]

การศึกษาโครงการวิจัยที่นำการวิจัยเชิงพันธุกรรมมาช่วยในการแก้ปัญหาในระบบห่วงโซ่อุปทานนั้นมีการศึกษาในหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นการจัดตารางการทำงานมีการเพิ่มเงื่อนไขทางด้านเวลาเพื่อนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่าย การคำนวณค่าความเหมาะสมของค่าใช้จ่ายในการทำงานของพาหนะมีการศึกษาเป็นศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทคอนกรีตสำเร็จรูป การคำนวณค่าความเหมาะสมได้นำเอาค่าใช้จ่ายของค่าขนส่ง ค่าใช้จ่ายของการรอคอยในการขึ้นและลงสินค้า และสุดท้ายค่าใช้จ่ายในการจ้างบริษัทภายนอกมาทำการส่งสินค้าแทน [13] การแก้ปัญหาการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้ง และ ระบบการขนส่งสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ การตัดสินใจเรื่องสถานที่ตั้งมีผลกระทบกับระบบโลจิสติกส์ทั้งด้านขาเข้าและขาออก ได้มีออกแบบระบบห่วงโซ่อุปทานและการจัดการปัญหาเป็นแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม โดยที่ข้อมูลที่ใส่เข้าไปในระบบคือสถานที่ตั้งและรูปแบบการขนส่งที่ใช้งานได้ ค่าใช้จ่ายและความจุในการบรรทุกของแต่ละรอบการขนส่ง เส้นทางกระจายเชื้อเพลิงชีวภาพไปที่คลัง จำนวนผลผลิต กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและค่าใช้จ่ายของสินค้าคงคลัง ผลลัพธ์ได้จากโปรแกรมคือ หมายเลขของสถานที่ตั้ง ความสามารถในการผลิตของแต่ละสถานที่ และรูปแบบการขนส่ง ระยะเวลาของการขนส่ง ขนาดของการขนส่ง ขนาดของสินค้าคงคลัง และตารางการผลิตที่เหมาะสมสำหรับค่าใช้จ่ายในการขนส่ง [14] การแก้ปัญหาการจัดการระบบคลังสินค้า มีการนำเสนอสมการคณิตศาสตร์ที่พิจารณาเรื่องการกระจายความเสี่ยง ช่วงเวลานำคลังสินค้าที่มีหลายระดับชั้นที่อยู่ภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอน เส้นทางเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าในกรณีที่ให้บริการลูกค้าในห่วงโซ่อุปทาน ในเวลาเดียวกัน ได้มีคำนวณโดยการจำลองการแก้ปัญหาตัวเลขจำนวนเต็มแบบไม่เป็นเชิงเส้น วัตถุประสงค์ก็เพื่อหาจำนวนศูนย์กระจายสินค้า สถานที่และระดับความสามารถในการผลิต เพื่อที่จะกระจายสินค้าผู้จัดหาไปยังศูนย์กระจายสินค้า และจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าอย่างเหมาะสม และนอกเหนือจากนี้ยังมีข้อมูลช่วงเวลานำสุทธิของศูนย์กระจายสินค้าและการออกแบบควบคุมสินค้าคงคลัง ทั้งหมดนั้นจะต้องถูกนำมาคำนวณเพื่อที่จะลดต้นทุนของระบบ [15]และการศึกษาการปรับเปลี่ยนรูปแบบการบริหารห่วงโซ่อุปทานโดยการรวมเรื่องเวลา ค่าใช้จ่ายรวม และ ตำแหน่งสถานที่สำหรับการลงทุน และการคืนทุนในระบบสาธารณูปโภค การผลิต การซื้อวัตถุดิบ การจำหน่ายสินค้า เงินกู้ และพันธบัตร เพื่อเพิ่มมูลค่าของสินทรัพย์ สัญญาการซื้อขายวัตถุดิบต่างๆ ที่จะทำให้เพิ่มมูลค่ากำไรให้สูงสุด [16]

การศึกษาวิธีและตัวแปรที่เหมาะสมของกระบวนการทำงานของการวิจัยเชิงพันธุกรรมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา มีการเปรียบเทียบกระบวนการทำงานของกระบวนการคัดเลือกที่นำมาใช้สำหรับการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยวิธีที่นำมาศึกษาและเปรียบเทียบได้แก่วิธีคัดเลือกแบบ Tournament Selection แบบ proportional roulette wheel selection และแบบ rank-based roulette wheel selection พบว่ากรณีการแก้ปัญหาการเดินทางที่เป็นปัญหาขนาดเล็ก คือเดินทางไปยังสถานที่ปลายทาง 10-20 แห่ง Tournament Selection สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในระยะเวลาที่เร็วกว่าและใช้จำนวนรุ่นของการค้นหาน้อยกว่าอีก 2 วิธี แต่ถ้านำขนาดปัญหา

มีขนาดใหญ่ขึ้น rank-based roulette wheel selection สามารถให้คำตอบที่ดีกว่าในระยะเวลาที่ดีกว่าอีก 2 วิธี ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายนั้น rank-based roulette wheel selection สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด หากไม่สนใจเงื่อนไขของเวลาการคำนวณ [17] การเปรียบเทียบวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ 4 วิธีควบคู่กับวิธีการกลายพันธุ์โดยการสลับคู่แบบสุ่ม และพบว่าวิธี PBX และวิธี PMX เป็นวิธีที่สามารถหาเส้นทางเดินทางได้ดีกว่าเส้นทางที่ใช้ในปัจจุบัน [18] แต่การเปรียบเทียบการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ระหว่างวิธี (ordered crossover ; OX) และ วิธี (partially mapped crossover : PMX) โดยการออกแบบการทดลองของตัวแปร 4 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนประชากรเบื้องต้น ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ และอัตราส่วนในกระบวนการคัดเลือก พบว่าการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธี ordered crossover ให้คำตอบที่มีความเหมาะสมมากกว่าวิธี partially mapped crossover และพบว่า ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากร และค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนประชากรและค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์กับค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ มีผลกับคุณภาพของค่าความเหมาะสม [19] การศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดของจำนวนประชากรเบื้องต้น ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์และจำนวนรุ่นของการหาคำตอบ พบว่าที่จำนวนประชากรเริ่มต้นจำนวนเท่ากันนั้นค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ไม่ได้ทำให้คำตอบมีความแตกต่างกัน แต่ในทางกลับกัน ที่ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่เท่ากันเมื่อจำนวนประชากรเบื้องต้นที่ต่างกันส่งผลให้ค่าความเหมาะสมมีความแตกต่างกัน โดยที่ที่กลุ่มของประชากรเบื้องต้นที่มีจำนวนมากได้ค่าความเหมาะสมที่ให้ผลที่ดีกว่าจำนวนกลุ่มประชากรที่มีจำนวนน้อย เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความเหมาะสมของแต่ละรุ่นของการหาคำตอบที่ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ที่เท่ากัน จำนวนกลุ่มประชากรเบื้องต้นที่เท่ากัน พบว่าที่กลุ่มประชากรเบื้องต้นที่มีจำนวนมากมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเหมาะสมในแต่ละรุ่นของการหาคำตอบไม่มาก เนื่องจากกลุ่มประชากรเบื้องต้นที่มีจำนวนมากนั้นทำให้มีโอกาสที่จะได้คำตอบที่เข้าใกล้ค่าความเหมาะสมมากขึ้นตั้งแต่รุ่นแรกๆ ของกระบวนการ ดังนั้นจึงไม่ทำให้ค่าความเหมาะสมของแต่ละรุ่นของการหาคำตอบเกิดการเปลี่ยนแปลงมาก [20]

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโปรแกรมการออกแบบเส้นทางขนส่งแบบบูรณาการที่เหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการวิจัยเชิงพันธุกรรม โดยตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรที่สูงที่สุด

1.4 ขอบเขตการวิจัย

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับงานวิจัยครั้งนี้จะใช้โปรแกรม JAVA ฐานข้อมูลเป็นกลุ่มลูกค้าและสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ที่ตั้งอยู่ในเขตอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้ทำการศึกษาเฉพาะขั้นตอนการรับและส่งขยะรีไซเคิล ไม่ได้ครอบคลุมถึงการแปรรูปขยะรีไซเคิล

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1. เพิ่มความสามารถในการรับซื้อและขายส่งขยะรีไซเคิลได้มากขึ้น
2. เพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการแปรรูปสินค้า
3. ลดจำนวนปริมาณสินค้าที่เป็นต้นทุนจม
4. เพิ่มโอกาสในการขยายส่วนแบ่งทางตลาดขยะรีไซเคิล

1.6 สมมุติฐานของงานวิจัย

1. ราคาซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิลคงที่
2. พาหนะที่ใช้ในการขนส่งแต่ละคันเหมือนกันทุกประการ
3. อัตราการเปลี่ยนน้ำหนักเป็นปริมาตรของขยะรีไซเคิลแต่ละประเภทคงที่
4. อัตราการใช้น้ำมันของพาหนะคงที่
5. อัตราเวลาการขึ้นและลงขยะรีไซเคิลจากพาหนะคงที่
6. อัตราค่าแรงงานช่วงเวลาปกติและค่าแรงงานช่วงล่วงเวลาคงที่

1.7 คำจำกัดความของงานวิจัย

1. การขนส่งแบบบูรณาการ หมายถึงการขนส่งของพาหนะที่รวมการไปรับซื้อและการส่งขายในรอบการเดินทางของพาหนะคันเดียวกัน
2. ขยะรีไซเคิล หมายถึงสิ่งของเหลือใช้ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยที่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูปเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งได้แก่ขยะประเภทกระดาษ พลาสติก โลหะ ขวดแก้ว เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ
3. การส่งขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง หมายถึงการส่งขยะรีไซเคิลขายให้กับแหล่งรับซื้อโดยไม่ต้องนำขยะรีไซเคิลกลับมาแปรรูปที่บริษัท
4. การส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลัง หมายถึงการส่งขยะรีไซเคิลที่เก็บอยู่ในคลังสินค้าขายให้กับแหล่งรับซื้อ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

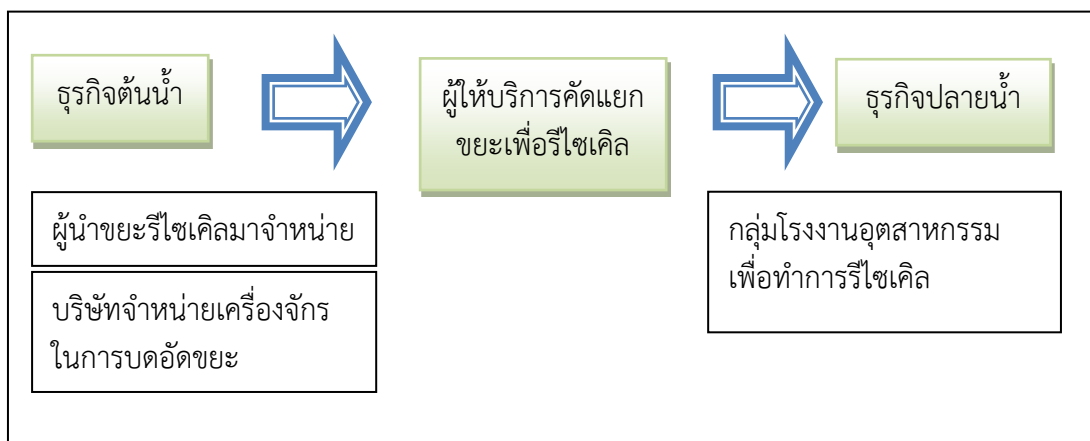
เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยการใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่งกรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทั่วไปของธุรกิจการรับซื้อขยะรีไซเคิล การขนส่งวัตถุดิบแบบระบบมิลค์รัน การหา ระยะทางสั้นที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง (The Single-Depot Vehicle Routing Problem; SDVRP) การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

2.1 ธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล

กิจการที่ประกอบธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล หมายถึง ธุรกิจที่ทำการ ให้บริการรับซื้อขยะ ของเก่า กากของเสียที่ไม่เป็นอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้ เพื่อนำไปทำการคัดแยก และส่งไปขายต่อยังบริษัทที่ทำธุรกิจแปรรูปขยะรีไซเคิล จากการสำรวจผู้ประกอบการรับซื้อของเก่าของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2547 [21] แบ่งแยกตามเขตพื้นที่สิ่งแวดล้อม จำนวน 16 ภาค พบว่ามีผู้ประกอบการรับซื้อของเก่า ทั้งที่มีการจดทะเบียนการค้าและไม่ได้จดทะเบียนการค้าจำนวนรวม 2,395 แห่ง และกรุงเทพมหานครจำนวน 638 แห่ง มีการแบ่งประเภทตามประเภทของขยะหรือ วัตถุดิบที่นำมาทำการคัดแยก โดยมีประเภทหลักๆ ได้แก่ กระดาษ พลาสติก แก้ว โลหะ และอลูมิเนียม รูปแบบการให้บริการในธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล อยู่ในรูปของขยะที่ได้ทำการแยกประเภทแล้ว โดยผู้ประกอบการจะทำการบริการรับซื้อ ณ สถานที่ประกอบการ โดยที่ผู้ที่ต้องการใช้บริการมักจะต้องเดินทางมายังสถานประกอบการเอง และให้บริการนอกสถานที่ โดยการจัดพาหนะไปดำเนินการรับ ซื้อขยะรีไซเคิลจากลูกค้าและนำกลับมาดำเนินการคัดแยกที่สถานประกอบการ

ในระหว่างกระบวนการบริหารจัดการขยะหรือสินค้าของเก่าผู้ประกอบการในธุรกิจ บริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลอาจมีการตั้งจุดรับซื้อย่อยในแหล่งชุมชน โดยมีหน้าที่ในการรวบรวม ขยะที่สามารถใช้ประโยชน์ได้จากแหล่งชุมชนในพื้นที่ใกล้เคียง ตลอดจนเป็นจุดรับซื้อขยะที่สามารถ รองรับลูกค้าได้อย่างสะดวก ใช้พื้นที่ไม่มาก มีเครื่องมือในการอัดกระดาษ เครื่องตัดปรับสภาพโลหะ และเครื่องซัง จากนั้นขยะเพื่อรีไซเคิลดังกล่าวจึงถูกรวบรวม เพื่อนำมาผ่านกระบวนการคัดแยกและ แปรรูปขยะที่มีความหลากหลาย ให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการขนส่งสู่แหล่งรับซื้อต่างๆ เช่น การคัด แยกประเภทกระดาษและพลาสติกแล้วทำการอัดเป็นก้อน เพื่อส่งเข้าโรงงานรีไซเคิล

รูปแบบของโซ่อุปทานของธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลประกอบด้วยธุรกิจต้นน้ำ ได้แก่ ผู้นำขยะรีไซเคิลมาจำหน่ายให้กับบริษัทรับซื้อของเก่า บริษัทจัดจำหน่ายเครื่องจักรในการบดอัดขยะ ส่วนธุรกิจปลายน้ำ ได้แก่ กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อทำการรีไซเคิลขยะประเภทต่างๆ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 โซ่อุปทานของธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล

ผู้นำขยะรีไซเคิลมาจำหน่าย เป้าหมายคือ กลุ่มลูกค้าที่หลากหลายที่นำขยะรีไซเคิลมาขายให้กับบริษัท ทั้งที่มาจากแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยโดยตรง กลุ่มผู้คัดแยกและจากกลุ่มพ่อค้าคนกลางซึ่งลูกค้าเหล่านี้ได้แก่ ประชาชนทั่วไป ผู้ค้าขยะ พนักงานเก็บขยะ รถรับซื้อของเก่าต่างๆ และร้านรับซื้อของเก่า บริษัทจำหน่ายเครื่องจักรในการจัดการขยะ ได้แก่ บริษัทที่จำหน่ายเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการบริหารจัดการขยะ รีไซเคิล อาทิ เครื่องบดอัดขยะ แม่เหล็กไฟฟ้า เครื่องตัดเหล็ก ปากคีบขยะ รถเข็น เป็นต้น โดยบริษัทดังกล่าวจะสามารถให้ข้อมูลเครื่องจักรที่เหมาะสมสำหรับประเภทและปริมาณของขยะรีไซเคิลที่จะดำเนินการ โรงงานอุตสาหกรรมรีไซเคิล หมายถึง โรงงานที่ทำหน้าที่ในการรีไซเคิล หรือการนำกลับไปใช้ซ้ำของสินค้าประเภทต่างๆ จำพวก กระดาษ พลาสติก โลหะ หรือเศษแก้ว เป็นต้น นอกจากนี้ยังรวมถึงโรงงานที่มีความต้องการนำสินค้าไปใช้ในวัตถุประสงค์เฉพาะกิจ เช่น การนำขวดสุราไปเป็นขวดน้ำปลา เป็นต้น หากความต้องการของสินค้าในประเทศมีน้อย ก็ยังสามารถรวมกลุ่มกับผู้ขายรายอื่น เพื่อส่งสินค้าไปขายต่างประเทศได้ เช่น การนำเศษโลหะประเภทเหล็กไปขายให้แก่ ประเทศฟิลิปปินส์ และ จีน เป็นต้น

จากกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมของหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศที่พัฒนาแล้วพบว่าการรณรงค์ให้เกิดการรีไซเคิลในอัตราที่ค่อนข้างสูงตัวอย่างเช่น ประเทศฮ่องกงมีอัตราการรีไซเคิล 36% สิงคโปร์มีอัตราการรีไซเคิล 39% และเกาหลีใต้มีอัตราการรีไซเคิล 45% ในขณะที่อัตราการรีไซเคิลของประเทศไทยอยู่ที่เพียง 19% หรือประเทศสหรัฐอเมริกา จากข้อมูลของสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมสหรัฐ (The United States Environmental Protection Agency ; EPA) พบว่าแนวโน้มการรีไซเคิลเพิ่มขึ้นอย่างมากระหว่างปี 2546-2548 โดยมีการเพิ่มขึ้นของการรีไซเคิลขยะบรรจุภัณฑ์กว่า 40% และการเพิ่มขึ้นของการรีไซเคิลกระดาษกว่า 50% หรือกว่า

42 ล้านตันต่อปี สำหรับในกลุ่มประเทศยุโรป ได้มีการออกระเบียบว่าด้วยเรื่องซากผลิตภัณฑ์ยานยนต์ของสหภาพยุโรป (EU Directive on End-of-Life Vehicles (ELV)) โดยกำหนดให้ตั้งแต่ 1 มกราคม 2549 สัดส่วนการใช้ซ้ำ/การดัดแปรทรัพยากรกลับ (Reuse and Recoverable) ไม่ต่ำกว่า 85% โดยน้ำหนัก และการใช้ซ้ำ/การรีไซเคิล (Reuse and Recyclable) ไม่ต่ำกว่า 85% โดยน้ำหนัก และตั้งแต่ 1 มกราคม 2558 สัดส่วนการใช้ซ้ำ/การดัดแปรทรัพยากรกลับ (Reuse and Recoverable) ไม่ต่ำกว่า 95% โดยน้ำหนัก และการใช้ซ้ำ/การรีไซเคิล (Reuse and Recyclable) ไม่ต่ำกว่า 85% โดยน้ำหนัก สภาวะตลาดและแนวโน้มการแข่งขัน ความสามารถในการแข่งขันของธุรกิจประเภทนี้ในสภาพธุรกิจปัจจุบัน สรุปเป็นประเด็นสำคัญได้ดังนี้

1. บุคลากร บุคลากรในธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนได้แก่

ก. พนักงานส่วนสำนักงาน ซึ่งมีหน้าที่ติดต่อ สนทนา โดยตรงกับลูกค้ารวมถึงการดำเนินการด้านธุรการ และการบริหารงาน อาจต้องมีความรู้ความสามารถด้านงานเอกสาร และด้านฐานข้อมูล

ข. พนักงานในส่วนโรงงานและคลังสินค้า มีหน้าที่ขนถ่าย จัดเก็บ และดูแลขยะรีไซเคิลที่ได้รับซื้อเข้ามา พนักงานกลุ่มนี้จะเป็นพนักงานที่ใช้แรงงานเป็นหลัก โดยพนักงานส่วนนี้ จัดได้ว่าเป็นพนักงานที่ไม่ต้องอาศัยทักษะฝีมือเฉพาะด้าน อาจมีเพียงการเตรียมพร้อม ให้พนักงานเข้าใจในระบบงานก่อนเริ่มปฏิบัติงาน อาจใช้รูปแบบการจ้างแบบรายวันได้

ค. หัวหน้างาน/ผู้จัดการโรงงาน ทำหน้าที่หลักในการบริหารจัดการขยะรีไซเคิลที่ได้รับซื้อเข้ามา ให้เกิดความเป็นระเบียบ สามารถคำนวณต้นทุน ความคุ้มค่าในการดำเนินงานในแต่ละช่วงอย่างเหมาะสม รวมถึงมีความรู้ในด้านเครื่องมือ เครื่องจักรที่ใช้ในสถานประกอบการ รวมถึงมีความรู้ด้านคุณสมบัติ คุณลักษณะของขยะรีไซเคิลแต่ละประเภท ความเป็นพิษ ข้อควรระวังในการจัดการขยะรีไซเคิลแต่ละประเภท พื้นฐานความรู้ของพนักงานกลุ่มนี้อาจจะจบการศึกษาทางด้านช่างเทคนิค ด้านช่างอุตสาหกรรม หรือวิศวกรรมศาสตร์

2. วัตถุดิบ สำหรับวัตถุดิบที่ในธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล หมายถึงขยะรีไซเคิลที่รับซื้อเข้ามา โดยชนิดและประเภทของขยะรีไซเคิลที่จะทำการรับซื้อนั้นจะต้องสอดคล้องกับรูปแบบในการดำเนินธุรกิจของแต่ละบริษัท กล่าวคือ ถ้าเป็นสถานบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลกระดาษ วัตถุดิบนำเข้าก็จะเป็นเฉพาะกระดาษประเภทต่างๆ

จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2549 พบว่าหากประเมินสถานการณ์ของขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในปัจจุบัน จากปริมาณขยะในประเทศทั้งหมดประมาณ 14-15 ล้านตันต่อปี มีขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 6.5 ล้านตันต่อปี แต่ประเทศไทยมีศักยภาพในการรวบรวมขยะรีไซเคิลอยู่เพียงประมาณ 2.8 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นปริมาณขยะรีไซเคิลที่ไม่สามารถรวบรวมได้ เท่ากับ 3.7 ล้านตัน นับว่าประเทศไทยยังมีศักยภาพในการดำเนินธุรกิจรีไซเคิลสูงมาก

3. ระบบการจัดการ ปัจจุบันการจัดการภายในองค์กรและการให้บริการอย่างเป็นระบบของธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิลยังอยู่ในระดับต่ำผู้ประกอบการส่วนมากเป็นผู้ประกอบการรายย่อย ที่ทำการรับซื้อขยะรีไซเคิลในชุมชนประกอบกับธุรกิจที่เกี่ยวกับขยะนั้น

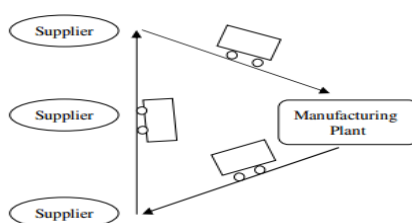
ผู้ประกอบการไม่มีเทคโนโลยีและความเชี่ยวชาญมากนัก อาจมีเพียงผู้ประกอบการรายใหญ่ ในรูปแบบของบริษัทที่ดำเนินธุรกิจอย่างมีแบบแผนและเทคโนโลยี

2.2 การขนส่งวัตถุดิบแบบระบบมิลค์รัน

มิลค์รัน (milk run) เป็นแนวคิดระบบการขนส่งที่พัฒนามาจากระบบการขนส่งนมวัวเข้าโรงงาน ซึ่งสหกรณ์มีรถ 1 คันออกวิ่งไปรับน้ำนมดิบจากเกษตรกรผู้เลี้ยงวัวตามจุดหมายต่างๆ ตามเวลาที่นัดหมายในแต่ละรอบ อีกแนวคิดหนึ่งบอกว่า milk run มาจากเด็กส่งนมตามบ้านที่ขี่จักรยานไปหย่อนขวดนมที่ประตูบ้านในตอนเช้า ก่อนที่เจ้าของบ้านจะออกไปทำงาน ทั้ง 2 แนวความคิดต่างก็เป็นการใช้ความสำคัญของการกำหนดจุดหมาย และการกำหนดเวลาถึงจุดหมาย

มิลค์รัน (milk run) เป็นหนึ่งในเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อสนับสนุนระบบการผลิตแบบ Just-in-time เพื่อช่วยลดต้นทุนรวมของการขนส่งและลดปริมาณสินค้าคงคลัง โดยทางโรงงานจะจัดรถบรรทุกในการวิ่งออกไปรับวัสดุจาก supplier แต่ละรายตามเส้นทางที่จัดไว้ และทำการนัดหมายช่วงเวลาในการรับวัสดุ เมื่อรถบรรทุกรับของจาก supplier ครบทุกรายในเส้นทางที่จัดไว้แล้ว ก็จะเดินทางกลับเข้ามาในโรงงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 2.2 ข้อดีของการขนส่งระบบมิลค์รันที่ทำให้เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางมีดังนี้

1. ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง
2. สามารถปรับปรุงการทำงานของสายการผลิตที่ต่อเนื่อง และสนับสนุนการทำงานของระบบ Just in time (JIT) และสามารถพัฒนาระบบการสั่งซื้อ
3. สามารถปรับปรุงอัตราการบรรทุกสินค้า, การลดระยะทางการขนส่ง และตอบสนองความต้องการที่หลากหลายของลูกค้า
4. สามารถลดความเสี่ยงเรื่องคุณภาพของสินค้า ผู้ผลิตสามารถหาต้นเหตุของปัญหาและติดต่อกับผู้จัดหาเพื่อจัดหาสินค้ามาแทนที่ ซึ่งเป็นการลดผลกระทบที่จะเกิดขึ้นกับยอดขาย
5. เป็นการเปลี่ยนกลยุทธ์ทางด้านโลจิสติกส์ จากการที่ใช้บุคคลภายนอก โดยสามารถลดกระบวนการทำงานในคลังสินค้า, การเพิ่มขึ้นของสินทรัพย์ และลดความเสี่ยงในการลงทุน โดยการใช้บุคคลภายนอก



ภาพประกอบ 2.2 กระบวนการทำงานของระบบมิลค์รัน

ที่มา : Sadjadi [22]

2.3 การหาระยะทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path)

กระบวนการพิจารณาหาระยะทางของเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path) ของพาหนะแต่ละคันนั้นในการวางแผนการขนส่งของบริษัทรถโดยสารใช้โปรแกรมการคำนวณที่เรียกว่ากราฟ (Graph) [23] ซึ่งก็คือ กลุ่มของจุดและเส้นที่เชื่อมต่อกัน โดยจุดในกราฟจะเรียกว่า Vertex และเส้นที่เชื่อมระหว่าง 2 จุดใดๆ จะเรียกว่า Edge ซึ่งในทางคณิตศาสตร์จะแทนด้วยสัญลักษณ์

$$G = (V, E) \quad (2.1)$$

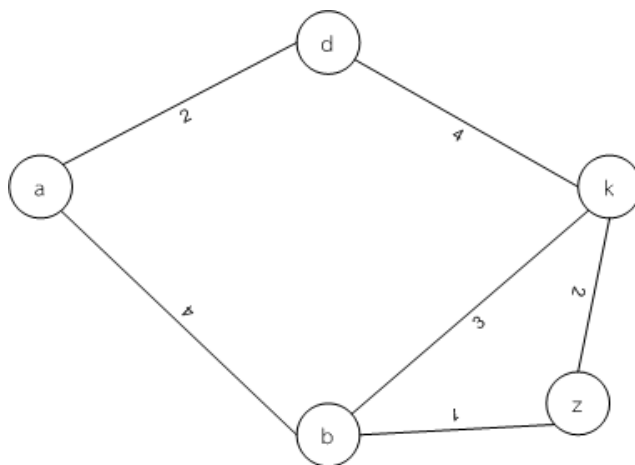
โดยที่

G คือ กราฟ

V คือ กลุ่มของ vertex ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ตัวอักษรหรือตัวเลขแทนแต่ละ vertex

E คือ กลุ่มของ edge ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ (A, B) แทน edge จาก vertex A ไปยัง vertex B

ในการคำนวณนี้ใช้หลักการของ ไดสตรา นักคณิตศาสตร์ชาวฮอลันดา เป็นผู้ค้นพบอัลกอริทึมในการคำนวณหาระยะทางสั้นที่สุดและกราฟน้ำหนักที่ไม่มีทิศทาง ซึ่งน้ำหนักของกราฟทุกโหนดมีค่าเป็นบวก โดยกำหนดให้ กราฟ $G = (V, E)$ มี n โหนด และ $w(v, u)$ นั้น w เป็นน้ำหนักของเส้นเชื่อมจากโหนด v ไปที่โหนด u และ $w > 0$ ตัวอย่างดังแสดงในภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 กราฟที่มีน้ำหนัก

กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางที่ทำให้ระยะทางรวมของการวางแผนการขนส่งให้การเดินทางมีระยะที่สั้นที่สุด แสดงในภาพประกอบ 2.3 ระหว่างโหนด A และ Z หากอธิบายอัลกอริทึม Dijkstra ด้วย Pseudocode มีขั้นตอนดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 ดังนี้ [24] [25]

กำหนดให้ S แทน Vertex เริ่มต้น S เป็นสับเซตของ Shortest Path

$$(SP)(S \subseteq SP)$$

```

Dijkstra ( $G, w, s$ )           // อัลกอริทึม Dijkstra
 $PQ \leftarrow \emptyset$          // สร้าง Priority Queue ที่ยังไม่มีข้อมูลใดๆ
                                (กำหนดให้ ข้อมูลที่มีค่าน้อยมี Priority สูง)
Initialize – Single – Source( $G, s$ )
                                // กำหนดค่าเริ่มต้นของแต่ละ Vertex
 $S \leftarrow \emptyset$          // กำหนดให้ A ยังไม่มีข้อมูลใดๆ
 $PQ \leftarrow V[G]$          // นำ Vertex มาใส่ลงใน Priority Queue
while  $PQ \neq \emptyset$  do      // พิจารณาว่ายังมีข้อมูลใน Priority Queue หรือไม่
 $u \leftarrow \text{Dequeue } PQ$     // เลือกด้านที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดจาก Priority Queue
 $S \leftarrow S \cup \{u\}$       // นำ S มาต่อกับ {u} เพิ่มเติม
for each vertex  $v \in \text{Adj}[u]$  do
                                // พิจารณาแต่ละ Vertex ที่ประชิดกับ Vertex u
Relax( $u, v, w$ )              // ปรับเปลี่ยนค่าประมาณเส้นทางสั้นที่สุดให้กับ Vertex

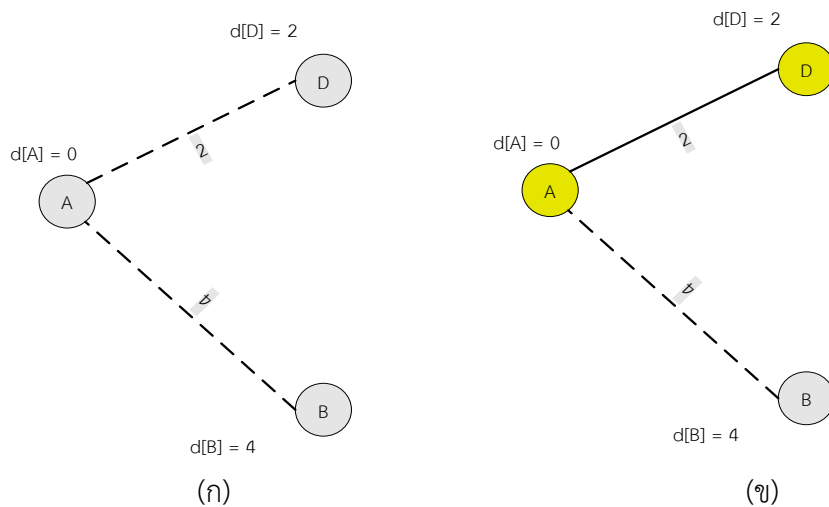
```

ภาพประกอบ 2.4 อธิบายอัลกอริทึม Dijkstra ด้วย Pseudocode

- (1) Dequeue “A” ออกจาก Priority Queue เนื่องจากค่าของ $d[A]$ น้อยที่สุด ($d[A] = 0$) ดังแสดงในตารางที่ 2.1
- (2) พิจารณาแต่ละ Vertex ที่ถูกชี้ด้วย A นั่นคือ B และ ดังภาพประกอบ 2.5 (ก)
- (3) เปรียบเทียบค่าประมาณเส้นทางสั้นที่สุดของทุก Vertex โดยเลือกเส้นทางไป D เนื่องจาก $d[D]$ มีค่าน้อยกว่า $d[B]$ (การเปรียบเทียบจะไม่พิจารณาข้อมูลที่ Dequeue ไปแล้ว) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5 (ข)

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนที่ 1 Dequeue “A”

Vertex (v)	A	B	D	K	Z
$d[v]$	0	∞	∞	∞	∞



ภาพประกอบ 2.5 ขั้นตอนที่ 1 Dequeue “A”

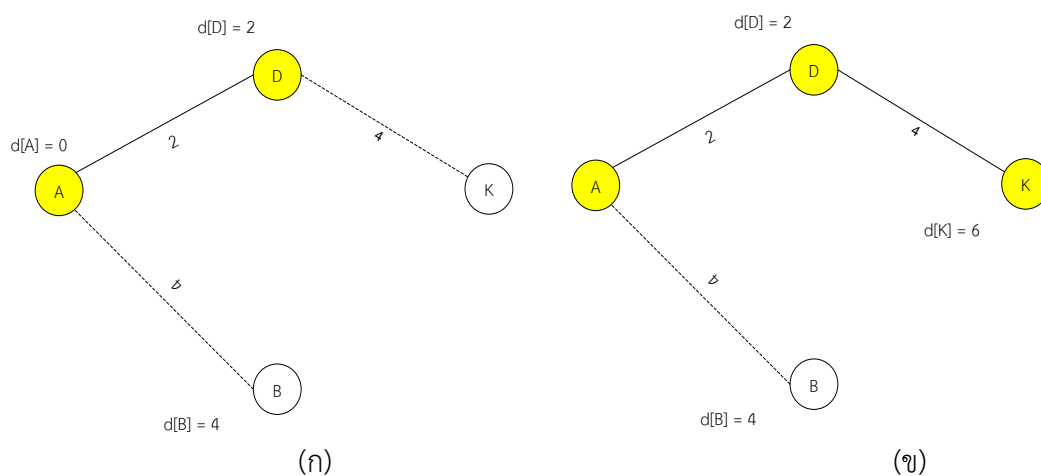
(1) Dequeue “D” ออกจาก Priority Queue เนื่องจากค่าของ $d[D]$ น้อยที่สุดใน Priority Queue ดังแสดงในตารางที่ 2.2

(2) พิจารณาแต่ละ Vertex ที่ถูกชี้ด้วย D นั่นคือ K ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 (ก)

(3) พิจารณาที่ K พบว่ามี 1 เส้นทาง คือ เส้นทาง $A \rightarrow D \rightarrow K$ จะได้ค่า $d[K] = 6$ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.6 (ข)

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนที่ 2 Dequeue “D”

Vertex (v)	B	D	K	Z
$d[v]$	4	2	6	∞



ภาพประกอบ 2.6 ขั้นตอนที่ 2 Dequeue “D”

(1) Dequeue “B” ออกจาก Priority Queue เนื่องจากค่าของ $d[B]$ น้อยที่สุดใน Priority Queue ดังแสดงในตารางที่ 2.3

(2) พิจารณาแต่ละ Vertex ที่ถูกชี้ด้วย B นั่นคือ K และ Z ดังภาพประกอบ 2.7 (ก)

(3) พิจารณาที่ K พบว่ามี 2 เส้นทางคือ

1 เส้นทางคือ $A \rightarrow D \rightarrow K$ จะได้ $d[K_{เดิม}] = 6$

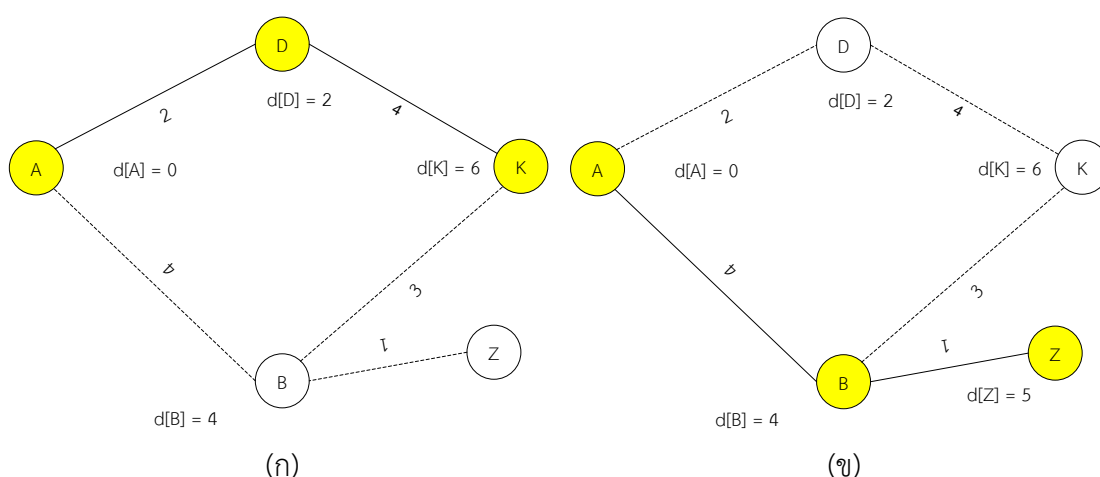
2 เส้นทางคือ $A \rightarrow B \rightarrow K$ จะได้ $d[K_{ใหม่}] = 7$

ฟังก์ชัน Relax จะเลือกเส้นทางเดียวที่ $d[K]$ ที่มีค่าน้อย นั่นคือ $d[K_{เดิม}]$

(4) เลือกเส้นทางไป Z เนื่องจาก $d[Z]$ มีค่าน้อยกว่า $d[K]$ ดังภาพประกอบ 2.7 (ข)

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนที่ 3 Dequeue “B”

Vertex (v)	B	K	Z
$d[v]$	4	6	∞



ภาพประกอบ 2.7 ขั้นตอนที่ 3 Dequeue “B”

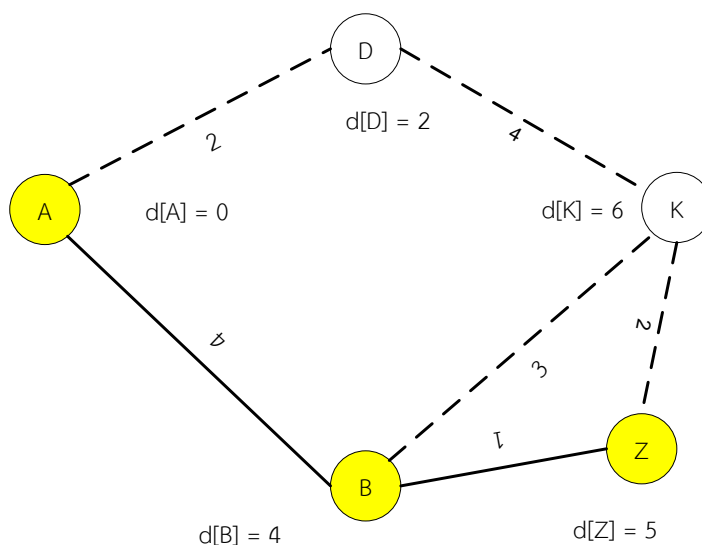
ในการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุด ระหว่างโหนด A และ Z โดยใช้อัลกอริทึม Dijkstra ทำได้ดังนี้คือให้โหนด A เป็นจุดเริ่มต้นการเดินทางจากจุด A ไปยังโหนดอื่น มี 2 วิธีคือ A,D และ A,B ระยะทางจาก A,D และ A,B มีค่าเป็น 2 และ 4 ตามลำดับ ดังนั้น D จึงเป็นโหนดที่อยู่ใกล้ A มากที่สุด ต่อมาจึงคำนวณหาโหนดที่อยู่ใกล้ที่สุดโดยคำนวณจากวิธีทั้งหมดต่อจาก A และ D (จนกระทั่งถึงโหนดปลายทาง) เมื่อพิจารณาขั้นตอนต่อไป พบว่าวิธีของโหนด A กับ B เท่ากับ 4 ซึ่งสั้นกว่าวิธีจาก A,D,K ซึ่งมีความยาวเป็น 6 ฉะนั้นโหนดที่ใกล้ A ที่สุดอันดับถัดมาคือ B ในการหาโหนดใกล้ A อันดับสาม ทำได้โดยการหาวิธีที่ผ่านโหนด A,D และ B (จนกระทั่งถึงโหนดปลายทาง) เมื่อเดินทางจาก A ไป K สามารถทำได้ 2 วิธี คือจาก A,D,K มีความยาวเป็น 6 จาก A,B,K มีความยาวเป็น 7 และเมื่อเดินทางจาก A,B,Z ได้ความยาว 5 ดังนั้นจึงคำนวณได้ค่าระยะทางสั้นที่สุดมีค่า

เป็น 5 สรุปแต่ละเส้นทางบนกราฟ ระหว่างโหนด A และ Z ดังแสดงในภาพประกอบ 2.8 และสรุปการเดินทางทุกเส้นทางดังตารางที่ 2.4

วิธีการหาเส้นทางของกราฟที่มีการระบุทิศทางนั้นค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากต้องทำตามเงื่อนไขของทิศทางที่กำหนดไว้ โดยจำเป็นต้องพิจารณาเส้นทางอื่นๆ ควบคู่กัน เพื่อดูผลรวมของค่าน้ำหนักทั้งหมดของเส้นทางนั้นๆ ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าเส้นทางใดที่มีค่าน้ำหนักรวมน้อยที่สุด ซึ่งวิธีการแก้ปัญหา Shortest Path ด้วย Dijkstra's Algorithm นั้นจะพิจารณา Edge ของแต่ละ Vertex เพื่อหา Edge ที่มีค่าน้ำหนักน้อยที่สุด โดยที่จะต้องนำผลรวมค่าน้ำหนักของเส้นทางนั้นมาเทียบกับผลรวมค่าน้ำหนักของเส้นทางอื่นด้วย เพื่อเปรียบเทียบว่าค่าน้ำหนักเส้นทางที่เลือกนั้นจะยังมีผลรวมค่าน้ำหนักของเส้นทางทั้งหมดน้อยที่สุดหรือไม่

ตารางที่ 2.4 สรุปการเดินทางทุกเส้นทางในกราฟ

Vertex	Path	Weight
A → B	A → B	4
A → D	A → D	2
A → K	A → D → K	6
A → Z	A → B → Z	5

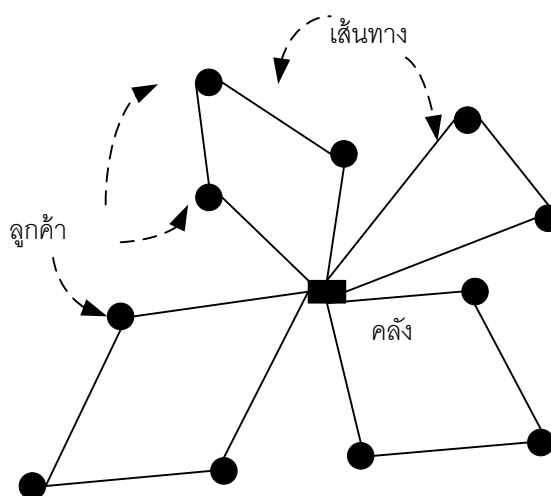


ภาพประกอบ 2.8 แสดงระยะทางสั้นที่สุดจากโหนด A ถึง โหนด Z

2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) ปัญหา VRP นี้ถือเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistics) คือปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด ในการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางของการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคมที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อให้ลูกค้าพึงพอใจในบริการ ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน กมลชนกและคณะ [26] กล่าวว่า การขนส่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในกลยุทธ์โลจิสติกส์ ผู้ขนส่งต้องเข้าใจถึงบทบาทของการขนส่งต่อระบบโลจิสติกส์ของกิจการ ในขณะเดียวกันก็ต้องเข้าใจความพยายามของผู้ขนส่งในการสนองต่อความต้องการของลูกค้าด้วยเช่นกัน เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือ การพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะ m คันให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้า โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วยเช่น เวลา, จำนวนยานพาหนะและระยะทาง เป็นต้น

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง (The Single-Depot Vehicle Routing Problem; SDVRP) แตกต่างจากปัญหา TSP กล่าวคือ เรียกชื่อยานพาหนะขนส่ง (Vehicle) แทนพนักงานขาย ซึ่งมีจุดเริ่มต้นในการเดินทางที่เหมือนกันคือ จุดศูนย์กระจายสินค้ากลาง (Depot) องค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา SDVRP ประกอบไปด้วยศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง เซตลูกค้าจำนวน n ราย และเซตพาหนะส่งจำนวน m คัน ระยะทางระหว่างจุดสองจุดมีการคำนวณระยะทางประมาณการแบบ Euclidean distance การบรรทุกสินค้าขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัด Q ลูกค้าทุกรายเป็นสมาชิกของ $i \in \{1, \dots, n\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับ q_i การออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มของพาหนะขนส่งออกเป็น m กลุ่มหรือเรียกว่าการแบ่งสายส่งเพื่อออกไปขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ดังภาพประกอบ 2.9



ภาพประกอบ 2.9 การจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งแบบ SDVRP

สำหรับปัญหา VRP นี้ผู้ที่คิดค้นเริ่มแรกคือ Dantzig and Rammer [27] มีนักวิจัยจำนวนหนึ่งที่พัฒนาต่อกันมาเรื่อยๆ รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะถูกเสนอจากนักวิจัยหลายท่านเช่น Bodin et al. [28] และ Filipec et al. [29] ซึ่งกำหนดตัวแปรตัดสินใจ X_{ij}^k ในการแก้ปัญหาโดยมีพารามิเตอร์แบบจำลองดังนี้

K = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

N = จำนวนโหนดทั้งหมด

Q = ความจุของยานพาหนะ

D = ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดของยานพาหนะ

q_i = ความต้องการในการส่งสินค้าโหนด i

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างโหนด i และ โหนด j

t_{ij} = เวลาในการเดินทางสำหรับยานพาหนะระหว่างโหนด i และ โหนด j

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบ (Binary) คือ

$$\left. \begin{aligned} X_{ij}^k &= 1 \text{ ถ้ายานพาหนะ } k \text{ คนส่งสินค้าระหว่างโหนด } i \text{ ไปยังโหนด } j \\ &= 0 \text{ ในกรณีอื่นๆ} \end{aligned} \right\}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ดังสมการที่ 2.2

$$\text{Min} Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, j \neq i}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^k \quad (2.2)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints) ดังสมการที่ 2.3 ถึงสมการที่ 2.10

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (2.4)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ip}^k - \sum_{j=0}^N X_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.5)$$

$$\sum_{j=0}^N q_j (\sum_{i=0}^N X_{ij}^k) \leq Q \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N t_{ij} X_{ij}^k \leq D \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.7)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i0}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.9)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i,j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (2.10)$$

สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.2 คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้หาค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.3 และ 2.4 คือประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.5 ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามาถึงจุดส่งสินค้าแล้ว ยานพาหนะจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.6 ยานพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.7 แสดงข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดของยานพาหนะเพื่อใช้ในการเดินทางเพื่อขนส่งสินค้า สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.8 และ 2.9 ประกันว่ายานพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ที่ 2.10 แสดงการเชื่อมโยงกันระหว่างลูกค้า i และ j โดยเป็นได้สองอย่างคือได้รับการเชื่อมโยงกับไม่ได้รับการเชื่อมโยง

2.5 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยศาสตร์การวิจัยดำเนินงานจำแนกออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact) และ วิธีฮิวริสติก (Heuristic) [30]

วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact) ที่ได้รับความนิยมนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีซิมเพล็กซ์, วิธีแตกกิ่ง และวิธีกำเนิดสดมภ์ และพบว่าวิธีกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เป็นเทคนิคเพื่อหาคำตอบในปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขนาดใหญ่ (Large-Scale Optimization Problem) และลดความยุ่งยากของการแก้ปัญหาได้ทั้ง Integer Programming (IP) และ Linear Programming (LP) [31] และจากการศึกษาการแก้ปัญหา LP ขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดขนาดและความซับซ้อนของปัญหา LP ขนาดใหญ่ลงได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับการแก้ปัญหาด้วยวิธี Simplex

วิธีฮิวริสติก เป็นแนวทางที่พยายามลดความซับซ้อนของปัญหาด้วยหลักการคิดของผู้ที่พัฒนาวิธีเพื่อประมาณหาค่าผลเฉลยที่มีคุณภาพในระดับที่สามารถยอมรับได้ แม้ว่าวิธีฮิวริสติกจะได้ผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่วิธีนี้ก็มีจุดเด่นอยู่ที่ความรวดเร็วในการคำนวณผลเฉลย โดยจำแนกการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกออกเป็น 4 ประเภท [32] ดังต่อไปนี้

1. Constructive Heuristics คือวิธีฮิวริสติกที่ได้ผลเฉลยจากการแก้ปัญหาเพียงรอบเดียว กลุ่มนี้มักจะใช้เวลาแก้ปัญหาที่น้อย เช่น วิธีแบบประหยัด (Saving Method) [33] และวิธีกวาด (Sweep Method) [34]

2. Improvement Heuristics คือวิธีฮิวริสติกนำผลเฉลยเบื้องต้นมาทำการพัฒนาคุณภาพของผลเฉลยโดยมากผลเฉลยเบื้องต้นจะได้มาจากวิธี Construction Heuristics เช่นวิธี r -opt exchanges

3. Population Mechanism คือวิธีวิวิธวิธีที่ทำการวนรอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเรื่อยๆ โดยพัฒนาจากผลเฉลยเดิมในรอบก่อนหน้า วิธีวิวิธวิธีในกลุ่มนี้มักจะเป็นวิธีที่มีแนวคิดพื้นฐานแบบ Genetic Algorithm เช่นวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง [35]

4. Learning Mechanism คือวิธีวิวิธวิธีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Population Mechanism ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาเบื้องต้น จากนั้นทำการวนรอบแก้ปัญหาทั้งหมดโดยเรียนรู้จากการแก้ปัญหาในรอบก่อนหน้าเพื่อที่จะหาผลเฉลยที่ดีที่สุดกว่าเดิมในทุกๆ รอบ และหยุดการวนรอบเมื่อได้ผลเฉลยที่ต้องการ เช่น วิธี Ant Algorithm Heuristic [36]

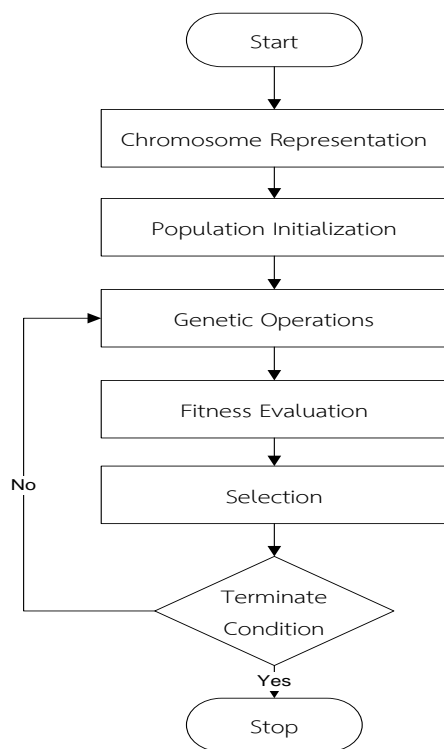
2.6 วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรมได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย ฮอลแลนด์ [37] เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยการประยุกต์เอากระบวนการทางชีววิทยามาใช้ เป็นการคัดเลือกตามธรรมชาติจากรุ่นสู่รุ่น ซึ่งจะมีการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ ไว้ โดยมีรากฐานมาจากการวิวัฒนาการของ ชาร์ล ดาร์วิน (Charles Dawin) โดยที่รุ่นพ่อแม่จะมีลักษณะต่างๆ อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม (Chromosome) รุ่นลูกหลานจะได้รับลักษณะต่างๆ จากพ่อแม่และจะมีการคัดเลือกรุ่นลูกที่มีลักษณะที่เหมาะสมเพื่อยู่อรอดต่อไป คำศัพท์ที่ใช้จึงเป็นคำศัพท์ทางชีววิทยาในการใช้แก้ปัญหา โดยการสร้างสายลำดับแทนคุณลักษณะของตัวแปรที่ตัดสินใจ สายลำดับของตัวแปรเหล่านี้เรียกว่าโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งในหนึ่งโครโมโซมนั้นจะประกอบไปด้วยรหัสต่างๆ ซึ่งรหัสเหล่านี้จะถูกเรียกว่ายีน (Gene) ซึ่งตำแหน่งที่ยีนอยู่บนโครโมโซมจะถูกเรียกว่า โลคัส (Locas) และสำหรับค่าที่อยู่ภายในยีนซึ่งสามารถมีได้หลายค่า และค่าเหล่านั้นจะถูกเรียกว่า อัลลีล (Allele) และลักษณะของยีนเหล่านั้นที่อยู่ในโครโมโซมเช่น รหัส เส้นทาง จะถูกเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) และค่าที่ได้หลังจากการถอดรหัสแล้วซึ่งเป็นตัวแปรอีกหนึ่งค่าจะถูกเรียกว่า ฟีนโนไทป์ (Phenotype) สามารถสรุปคำศัพท์เหล่านี้ออกมาได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความหมายของคำศัพท์

คำศัพท์ในวิธีการเชิงพันธุกรรม	ความหมาย
โครโมโซม	สายลำดับของค่าตัวแปร
ยีน	ตำแหน่งของตัวแปรบนชุดสายลำดับ
โลคัส	ตำแหน่งบนชุดสายลำดับ
อัลลีล	ค่าของตัวแปรในยีน
จีโนไทป์	ลักษณะบนชุดสายลำดับ
ฟีนโนไทป์	ค่าตัวแปรหลังทำการถอดรหัส

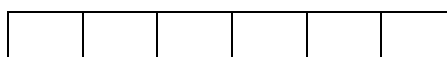
ลำดับขั้นตอนการทำงานหลักของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยทั่วไปจะประกอบด้วย การกำหนดรูปแบบของโครโมโซม (Chromosome Representation) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization) กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operations) การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) และการคัดเลือก (Selection) ดังภาพประกอบ 2.10



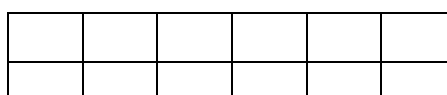
ภาพประกอบ 2.10 ลำดับวิธีการเชิงพันธุกรรม

1. การกำหนดรูปแบบโครโมโซม

การกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation) ให้เหมาะสมกับปัญหาที่จะทำการแก้ไขสำหรับการกำหนดโครโมโซมมีอยู่ 2 รูปแบบ เป็นชนิดแถวเดียว และเป็นชนิดหลายแถวเป็นตาราง ดังภาพประกอบ 2.11 แสดงรูปแบบโครโมโซมชนิดแถวเดียว และชนิดหลายแถว



โครโมโซมชนิดแถวเดียว



โครโมโซมชนิดหลายแถว

ภาพประกอบ 2.11 รูปแบบของโครโมโซมชนิดแถวเดียวและชนิดหลายแถว

2. การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization) คือขั้นตอนในการหาคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) เพื่อนำไปใช้ในการเริ่มต้นการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยการหาคำตอบเริ่มต้นสามารถหาได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นใช้คำตอบจากโปรแกรม หรือ ใช้วิธีสุ่มในการหาคำตอบมาเพื่อเป็นประชากรเริ่มต้น

การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง ในการดำเนินการเข้าสู่ขั้นตอนอื่นๆ ในขั้นตอนเชิงพันธุกรรม จำเป็นต้องผ่านการเข้ารหัสโครโมโซมก่อน ซึ่งการเข้ารหัสนั้นสามารถเข้าได้หลายรูป เช่น เลขฐานสอง จำนวนเต็ม ค่าของข้อมูล หมายเลขลำดับ หรือสัญลักษณ์เฉพาะ ในที่นี้จะยกตัวอย่างการเข้ารหัสโครโมโซมที่ใช้การจัดเส้นทางเดินรถโดยเข้ารหัสเป็นหมายเลขจุดดังภาพประกอบ 2.12

4	3	1	6	5	2
---	---	---	---	---	---

ภาพประกอบ 2.12 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม

3. กระบวนการเชิงพันธุกรรม

กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operations) กระบวนการเชิงพันธุกรรมนี้จะมีกิจกรรมหลักอยู่ 2 ขั้นตอน การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ในขั้นตอนนี้จะเป็นการค้นหาและแลกเปลี่ยนผลคำตอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดีขึ้น ซึ่งในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ มีขั้นตอนและวิธีการอยู่หลายรูปแบบ

ก. การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) เป็นกระบวนการที่ดำเนินการร่วมกันของ 2 โครโมโซม (โครโมโซม พ่อ แม่) ดำเนินการถ่ายทอดลักษณะการสร้างโครโมโซมใหม่ (โครโมโซม ลูก) โดยทั่วไปการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ไม่ควรเกิดกับประชากรทั้งหมด โดยโอกาสการเกิด การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover Probability) ซึ่งปกติช่วงความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จะอยู่ที่ 0.7-0.9 และวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์มีหลากหลายวิธีซึ่งได้ทำการยกตัวอย่างต่อไปนี้

1). การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ one point วิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธีนี้ถูกนำเสนอโดย Murata [38] ซึ่งวิธีการดำเนินการจะเริ่มต้นโดยการนำโครโมโซม พ่อ และ แม่ มาทำการสุ่มตัด 1 จุด ตัดโครโมโซมออกเป็น 2 ส่วน (แทนจุดสัญลักษณ์ “|”) โดยขั้นการแลกเปลี่ยนขั้นแรกในการทำการแลกเปลี่ยนจะสุ่มจุดตัดซึ่งจุดตัดสมาชิกพ่อ และ แม่ ต้องมีจุดตัดที่ตรงกันดังภาพประกอบ 2.13 (ก) หลังจากนั้นทำการส่งผ่านยีนในช่วงที่ทำการตัดจากโครโมโซม P1 ไปยังโครโมโซม O1 และจากโครโมโซม P2 ไปยังโครโมโซม O2 และแทนค่าส่วนช่วงที่ไม่ได้ยังไม่ได้

รับการส่งผ่านยีนด้วยเครื่องหมาย x ตามภาพประกอบ 2.13 (ข) เมื่อได้ส่งผ่านยีนขั้นแรกเสร็จแล้ว พิจารณายีนจากพ่อแม่ โดยการตัดยีนที่มีค่าซ้ำในส่วนที่ถูกได้รับการถ่ายทอดออกไป และถ่ายทอดที่เหลือไปยังรุ่นลูกที่ได้กำหนดไว้โครโมโซม P1 จะตัดค่าที่โครโมโซม O2 ได้รับถ่ายทอดไปแล้ว และโครโมโซม P2 จะตัดค่าที่โครโมโซม O1 ได้รับถ่ายทอดไปแล้วตามภาพประกอบ 2.13 (ค) ทำการถ่ายทอดยีนที่ทำการพิจารณาและตัดค่าที่ซ้ำออกไปแล้วไปยังรุ่นลูกในส่วนที่ยังไม่ได้รับค่าดังภาพประกอบ 2.13 (ง) ผลการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธี One point จากโครโมโซม พ่อ และ แม่ ที่ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นไปตามภาพที่ 2.13 (จ)

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
P2	=	(2	4	6	3	1	5)

(ก)

O1	=	(1	5	x	x	x	x)
O2	=	(2	4	x	x	x	x)

(ข)

P1	=	(1	5	3	x	6	x)
P2	=	(2	4	6	3	x	x)

(ค)

O1	=	(1	5	2	4	6	3)
O2	=	(2	4	1	5	3	6)

(ง)

P1		1	5	3	2	6	4
P2		2	4	6	3	1	5
O1		1	5	2	4	6	3
O2		2	4	1	5	3	6

(จ)

ภาพประกอบ 2.13 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point

2). การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ได้ถูกนำเสนอพร้อมๆ กับแบบ One point โดย Murata ซึ่งในวิธีนี้จะทำการนำโครโมโซม พ่อ และ แม่ มาทำการสับตัด 2 จุด (แทนจุดตัดสัญลักษณ์ “I”) โดยทำการตัดสมาชิกในรุ่นพ่อ และแม่ต้องมีจุดตัดที่ตรงกัน ดังภาพประกอบ 2.14 (ก) เมื่อทำการตัดเสร็จแล้วทำการส่งผ่านยีนที่อยู่นอกการตัด ไปยังรุ่นลูกจากโครโมโซม P1 ไปยังโครโมโซม O1 และจากโครโมโซม P2 ไปยังโครโมโซม O2 และแทนค่าส่วนช่วงที่

ยังไม่ได้รับการส่งผ่านยีนด้วยเครื่องหมาย X ตามภาพประกอบ 2.14 (ข) หลังจากนั้นมาพิจารณาที่ยีน พ่อ และ แม่ ตัดยีนที่ซ้ำกับลูกที่ได้รับไปแล้วโดยโครโมโซม P1 พิจารณาที่โครโมโซม O2 และ โครโมโซม P2 พิจารณาที่โครโมโซม O1 ดังภาพประกอบ 2.14 (ค) ทำการถ่ายทอดยีนที่ได้รับทำการ ตัดค่าเรียบร้อยแล้วไปยังรุ่นลูกในส่วนที่ยังไม่ได้รับการถ่ายทอดตามที่ภาพประกอบ 2.14 (ง) ภาพรวม การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two Point จากโครโมโซม พ่อ และ แม่ เมื่อทำการแลกเปลี่ยนแล้วได้ โครโมโซมลูก 1 และ 2 ดังภาพประกอบ 2.14 (จ)

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
P2	=	(2	4	6	3	1	5)

(ก)

O1	=	(1	X	X	x	x	4)
O2	=	(2	X	X	x	x	5)

(ข)

P1	=	(1	X	3	x	6	4)
P2	=	(2	X	6	3	x	5)

(ค)

O1	=	(1	2	6	3	5	4)
O2	=	(2	1	3	6	4	5)

(ง)

P1		1	5	3	2	6	4
P2		2	4	6	3	1	5
O1		1	2	6	2	5	4
O2		2	1	3	6	4	5

(จ)

ภาพประกอบ 2.14 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ two point

3). การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) ได้ถูกคิดค้นและนำเสนอโดย Goldberg and Lingle [39] ในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธีนี้จะ เริ่มต้นจากการสุ่มเลือกจุดตัดมา 2 จุด (แทนจุดตัดด้วยสัญลักษณ์ “|”) ซึ่งทำการตัดสมาชิกในรุ่นพ่อ และแม่ และต้องมีจุดตัดที่ตรงกันตามภาพประกอบ 2.15 (ก) ทำการสลับยีนที่อยู่ในช่วงการตัดของ

โครโมโซม P1 และ โครโมโซม P2 เพื่อสร้างรุ่นลูกดังภาพประกอบ 2.15 (ข) พิจารณายีนในส่วนที่ทำการสลับกันของโครโมโซม P1 และโครโมโซม P2 และทำการแผนภาพความสัมพันธ์ดังภาพประกอบ 2.15 (ค) พิจารณายีนที่โครโมโซม O1 และโครโมโซม O2 ถ้ายีนที่ไม่ได้อยู่ในช่วงการตัดมีค่าซ้ำกับยีนที่อยู่ในช่วงการตัด ให้ทำการเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์ที่มีต่อกันจากแผนภาพที่ได้สร้างมาตามภาพประกอบ 2.15 (ง) ผลการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) จากโครโมโซมพ่อและแม่ที่ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ได้ผลเป็นโครโมโซมลูก 1 และ ลูก 2 ตามภาพประกอบ 2.15 (จ)

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
P2	=	(2	4	6	3	1	5)

(ก)

O1	=	(1	5	3	2	6	4)
O2	=	(2	4	6	3	1	5)

(ข)

5	3	2
↕	↕	↕
4	6	3

(ค)

O1	=	(1	4	6	3	2	5)
O2	=	(6	5	3	2	1	4)

(ง)

P1	1	5	3	2	6	4
P2	2	4	6	3	1	5
O1	1	4	6	3	2	5
O2	6	5	3	2	1	4

(จ)

ภาพประกอบ 2.15 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX)

ข. การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการเชิงพันธุกรรมที่จะสร้างสมาชิกรุ่นลูก ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นการทำการแลกเปลี่ยนยีนภายในตัวสมาชิก

ตัวเดียวกันนั้น เช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่จะไม่เกิดการกลายพันธุ์ทั้งหมด โดยจะมีค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation Probability) เป็นตัวกำหนดโอกาสที่จะเกิดการกลายพันธุ์ขึ้นซึ่งค่าจะอยู่ในช่วง 0.1-0.3 และวิธีในการกลายพันธุ์มีหลายวิธีเช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ซึ่งยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

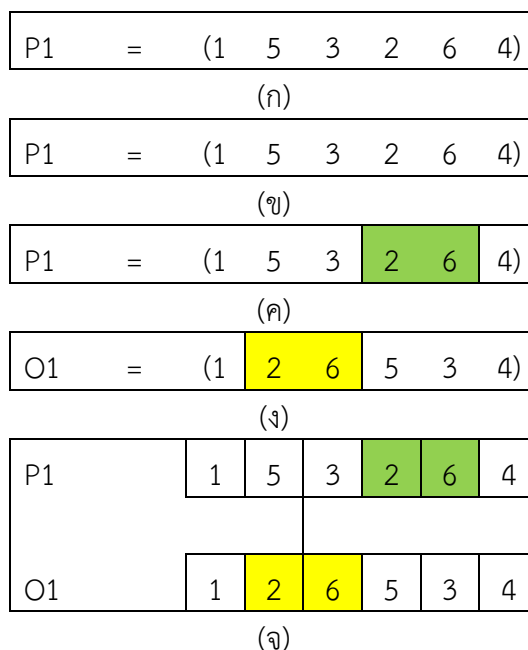
1). การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation) การกลายพันธุ์วิธีนี้เป็นการเลือกยีนโดยการสุ่มแล้วทำการแทรกลงในตำแหน่งที่สุ่มเพื่อให้ได้ประชากรใหม่ โดยขั้นตอนเริ่มแรกทำการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นพ่อแม่ตามภาพประกอบ 2.16 (ก) หลังจากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่ต้องการจะทำการแทรกตามภาพประกอบ 2.16 (ข) ขั้นตอนต่อไปจะทำการสุ่มเลือกยีนที่จะทำการเข้ามาแทรก ดังภาพประกอบ 2.16 (ค) หลังจากนั้นนำค่าที่ทำการเลือกไปแทนที่ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มเลือกไว้ ในที่นี้นำค่า 6 ไปแทรกในตำแหน่งที่ 2 ดังภาพประกอบ 2.16 (ง) การกลายพันธุ์แบบแทรกเป็นการเลือกยีนโดยการสุ่ม แล้วทำการแทรกลงในตำแหน่งที่สุ่มเพื่อให้ได้ประชากรใหม่โดยภาพประกอบ 2.16 (จ)

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
(ก)							
P1	=	(1	5	3	2	6	4)
(ข)							
P1	=	(1	5	3	2	6	4)
(ค)							
O1	=	(1	6	5	3	2	4)
(ง)							
P1		1	5	3	2	6	4
O1		1	6	5	3	2	4
(จ)							

ภาพประกอบ 2.16 การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation)

2). การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation) วิธีการกลายพันธุ์วิธีนี้มีขั้นตอนและวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธี การแบบแทรกแตกต่างกันที่ทำการสุ่มมาเป็นช่วงตำแหน่ง โดยเริ่มต้นจากการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นพ่อแม่ดังภาพประกอบ 2.17 (ก) หลังจากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการเคลื่อนตำแหน่งดังภาพประกอบ 2.17 (ข) หลังจากนั้นทำการสุ่ม 2 จุด เพื่อหาช่วงตำแหน่งยีนที่จะนำมาแทรกดังภาพประกอบ 2.17 (ค) ขั้นสุดท้ายนำช่วงยีนที่ได้ทำการสุ่มเลือกไว้ไปแทนในตำแหน่งที่ทำการสุ่มเลือกไว้ โดยที่นำค่า 2 และ 6 ไปแทรกในตำแหน่งที่ 2 ดังภาพประกอบ 2.17 (ง) วิธีการกลายพันธุ์วิธีแบบเคลื่อนตำแหน่งมี

ขั้นตอนและวิธีที่คล้ายคลึงกับวิธีการแบบแทรกแตกต่างกันที่ทำการสุมมาเป็นช่วงตำแหน่ง และผลการกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่งดังภาพประกอบ 2.17 (จ)



ภาพประกอบ 2.17 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation)

3). การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation) วิธีการสลับตำแหน่งเป็นวิธีการที่ทำการเปลี่ยนแปลงยีน 2 ยีน โดยขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่น พ่อ แม่ ดังภาพประกอบ 2.18 (ก) เมื่อได้โครโมโซมตัวต้นแบบแล้วทำการสุ่มตำแหน่งจำนวน 2 ตำแหน่งดังภาพประกอบ 2.18 (ข) หลังจากนั้นทำการสลับยีนทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มเลือกมาจะได้สมาชิกในรุ่นลูกดังภาพประกอบ 2.18 (ค) วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งทำการจะทำการสุ่ม 2 ตำแหน่ง และทำการสลับค่าของทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มมาดังภาพประกอบ 2.18 (ง)

4. การประเมินความแข็งแรง (Fitness Evaluation)

การประเมินค่าความแข็งแรงจะทำโดย การถอดรหัสตัวโครโมโซมออกมาให้เป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) โดยในการวัดความแข็งแรงนั้นแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

1. กรณีที่ 1 มีวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective)
Fitness Function = Objective Function
2. กรณีที่ 2 มีหลายวัตถุประสงค์ (Multiple Objective)

$$\text{Fitness Function} = W_1 \text{ Objective Function}_1 + W_2 \text{ Objective Function}_2 + \dots + W_n \text{ Objective Function}_n$$

กรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์จะมีการใส่ค่าน้ำหนัก (W) เพิ่มเข้าไปในแต่ละวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นจะทำการรวมค่าจากทุกวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าความแข็งแรงของผลคำตอบที่ได้

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
----	---	----	---	---	---	---	----

(ก)

P1	=	(1	5	3	2	6	4)
----	---	----	---	---	---	---	----

(ข)

O1	=	(1	2	3	5	6	4)
----	---	----	---	---	---	---	----

(ค)

P1		1	5	3	2	6	4
O1		1	2	3	5	6	4

(ง)

ภาพประกอบ 2.18 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation)

5. การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือกเป็นการคัดสรรสมาชิกที่มีความเหมาะสมจากรุ่นปัจจุบันไปสู่รุ่นต่อไป ซึ่งโครโมโซมที่มีความแข็งแรงน้อยๆ ในการคัดเลือกมีวิธีการคัดเลือกอยู่หลายวิธี ดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้

ก. การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาง (Roulette Wheel Selection) การคัดเลือกวิธีนี้ใช้ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกซึ่งจะกำหนด โดยอัตราส่วนค่าจากความแข็งแรงของแต่ละโครโมโซมเทียบกับค่าความแข็งแรงรวมของโครโมโซมทั้งหมดตามสมการที่ 2.11

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{n=1}^N F_i} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.11)$$

โดยที่

P_i บ่งชี้ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกของโครโมโซม i

F_i บ่งชี้ค่าความแข็งแรงของโครโมโซม i

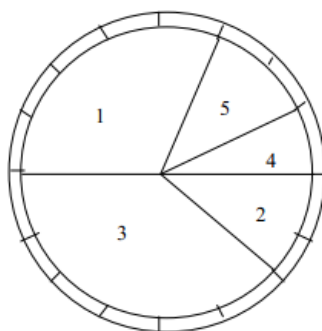
N บ่งชี้จำนวนประชากรทั้งหมด

ทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่ถูกเลือกดังตัวอย่างตามตารางที่ 2.6 สังเกตได้ว่าค่าที่มีความแข็งแรงสูงกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า และหลังจากนั้นทำการสร้างวงล้อเสี่ยงทางตามอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้คำนวณไว้ดังภาพประกอบ 2.19 และเมื่อพิจารณาพบว่าที่

โครโมโซมหมายเลข 3 มีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกเยอะที่สุด โดยในพื้นที่มีช่องเสี่ยงทายเยอะที่สุดหลังจากการทำการสุ่มเพื่อทำการเลือกโครโมโซมไปทำเป็นประชากรตั้งต้นในรุ่นต่อไป

ตารางที่ 2.6 วิธีการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก

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	100%



ภาพประกอบ 2.19 วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel)

ข. การคัดเลือกความแข็งแรง (Fitness Selection) ในวิธีการนี้ทำการนำค่าความแข็งแรงทั้งหมดมาเรียงลำดับ และทำการเลือกโครโมโซมตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้ โดยจะทำการเลือกโครโมโซมที่แข็งแรงสุดก่อน จากตารางที่ 2.7 แสดงให้เห็นการทำการคัดเลือกตามความแข็งแรงโดยในตารางกำหนดจำนวนที่ทำการคัดเลือกไว้ที่ 2 โครโมโซม

ตารางที่ 2.7 การคัดเลือกตามความแข็งแรง

Chromosome	Fitness	ผล
1	790	เลือก
2	580	เลือก
3	307	ไม่เลือก
4	245	ไม่เลือก
5	122	ไม่เลือก

6. การหยุดกระบวนการ (Terminate)

ในการกำหนดการหยุดกระบวนการ สามารถตั้งเป็นเงื่อนไขการหยุด เช่น กำหนดรอบของกระบวนการ หรือ เวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.7 การออกแบบการทดลอง

การวิจัยเชิงทดลอง เป็นกระบวนการค้นหาความรู้ความจริงโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์แบบหนึ่งซึ่งศึกษาความเปลี่ยนแปลงของตัวแปรในการทดลองที่เกิดขึ้น ภายใต้เงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่ได้รับการควบคุมอย่างรัดกุม เพื่อศึกษาว่าเงื่อนไขหรือสถานการณ์ที่จัดขึ้นนั้นเป็นสาเหตุที่แท้จริงของผลหรือปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนแปลงนั้นหรือไม่ โดยใช้วิธีการสังเกตเปรียบเทียบความแตกต่างของตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในสภาพปกติ กับที่เกิดขึ้นในสภาพที่ได้รับการควบคุมตามเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่เป็นความจริงต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ในการอธิบาย ทำนาย และควบคุมได้ การวิจัยเชิงทดลองเป็นการศึกษาจากสาเหตุไปหาผล คือต้องการจะทราบว่าตัวแปรที่ศึกษานั้นเป็น สาเหตุที่ทำให้เกิดผลเช่นนั้นจริงหรือไม่ เช่น ถ้าเกิด X แล้วจะต้องเกิด Y หรือไม่ ดังนั้นถ้าจะกล่าวให้เห็นชัดขึ้นก็อาจกล่าวได้ว่า การวิจัยเชิงทดลองเป็นการวิจัยเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเหตุผลของปรากฏการณ์ต่าง ๆ และถือกันว่าเป็นการวิจัยที่ให้ความเชื่อถือในผลการวิจัยที่ดีที่สุด การวิจัยเชิงทดลองมีความมุ่งหมายที่สำคัญเพื่อค้นหาข้อเท็จจริงของสาเหตุที่ทำให้เกิดผล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลของปรากฏการณ์ต่าง ๆ เพื่อนำผลการวิจัยไปสร้างเป็นกฎเกณฑ์ สูตร ทฤษฎี เพื่อวิเคราะห์หรือค้นหาข้อบกพร่องของงานต่าง ๆ เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขหรือพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.7.1 คำศัพท์เกี่ยวกับการทดลอง

1. การทดลอง (Experiment) หมายถึงกระบวนการค้นคว้าหาความจริงแบบหนึ่ง โดยกระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่ศึกษาหรืออาจเรียก ว่าตัวแปรทดลอง (Experimental Variable) เพื่อดูตัวแปรตามซึ่งเป็นผลที่จะเกิดขึ้นอันเนื่องมา จากผลของตัวแปรอิสระนั้น

2. การออกแบบทดลอง (Experiment Design) เป็นการออกแบบทั่วไปของการทดลอง ซึ่งเกี่ยวข้องกับจำนวนและการจัดการตัวแปรอิสระ รวมทั้งการสุ่มหรือการเลือกตัวอย่างและการกำหนดเงื่อนไขในการทดลองเพื่อควบคุมตัวแปรแทรกซ้อน หรือตัวแปรเกินมิให้มีผลต่อตัวแปรตาม การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องดำเนินการได้ง่าย และให้คำตอบที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา

3. **ตัวแปร (Variable)** หมายถึง ลักษณะของสิ่งที่สนใจศึกษา ซึ่งอาจเป็นคน พืช สัตว์ หรือสิ่งของที่สามารถแปรเปลี่ยนค่าได้ตามเวลา การแปรเปลี่ยนค่าของตัวแปรนั้น เรียกว่าระดับของตัวแปร เช่น เพศ แบ่งเป็นเพศชาย เพศหญิง ดังนั้นเพศเป็นตัวแปรที่มี 2 ระดับ

4. **ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)** บางครั้งเรียกว่าปัจจัย (Factor) หมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นก่อน และเป็นตัวแปรเหตุที่ทำให้ผลหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลง คุณลักษณะหรือแปรสภาพไป

5. **ตัวแปรตาม (Dependent Variable)** หมายถึงตัวแปรที่เกิดขึ้นทีหลัง หรือต้องเปลี่ยนแปลงหรือคุณลักษณะไปตามอิทธิพลของตัวแปรอิสระ ตัวอย่างของตัวแปรอิสระระดับของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม เช่น การศึกษาผลของอาหาร 3 สูตร ต่อการเจริญเติบโตของไก่ตัวแปรอิสระคือ อาหาร ระดับของตัวแปรอิสระมี 3 ระดับ (3 สูตร) และตัวแปรตามคือ น้ำหนักไก่ที่เพิ่มขึ้น

6. **ตัวแปรแทรกซ้อนหรือตัวแปรเกิน (Extraneous Variable)** หมายถึงตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาในขณะนั้น ซึ่งตัวแปรเกินจะมีลักษณะเหมือนตัวแปรอิสระที่มีผลหรืออาจจะมีผลต่อตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา ทำให้การวัดค่าตัวแปรตามคลาดเคลื่อนไปได้ ดังนั้น ในการทดลองจึงต้องพยายามควบคุมหรือขจัดอิทธิพลของตัวแปรเกินที่มีผลต่อตัวแปรตามให้หมดไปหรือให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

7. **ปัจจัย (Factor)** หมายถึง ตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษาว่ามีผลกระทบกับตัวแปรตามหรือไม่ เช่น ในการศึกษาเกี่ยวกับอาหาร 3 สูตร ที่ใช้ในการเลี้ยงไก่ ปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือ อาหาร (ตัวแปรอิสระ)

8. **ระดับของปัจจัย (Factor Levels)** หมายถึงชนิดย่อย ๆ หรือประเภทต่าง ๆ ของปัจจัย บางครั้งเรียกว่า ทรีทเมนต์ (Treatment) เช่น การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ย 2 ชนิด คือ ปุ๋ยคลอไรด์ กับปุ๋ยซัลเฟตต่อการเจริญเติบโตของหอมแดง ปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือ ปุ๋ย ส่วนระดับของปัจจัยหรือทรีทเมนต์ที่ต้องการศึกษาคือ ปุ๋ยคลอไรด์และปุ๋ยซัลเฟต

9. **ปัจจัยเดี่ยวและปัจจัยพหุ (Single Factor and Multiple Factor)** ปัจจัยเดี่ยวเป็นการศึกษาตัวแปรอิสระเพียงตัวแปรเดียวส่วนปัจจัยพหุเป็นการศึกษาตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัว

10. **ทรีทเมนต์ (Treatment)** หมายถึงระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหรือวิธีการต่าง ๆ ที่ใช้ปฏิบัติต่อหน่วยทดลอง แล้วหน่วยทดลองจะส่งผลตอบสนองออกมาเป็นข้อมูล เพื่อนำไปเปรียบเทียบอิทธิพลของทรีทเมนต์ตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง โดยที่ทรีทเมนต์อาจมาจากปัจจัยเดี่ยวหรือหลายปัจจัยร่วมกัน (Treatment Combination) ก็ได้

11. หน่วยทดลอง (Experimental Unit) หมายถึง หน่วยหรือกลุ่มของสิ่งทดลอง (ซึ่งในงานวิจัยจะเรียกว่า Experiment Materials) ที่ใช้ในการทดลองโดยได้รับอิทธิพลของทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง โดยหน่วยทดลองอาจเป็นต้นไม้ 1 ต้น พืช 1 แปลงสัตว์ทดลอง 1 ตัว จะเป็น 1 หน่วยทดลอง

12. หน่วยตัวอย่าง (Sampling Unit) หมายถึงส่วนหนึ่งของหน่วยทดลองหรือทั้งหน่วยของหน่วยทดลอง ซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ตามจุดประสงค์ของการทดลอง

13. ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง (Experimental Error) ความคลาดเคลื่อนหรือความผันแปรของการทดลอง หมายถึงความแตกต่างระหว่างหน่วยทดลองที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน การที่หน่วยทดลองหลาย ๆ หน่วยได้รับทรีทเมนต์เดียวกันแต่ให้ผลตอบสนองต่อทรีทเมนต์แตกต่างกันอาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุคือ

ก. ความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในหน่วยทดลอง (Inherent Variability) เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของหน่วยทดลอง เช่น ในการทดลองเกี่ยวกับสัตว์อาจมีความแตกต่างที่เกิดจาก อายุ เพศ หรือน้ำหนักเริ่มต้นของหน่วยทดลองก่อนทำการทดลอง

ข. ความผันแปรที่เกิดขึ้นภายนอกหน่วยทดลอง (Extraneous Variability) เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการทดลอง ซึ่งอาจจะเกิดจากความผิดพลาดของผู้ทดลอง โดยอาจเกิดจากการปฏิบัติที่ไม่สม่ำเสมอหรือไม่เหมือนกัน เช่น การให้อาหารหรือน้ำไม่เท่ากัน การใส่ปุ๋ย หรือการปราบวัชพืชแตกต่างกัน หรืออาจเกิดจากการใช้เครื่องมือที่ไม่ได้มาตรฐาน การขาดความละเอียดลออ ในการบันทึกข้อมูล

14. การซ้ำ (Replication) คือการทำซ้ำต่อหน่วยทดลองในการทดลองครั้งหนึ่งๆ จะมีหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วย ที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน เช่น ในการทดลองเลี้ยงไก่โดยใช้อาหารสูตร ก. (เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก) และอาหารสูตร ข. (เลี้ยงด้วยรำปนข้าว) ถ้าให้ไก่ 1 ตัวกินอาหารสูตร ก. และไก่อีกตัวหนึ่งกินอาหารสูตร ข. แสดงว่าการทดลองนี้ไม่มีการซ้ำ แต่ถ้าให้ไก่ 5 ตัวกินอาหารสูตร ก. และไก่ 3 ตัว กินอาหารสูตร ข. แสดงว่ามีการทำซ้ำเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้การเลี้ยงโดยอาหารสูตร ก. จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 5 ครั้ง และการเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร ข. จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 3 ครั้ง

15. การบล็อก (Blocking) การบล็อกเป็นการรวมกลุ่มลักษณะที่คล้าย ๆ กันของหน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลองมีความคล้ายคลึงกันภายในบล็อก และมีความแตกต่างกันระหว่างบล็อก ทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้

2.7.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Experiment of Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้เราสามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ซึ่งการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบได้แก่

1. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองรวมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ $a \times b$ การทดลองและโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

2. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2k เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงานและใน 2 ระดับที่กล่าวนี้จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่งๆ ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ เช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2k$ ข้อมูล การออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้

3. การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล $3k$ หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลางและระดับสูง ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้ตัวเลข -1, 0 และ 1 ตามลำดับ สังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติกได้

ข้อดีและจุดอ่อนของรูปแบบศึกษาโดยวิธีแฟกทอเรียล รูปแบบการทดลองโดยวิธีแฟกทอเรียล เป็นรูปแบบที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถศึกษาปัญหาต่างๆ ได้ อย่างกว้างขวางมากกว่ารูปแบบการทดลองธรรมดา ซึ่งมักจำกัดอยู่แต่อิทธิพลของสิ่งทดลองที่แตกต่างกันได้หลายชนิด(หรือหลายปัจจัย) และหลายระดับได้พร้อมๆ กัน รวมทั้งสามารถศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างสิ่งทดลองหลายๆ ชนิดนั้นเพื่อพิจารณาว่า อิทธิพลร่วมแบบไหนมีอิทธิพลสูงสุดและต่ำสุดหรือระดับไหนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ปฏิบัติเพื่อให้เกิดผลดีที่สุดได้การศึกษาปัจจัยต่างๆ พร้อมกันนี้ นับได้ว่าเป็นการศึกษาที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดเพราะในสภาพธรรมชาติแล้วปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อตัว

แปรตามนั้นไม่ใช่มีเพียงปัจจัยเดียวแต่มีปัจจัยหลายตัว และปัจจัยเหล่านั้นก็อาจมีอิทธิพลร่วมกันได้อีกด้วย ดังนั้นรูปแบบการทดลองโดยวิธีแฟคทอเรียลจึงมีข้อดีสรุปได้แก่ ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองครั้งเดียว เพื่อตอบคำถามได้หลายคำถามพร้อมกัน ผู้วิจัยสามารถทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลของสิ่งทดลองหลายชนิด และหลายระดับได้พร้อมกันหลายสมมติฐาน ในกรณีที่มียอิทธิพลร่วมระหว่างสิ่งทดลอง 2 สิ่งขึ้นไป จะทำให้ผู้วิจัยสามารถเข้าใจสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติของปัจจัยเหล่านั้นได้ดีมากยิ่งขึ้นอย่างไรก็ตามรูปแบบการทดลองนี้ ก็มีจุดอ่อนอยู่บ้าง โดยเฉพาะในเรื่องการสุ่มตัวอย่างเข้าสู่การทดลอง ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่สำคัญที่มักเกิดขึ้นในรูปแบบการทดลองที่มีปัจจัยหลายปัจจัยและมีหลายระดับ การสุ่มตัวอย่างจะทำได้ยากมากขึ้น จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ มิฉะนั้นจะเกิดความลำเอียงในการเลือกตัวอย่าง ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้เกิดอิทธิพลร่วมกับปัจจัยตัวอื่นได้อีกหลายตัวทำให้การสรุปผลการทดลองผิดพลาดได้เช่นเดียวกับรูปแบบการทดลองอื่นๆ

การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด ตามสมการ 2.12

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่ ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมากต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

บทที่ 3

การพัฒนาโปรแกรมการจัดการการขนส่งโดยประยุกต์ใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรม

การพัฒนาโปรแกรมโดยการใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่งกรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา เริ่มจากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่วิธีการทำงานและรูปแบบของปัญหา จากนั้นปรับกลไกการทำงานของวิธีการวิจัยเชิงพันธุกรรมเข้าสู่ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา ทำการออกแบบโปรแกรมการคำนวณ ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมการจัดการการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษานั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางการขนส่งแบบบูรณาการที่เหมาะสมที่สุด โดยตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรที่สูงที่สุด การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวาโดยใช้โปรแกรม eclipse และฐานข้อมูลของโปรแกรมบันทึกใน Microsoft Excel 2010

3.1 ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

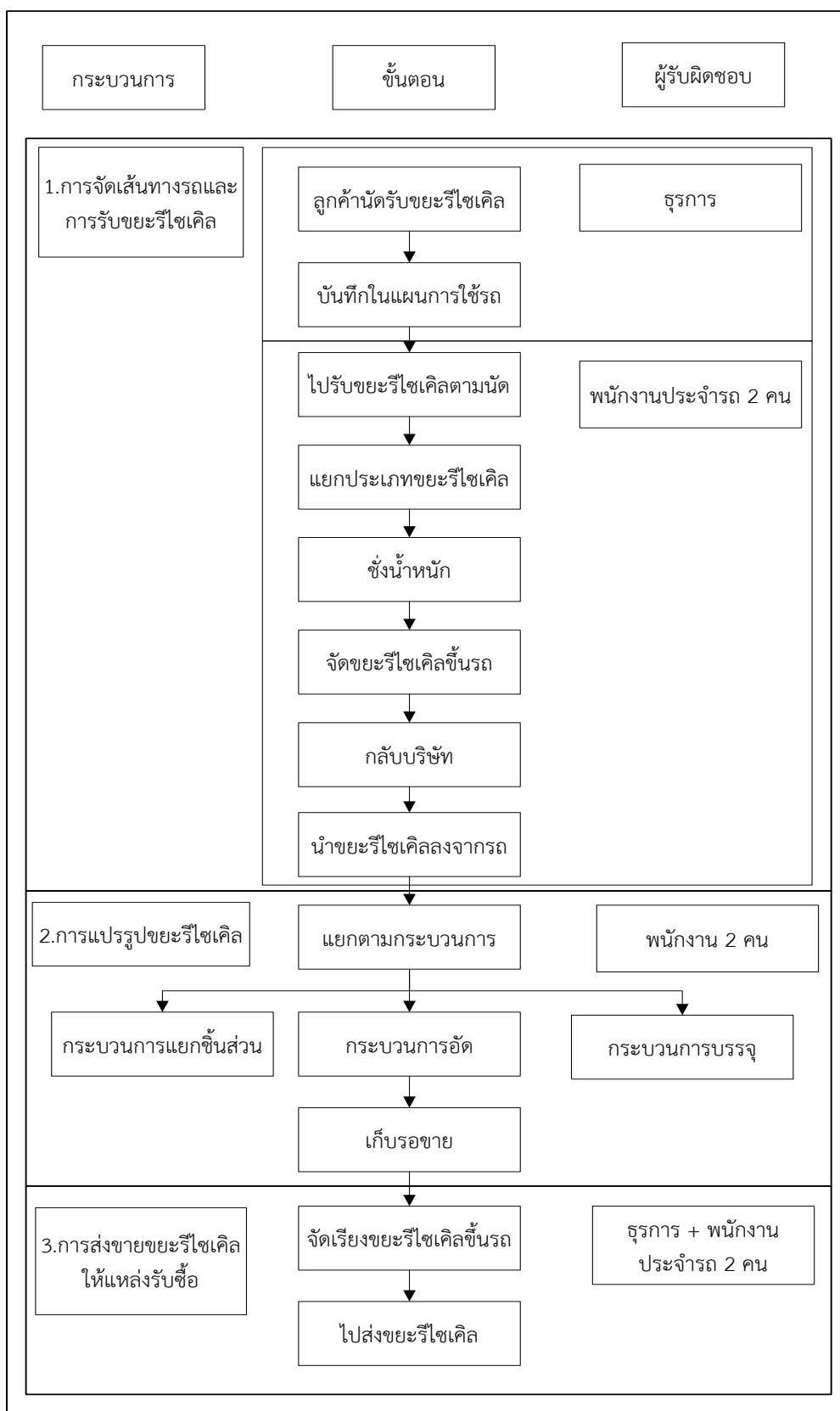
ลักษณะการทำงานและรูปแบบของปัญหาการวางแผนการจัดการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้กำไรที่สูงที่สุดนั้น เริ่มจากการศึกษาลักษณะการทำงานของแต่ละกระบวนการ ตั้งแต่การวางแผนการไปรับซื้อขยะรีไซเคิล การแปรรูปขยะรีไซเคิล จนกระทั่งการวางแผนการส่งขายขยะรีไซเคิล จำนวนคนงาน จำนวนเครื่องจักร จำนวนพาหนะ ชนิดของขยะรีไซเคิล เพื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุนของการดำเนินการ

3.1.1 ลักษณะการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

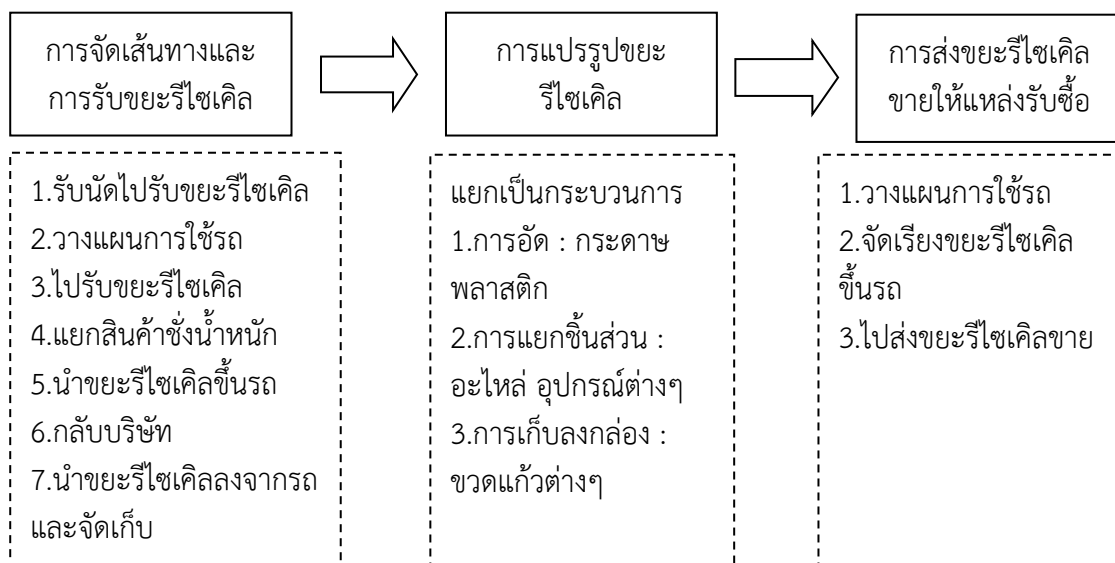
การวางแผนการขนส่งเป็นงานประจำของพนักงานฝ่ายธุรการของบริษัทกรณีศึกษาที่ต้องจัดพาหนะออกไปรับขยะรีไซเคิลตามที่ได้ทำการนัดหมายกับลูกค้าไว้ และขณะเดียวกันต้องวางแผนการส่งขยะรีไซเคิลที่ผ่านการแปรรูปออกไปขาย การจัดแผนการขนส่งเพื่อไปรับขยะรีไซเคิลจะถูกดำเนินการเมื่อพนักงานธุรการได้รับคำสั่งให้ไปรับขยะรีไซเคิลที่สถานที่นัดหมายโดยทราบปริมาณและชนิดของขยะรีไซเคิลที่ต้องไปรับ รายการนัดจะถูกบันทึกไว้ใน Microsoft Excel โดยมีการระบุวันที่ที่ต้องไปรับขยะรีไซเคิล สถานที่ปลายทาง ช่วงเวลาในการรับขยะรีไซเคิล และหมายเลขพาหนะที่เดินทางไปรับขยะรีไซเคิล ส่วนการวางแผนการขายขยะรีไซเคิลจะดำเนินการเมื่อขยะรีไซเคิลมีปริมาณเพียงพอที่จะส่งขาย การไปรับซื้อขยะรีไซเคิลและการไปส่งขายขยะรีไซเคิลจะถูกดำเนินการแยกส่วนกันอย่างชัดเจนโดยมีการแบ่งพาหนะ 1 คันจากทั้งหมด 4 คันไว้สำหรับการส่งขายขยะรีไซเคิลเพียงอย่างเดียว สำหรับขยะรีไซเคิลของบริษัทกรณีศึกษาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลักได้แก่ ประเภทกระดาษและพลาสติก ประเภทโลหะ ประเภทขวดแก้ว และประเภทเครื่องมือและอุปกรณ์ ขยะรีไซเคิลที่เข้าสู่กระบวนการแปรรูปได้แก่ขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษและพลาสติก และ

ขยะรีไซเคิลประเภทอุปกรณ์และเครื่องมือ ส่วนขยะรีไซเคิลที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปได้แก่ ประเภทโลหะ และประเภทขวดแก้ว ขั้นตอนการทำงานดังภาพประกอบที่ 3.1 สามารถสรุปกระบวนการทำงานเพื่อศึกษากำล้างการผลิตแต่ละขั้นตอนพบว่า แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลักซึ่งได้แก่ การจัดเส้นทางและการรับซื้อขยะรีไซเคิล การแปรรูปขยะรีไซเคิล การส่งขายขยะรีไซเคิลให้กับแหล่งรับซื้อ โดยกระบวนการการจัดเส้นทางและรับซื้อขยะรีไซเคิลนั้นใช้พนักงานธุรการ 1 คน เพื่อวางแผนการจัดเส้นทางเดินรถ และใช้รถยนต์ 3 คัน พนักงานประจำรถประกอบไปด้วยพนักงานขับรถ 1 คน และผู้ช่วย 1 คน ขั้นตอนการทำงานเริ่มตั้งแต่การรับโทรศัพท์เพื่อนัดหมายจากลูกค้าจนกระทั่งนำขยะรีไซเคิลที่รับซื้อลงจากพาหนะ กระบวนการแปรรูปขยะรีไซเคิลใช้พนักงานเพื่อทำการอัดและการบรรจุขวดลงกล่อง 2 คน การแยกส่วนประกอบ 1 คน ส่วนกระบวนการสุดท้ายคือการส่งขายให้โรงงานใช้รถยนต์ 1 คัน และพนักงานประจำรถ 2 คน ดังภาพประกอบที่ 3.2 ในส่วนของข้อมูลกำล้างการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา เริ่มจากกระบวนการการจัดเส้นทางและรับซื้อขยะรีไซเคิล ความจุของพาหนะอยู่ที่ 0.7 ตัน/คัน/วัน ดังนั้นพาหนะที่ไปรับซื้อสามารถรับซื้อได้สูงสุด 2.1 ตัน/วัน กระบวนการถัดไปคือกระบวนการการแปรรูป กำล้างการผลิตของเครื่องอัดอยู่ที่ 3.0 ตัน/วัน มีคนงานประจำเครื่อง 2 คน และสุดท้ายคือกระบวนการการส่งขายขยะรีไซเคิลให้โรงงานโดยมีการเตรียมพาหนะไว้สำหรับการขาย 1 คันและพนักงานประจำรถ 2 คน กำล้างการผลิตของขยะรีไซเคิลเท่ากับ 0.7 ตัน/วัน ดังแสดงกำล้างการผลิตของกระบวนการในภาพประกอบ 3.3 การวางแผนการใช้พาหนะในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาใช้ Microsoft Excel เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการบันทึกข้อมูลแผนการใช้พาหนะโดยที่แผนการใช้พาหนะประกอบด้วย วัน เวลา หมายเลขของพาหนะ และตำแหน่งของลูกค้าที่ต้องไปรับซื้อขยะรีไซเคิล ตัวอย่างแผนการใช้งานพาหนะ วางแผนโดยพนักงานธุรการซึ่งจะวางแผนการใช้พาหนะหลังจากได้รับการนัดหมายให้ไปรับซื้อขยะรีไซเคิลจากลูกค้าโดยระบุ วัน เวลา หมายเลขของพาหนะที่รับผิดชอบในแต่ละตำแหน่งของลูกค้า ภาพประกอบ 3.4 เป็นตัวอย่างแผนการใช้พาหนะของวันจันทร์ที่ 10 พบว่าเวลา 08.00-09.00 น. พาหนะคันที่ 1 เดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ถนนแสงศรี ซอย 3 จากนั้นเวลา 09.00-10.00 น. เดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ธนาคารกรุงเทพสาขาทลาดปลาเค้า และ 11.00-12.00 น. เดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ตลาดกิมหยงจากนั้นพาหนะคันที่ 1 เดินทางกลับบริษัท

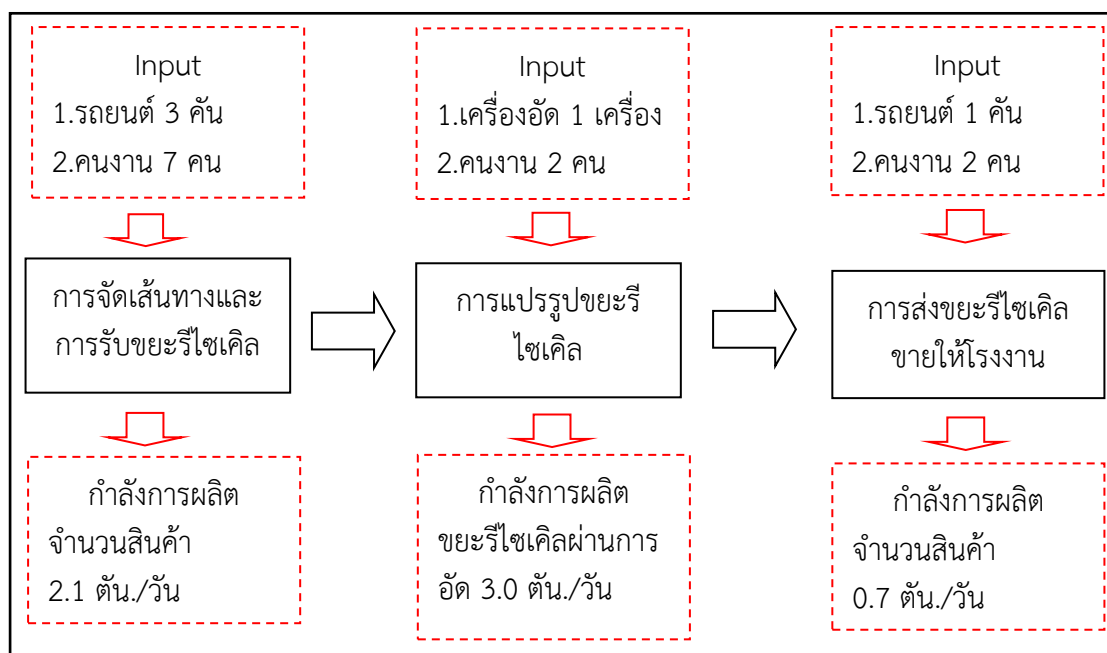
ขยะรีไซเคิลที่รับซื้อจากลูกค้าจะถูกขนส่งด้วยพาหนะที่ได้รับมอบหมาย เมื่อขยะรีไซเคิลถูกนำกลับมายังบริษัท ขยะรีไซเคิลเหล่านี้จะถูกนำไปเก็บบริเวณจุดจัดเก็บต่างๆของบริษัท แผนผังอธิบายตำแหน่งในบริษัทแสดงดังภาพประกอบ 3.5 โดยที่จุดที่ 1 เป็นจุดที่ลงขยะรีไซเคิลประเภทขวด กระดาษและพลาสติก จุดที่ 2 เป็นจุดที่ลงขยะรีไซเคิลประเภทโลหะ อุปกรณ์และเครื่องใช้ จุดที่ 3 บริเวณที่จัดเก็บขยะรีไซเคิลประเภทขวด จุดที่ 4 บริเวณที่จัดเก็บขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษ จุดที่ 5 และจุดที่ 6 บริเวณที่จัดเก็บขยะรีไซเคิลประเภทพลาสติก จากนั้นกระดาษและพลาสติกจะเข้าสู่กระบวนการอัด กระดาษและพลาสติกที่ผ่านกระบวนการอัดจะถูกลำเลียงไปจัดเก็บบริเวณจุดที่ 7 ซึ่งเป็นคลังสินค้าของบริษัทที่ห่างออกไป 3 คูหา และมีการแบ่งพื้นที่บางส่วนสำหรับการทำงานของกระบวนการแยกชิ้นขยะรีไซเคิลประเภทอุปกรณ์และเครื่องมือ



ภาพประกอบ 3.1 กระบวนการ ขั้นตอน และผู้รับผิดชอบการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา



ภาพประกอบ 3.2 ขั้นตอนการทำงานในแต่ละกระบวนการ



ภาพประกอบ 3.3 กำลังการผลิตของกระบวนการ

วันที่	10	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1	แสงศรี ขอ	ธนาคารกรุงเทพ			ร้านค่ากิมหยง						
L2	9.30ถึงรอด					อโศก					
L3						ธารทอง					
วันดา	11	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1	อ. น. น. น.										
L2	ร้านเดอะสตาร์	ชาบี									
L3											
พส	12	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1											
L2	ไทยรัฐ	อิมรินทร์	โสดา	โสดา	โสดา						
L3	โสดา										

ภาพประกอบ 3.4 แผนการใช้รถเพื่อรับและส่งขยะรีไซเคิล

3.1.2 รูปแบบปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

รูปแบบปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาพบว่ามีการทำงานที่มีผลกระทบกับสัดส่วนของกำไร และพบว่าปัญหาหลักเกิดจากกระบวนการวางแผนการทำงานเนื่องจากสาเหตุต่างๆได้แก่

1. การวางแผนการใช้พาหนะที่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

ก. ลำดับการจัดเส้นทางเดินทางของพาหนะ โดยการเรียงลำดับสถานที่ขนส่งขึ้นอยู่กับการนัดหมายของลูกค้านั้นไม่ได้สนใจลำดับเส้นทางเดินทางที่ ควรจะต้องทำให้การเดินทางนั้นเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด ซึ่งผู้วางแผนการใช้พาหนะจะทำการวางแผนโดยการเรียงลำดับจากการโทรเข้ามาของลูกค้าในการจัดลำดับการเดินทางของพาหนะ

ข. การจัดเรียงขยะรีไซเคิลบนพาหนะ ไม่มีจัดเรียงขยะรีไซเคิลประเภทเดียวกันอยู่ด้วยกันทำให้สูญเสียพื้นที่การบรรทุกของพาหนะ จากภาพประกอบ 3.6 (ก) และ (ข) แสดงการจัดเรียงขยะรีไซเคิลบนพาหนะซึ่งไม่ได้แบ่งหมวดหมู่ประเภทของขยะ



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3.6 การจัดเรียงขยะรีไซเคิลบนพาหนะอย่างไม่เป็นระบบ

ค. การคำนวณปริมาณขยะรีไซเคิล ปัจจุบันไม่มีการคำนวณปริมาณขยะรีไซเคิลที่จะไปรับซื้อทำให้เกิดความสูญเสียเปล่าของพื้นที่การบรรจุทุกในกรณีที่ไปรับซื้อขยะรีไซเคิลได้ไม่เต็มความสามารถของการบรรจุทุกดังแสดงในภาพประกอบ 3.6 ซึ่งพบว่าเมื่อทำการรับซื้อขยะรีไซเคิลครบทุกสถานที่แล้ว ยังมีพื้นที่สำหรับการบรรจุทุกเหลืออยู่

ง. การไปรับซื้อขยะรีไซเคิล การรับซื้อขยะรีไซเคิลประเภทที่ไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูปแล้วกลับมาพักไว้ที่บริษัทเพียงพอปริมาณที่เหมาะสมแล้วทำการส่งขายนั้นทำให้สูญเสียพื้นที่การจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าและเป็นการเพิ่มต้นทุนจม แสดงดังภาพประกอบ 3.7 (ก) เป็นขยะรีไซเคิลประเภทขวดแก้วและภาพประกอบ 3.7 (ข) เป็นขยะรีไซเคิลประเภทโลหะ



(ก)

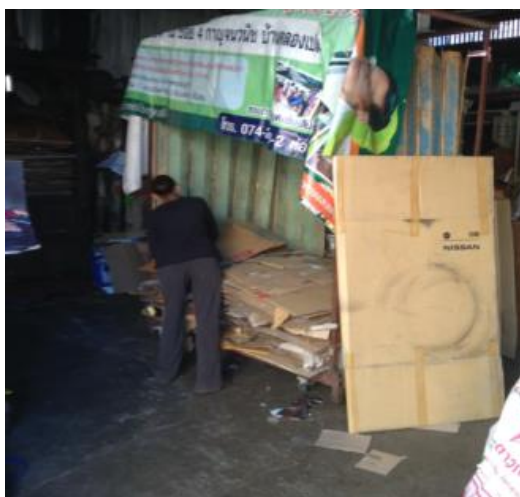


(ข)

ภาพประกอบ 3.7 ขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องเข้ากระบวนการแปรรูป

จ. การแยกกันใช้ของการรับซื้อและการส่งขาย การจัดการการใช้พาหนะที่แยกกันระหว่างการรับซื้อขยะรีไซเคิลและการส่งขายขยะรีไซเคิล ทำให้พาหนะคันที่ไปรับซื้อขยะรีไซเคิลต้องวิ่งรถเปล่าออกไป และในทางกลับกันพาหนะคันที่ไปส่งขายขยะรีไซเคิลต้องวิ่งรถเปล่ากลับมา

2. การไหลของขยะรีไซเคิลไม่สม่ำเสมอ การไหลเข้าของขยะรีไซเคิลในการเข้าสู่กระบวนการอัดรีดรีไซเคิล เนื่องจากปริมาณขยะรีไซเคิลที่เข้าสู่กระบวนการอัดรีดไม่เพียงพอเพราะพื้นที่ในการจัดเก็บมีน้อย ทำให้เครื่องอัดรีดไม่สามารถการทำงานได้เต็มกำลังการผลิต แสดงดังภาพประกอบ 3.8 โดยภาพประกอบ 3.8 (ก) แสดงพื้นที่วางกระดาก่อนเข้าสู่กระบวนการอัดซึ่งมีกระดากองอยู่ปริมาณน้อย และภาพประกอบ 3.8 (ข) แสดงพื้นที่วางกระดาก่อนเข้าสู่กระบวนการซึ่งมีกระดากองอยู่ปริมาณมาก



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 3.8 พื้นที่วางกระดาก่อนเข้าสู่กระบวนการอัด

3. การทำงานแบบเชิงรับ การเดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิลนั้นจะกระทำเมื่อได้รับการนัดหมายจากลูกค้าเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถวางแผนการทำงานในระยะยาวได้ ซึ่งภาพประกอบ 3.9 เป็นแผนการใช้พาหนะเพื่อเดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิล พบว่าพาหนะจะมีช่วงเวลาที่ว่างจากการทำงาน ดังนั้นหากมีการจัดการวางแผนการขนส่งที่ดี การทำงานแบบเชิงรับโดยการโทรไปหาลูกค้าเพื่อสอบถามถึงขยะรีไซเคิลที่ต้องการซื้อจะทำให้การวางแผนการทำงานในระยะยาวของบริษัทฯ เกิดขึ้นได้เพื่อรองรับการขยายตัวของกิจการ

วันที่	10	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1	แสงศรี ชอ	ธนาคารกรุงเทพ	ร้านค้ากิมหยง								
L2	9.30 ถึงรอ					อโรรสไอออน **					
L3						ฮาทอง					
อังคาร	11	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1	อ. น. น. น.						คณ				
L2	ร้านเดอะส	ชัยภัก	* หมอสมพงษ์				คณเจษฎา			พิจัยมาท	
L3					รพ1		ดูงาน 351	3 เด โสมเน	พฤษภา ดิ	ก้วยเคียวเร	
พส	12	8-9น	9-10น	10-11น	11-12น	พ	13-14น	14-15น	15-16น	16-17น	17-18น
L1											
L2	ไทยรัฐ	อิมจินท์ส	โพโลสมาย	ช. 7 ราชว			รพ มิดด	รพการ 1/1	จีดีโสม	เด	
L3	คณทอง										

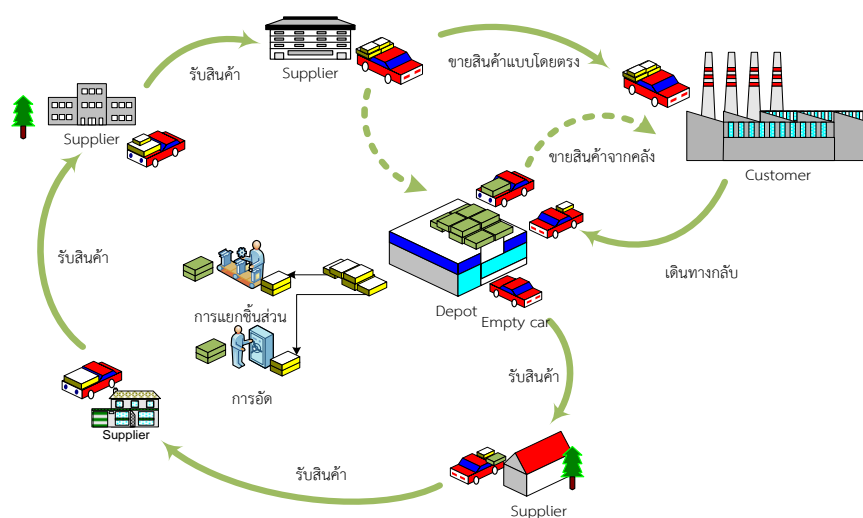
ภาพประกอบ 3.9 การวางแผนการเดินทางของพาหนะ

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงานของบริษัทฯ ศึกษาดังแสดงในภาพประกอบ 3.10 โดยออกแบบให้พาหนะเดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิลรวมกับการไปส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้า เป็นการลดความสูญเสียจากการเดินทางแบบเที่ยวเปล่า การส่งขายซึ่งมี 2 แบบ ได้แก่การส่งขายแบบโดยตรงและการส่งขายจากคลัง ซึ่งการเดินทางไปส่งขายจากคลังนั้นพาหนะต้องเดินทางกลับมาที่บริษัทเพื่อทำการรับขยะที่จะนำส่งขายดังแสดงในเส้นประ ส่วนของขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องเข้ากระบวนการแปรรูปให้มีการส่งขายแบบโดยตรงได้ทันที โดยที่ไม่ต้องนำกลับมาเก็บในคลังสินค้าของบริษัท ทำให้ลดจำนวนขยะรีไซเคิลที่อยู่ในคลังสินค้า เมื่อมีการไปส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้าและมีการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลที่สามารถส่งขายแบบโดยตรงได้ จะมีการพิจารณาถึงสถานที่ขายแบบโดยตรงว่าควรเป็นสถานที่ใด เพื่อให้การเดินทางของพาหนะต้องเป็นการเดินทางที่ทำให้มีกำไรที่สูงสุด ซึ่งการดัดแปลงกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมเข้าสู่การแก้ปัญหาของบริษัทฯ ศึกษากล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2 การดัดแปลงกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมกับลักษณะปัญหา

การดัดแปลงกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมกับลักษณะปัญหา ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลในการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมแก้ปัญหา มีการกำหนดโครโมโซมในการเข้ารหัสโครโมโซม การถอดรหัสโครโมโซม โดยที่การถอดรหัสโครโมโซมประกอบด้วยขั้นตอนการสร้างโครโมโซม การจัดสถานที่ขนส่งให้พาหนะ การหาจำนวนสถานที่ขนส่งต่อรอบการเดินทางของพาหนะ เมื่อผ่านขั้นตอนการถอดรหัสโครโมโซม ลำดับถัดไปคือการคำนวณค่าความเหมาะสม ซึ่งประกอบด้วยการคำนวณ

ต้นทุนการขนส่ง โดยการสร้างแผนภูมิจากไป การหาระยะทางสั้นที่สุดโดย Dijkstra's Algorithm การคำนวณต้นทุนค่าแรงงาน การคำนวณต้นทุนค่าวัสดุและรายได้จากการขายขยะรีไซเคิล จากนั้นเป็นกระบวนการทำงานของกระบวนการทางพันธุกรรมซึ่งประกอบด้วยการสร้างประชากร เบื้องต้น การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และการหยุดค้นหาของกระบวนการ ซึ่งได้มีการออกแบบโปรแกรมการทำงาน ประกอบด้วยออกแบบการทดลองเพื่อทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม การออกแบบฐานข้อมูล และการออกแบบกลไกการทำงานของโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรม ซึ่งการกำหนดโครโมโซมจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป



ภาพประกอบ 3.10 การออกแบบกระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

3.2.1 โครโมโซมสำหรับปัญหาการจัดการการขนส่ง

การกำหนดโครโมโซมเป็นขั้นตอนการเริ่มต้นของการประมวลผลการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่งโดยมีการเข้ารหัสโครโมโซมซึ่งได้มีการกำหนดเงื่อนไขของรหัสยีน เพื่อกำหนดกระบวนการทำงานของแต่ละรหัสยีนที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเข้ารหัสโครโมโซมจึงเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่งที่ส่งผลให้การประมวลผลมีความแม่นยำและถูกต้อง

1. การกำหนดรหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เป็นการกำหนดรูปแบบของโครโมโซมโดยออกแบบโครโมโซมให้มีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา มีการออกแบบโครโมโซมเป็นชนิดแถวเดียวที่แสดงถึงลำดับการเดินทางไปสถานที่ขนส่งของพาหนะ ความยาวโครโมโซมแทนจำนวนสถานที่ขนส่ง ดังนั้นความยาวโครโมโซมของการแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งจะมีความยาวที่ไม่เท่ากันโดยที่ขึ้นอยู่กับจำนวนสถานที่ของการ

วางแผนการขนส่งในแต่ละวัน ทุกครั้งที่ต้องการวางแผนการจัดการการขนส่ง ผู้ใช้โปรแกรมต้องทำการป้อนข้อมูลสถานที่ขนส่งซึ่งเป็นข้อมูลลูกค้า ข้อมูลสินค้าซึ่งได้แก่ ประเภทของขยะรีไซเคิลและน้ำหนักของขยะรีไซเคิล และจำนวนพาหนะที่ใช้ในแผนการจัดการการขนส่ง ซึ่งการประมวลผลการทำงานของโปรแกรมจะใช้ข้อมูลลูกค้าที่ทำการรับเข้าบ่งชี้เป็นรหัสยืนยันของสถานที่ขนส่งในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรม โดยมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานโดยของการออกแบบการแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาดังนี้

ก. การกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย โดยกำหนดให้ตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้ายของการเดินทางของพาหนะในแผนการจัดการการขนส่งคือบริษัท

ข. การแบ่งประเภทของขยะ ประเภทของขยะรีไซเคิลมี 5 ประเภท ขยะรีไซเคิลประเภทที่ 1 คือกระดาษและพลาสติก ขยะรีไซเคิลประเภทที่ 2 คือโลหะ ขยะรีไซเคิลประเภทที่ 3 คือขวดแก้ว ขยะรีไซเคิลประเภทที่ 4 คือเครื่องมือและอุปกรณ์ ขยะรีไซเคิลประเภทที่ 5 คืออื่นๆ

ค. ประเภทของรหัสยืนยันในโครโมโซม รหัสยืนยันของสถานที่ขนส่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือสถานที่ขนส่งที่ไปรับซื้อขยะรีไซเคิล และสถานที่ขนส่งที่ไปส่งขายขยะรีไซเคิล

ง. ประเภทการขายขยะรีไซเคิล การขายขยะรีไซเคิลมี 2 ประเภท คือประเภทการขายขยะรีไซเคิลจากคลัง หมายถึงการขายขยะรีไซเคิลที่เก็บอยู่ในคลังสินค้า และกลุ่มการขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง หมายถึงการขายขยะรีไซเคิลประเภทโลหะและขวดแก้ว ซึ่งเป็นประเภทขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูป

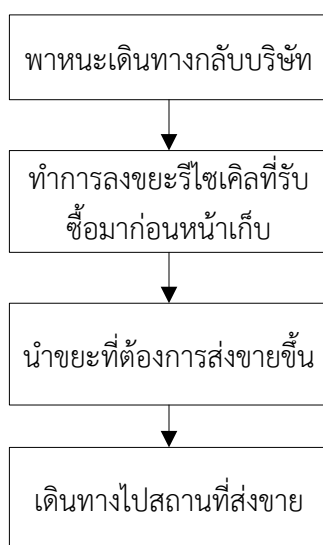
จ. ขั้นตอนการขายขยะรีไซเคิลจากคลัง พาหนะต้องทำการรับขยะรีไซเคิลจากบริษัทก่อนเดินทางไปสถานที่ส่งขายทุกครั้ง และทุกครั้งที่มีการเดินทางกลับมารับขยะรีไซเคิลจากคลังเพื่อส่งขายต้องขนถ่ายขยะรีไซเคิลที่ไปรับซื้อมาในลำดับก่อนหน้าทุกครั้งยกเว้น ลำดับก่อนหน้าจะมีการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลประเภทโลหะและขวด ให้เก็บขยะรีไซเคิลประเภทเหล่านี้ไว้ในพาหนะเพื่อทำการส่งขายพร้อมกับการขายขยะรีไซเคิลจากคลัง

ฉ. เงื่อนไขการทำงานของพาหนะ ทุกครั้งของการเดินทางไปสถานที่ขนส่งพาหนะต้องเดินทางไปเพื่อรับซื้อหรือส่งขายขยะรีไซเคิลทุกครั้ง

ลักษณะขั้นตอนการทำงานการประมวลผลมีการติดต่อกับฐานข้อมูล เพื่อนำข้อมูลในฐานข้อมูลไปใช้ในการประมวลผล ได้แก่ขั้นตอนการจัดประเภทสถานที่ขนส่งว่าเป็นการรับหรือส่งขยะรีไซเคิล โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบว่าสถานที่ขนส่งที่ผู้ใช้ป้อนเข้ามานั้นเป็นสถานที่ประเภทรับหรือส่ง เพื่อกำหนดเงื่อนไขขั้นตอนการทำงาน โดยทั่วไปแล้วการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลหรือการไปส่งขายขยะรีไซเคิลพาหนะจะเดินทางตามลำดับในสายลำดับโครโมโซมสถานที่ขนส่ง แต่ถ้าโปรแกรมเจอรหัสยืนยันของสถานที่ส่งขายสินค้า ซึ่งการส่งขายสินค้านั้นมี 2 ประเภทได้แก่ การส่งขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง และแบบการขายจากคลังสินค้า ลักษณะขั้นตอนการทำงานของการส่งขายของ 2

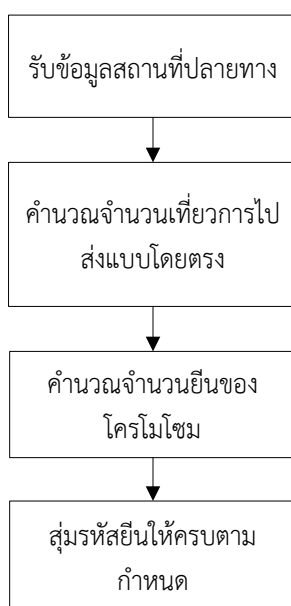
ประเภทจะต่างกันตรงที่การเดินทางกลับมารับสินค้าจากคลังเพื่อไปส่งขายของการขายขยะรีไซเคิล ประเภทขายจากคลังสินค้า ดังนั้นหากเมื่อโปรแกรมเจอรหัสยืนยันของการขายสินค้าประเภทจากคลัง ขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพประกอบ 3.11 โดยที่พาหนะต้องเดินทางกลับบริษัทเพื่อทำการรับขยะไปส่งขาย และให้ทำการลงขยะรีไซเคิลที่ปรับซื้อมาก่อนหน้าเก็บไว้ แล้วให้นำขยะรีไซเคิลที่อยู่ในคลังสินค้านำไปขาย

การส่งขายแบบโดยตรงมีขั้นตอนการทำงานเหมือนกับการรับซื้อ แตกต่างกันเพียงแค่น้ำหนักในการบรรจุทุกของพาหนะจะลดลงเท่ากับจำนวนขยะรีไซเคิลที่ทำการส่งขาย การส่งขายแบบโดยตรงจะเกิดขึ้นเมื่อโปรแกรมทำการตรวจสอบแล้วพบว่ามี การรับซื้อขยะรีไซเคิลประเภทที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูปซึ่งได้แก่ขยะรีไซเคิลประเภทโลหะและขวดแก้วซึ่งเก็บเป็นสายลำดับขยะรีไซเคิลประเภทที่ 2 และประเภทที่ 3 ดังนั้นโปรแกรมจะออกแบบให้มีการขายแบบโดยตรง โปรแกรมจะสร้างตารางรหัสยืนยันของสถานที่ขนส่งการส่งขายแบบโดยตรง โดยให้ตัวแปร Sd บ่งชี้สายลำดับรหัสยืนยันของสถานที่ส่งขายแบบโดยตรง ดังนั้นเมื่อมีการส่งขายแบบโดยตรงสายลำดับ Sd จะต้องถูกนำมาใช้ในการประมวลผลการสร้างแผนภูมิจากไปของทุกสถานที่ในสายลำดับ Sd เพื่อเปรียบเทียบหาระยะทางการเดินทางที่ส่งผลให้ต้นทุนการจัดการการขนส่งน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 3.11 ขั้นตอนการส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้า

ขั้นตอนการสร้างโครโมโซมแสดงดังภาพประกอบ 3.12 เริ่มจากขั้นตอนการรับข้อมูลป้อนเข้าโดยผู้ใช้ ตัวอย่างข้อมูลที่ผู้ใช้โปรแกรมทำการป้อนเข้าดังตารางที่ 3.1 พบว่ามีจำนวนสถานที่ขนส่งที่ผู้ใช้ต้องการให้เดินทางไปเท่ากับ 31 แห่ง เป็นสถานที่รับซื้อขยะรีไซเคิลเท่ากับ 30 แห่ง ยกตัวอย่างเช่น HX HY IE IL LV KA IH IV LQ และ LT สถานที่ส่งขายสินค้าจากคลังสินค้า 1 แห่งคือ S จากนั้นทำการคำนวณจำนวนเที่ยวการไปส่งแบบโดยตรง โดยการรวมน้ำหนักของขยะรีไซเคิลประเภทที่ 2 และ 3 หารด้วยความจุของพาหนะ ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งความจุของพาหนะมี 2 มิติ คือมิติด้านน้ำหนักและด้านปริมาตร โดยที่พาหนะ 1 คัน สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกินกว่า 700 กิโลกรัมและ ปริมาตรไม่เกินกว่า 2.1 ลูกบาศก์เมตร



ภาพประกอบ 3.12 การสร้างโครโมโซม

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้โปรแกรมทำการป้อนเข้า

	สถานที่	น้ำหนัก	ประเภท
1	HX	145	2
2	HY	60	1
3	IE	150	1
4	IL	90	4
5	LV	45	5
6	KA	60	5
7	S	300	1
8	IH	55	4
9	IV	40	4
10	LQ	55	5
...
31	LT	1	100

$$\text{จำนวนเกี่ยวกับการไปส่งแบบโดยตรง} = \frac{\text{การรวมน้ำหนักของขยะรีไซเคิลประเภทที่ 2 และ 3}}{\text{ความจุของพาหนะ}} \quad (3.1)$$

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ทำการป้อนเข้ามีขยะประเภท 2 เป็น 145 กิโลกรัม ไม่มีขยะประเภท 3 ปริมาณน้ำหนักที่ใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการไปส่งแบบโดยตรงเท่ากับ 145 กิโลกรัม นำมาหารด้วย 700 กิโลกรัม ค่าที่ได้น้อยกว่า 1 และปริมาณปริมาตร ให้ทำการแปลงน้ำหนักให้เป็น

ปริมาตร โดยที่ 145 กิโลกรัมนั้นเท่ากับ 0.102 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการหาร 0.102 ลูกบาศก์เมตร ด้วย 2.1 ลูกบาศก์เมตร ค่าตอบที่ได้น้อยกว่า 1 เช่นเดียวกับปริมาณน้ำหนัก ดังนั้นจึงเพิ่มสถานที่ส่งขายสินค้าแบบโดยตรง 1 ตำแหน่งเพราะจำนวนเที่ยวของการขนส่งแบบโดยตรงมีค่าไม่เกิน 1 เกี่ยวกับการขนส่ง โดยให้รหัสยื่น M บ่งชี้สถานที่ขนส่งของสถานที่ส่งขายสินค้าแบบโดยตรง จากนั้นทำการคำนวณจำนวนยื่นของโครโมโซม ซึ่งจำนวนยื่นของโครโมโซมคือผลรวมของจำนวนลูกค้า จำนวนสถานที่การส่งขายจากคลัง และจำนวนสถานที่การส่งขายแบบโดยตรง ดังสมการที่ 3.2

$$\text{จำนวนยื่นของโครโมโซม} = \text{จำนวนลูกค้า} + \text{จำนวนสถานที่การส่งขายจากคลัง} + \text{จำนวนสถานที่การส่งขายแบบโดยตรง} \quad (3.2)$$

จากข้อมูลตัวอย่างจำนวนลูกค้ามี 30 แห่ง จำนวนสถานที่การส่งขายจากคลังมี 1 แห่ง และจำนวนสถานที่การส่งขายแบบโดยตรงมี 1 แห่ง ดังนั้นจำนวนยื่นในโครโมโซมของข้อมูลตัวอย่างเป็น 30+1+1 เท่ากับ 32 แห่ง จากนั้นทำการสุ่มรหัสยื่นให้ครบตามกำหนด โดยใช้วิธีการสลับแบบสุ่มของ ฟิชเชอร์-เยตส์ ดังตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นตัวอย่างวิธีการสลับแบบสุ่มของ ฟิชเชอร์-เยตส์ พบว่าครั้งที่ 1 ของการสุ่มจะมีช่วงการสุ่มอยู่ที่ 1-32 เลขสุ่มที่ได้เท่ากับ 5 ซึ่งเป็นตำแหน่งของรหัสยื่น LV ตัดรหัสยื่น LV ออกจากสายลำดับเดิม สร้างเป็นสายลำดับใหม่ที่เกิดจากการสุ่ม ทำการสุ่มครั้งที่ 2 ช่วงการสุ่มเท่ากับ 1-31 เพราะได้ตัดรหัสยื่น LV ออกไปจากสายลำดับแล้ว ครั้งที่ 2 สุ่มได้ 6 ตรงกับรหัสยื่น S ตัดรหัสยื่น S ออกจากสายลำดับเดิม แล้วนำไปเติมในสายลำดับใหม่ ทำจนครบ 32 ครั้ง จะได้โครโมโซมดังแสดงในภาพประกอบ 3.13

ตารางที่ 3.2 วิธีการสลับแบบสุ่มของ ฟิชเชอร์-เยตส์

ช่วงเลข สุ่ม	เลข สุ่ม	สายลำดับ	ผลลัพธ์
1-32	5	HX HY IE IL LV KA S IH IV LQ M ... LT	LV
1-31	6	HX HY IE IL LV KA S IH IV LQ M ... LT	LV S
1-30	7	HX HY IE IL LV KA S IH IV LQ M ... LT	LV S IV
1-29	7	HX HY IE IL LV KA S IH IV LV M ... LT	LV S IV LQ
1-28	4	HX HY IE LV LV KA S IH IV LV M ... LT	LV S IV LQ IL
1-27	2	HX HY IE LV LV KA S IH IV LV M ... LT	LV S IV LQ IL HY
1-26	3	HX HY IE LV LV KA S IH IV LV M ... LT	LV S IV LQ IL HY KA
...
1	1	HX HY IE LV LV KA S IH IV LV M ... LT	LV S IV LQ IL HY KA ... M

LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	...	M
----	---	----	----	----	----	----	-----	---

ภาพประกอบ 3.13 สายลำดับโครโมโซมจากวิธีการสลับแบบสุ่มของ พิชเซอร์-เยตส์

2. การถอดรหัสโครโมโซม (Decoding) คือการแปลงโครโมโซมของแผนการจัดการการขนส่งให้อยู่ในรูปของคำตอบของค่าความเหมาะสม โดยสมการเป้าหมายของแผนการจัดการการขนส่งคือการจัดการการขนส่งให้มีผลต่างระหว่างค่าใช้จ่ายและรายได้ที่น้อยที่สุด การถอดรหัสโครโมโซมเพื่อแปลงสายลำดับโครโมโซมให้อยู่ในรูปคำตอบของแผนการจัดการการขนส่งนั้น มีกระบวนการย่อยได้แก่ การจัดสถานที่ขนส่งให้กับพาหนะ และการหาจำนวนสถานที่ขนส่งต่อรอบการเดินทางของพาหนะ

ก. การจัดสถานที่ขนส่งให้พาหนะ เป็นการจัดการแบ่งสถานที่ขนส่งที่ต้องเดินทางไปรับซื้อหรือส่งขายให้กับพาหนะ โดยการนำจำนวนยืนทั้งหมดหารด้วยจำนวนพาหนะ ดังสมการที่ 3.3 โดยที่ถ้าเศษจากการหารจำนวนยืนทั้งหมดด้วยจำนวนพาหนะ มากกว่า 0 ให้จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ i เท่ากับ $X+1$ จนกระทั่งค่า i เท่ากับจำนวนเศษ แต่ถ้าเศษจากการหารเท่ากับ 0 จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ i เท่ากับ X โดยที่ X บ่งชี้จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ i และ i บ่งชี้จำนวนพาหนะ

$$\text{จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ } i = \frac{\text{จำนวนยืนทั้งหมด}}{\text{จำนวนพาหนะ}} \quad (3.3)$$

จากตัวอย่างข้อมูลพบว่าจำนวนยืนทั้งหมดเท่ากับ 32 และกำหนดให้จำนวนพาหนะที่ใช้ในแผนการจัดการการขนส่งเท่ากับ 3 คัน ดังนั้น ค่า i ซึ่งบ่งชี้จำนวนพาหนะ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 3 จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ i เท่ากับ 32 หาร 3 เท่ากับ 10 เศษ 2 สรุปว่าจำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะคันที่ 1 เท่ากับ 10 รวมกับเศษ 1 ได้เท่ากับ 11 และ จำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะคันที่ 2 เท่ากับ 10 รวมกับเศษ 1 ได้เท่ากับ 11 และจำนวนสถานที่ขนส่งของพาหนะ 3 เท่ากับ 10 เศษ เท่ากับ 0 ได้เท่ากับ 10 ในภาพประกอบ 3.14 แสดงสถานที่ปลายทางของพาหนะทั้ง 3 คัน พาหนะคันที่ 1 แสดงในภาพประกอบ 3.14 (ก) ซึ่งมีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากับ 11 แห่ง พาหนะคันที่ 2 แสดงในภาพประกอบ 3.14 (ข) ซึ่งมีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากับ 11 แห่ง และพาหนะคันที่ 3 แสดงในภาพประกอบ 3.14 (ค) ซึ่งมีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากับ 10 แห่ง

HX	HY	IE	IL	LV	KA	S	IH	IV	LQ	M
----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	---

(ก)

AB	CE	IF	LY	FT	AS	IY	IE	DC	DF	EC
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

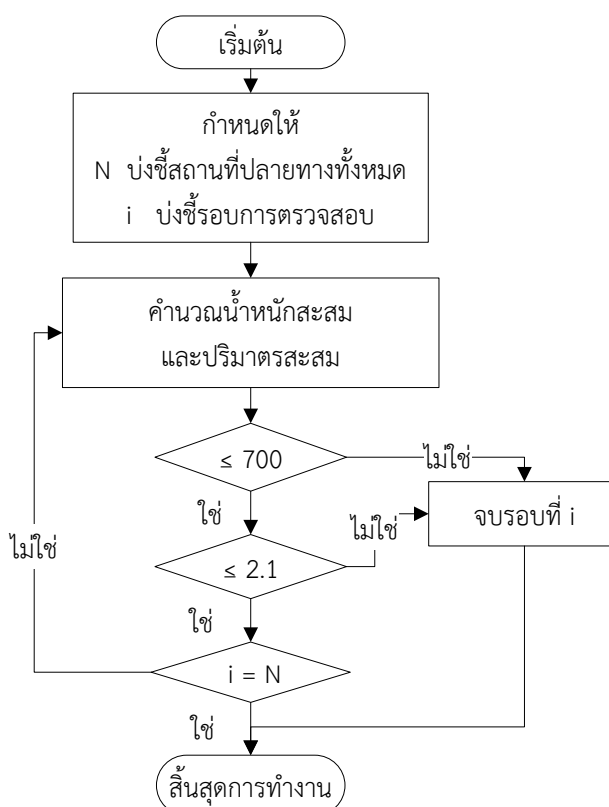
(ข)

DG	AT	FE	KC	T	LA	BP	CW	FS	LT
----	----	----	----	---	----	----	----	----	----

(ค)

ภาพประกอบ 3.14 สถานที่ปลายทางของพาหนะคันที่ 1 2 และ 3

ข. การหาจำนวนเที่ยวของพาหนะแต่ละคัน ในการหาจำนวนเที่ยวของพาหนะแต่ละคันผลลัพธ์ที่ได้ทำให้ทราบว่าพาหนะเดินทางกลับสู่บริษัทกี่ครั้ง โดยที่ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเดินทางกลับสู่บริษัทคือ ปริมาณน้ำหนักขยะที่ไม่เกิน 700 กิโลกรัม ปริมาณปริมาตรของขยะที่ไม่เกิน 2.1 ลูกบาศก์เมตร การคำนวณหาจำนวนสถานที่ปลายทางต่อการรอบการเดินทางแสดงในภาพประกอบ 3.15 โดยกำหนดให้ตัวแปร N บ่งชี้สถานที่ปลายทางทั้งหมด และตัวแปร i บ่งชี้รอบการตรวจสอบ ขั้นตอนการทำงานเริ่มจากการคำนวณน้ำหนักและปริมาตรสะสมในสายลำดับของสถานที่ปลายทาง ทันทีที่มีน้ำหนักหรือปริมาตรสะสมมากกว่า 700 กิโลกรัม หรือ 2.1 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ จำนวนสถานที่ปลายทางต่อการรอบการเดินทางเท่ากับ จำนวนรอบที่ i ลบด้วย 1 ทำการคำนวณจนครบจำนวนสถานที่ปลายทางของพาหนะนั้นๆ



ภาพประกอบ 3.15 การคำนวณหาจำนวนสถานที่ปลายทางต่อการรอบการเดินทาง

จากตัวอย่างในภาพประกอบ 3.16 พบว่าสายลำดับโครโมโซมสถานที่ปลายทางของพาหนะคันที่ 1 มีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากับ 11 แห่ง น้ำหนักและปริมาตรแสดงในตารางที่ 3.3 จากนั้นทำการหาค่าปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรสะสม ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3.17 ทำการตรวจสอบที่น้ำหนักหรือปริมาตรไม่เกินที่ 700 กิโลกรัม และ 2.1 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับพบว่าที่ รหัส S มีน้ำหนักและปริมาตรสะสมเท่ากับ 850 กิโลกรัม และ 3.7465 ลูกบาศก์เมตร เป็นรอบที่ 7 ของการตรวจสอบ ดังนั้นจำนวนสถานที่ปลายทางของพาหนะเที่ยวที่ 1 เท่ากับ 7 ลบออกด้วย 1 จึงเท่ากับ 6 แห่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.18 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 2 เท่ากับ 3 แห่ง แสดงในภาพประกอบ 3.19 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 3 เท่ากับ 2 แห่ง แสดงในภาพประกอบ 3.20 สรุปว่าพาหนะคันที่ 1 เดินทางกลับสู่บริษัทจำนวน 3 ครั้ง

HX	HY	IE	IL	LV	KA	S	IH	IV	LQ	M
----	----	----	----	----	----	---	----	----	----	---

ภาพประกอบ 3.16 สายลำดับโครโมโซมสถานที่ปลายทางของพาหนะคันที่ 1

ตารางที่ 3.3 การหาจำนวนสถานที่ขนส่งต่อรอบการเดินทางของพาหนะ

สายลำดับ 1 มิติ	รหัสอื่น										
โครโมโซมตั้งต้น	HX	HY	IE	IL	LV	KA	S	IH	IV	LQ	M
น้ำหนัก	145	60	150	90	45	60	300	55	40	55	0
ปริมาตร	0.102	0.36	0.9	0.27	0.135	0.18	1.8	0.165	0.12	0.165	0

HX	HY	IE	IL	LV	KA	S	IH	IV	LQ	M
145	205	355	445	490	550	850	905	945	1000	1000
0.102	0.462	1.3615	1.6315	1.7665	1.9465	3.7465	3.9115	4.0315	4.1965	4.1965

ภาพประกอบ 3.17 น้ำหนักและปริมาตรสะสมของพาหนะคันที่ 1

HX	HY	IE	IL	LV	KA
145	205	355	445	490	550
0.102	0.462	1.3615	1.6315	1.7665	1.9465

ภาพประกอบ 3.18 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 1

S	IH	IV
300	355	395
1.8	1.965	2.085

ภาพประกอบ 3.19 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 2

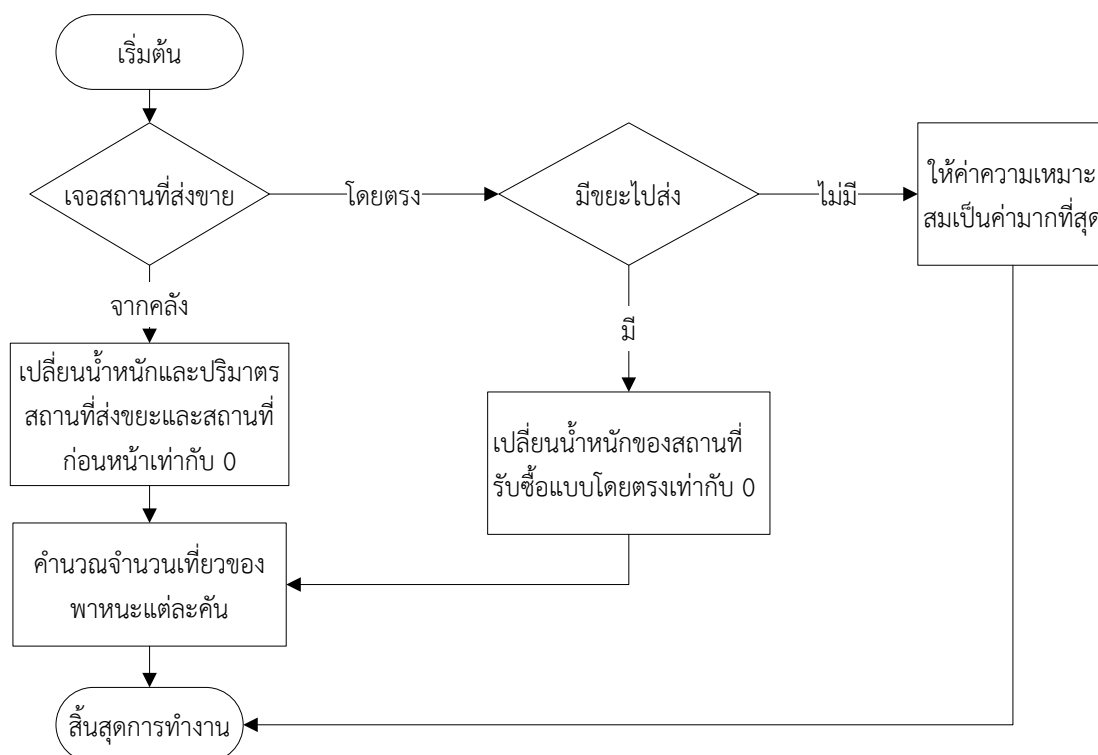
LQ	M
55	55
0.165	0.165

ภาพประกอบ 3.20 จำนวนสถานที่ปลายทางของเที่ยวที่ 1 ถึง 3

การตรวจสอบสถานที่ส่งขยะในแต่ละเที่ยวการเดินทางของพาหนะนั้น มีปัจจัยที่ส่งผล คือเมื่อตรวจสอบเจอสถานที่ส่งขยะ ปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรของสถานที่ขนส่งที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนไป ทำให้ต้องคำนวณจำนวนเที่ยวของพาหนะแต่ละคันใหม่ การเปลี่ยนของปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรของสถานที่ขนส่งนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากว่าหากมีการเดินทางไปส่งขยะจากคลังสินค้า พาหนะต้องเดินทางกลับมารับขยะเพื่อไปส่งขาย ดังนั้นขยะที่ไปรับซื้อมาก่อนหน้าต้องนำลงเก็บที่บริษัทก่อนที่จะนำสินค้าประเภทที่ขายขึ้นบนพาหนะ ปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรที่บรรจุทุกในพาหนะคันนั้นเมื่อเดินทางมาถึงสถานที่ส่งขายจากคลังจะเท่ากับ 0 กิโลกรัม และ 0 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นต้องทำการคำนวณจำนวนเที่ยวของพาหนะใหม่อีกครั้ง แต่ถ้าทำการตรวจสอบแล้วเจอสถานที่ส่งขายแบบโดยตรง แล้วพบว่ามีขยะรีไซเคิลที่ไปรับซื้อมาก่อนหน้าเป็นขยะประเภทที่ 2 และ 3 จึงทำการขายขยะเหล่านั้น ณ สถานที่นี้ ดังนั้นปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรที่เหลือนับรวมจะเท่ากับปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรของขยะที่รับซื้อมา ลบออกด้วยขยะรีไซเคิลที่ไปรับซื้อประเภท 2 และ 3 โดยการเปลี่ยนปริมาณน้ำหนักและปริมาณปริมาตรของสถานที่รับซื้อขยะประเภท 2 และ 3 เป็น 0 กิโลกรัม และ 0 ลูกบาศก์เมตรตามลำดับ แต่ถ้ามีสถานที่ส่งขายแบบโดยตรงแต่ไม่มีการไปรับซื้อขยะประเภทที่ 2 และ 3 ก่อนหน้านั้น ให้ส่งค่าความเหมาะสมที่สุดกับสายลำดับโครโมโซมนี้เพราะสายลำดับโครโมโซมนี้ไม่สามารถนำมาหาคำคำตอบได้ แต่ถ้าสุดท้ายแล้วตรวจสอบไม่เจอสถานที่ส่งขายใดๆ สายลำดับโครโมโซมของเที่ยวการเดินทางนี้จะผ่านเข้าไปสู่การคำนวณค่าความเหมาะสมต่อไป ขั้นตอนการตรวจสอบสถานที่ส่งขยะในแต่ละเที่ยวการเดินทางแสดงในภาพประกอบ 3.21

ตัวอย่างขั้นตอนการตรวจสอบสถานที่ส่งขยะในแต่ละเที่ยวการเดินทางของพาหนะคันที่ 1 โดยที่เที่ยวที่ 1 ของการเดินทาง ซึ่งมีจำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากับเท่ากับ 6 แห่ง เที่ยวที่ 2 ของการเดินทาง มีจำนวนสถานที่เท่ากับ 3 แห่ง เที่ยวที่ 3 ของการเดินทาง มีจำนวนสถานที่เท่ากับ 2 แห่ง ซึ่งการตรวจสอบสถานที่ส่งขยะของเที่ยวที่ 1 ทั้ง 6 แห่งของสถานที่ขนส่ง ไม่พบ

รหัสยีนของสถานที่ส่งขยะ ดังนั้นเที่ยวที่ 1 ของการขนส่งจะเข้าสู่การหาค่าความเหมาะสมต่อไป การตรวจสอบสถานที่ส่งขยะของเที่ยวที่ 2 ของการขนส่ง พบว่ามีสถานที่ส่งขยะซึ่งก็คือ S เป็นสถานที่ส่งขยะจากคลัง จึงทำการเปลี่ยนน้ำหนักและปริมาตรของสถานที่ปลายทางก่อนหน้าและสถานที่ส่งขายเท่ากับ 0 กิโลกรัม และ 0 ลูกบาศก์เมตร แล้วหาค่าน้ำหนักและปริมาตรสะสมอีกครั้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.22



ภาพประกอบ 3.21 ขั้นตอนการตรวจสอบสถานที่ส่งขยะในแต่ละเที่ยวการเดินทาง

S	IH	IV	LQ	M
0	55	95	150	150
0	0.165	0.285	0.45	0.45

ภาพประกอบ 3.22 น้ำหนักและปริมาตรสะสมรอบที่ 2 มีการส่งขาย

3. การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Function) ได้มีการกำหนดสมการเป้าหมายของการแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งในสมการ 3.4 โดยที่สมการเป้าหมายคือ ส่วนต่างของค่าใช้จ่ายลบรายได้ที่น้อยที่สุด โดยที่ ตัวแปร TC บ่งชี้ส่วนต่างที่เกิดจากค่าใช้จ่ายลบรายได้ ตัวแปร C1 บ่งชี้ต้นทุนการขนส่ง ตัวแปร C2 บ่งชี้ต้นทุนค่าแรงงาน ตัวแปร C3 บ่งชี้ต้นทุนค่าวัสดุ ตัวแปร RV บ่งชี้รายได้จากการขายขยะรีไซเคิล ดังแสดงในตารางที่ 3.4 โดยที่ค่าใช้จ่ายของบริษัท

แบ่งออกเป็น 2 ทาง ได้แก่ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และค่าใช้จ่ายในกระบวนการแปรรูป เช่นเดียวกันกับรายได้ของบริษัทซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ทางเช่นกัน ได้แก่รายได้จากการขายโดยใช้พาหนะของบริษัทไปส่ง มีสัดส่วนร้อยละ 40 และรายได้จากการขายขยะโดยที่มีผู้มารับซื้อถึงบริษัท ที่มีสัดส่วนร้อยละ 60 ในการคำนวณค่าความเหมาะสม จะใช้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซึ่งได้แก่ ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนวัสดุดิบ มาใช้ในการคำนวณ ในส่วนของรายได้ ใช้รายได้จากการขายโดยใช้พาหนะของบริษัทไปส่ง ซึ่งมีการส่งขายขยะ 2 ประเภทได้แก่การส่งขายจากคลัง และการส่งขายแบบโดยตรง

$$\text{Minimize TC} = C1 + C2 + C3 - RV \quad (3.4)$$

ตารางที่ 3.4 นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนรวม

ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
TC	ส่วนต่างที่เกิดจากค่าใช้จ่ายลบรายได้	บาท
C1	ต้นทุนการขนส่ง	บาท
C2	ต้นทุนค่าแรงคนงาน	บาท
C3	ต้นทุนค่าวัสดุดิบ	บาท
RV	รายได้จากการขายขยะรีไซเคิล	บาท

ก. ต้นทุนการขนส่ง ได้จากการนำระยะทางรวมของการเดินทางของพาหนะคูณด้วยอัตราการใช้น้ำมัน หากมีพาหนะที่ใช้ในแผนการจัดการการขนส่งมากกว่า 1 คัน ให้นำต้นทุนของการขนส่งของพาหนะทุกคันรวมกัน ดังสมการที่ 3.5 ประกอบด้วยตัวแปร C1 บ่งชี้ต้นทุนการขนส่ง ตัวแปร D_i บ่งชี้ระยะทางการเดินทางของพาหนะ i ตัวแปร Rf บ่งชี้อัตราการใช้ น้ำมัน ตัวแปร I บ่งชี้จำนวนพาหนะโดยที่ $1 \leq i \leq I$ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

$$C1 = \sum_{i=0}^I (D_i \times Rf) \quad (3.5)$$

ขั้นตอนการคำนวณต้นทุนการขนส่งเริ่มจากการได้สายลำดับโครโมโซมของแต่ละเที่ยวการเดินทาง ค่าระยะทางระหว่างแต่ละสถานที่ปลายทางที่อยู่ในสายลำดับโครโมโซมได้จากการการสร้างแผนภูมิจากไป โดยใช้ค่าระยะทางสั้นที่สุดจาก Dijkstra's Algorithm รวมค่าระยะทางการเดินทางของแต่ละเที่ยวการเดินทางของพาหนะแต่ละคันเพื่อนำไปใช้ในสมการ 3.5 ซึ่งจะได้ค่าต้นทุนการขนส่งของพาหนะ

ตารางที่ 3.5 นิยามของตัวแปรในสมการการคำนวณต้นทุนการขนส่ง

ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
C1	ต้นทุนการขนส่ง	บาท
D	ระยะทางของการเดินทาง	เมตร
Rf	อัตราการใช้น้ำมัน	บาท/เมตร
I	จำนวนพาหนะ	คัน
i	$i = 1, 2, 3, \dots, I$	คัน

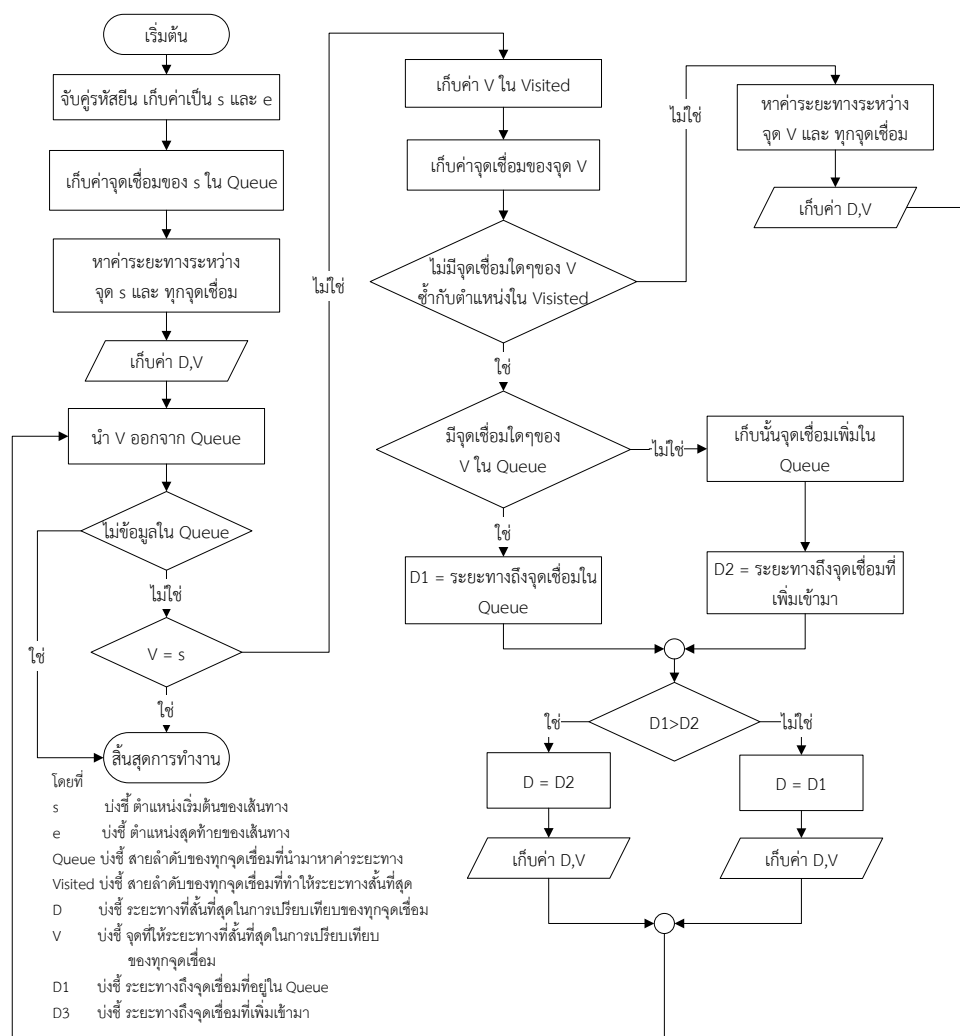
1). การสร้างแผนภูมิจากไป ขั้นตอนการสร้างแผนภูมิจากไป เริ่มจากการนำสายลำดับโครโมโซมที่ได้จากการสร้างโครโมโซม เพิ่มยีนของบริษัท 1 ตำแหน่ง บ่งชี้ด้วยตัวแปร FAH ดังแสดงในภาพประกอบ 3.23 ทำการจับคู่รหัสยีนที่อยู่ในสายลำดับโครโมโซมทุกคู่เก็บค่าในตารางแผนภูมิจากไป แสดงดังตารางที่ 3.6 จากภาพประกอบ 3.24 การสร้างแผนภูมิจากไปเริ่มจากการกำหนดจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้าย เพื่อหาค่าระยะทางสั้นที่สุดระหว่างจุดโดยใช้ Dijkstra's Algorithm ทำการเก็บค่าจุดเชื่อมต่อของจุดเริ่มต้นในสายลำดับ queue หาระยะระหว่างจุดเริ่มต้นกับทุกจุดเชื่อมต่อที่มีอยู่ในสายลำดับ queue เลือกจุดเชื่อมต่อที่ให้ระยะทางที่น้อยที่สุด บ่งชี้ด้วย V นำค่า V ออกจากสายลำดับ queue ตรวจสอบจำนวนสมาชิกใน queue ถ้าไม่มีแสดงว่าไม่มีจุดเชื่อมต่อที่จะนำมาคำนวณค่าระยะทาง เป็นการจบการทำงานของกระบวนการ แต่ถ้ามี ตรวจสอบว่า V เป็นจุดเดียวกับจุดสุดท้ายหรือไม่ ถ้าใช่ แสดงว่ากระบวนการหาระยะทางสั้นที่สุดได้ค่าระยะทางระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายแล้ว แต่ถ้าไม่ใช่ทำการคำนวณต่อโดยการเก็บค่า V ในสายลำดับ visited และทำการตรวจสอบว่ามีจุดเชื่อมต่อของ V ซ้ำกับจุดที่อยู่ในสายลำดับ visited หรือไม่ ถ้าใช่ให้เก็บค่าระยะทางระหว่างจุดเชื่อมต่อที่ซ้ำของ V กับจุดในสายลำดับ visited เพราะเป็น จุดที่สามารถเชื่อมต่อกันได้ แล้วทำการเก็บค่าระยะทาง แต่ถ้าไม่มี ให้ทำการเพิ่มจุดเชื่อมต่อของ V ในสายลำดับ queue หาจุดที่สั้นที่สุดของจุดเชื่อมต่อในสายลำดับ visited กับจุดเชื่อมต่อ V ทำการเก็บค่าระยะทาง เปรียบเทียบทั้ง 2 ค่าระยะทาง เลือกจุดที่มีระยะทางน้อยสุดเก็บเป็นจุดถัดไป โดยวนรอบกระบวนการทำงานจนกว่าจะเจอจุดสุดท้าย หรือไม่มีสมาชิกใน queue โดยที่ตัวแปร s บ่งชี้ตำแหน่งเริ่มต้นของเส้นทาง ตัวแปร e บ่งชี้ตำแหน่งสุดท้ายของเส้นทาง ตัวแปร Queue บ่งชี้สายลำดับของทุกจุดเชื่อมต่อที่นำมาหาค่าระยะทาง ตัวแปร Visited บ่งชี้สายลำดับของทุกจุดเชื่อมต่อที่ทำให้ระยะทางสั้นที่สุด ตัวแปร D บ่งชี้ระยะทางที่สั้นที่สุดในการเปรียบเทียบของทุกจุดเชื่อมต่อ ตัวแปร D1 บ่งชี้ระยะทางถึงจุดเชื่อมต่อที่อยู่ใน Queue ตัวแปร D2 บ่งชี้ระยะทางถึงจุดเชื่อมต่อที่เพิ่มเข้ามา

FAH	LV	IV	LQ	IL	HY	KA	...	M	NK	OA	KO	S
-----	----	----	----	----	----	----	-----	---	----	----	----	---

ภาพประกอบ 3.23 สายลำดับโครโมโซมสำหรับการสร้างแผนภูมิจากไป

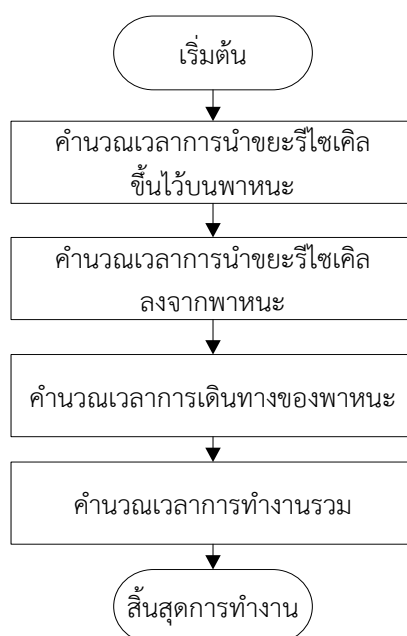
ตารางที่ 3.6 ตารางแผนภูมิจากไป

จาก/ไป	FAH	LV	IV	LQ	...	S
FAH						
LV						
IV						
LQ						
...						
S						



ภาพประกอบ 3.24 กระบวนการสร้างแผนภูมิจากไป

ข. **ต้นทุนค่าแรงงาน** ได้จากการหาค่าระยะเวลาการทำงานเพื่อนำมาคิดค่าแรงการทำงาน ซึ่งเวลาการทำงานของพนักงานประกอบด้วยเวลาการเดินทาง เวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล และเวลาการลงขยะรีไซเคิล ขั้นตอนการหาเวลาการทำงานรวมดังแสดงในภาพประกอบ 3.25 เริ่มการหาเวลาการทำงานรวมได้แก่การหาระยะเวลาการนำขยะรีไซเคิลขึ้นไว้บนพาหนะ ได้จากการคูณของน้ำหนักขยะรีไซเคิลรวมในแผนการขนส่งและอัตราการนำขยะรีไซเคิลขึ้นไว้บนพาหนะ การหาระยะเวลาการนำขยะรีไซเคิลลงจากพาหนะโดยการคูณกันของน้ำหนักขยะรีไซเคิลรวมในแผนการขนส่งและอัตราการนำขยะรีไซเคิลลงจากพาหนะ การหาเวลาการเดินทางของพาหนะได้จากการนำระยะทางการเดินทางของพาหนะหารด้วยอัตราความเร็วของพาหนะ นำเวลาทั้ง 3 ค่ามารวมกันเป็นระยะเวลาการทำงานรวมของรอบการเดินทาง แล้วระยะเวลาการทำงานรวมของรอบการเดินทางนี้จะนำไปรวมกับรอบการเดินทางอื่นๆของพาหนะ สุดท้ายจึงได้เวลาการทำงานรวมของพาหนะดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้า



ภาพประกอบ 3.25 กระบวนการหาเวลาการทำงานรวม

การคำนวณระยะเวลาของสมการที่ 3.6 แสดงเวลาการขึ้นขยะรีไซเคิลที่เกิดจากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลคูณด้วยอัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล รวมด้วยเวลาของการลงขยะรีไซเคิล ที่เกิดจากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลคูณด้วยอัตราการลงขยะรีไซเคิล และระยะเวลาของการเดินทางที่เกิดจากการนำระยะทางการเดินทางหารด้วยอัตราเร็วของพาหนะ โดยหากผลรวมของเวลามีค่ามากกว่า 28,800 วินาที ซึ่งเป็นเวลาการทำงานในช่วงการทำงานปกติ ค่าแรงงานเวลาทำงานปกติรวมด้วยระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นคูณด้วยอัตราค่าจ้างช่วงล่วงเวลางาน ดังแสดงในสมการที่ 3.7 แต่ถ้าผลรวมของเวลามีค่าน้อยกว่า 28,800 วินาที ค่าแรงงานจะเท่ากับค่าแรงงานเวลาปกติ ดังสมการที่ 3.8 ตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานแสดงในตาราง 3.7 ประกอบด้วยตัวแปร C2 บ่งชี้ต้นทุนค่าแรงคนงาน ตัวแปร T บ่งชี้เวลาที่ใช้ในการเดินทาง ตัวแปร D_i บ่งชี้ระยะทางการเดินทางของ

พาหนะ i ตัวแปร W บ่งชี้น้ำหนักรวมของขยะรีไซเคิลในแผนการขนส่ง ตัวแปร L_i บ่งชี้พนักงานงานประจำพาหนะ i ตัวแปร RL บ่งชี้อัตราการนำขยะรีไซเคิลขึ้นไว้บนพาหนะ ตัวแปร Ru บ่งชี้อัตราการนำขยะรีไซเคิลลงจากพาหนะ ตัวแปร Rv บ่งชี้อัตราความเร็วของพาหนะ ตัวแปร Ro บ่งชี้อัตราการจ่ายค่าแรงช่วงนอกเวลาการทำงาน ตัวแปร Rr บ่งชี้อัตราการจ่ายค่าแรงช่วงในเวลาการทำงาน ตัวแปร I บ่งชี้จำนวนพาหนะ โดยที่ $1 \leq i \leq I$ ตารางที่ 3.8 แสดงช่วงเวลาของกิจกรรมการเดินทางไปรับหรือส่งขยะรีไซเคิลของพาหนะประกอบด้วยเวลาของการเดินทาง คือช่วง $T1, T3, T5$ และ $T6$ ในส่วนของเวลาการขึ้นและลงขยะรีไซเคิลคือช่วง $T2$ และ $T4$ ตามลำดับ กิจกรรมการขึ้นและลงขยะรีไซเคิลนั้นจะรวมเวลาของการแยกขยะรีไซเคิลและการชั่งขยะรีไซเคิลไว้ด้วยกัน

$$T = \sum_{i=0}^I ((W \times RL) + (W \times Ru) + (\frac{D_i}{Rv})) \quad (3.6)$$

$$\text{ถ้า } T > 28,800, C2 = \sum_{i=0}^I ((L_i \times Ro) + Rr) \quad (3.7)$$

$$\text{ถ้า } T \leq 28,800, C2 = Rr \quad (3.8)$$

ตารางที่ 3.7 นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนค่าแรงงาน

ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
C2	ต้นทุนค่าแรงคนงาน	บาท
T	เวลาการทำงานรวม	วินาที
D_i	ระยะทางการเดินทางของพาหนะ i	เมตร
W	น้ำหนักรวมของขยะรีไซเคิลในแผนการขนส่ง	กิโลกรัม
L_i	พนักงานประจำรถคันที่ i	คน
RL	อัตราการนำขยะรีไซเคิลขึ้นไว้บนพาหนะ	วินาที/กิโลกรัม
Ru	อัตราการนำขยะรีไซเคิลลงจากพาหนะ	วินาที/กิโลกรัม
Rv	อัตราความเร็วของพาหนะ	เมตร/วินาที
Ro	อัตราการจ่ายค่าแรงช่วงนอกเวลาการทำงาน	บาท/วินาที
Rr	อัตราการจ่ายค่าแรงช่วงในเวลาการทำงาน	บาท/คัน/วัน

ตารางที่ 3.8 ช่วงเวลาของกิจกรรมการเดินทางไปรับหรือส่งขยะรีไซเคิลของพาหนะ

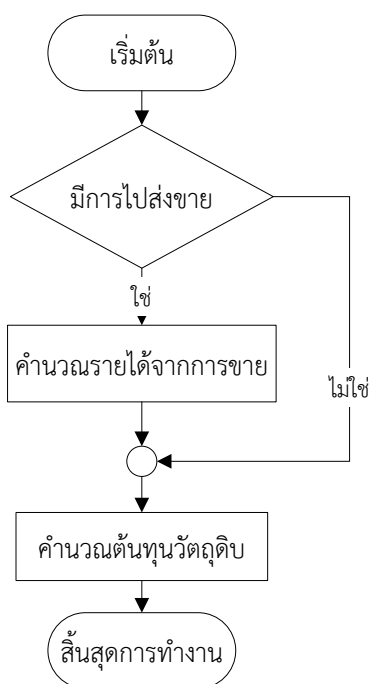
กิจกรรม		ช่วงเวลา
เวลาการเดินทางจากบริษัท ถึงตำแหน่งที่ 1		T1
เวลาการแยกขยะรีไซเคิล		T2
เวลาการชั่งขยะรีไซเคิล		
เวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล		
เวลาเดินทางจากตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งถัดไป		T3
เวลาการแยกขยะรีไซเคิล	เวลาการลงขยะรีไซเคิล	T4
เวลาการชั่งขยะรีไซเคิล	เวลาการแยกขยะรีไซเคิล	
เวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล	เวลาการชั่งน้ำหนัก	
เวลาการเดินทางจากตำแหน่งสุดท้ายถึงบริษัท		T5
เวลาการลงขยะรีไซเคิลที่บริษัท		T6

ค. ต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขายขยะรีไซเคิล ขั้นตอนการหาต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขายดังแสดงในภาพประกอบ 3.26 การหาต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขายเริ่มจากการตรวจสอบสายลำดับสถานที่ขนส่งต่อการเดินทางมีการเดินทางไปส่งขายขยะรีไซเคิลหรือไม่ ถ้ามีทำการคำนวณรายได้จากการขายโดยการนำน้ำหนักของสินค้าที่ขายคูณด้วยราคาขาย ถ้าไม่มีการส่งขายก็ทำการคำนวณต้นทุนค่าวัตถุดิบได้จากการนำน้ำหนักของขยะรีไซเคิลที่ทำการรับซื้อคูณด้วยราคาที่รับซื้อขยะรีไซเคิล สุดท้ายของขั้นตอนจะให้ค่า ต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขายของรอบการเดินทางของพาหนะ เพื่อนำไปรวมกับรอบการทำงานอื่น เพื่อนำไปเป็นต้นทุนของค่าวัตถุดิบและรายได้ของพาหนะดังที่กล่าวมาในข้างต้น

ต้นทุนวัตถุดิบได้จากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลที่รับซื้อคูณด้วยราคารับซื้อขยะรีไซเคิล ดังสมการที่ 3.9 และรายได้จากการขายขยะรีไซเคิลได้จากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลที่ขายคูณด้วยราคาขายขยะรีไซเคิล ดังสมการที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปร C3 บ่งชี้ต้นทุนค่าวัตถุดิบ ตัวแปร RV บ่งชี้รายได้จากการขายขยะรีไซเคิล ตัวแปร WS_{ij} บ่งชี้น้ำหนักขยะรีไซเคิลที่มีการขายของพาหนะ i ชนิดขยะ j ตัวแปร PS_{ij} บ่งชี้ราคาขายขยะรีไซเคิลของพาหนะ i ชนิดขยะ j ตัวแปร Wb_{ij} บ่งชี้น้ำหนักขยะรีไซเคิลที่ไปรับซื้อของพาหนะ i ชนิดขยะ j ตัวแปร Pb_{ij} บ่งชี้ราคารับซื้อขยะรีไซเคิลของพาหนะ i ชนิดขยะ j ตัวแปร l บ่งชี้จำนวนพาหนะ โดยที่ $1 \leq i \leq I$ ตัวแปร J บ่งชี้จำนวนชนิดขยะรีไซเคิล โดยที่ $1 \leq j \leq J$ ดังแสดงในตารางที่ 3.9

$$C3 = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J (Wb_{ij} \times Pb_{ij}) \quad (3.9)$$

$$RV = \sum_{i=0}^I \sum_{j=0}^J (WS_{ij} \times PS_{ij}) \quad (3.10)$$



ภาพประกอบ 3.26 การหาต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขาย

ตารางที่ 3.9 นิยามของตัวแปรในสมการคำนวณต้นทุนค่าวัตถุดิบและรายได้จากการขาย

ตัวแปร	นิยาม	หน่วย
C3	ต้นทุนค่าวัตถุดิบ	บาท
RV	รายได้จากการขายขยะรีไซเคิล	บาท
WS_{ij}	น้ำหนักขยะรีไซเคิลที่มีการขายของพาหนะ i ชนิดขยะ j	กิโลกรัม
PS_{ij}	ราคาขายขยะรีไซเคิลของพาหนะ i ชนิดขยะ j	บาท
WB_{ij}	น้ำหนักขยะรีไซเคิลที่ไปรับซื้อของพาหนะ i ชนิดขยะ j	กิโลกรัม
Pb_{ij}	ราคารับซื้อขยะรีไซเคิลของพาหนะ i ชนิดขยะ j	บาท
J	จำนวนชนิดขยะรีไซเคิล	ประเภทขยะ
j	$j = 1, 2, 3, \dots, J$	ประเภทขยะ

3.2.2 กระบวนการทางพันธุกรรม

กระบวนการทางพันธุกรรมประกอบด้วยการสร้างประชากรเบื้องต้น การประเมินค่าความเหมาะสม การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้กระบวนการวิวัฒนาการพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่เหมาะสม พารามิเตอร์ของการสร้างประชากรเบื้องต้นคือ จำนวนประชากรเบื้องต้น พารามิเตอร์ของการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

คือความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (%P_c) และพารามิเตอร์ของการกลายพันธุ์ คือค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (%P_m) หลักการของกระบวนการทางพันธุกรรมคือการสร้างกลุ่มประชากรขึ้นมา ประชากรเหล่านั้นเข้าสู่การคัดเลือกสายพันธุ์โดยใช้หลักของความน่าจะเป็นว่าสายลำดับโครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกมากกว่าสายลำดับที่มีความเหมาะสมน้อย ดังนั้นโครโมโซมที่ผ่านเข้าสู่การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์มีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นโครโมโซมที่มีความเหมาะสม และสุดท้ายสายลำดับโครโมโซมจะเข้าสู่การกลายพันธุ์ การเข้าสู่การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เข้าสู่การกลายพันธุ์นั้นทำให้สายลำดับโครโมโซมเกิดความเปลี่ยนแปลง ทำให้เกิดการสลับตำแหน่งยีนในสายลำดับโครโมโซมเพื่อทำให้เกิดสายลำดับโครโมโซมใหม่ที่คาดว่าค่าความเหมาะสมของสายลำดับโครโมโซมน่าจะเข้าสู่คำตอบที่ต้องการ

1. การสร้างประชากรเบื้องต้น การสร้างประชากรเบื้องต้นเป็นขั้นตอนการสร้างประชากรที่จะเข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรม โดยจำนวนครั้งของการสร้างประชากรเบื้องต้นจะเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ของประชากรเบื้องต้นที่กำหนดไว้ ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างพารามิเตอร์จำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 5 ประชากร เมื่อได้โครโมโซมตามจำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนดแล้วก็นำโครโมโซมเหล่านี้เข้าสู่ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างคำตอบเบื้องต้น โดยการถอดรหัสคำตอบ (Decoding)

ตารางที่ 3.10 ตัวอย่างจำนวนประชากรเบื้องต้นที่มี 5 ประชากร

โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
โครโมโซม 2	HY	S	IE	M	IV	IH	HX	LQ	IL	LV	KA
โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 5	IL	KA	S	HX	IE	M	LV	IV	HY	LQ	IH

การกำหนดพารามิเตอร์จำนวนประชากรเบื้องต้นให้มีความเหมาะสมกับรูปแบบการแก้ปัญหา นั้นส่งผลต่อระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่มีความเหมาะสม การกำหนดจำนวนพารามิเตอร์ประชากรเบื้องต้นที่มีจำนวนมาก เป็นการเพิ่มโอกาสในการหาคำตอบ ที่จะได้คำตอบที่มีความเหมาะสมมากกว่าจำนวนประชากรเบื้องต้นที่มีจำนวนน้อย แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดประชากรเบื้องต้นให้มีมากจนเกินไปจะส่งผลให้การทำงานเชิงพันธุกรรมนานมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาถึงพารามิเตอร์จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่งต่อไป

2. การคัดเลือกสายพันธุ์ เป็นการคัดสรรสมาชิกที่มีความเหมาะสมจากรุ่นปัจจุบันไปสู่รุ่นต่อไป โดยโครโมโซมที่มีความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีความ

เหมาะสมน้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้โครโมโซมที่มีโอกาสถูกเลือกมากคือโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมาก นั่นคือส่วนต่างของค่าใช้จ่ายลบรายได้ที่มีค่าน้อยที่สุด การคิดค่าความเหมาะสมจึงเป็นส่วนกลับของส่วนต่างของค่าใช้จ่ายลบรายได้ วิธีการคัดเลือกที่ใช้คือวิธีการคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel) ขั้นตอนกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ ดังภาพประกอบ 3.27 ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเริ่มจากการคำนวณส่วนกลับของค่าความเหมาะสมของสายลำดับโครโมโซมเบื้องต้น ทุกสายลำดับ และนำค่าส่วนกลับหาค่าผลรวมของค่าส่วนกลับทั้งหมด ขั้นตอนต่อไปคือการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละประชากรเบื้องต้น โดยการนำค่าส่วนกลับของค่าความเหมาะสมหารด้วยผลรวมของส่วนกลับค่าความเหมาะสม โดยสายลำดับที่มีค่าความเหมาะสมที่มีค่าน้อย จะเป็นสายลำดับที่มีค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมาก จากนั้นหาค่าความน่าจะเป็นสะสม เพื่อกำหนดช่วงของค่าความน่าจะเป็น ขั้นตอนนี้จะได้สายลำดับของค่าความน่าจะเป็นสะสม โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ทำการสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้ง 0 ถึง 1 เช่นกันเพื่อคัดเลือกสายลำดับที่เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าเลขสุ่มตกอยู่ในช่วงค่าความจะเป็นใด สายลำดับนั้นจะถูกคัดเลือก ทำการสุ่มตัวเลขเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น สุดท้ายจะได้กลุ่มสายลำดับที่ถูกคัดเลือกเพื่อเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ต่อไป

ก. **หาค่าความเหมาะสมรวม (SumFitness)** ของโครโมโซมทั้งหมดจากผลรวมของต้นทุนของโครโมโซมแต่ละตัว ค่าความเหมาะสมรวมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.11

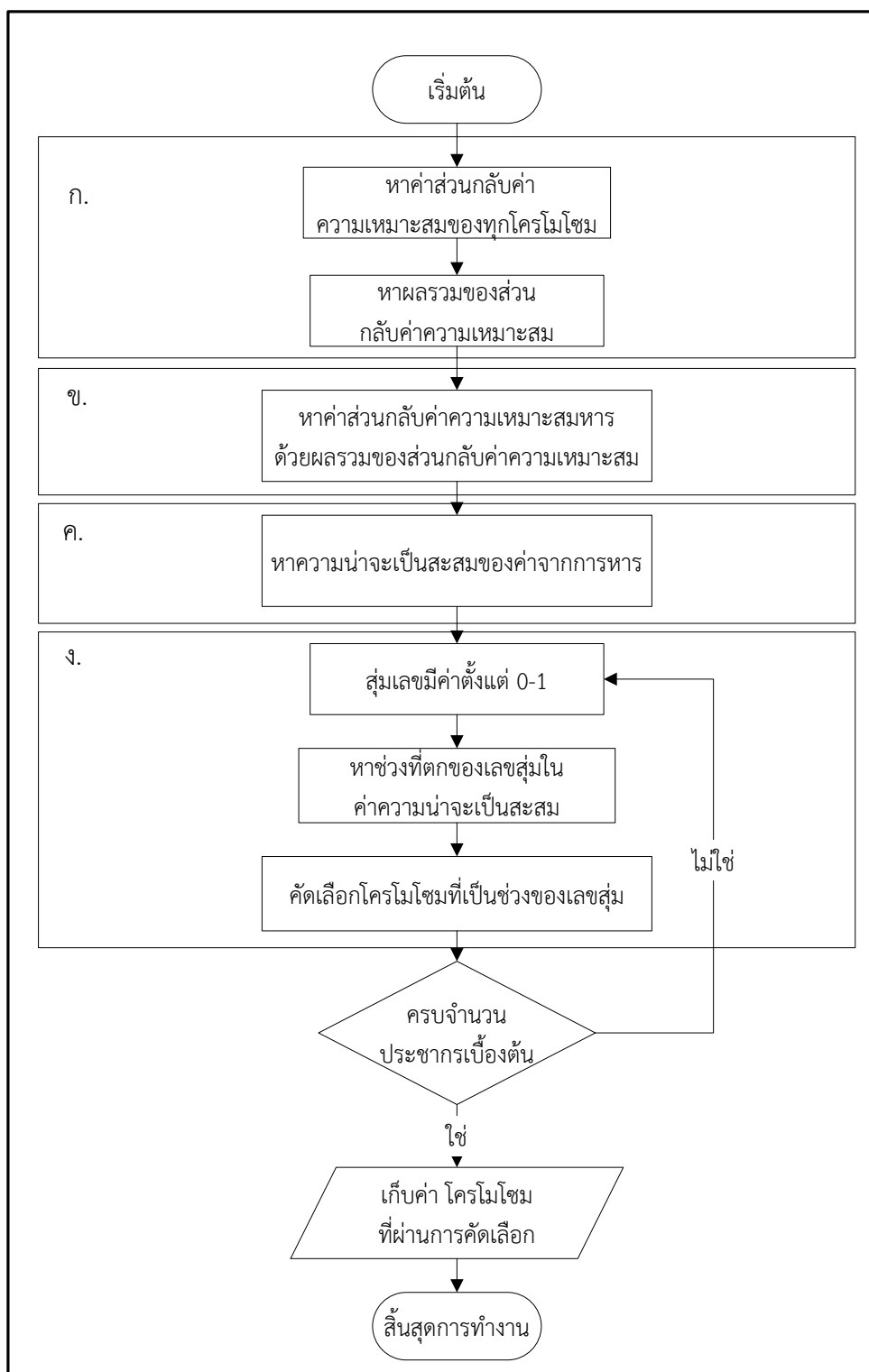
$$\text{SumFitness} = \sum_{q=1}^Q \frac{1}{\text{Fitness}_q} \quad (3.11)$$

โดยที่	Fitness _q	คือ ต้นทุนของโครโมโซมตัวที่ q
	q	คือ ลำดับที่ของโครโมโซม (i=1,2,3,...,Q)
	Q	คือ จำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนด

ข. **การหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Selection of Probability)** ของแต่ละโครโมโซมได้จากการนำส่วนกลับของต้นทุน หารด้วยผลรวมของส่วนกลับของต้นทุน ผลลัพธ์คือสัดส่วนของค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ หากต้นทุนมีค่าน้อย จะได้ค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกมาก เพราะสมการวัตถุประสงค์ที่ 3.1 ต้องการหาค่าน้อยสุดของต้นทุนของแผนการจัดการการขนส่ง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.12

$$P_q = \frac{\frac{1}{\text{Fitness}_q}}{\text{SumFitness}} \quad (3.12)$$

โดยที่	P _q	คือ ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของโครโมโซมที่ q
	q	คือ ลำดับที่ของโครโมโซม (q = 1,2,3,...,Q)



ภาพประกอบ 3.27 กระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์

ค. หาความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสะสม (Cumulative of Probability) ของโครโมโซมแต่ละตัว ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 3.13

$$\text{Cum}_q = \sum_{q=1}^Q P_q \quad (3.13)$$

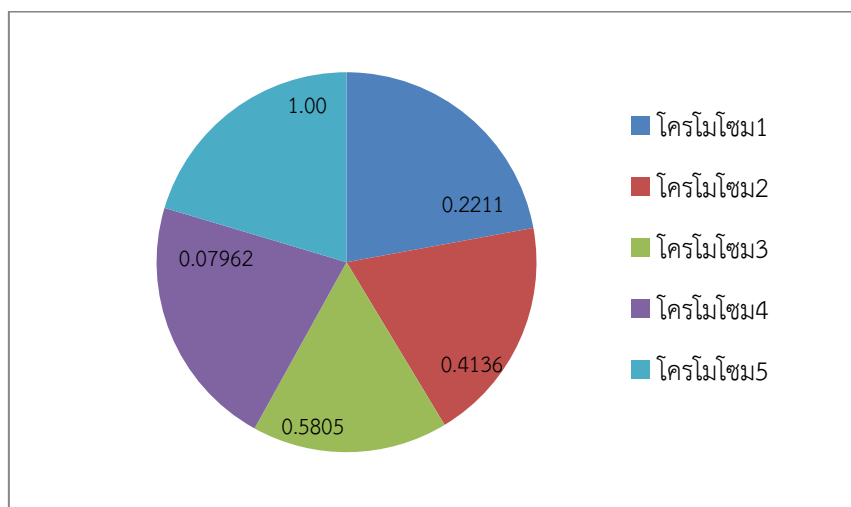
โดยที่ Cum_q คือ ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสะสมของโครโมโซม q

ตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก และค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสมแสดงในตารางที่ 3.11 โครโมโซมที่ 1 มีค่าต้นทุนเท่ากับ 3,180.594 โครโมโซมที่ 2 มีค่าต้นทุนเท่ากับ 3,652.100 โครโมโซมที่ 3 มีค่าต้นทุนเท่ากับ 4,215.120 โครโมโซมที่ 4 มีค่าต้นทุนเท่ากับ 3,260.175 โครโมโซมที่ 5 มีค่าต้นทุนเท่ากับ 3,450.016 เมื่อทำการหาส่วนกลับของต้นทุน เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของโครโมโซมที่ 1 ถึงโครโมโซมที่ 5 พบว่ามีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2211 0.1925 0.1669 0.2157 และ 0.2038 ตามลำดับ ทำการหาค่าความน่าจะเป็นสะสมของโครโมโซมที่ 1 ถึงโครโมโซมที่ 5 ได้ความน่าจะเป็นสะสมเท่ากับ 0.2211 0.4136 0.5805 0.7962 และ 1.000 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.11 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก และค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม

โครโมโซม	ต้นทุน	1/ต้นทุน	ค่าความน่าจะเป็น	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	3180.594	0.003	0.2211	0.2211
2	3652.100	0.003	0.1925	0.4136
3	4215.120	0.002	0.1669	0.5805
4	3260.175	0.003	0.2157	0.7962
5	3450.016	0.003	0.2038	1.000
รวม		0.0014		

นำค่าสัดส่วนของค่าความน่าจะเป็นจากข้อมูลตัวอย่างในตารางที่ 3.12 ถูกเลือกนำมาสร้างเป็นวงล้อเสี่ยงทายแสดงในภาพประกอบ 3.28 ช่วงที่มีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมากเป็นช่วงที่มีพื้นที่ในวงล้อเสี่ยงทายมาก โดยพื้นที่จะเป็นไปตามสัดส่วนของความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละสายลำดับโครโมโซม



ภาพประกอบ 3.28 ตัวอย่างการสร้างวงล้อเสี่ยงทาย

ง. สุ่มตัวเลขเพื่อเลือกช่วงของค่าความน่าจะเป็นสะสม โดยที่ค่าของเลขสุ่มอยู่ในช่วง 0-1 ใช้ในการเลือกโครโมโซมที่ค่าของเลขสุ่มตกในช่วงของความน่าจะเป็นสะสมที่ได้จากกระบวนการ ค. ตาราง 3.12 ทำการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ค่า 0 ถึง 1 จำนวนครั้งในการสุ่มเท่ากับ 5 เท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น แสดงค่าเลขสุ่มที่ได้ ครั้งที่ 1 ค่าเลขสุ่มเท่ากับ 0.45 ตกอยู่ในช่วงค่าความน่าจะเป็นสะสม 0.40815–0.55618 ดังนั้นโครโมโซมที่ถูกเลือกคือโครโมโซมที่ 3 ค่าเลขสุ่มครั้งที่ 2 เท่ากับ 0.19 ตกอยู่ในช่วงค่าความน่าจะเป็นสะสม 0.13312–0.35490 ดังนั้นโครโมโซมที่ถูกเลือกคือโครโมโซมที่ 1 จนกระทั่งทำการสุ่มครั้งสุดท้ายครั้งที่ 5 ค่าเลขสุ่มเท่ากับ 0.15 ตกอยู่ในช่วงค่าความน่าจะเป็นสะสม 0.13312–0.35490 ดังนั้นโครโมโซมที่ถูกเลือกคือโครโมโซมที่ 1 ดังนั้นโครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุคือโครโมโซมที่ 3 1 4 4 และ 1 ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 3.13

ตารางที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมชุดใหม่

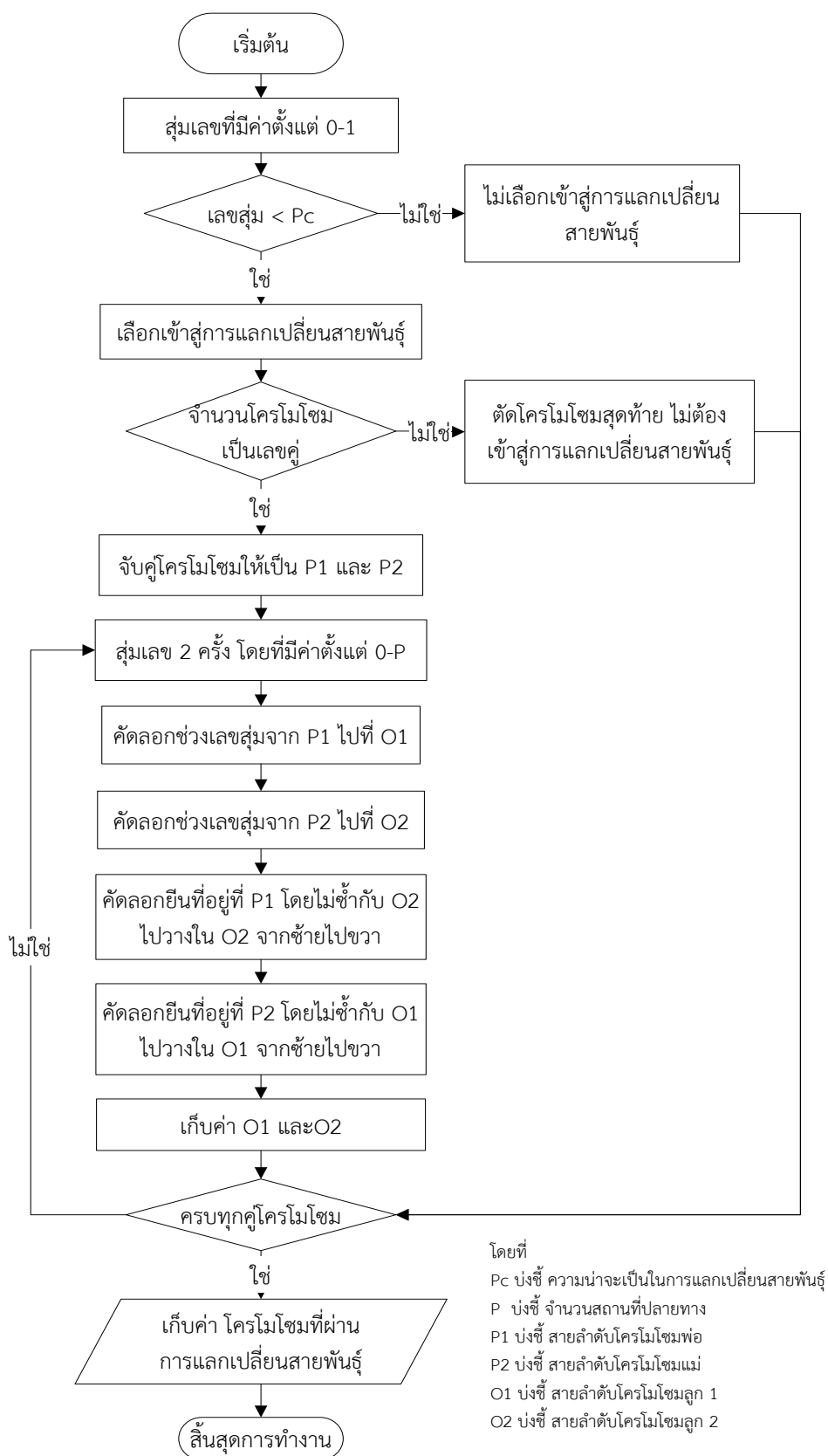
ตัวเลขสุ่ม	ค่าที่อยู่ในช่วงค่าความน่าจะเป็นสะสม	โครโมโซมที่ถูกเลือก
0.45	0.4136-0.5805	3
0.19	0-0.2211	1
0.69	0.5805-0.7962	4
0.78	0.5805-0.7962	4
0.15	0-0.2211	1

ตารางที่ 3.13 ตัวอย่างโครโมโซมชุดใหม่ที่เกิดจากการคัดเลือก

โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M

3. การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ เป็นกระบวนการหลังจากโครโมโซมได้ผ่านการคัดเลือก โดยเป็นการแลกเปลี่ยนรหัสยีนระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ (Parent) จากโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกตามอัตราส่วนความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ($\%P_c$) เพื่อสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่หรือโครโมโซมรุ่นลูก (Offspring) ชุดใหม่ขึ้นมา การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นกระบวนการที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมเข้าสู่ค่าตอบที่มีความเหมาะสม โดยการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการขนส่งเป็นการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบลำดับ (Order Crossover : OX) ซึ่งเป็นวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับปัญหาที่โครโมโซมมีการเรียงลำดับการทำงาน ดังภาพประกอบ 3.29 แสดงกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ โดยขั้นตอนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เริ่มจากการสุ่มค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 1 ของแต่ละลำดับประชากรเบื้องต้นเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ หากค่าเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ลำดับลำดับนั้นจะผ่านการคัดเลือกเพื่อเข้าสู่การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขสุ่มมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ลำดับจะไม่ถูกเลือกเข้าสู่การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ นับจำนวนสมาชิกของสายลำดับที่เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ถ้าสมาชิกของสายลำดับที่ถูกเลือกให้เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นเลขคี่ ให้ตัดสายลำดับสุดท้ายออก ให้สายลำดับนั้นเป็นสายลำดับที่ไม่เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

ดังนั้นกลุ่มสายลำดับที่เข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์นั้นต้องเป็นจำนวนคู่เพราะกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์นั้นจะแบ่งสายลำดับออกเป็นสายลำดับโครโมโซมพ่อและสายลำดับโครโมโซมแม่เพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์หลังจากได้สายโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่แล้วนั้นจะทำการสุ่มตัวเลขมา 2 ตัว โดยที่ค่าของเลขสุ่มจะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง จำนวนสถานที่ขนส่งในสายลำดับ คัดลอกช่วงของสถานที่ขนส่งของเลขสุ่มทั้ง 2 ไปยังสายลำดับโครโมโซมลูก โดยที่คัดลอกสายลำดับโครโมโซมพ่อ ไปยังสายลำดับโครโมโซมลูก 2 และคัดลอกสายลำดับโครโมโซมแม่ ไปยังสายลำดับโครโมโซมลูก 1 จากนั้นทำการตรวจสอบสถานที่ขนส่งที่เหลือของทั้งสายลำดับโครโมโซมพ่อ และในสายลำดับโครโมโซมแม่ โดยเริ่มจากการตรวจสอบที่สายลำดับโครโมโซมพ่อ ตรวจสอบสถานที่ขนส่งที่ยังเหลือ คือไม่ได้อยู่ในค่าของเลขสุ่มทั้งสอง ตรวจสอบตามลำดับของสายลำดับโดยที่นำเข้าข้อมูลสถานที่ขนส่งที่ไม่ซ้ำกับสายลำดับโครโมโซมลูก 1 ที่ได้มาจากการคัดลอกจากสายลำดับโครโมโซมแม่ การนำเข้าทำได้โดยการที่ใส่สถานที่ขนส่งที่ไม่ซ้ำ



ภาพประกอบ 3.29 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

กับสถานที่ขนส่งตำแหน่งของช่วงเลขคู่ เรียงลำดับตำแหน่งการวางจากซ้ายไปขวาของสายลำดับโครโมโซมพ่อ และสายลำดับโครโมโซมลูก 1 ทำเช่นเดียวกันกับสายลำดับโครโมโซมแม่ และสายลำดับโครโมโซมลูก 2 ค่าสุดท้ายที่ได้คือสายลำดับโครโมโซมลูก 1 และสายลำดับโครโมโซมลูก 2 ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จนครบคู่ของสายลำดับโครโมโซมพ่อ และสายลำดับโครโมโซมแม่ นำค่าสายลำดับโครโมโซมลูกที่ได้จากการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์รวมกับสายลำดับโครโมโซมที่ไม่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ เพื่อเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป ประกอบด้วยตัวแปรที่ใช้ในการอธิบายขั้นตอนการทำงานได้แก่ ตัวแปร Pc บ่งชี้ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ตัวแปร P บ่งชี้จำนวนสถานที่ขนส่ง ตัวแปร P1 บ่งชี้สายลำดับโครโมโซมพ่อ ตัวแปร P2 บ่งชี้สายลำดับโครโมโซมแม่ ตัวแปร O1 บ่งชี้สายลำดับโครโมโซมลูก 1 ตัวแปร O2 บ่งชี้สายลำดับโครโมโซมลูก 2

โครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แสดงในตารางที่ 3.14 คือโครโมโซม 3 1 4 4 และ 1 จะนำเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ โดยตารางที่ 3.15 แสดงตัวอย่างการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ มีเลขคู่ที่ได้เท่ากับ 0.89 0.41 0.22 0.64 และ 0.35 ตามลำดับ จากตัวอย่างกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.8 ดังนั้นสายลำดับโครโมโซมที่ไม่ถูกเลือกคือมีค่าเลขคู่มากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ คือโครโมโซม 3 และสายลำดับโครโมโซมที่ถูกเลือกคือมีค่าเลขคู่น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ คือโครโมโซม 1 4 4 และ 1 ดังแสดงในตารางที่ 3.16 การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ซึ่งเป็นหนึ่งพารามิเตอร์ของกระบวนการวิจัเชิงพันธุกรรมที่ต้องทำการออกแบบการทดลองเพราะค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่เหมาะสมนั้นมีผลต่อค่าความเหมาะสมที่โดยที่จะส่งผลให้ค่าความเหมาะสมมีค่าเฉลี่ยที่คู่เข้าคำตอบที่ต้องการ ซึ่งผู้วิจัยจะกล่าวในหัวข้อการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการวิจัเชิงพันธุกรรมต่อไป

ตารางที่ 3.14 ตัวอย่างโครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M

ตารางที่ 3.15 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซมชุดใหม่	ตัวเลขสุ่ม	เลือกโครโมโซมที่ตัวเลขสุ่ม < %Pc (0.8)
3	0.89	ไม่เลือก
1	0.41	เลือก
4	0.22	เลือก
4	0.64	เลือก
1	0.35	เลือก

ตารางที่ 3.16 โครโมโซมที่ถูกเลือกเพื่อทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M

ภาพประกอบ 3.30 แสดงตัวอย่างวิธีการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแบบ Order Crossover (OX) เริ่มจากการสุ่มตำแหน่งสถานที่ขนส่งในสายลำดับโครโมโซม P1 มา 2 ตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งสถานที่ขนส่งที่สุ่มได้คือตำแหน่งที่ 2 และ 5 มาทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ โดยคัดลอกสถานที่ขนส่งที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 5 ของโครโมโซม P1 คือสถานที่ IV LQ และ IL ไปยังสายลำดับโครโมโซม O2 ที่ระหว่างตำแหน่งที่ 2 และ 5 และทำเช่นเดียวกันกับสายลำดับโครโมโซม P2 และ O1 โดยที่สถานที่ขนส่งที่ถูกคัดลอกมายัง O1 คือสถานที่ IE M และ KA จากนั้นทำการตรวจสอบสถานที่ขนส่งในสายลำดับโครโมโซม P1 เพื่อทำการนำข้อมูลสถานที่ขนส่งที่ไม่ซ้ำกับสถานที่ขนส่งในสายลำดับโครโมโซม O1 โดยการเรียงข้อมูลจากตำแหน่งซ้ายสุดไปขวาสุด และพบว่า มีสถานที่ขนส่งที่ไม่ซ้ำกันคือ LV S IV LQ IL HY HX และ IH นำสถานที่ขนส่งเหล่านี้เก็บค่าไว้ในสายลำดับโครโมโซม O1 และเช่นเดียวกันกับสายลำดับโครโมโซม P2 และ O2 มีสถานที่ขนส่งที่ไม่ซ้ำกันคือ LV IE M KA HY HX IH และ S นำเข้าข้อมูลสถานที่ขนส่งในสายลำดับโครโมโซม O2 และได้สายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ O1 และ O2

P1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
P2	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
O1	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH
O2	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S

ภาพประกอบ 3.30 ตัวอย่างวิธีการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแบบ Order Crossover (OX)

สายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แสดงในตารางที่ 3.17 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ได้สายลำดับโครโมโซมที่เข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ดังแสดงในตารางที่ 3.18 โดยมีสายลำดับโครโมโซมที่ไม่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ คือ สายลำดับโครโมโซมที่ 3

ตารางที่ 3.17 ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH

หมายเหตุ * โครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแล้ว

ตารางที่ 3.18 ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมที่ได้หลังจากกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH

หมายเหตุ * โครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแล้ว

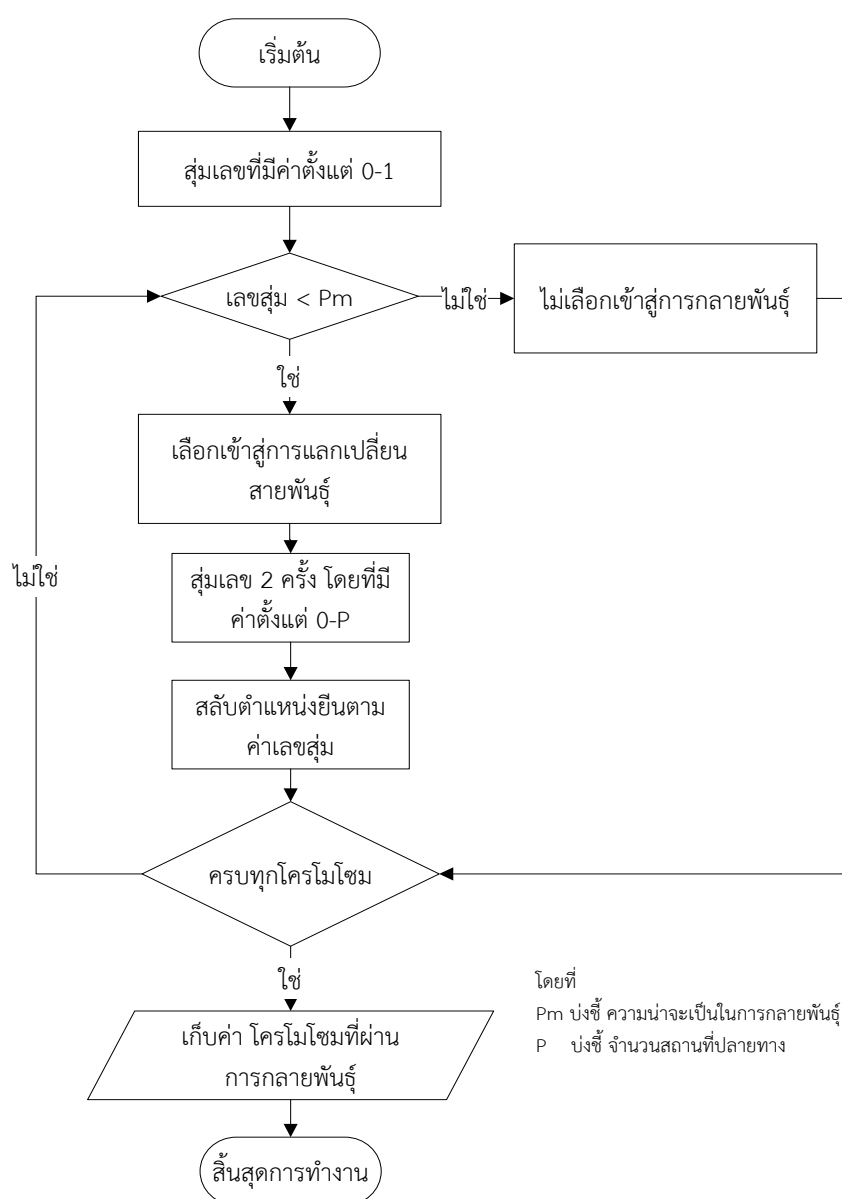
4. การกลายพันธุ์ เป็นขั้นตอนที่อาจช่วยให้โครโมโซมมีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้น หลังจากการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ทำได้โดยการสลับตำแหน่งของรหัสยีนภายในโครโมโซมตัวเดียว จะมีเพียงโครโมโซมบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกนำมาทำการกลายพันธุ์ซึ่งอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ($\%P_m$) ซึ่งการกลายพันธุ์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาคือการกลายพันธุ์

แบบสลับที่ 2 ตำแหน่ง ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการกลายพันธุ์เริ่มจากการสุ่มตัวเลขเพื่อคัดเลือกสายลำดับโครโมโซมในกลุ่มสายลำดับของโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์โดยการเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ถ้าตัวเลขสุ่มมีค่ามากกว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ สายลำดับโครโมโซมนั้นไม่ผ่านการกลายพันธุ์ ในทางกลับกันถ้าตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ สายลำดับนั้นจะผ่านการกลายพันธุ์ จำนวนครั้งของการสุ่มเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น สายลำดับโครโมโซมที่เข้าสู่วิธีการกลายพันธุ์ ต้องทำการสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง ค่าจำนวนสถานที่ขนส่ง ทำการสุ่มตัวเลข 2 ครั้ง เพื่อทำการสลับตำแหน่งของสถานที่ขนส่งที่ถูกสุ่มโดยเลขสุ่มทั้งสองค่า ผลที่ได้คือสายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการกลายพันธุ์ดังแสดงในภาพประกอบ 3.31 โดยที่ตัวแปรที่ใช้อธิบายขั้นตอนการทำงานได้แก่ ตัวแปร Pm บ่งชี้ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ตัวแปร P บ่งชี้จำนวนสถานที่ขนส่ง ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการกลายพันธุ์แสดงในตารางที่ 3.19 กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.2 ค่าเลขสุ่มที่ได้ของโครโมโซม O1 O2 O3 และ O4 คือ 0.07, 0.34, 0.62 และ 0.91 ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ 0.2 พบว่ามีค่าที่น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์คือ 0.07 ของโครโมโซม O1 และสายลำดับโครโมโซม O2 O3 และ O4 ไม่ต้องเข้าสู่วิธีการกลายพันธุ์

วิธีการกลายพันธุ์เริ่มต้นโดยการสุ่มตำแหน่งสถานที่ขนส่งในสายลำดับโครโมโซม O1 มา 2 ตำแหน่ง และทำการสลับค่าของสถานที่ขนส่งของ 2 ตำแหน่งที่สุ่ม ภาพประกอบ 3.32 แสดงตัวอย่างวิธีการกลายพันธุ์แบบ Two Change Mutation พบว่าตำแหน่งที่สุ่มได้คือ 3 และ 7 นั่นคือ IE และ LQ ทำการสลับที่สถานที่ขนส่งสองตำแหน่งนี้ จะได้สายลำดับโครโมโซมตัวใหม่ ที่มีสถานที่ขนส่งในตำแหน่งที่ 3 เปลี่ยนจากสถานที่ IE เป็น ยีน LQ และ สถานที่ในตำแหน่งที่ 7 เปลี่ยนจากสถานที่ LQ เป็นสถานที่ IE สายลำดับโครโมโซมที่เข้าสู่วิธีการกลายพันธุ์มี 4 สายลำดับ และมีเพียง 1 สายลำดับโครโมโซมที่ผ่านกระบวนการกลายพันธุ์ ดังนั้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการกลายพันธุ์แล้ว สายลำดับโครโมโซมทั้ง 5 สายลำดับที่ผ่านจากกระบวนการคัดเลือกคือสายลำดับโครโมโซม 3 1 4 4 และ 1 ทั้ง 5 สายลำดับโครโมโซมได้เข้าสู่วิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำงานของกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์มี 4 โครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ คือสายลำดับโครโมโซม 1 4 4 และ 1 สุดท้ายทั้ง 4 โครโมโซมที่ผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ เข้าสู่วิธีการกลายพันธุ์ มี 1 สายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการกลายพันธุ์คือสายลำดับโครโมโซม 1 ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ สายลำดับโครโมโซมแสดงดังตารางที่ 3.20 เมื่อทำการเปรียบเทียบสายลำดับโครโมโซมก่อนเข้าสู่วิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ดังตารางที่ 3.21 สายลำดับโครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรมแล้วดังตารางที่ 3.22 และโครโมโซมที่ผ่านการกลายพันธุ์แล้วดังตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.19 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อทำการกลายพันธุ์

โครโมโซมลูกเบื้องต้น	ตัวเลขสุ่ม	เลือกโครโมโซมที่ตัวเลขสุ่ม < %Pm (0.2)
O1	0.07	เลือก
O2	0.34	ไม่เลือก
O3	0.62	ไม่เลือก
O4	0.91	ไม่เลือก



ภาพประกอบ 3.31 ผังการทำงานของกระบวนการกลายพันธุ์

โครโมโซม 1*

LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH
----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----

โครโมโซม 1**

LV	S	LQ	M	KA	IV	IE	IL	HY	HX	IH
----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----

ภาพประกอบ 3.32 ตัวอย่างวิธีการกลายพันธุ์แบบ Two Change Mutation

ตารางที่ 3.20 ตัวอย่างสายลำดับโครโมโซมเมื่อสิ้นสุดกระบวนการกลายพันธุ์

โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 1**	LV	S	LQ	M	KA	IV	IE	IL	HY	HX	IH
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH

หมายเหตุ * โครโมโซมที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม

** โครโมโซมที่ผ่านการกลายพันธุ์

ตารางที่ 3.21 สายลำดับโครโมโซมก่อนเข้าสู่กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

โครโมโซม 3	IE	M	S	IH	HX	KA	HY	LV	IL	IV	LQ
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4	LV	LQ	IE	M	KA	IL	IV	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1	LV	S	IV	LQ	IL	HY	KA	HX	IH	IE	M

ตารางที่ 3.22 สายลำดับโครโมโซมชุดที่ผ่านการแลกเปลี่ยนพันธุกรรม

โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 4*	LV	IE	IV	LQ	IL	M	KA	HY	HX	IH	S
โครโมโซม 1*	LV	S	IE	M	KA	IV	LQ	IL	HY	HX	IH

ตารางที่ 3.23 สายลำดับโครโมโซมชุดที่ผ่านการกลายพันธุ์

โครโมโซม 1**

LV	S	LQ	M	KA	IV	IE	IL	HY	HX	IH
----	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----

สายลำดับโครโมโซมเมื่อสินค้าสุดกระบวนการกลายพันธุ์จะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมแล้ววนเข้าสู่กระบวนการคัดเลือก กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ กระบวนการกลายพันธุ์ จนครบการทำงานตามจำนวนค่าพารามิเตอร์ของจำนวนรอบการทำงาน ซึ่งการกำหนดพารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ที่ทำให้กระบวนการหาค่าตอบพบค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นจะกล่าวถึงในหัวข้อการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมต่อไป

5. การหยุดการค้นหา กลไกการทำงานของการทำงานของการหยุดค้นหาในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม จะหยุดการค้นหาเมื่อมีการวนรอบการทำงานครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม การหยุดค้นหานี้เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญอีกตัวหนึ่งในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพราะถ้าหากกำหนดจำนวนรอบการทำงานไว้น้อยเกินไปอาจทำให้ได้คำตอบที่ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด หรือหากกำหนดจำนวนรอบการทำงานไว้มากเกินไปอาจทำให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์หากคำตอบที่ดีที่สุดนั้นสามารถพบได้ตั้งแต่รอบการทำงานแรกๆ ดังนั้นการกำหนดรอบการทำงานต้องหาค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด ในช่วงระยะเวลาที่สั้นที่สุด ซึ่งจะกล่าวถึงการทดสอบจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในหัวข้อการออกแบบการทดลองการทดสอบพารามิเตอร์ของการวิจัยเชิงพันธุกรรมต่อไป

3.2.3 การออกแบบโปรแกรมการคำนวณ

การออกแบบโปรแกรมการคำนวณได้มีการออกแบบการทดลองการทดสอบพารามิเตอร์ของการวิจัยเชิงพันธุกรรม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทำการประมวลผลการทำงาน การออกแบบฐานข้อมูล และการออกแบบกลไกการทำงานของโปรแกรมและคู่มือการใช้โปรแกรม

1. การออกแบบการทดลองการทดสอบพารามิเตอร์ของการวิจัยเชิงพันธุกรรม

การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการวิจัยเชิงพันธุกรรมนั้นได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k แบบไม่มีจุดศูนย์กลาง แบ่งตัวแปรออกเป็น 2 ตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม ตัวแปรอิสระเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าของผลลัพธ์ ในที่นี้คือค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ดังนั้นการทดลองนี้จึงได้การกำหนดปัจจัยไว้ 4 ปัจจัยซึ่งประกอบด้วยจำนวนประชากรเบื้องต้น จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือระดับสูง (1) และระดับต่ำ (-1) ดังแสดงในตารางที่ 3.24 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล โดยให้จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ระดับสูงเท่ากับ 1100 ระดับต่ำเท่ากับ 500 จำนวนรอบการทำงานที่ระดับสูงเท่ากับ 300 ระดับต่ำ

เท่ากับ 100 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่ระดับสูงเท่ากับ 0.9 ระดับต่ำเท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ระดับสูงเท่ากับ 0.5 ระดับต่ำเท่ากับ 0.1 ตัวแปรตามที่กำหนดไว้คือค่าความเหมาะสมที่เป็นผลลัพธ์จากการทำงานของโปรแกรม การทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบให้มีการทำซ้ำเท่ากับ 6 ครั้ง โดยให้นำผลลัพธ์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย แล้วทำการทดสอบผลที่ได้ต่อไป

ตารางที่ 3.24 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ปัจจัย	ระดับ	
	สูง	ต่ำ
จำนวนประชากรเบื้องต้น	1,100	500
จำนวนรอบการทำงาน	300	100
ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	0.9	0.5
ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์	0.5	0.1

2. การออกแบบกลไกการทำงานของโปรแกรมและฐานข้อมูล ได้ทำการออกแบบกลไกการทำงานออกเป็น 3 กระบวนการหลักประกอบด้วยส่วนการเก็บฐานข้อมูล ส่วนการประมวลผล และสุดท้ายส่วนของการแสดงผลการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.33

ก. การออกแบบฐานข้อมูลเพื่อทำการเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล เป็นขั้นตอนการรับเข้าข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลการทำงานของโปรแกรม ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลลูกค้า ข้อมูลสินค้า ข้อมูลค่าคงที่ และข้อมูลพารามิเตอร์

1). ฐานข้อมูลเกี่ยวกับลูกค้า ข้อมูลเกี่ยวกับลูกค้า ประกอบด้วยข้อมูลชื่อร้านค้า ตำแหน่งที่ตั้งของร้านค้า ประเภทของร้านค้า จำนวนเส้นทาง และระยะทางของแต่ละเส้นทาง โดยมีการบันทึกข้อมูลระยะของเส้นทางที่เชื่อมต่อโยงกัน เพื่อนำไปประมวลผลวางแผนการเดินทางที่สั้นที่สุดด้วย Dijkstra's Algorithm ข้อมูลที่ต้องเก็บเพื่อการหาระยะทางที่สั้นที่สุดด้วย Dijkstra's Algorithm นั้น ประกอบด้วย ชื่อสถานที่ จำนวนเส้นทาง ชื่อของสถานที่ขนส่ง ระยะทางของแต่ละเส้นทาง

2). ฐานข้อมูลของขยะรีไซเคิล ข้อมูลของขยะรีไซเคิล จะถูกจัดเก็บโดยการแยกประเภทของขยะรีไซเคิลโดยแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลัก เพื่อใช้ในการคำนวณราคารับซื้อวัตถุดิบ ราคาขายขยะรีไซเคิล การแปลงหน่วยน้ำหนักขยะรีไซเคิลให้เป็นปริมาตร

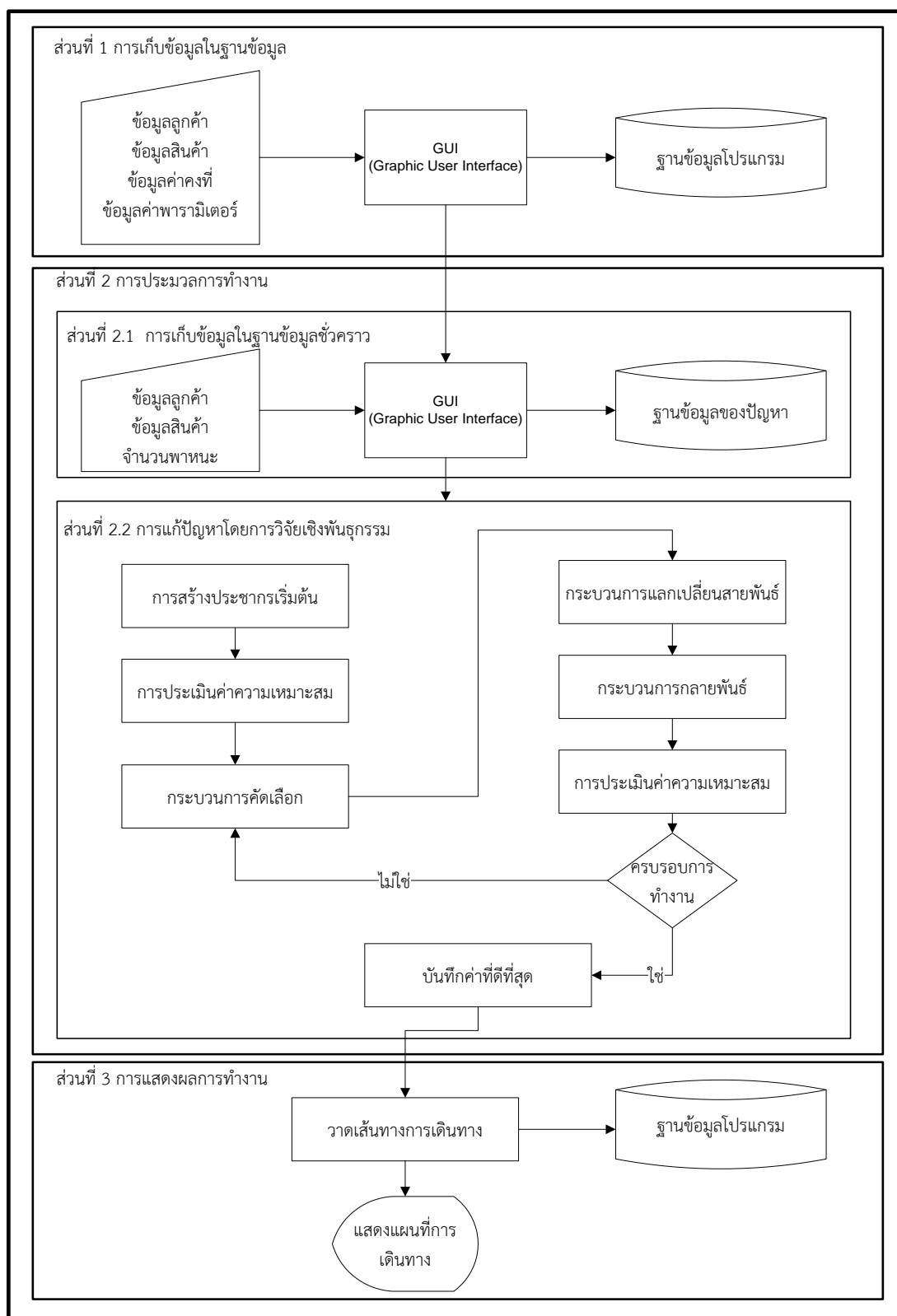
3). ฐานข้อมูลของพารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม พารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมประกอบด้วยค่าจำนวนประชากร จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

4). ฐานข้อมูลค่าคงที่ ประกอบด้วยค่าคงที่ของ อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล อัตราการลงขยะรีไซเคิล ซึ่งมีหน่วยเป็น วินาทีต่อกิโลกรัม เพื่อนำไปคำนวณระยะเวลาการทำงานของ

พาหนะ อัตราการเปลี่ยนน้ำหนักขยัะรีไซเคิลไปเป็นขนาดปริมาตรขยัะรีไซเคิล อัตราการทำงานช่วงนอกเวลา

ข. การประมวลผลการทำงาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ส่วนแรกได้แก่ ขั้นตอนการป้อนเข้าข้อมูลของผู้ใช้โปรแกรมในการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่ง โดยข้อมูลที่ใช้โปรแกรมป้อนเข้าได้แก่ ข้อมูลลูกค้าและข้อมูลสินค้า ส่วนที่สองโปรแกรมจะนำข้อมูลดังกล่าวเข้าสู่การประมวลผลการทำงานโดยการแก้ปัญหาโดยใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรม โดยต้องผ่านการเข้ารหัสโครโมโซม การสร้างประชากรเบื้องต้น การถอดรหัสโครโมโซม การประเมินค่าความเหมาะสม การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จนครบรอบการทำงาน และทำการบันทึกค่าที่ดีที่สุด

ค. การแสดงผลการทำงาน เป็นการนำค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการประมวลผลแสดงเป็นผลลัพธ์ โดยที่ผลลัพธ์ คือลำดับการเดินทางของพาหนะใดที่ปรากฏบนแผนที่เส้นทางอำเภอหาดใหญ่ ซึ่งจะปรากฏตำแหน่งของสถานที่ปลายทางที่พาหนะต้องเดินทางไปรับหรือส่งสินค้า ลำดับการเดินทางจะแสดงเป็นเส้นตรงที่เรียงตามลำดับตำแหน่งของสถานที่ของพาหนะ



ภาพประกอบ 3.33 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมการวางแผนการจัดการการขนส่ง

บทที่ 4

ผลลัพธ์โปรแกรมการวางแผนการจัดการการขนส่งของบริษัทรถจักรยานยนต์

ผลลัพธ์โปรแกรมการวางแผนการจัดการการขนส่งของบริษัทรถจักรยานยนต์ได้ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม โดยใช้ชุดข้อมูลตัวอย่างที่ 3 ระดับ ได้แก่การคำนวณระดับง่าย การคำนวณระดับปานกลาง การคำนวณระดับยาก มีการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่ง มีการทดสอบการทำงานของโปรแกรมในกรณีที่แตกต่างกัน 6 กรณีเพื่อประสิทธิภาพของโปรแกรม และการทดสอบการใช้งานโปรแกรมกับข้อมูลจริงเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโปรแกรม และสุดท้ายการจัดทำคู่มือการใช้โปรแกรมเพื่อการใช้งานจริง ซึ่งจะกล่าวในเนื้อหาลำดับต่อไป

4.1 การใช้ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการทดสอบโปรแกรม

การใช้ข้อมูลตัวอย่างสำหรับการทดสอบโปรแกรม โดยใช้ชุดข้อมูลตัวอย่างที่ 3 ระดับ ได้แก่การคำนวณระดับง่าย การคำนวณระดับปานกลาง การคำนวณระดับยาก โดยให้การคำนวณระดับง่ายมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีแค่สถานที่รับซื้อ จำนวนสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่ง การคำนวณระดับปานกลางมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีทั้งสถานที่รับซื้อและส่งขายขยะรีไซเคิล ขยะรีไซเคิลที่ทำการรับซื้อสามารถส่งขายแบบโดยตรงได้ จำนวนสถานที่ขนส่งเท่ากับ 10 แห่ง การคำนวณระดับยากมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีทั้งสถานที่รับซื้อและส่งขายขยะรีไซเคิล ขยะรีไซเคิลที่ทำการรับซื้อสามารถส่งขายแบบโดยตรงได้ จำนวนสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่ง

4.1.1 ชุดข้อมูลตัวอย่างระดับการคำนวณระดับง่ายสำหรับการทดสอบโปรแกรม

ชุดข้อมูลตัวอย่างระดับการคำนวณระดับง่าย โดยให้การคำนวณระดับง่ายมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีแค่สถานที่รับซื้อ จำนวนสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่ง จากตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับง่ายสำหรับการทดสอบโปรแกรมมีสถานที่ขนส่ง 9 แห่งประกอบด้วย IE HY HX IH IL IV KA LV และ LQ น้ำหนักของขยะรีไซเคิลเท่ากับ 150 60 145 55 90 40 60 45 และ 55 กิโลกรัมตามลำดับ ประเภทของขยะรีไซเคิล ได้แก่ประเภทที่ 1 1 1 4 4 4 5 5 และ 5

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับง่ายสำหรับการทดสอบโปรแกรม

สถานที่	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ
น้ำหนัก	150	60	145	55	90	40	60	45	55
ประเภท	1	1	1	4	4	4	5	5	5

1. ต้นทุนการขนส่ง การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งเป็นค่าที่ได้จากการคูณของค่าระยะทางการเดินทางทั้งหมดกับอัตราการใช้น้ำมัน ระยะทางของการเดินทางจากแผนภูมิจากไป ของลำดับการเดินทางของ IE HY HX IH IL IV KA LV และ LQ ตารางที่ 4.2 แสดงตารางแผนภูมิจากไปของทุกสถานที่ขนส่ง นำค่าระยะทางที่ได้จากตารางแผนภูมิจากไป หาระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทางแสดงในตารางที่ 4.3 โดยการเดินทางของพาหนะเริ่มต้นที่บริษัทกรณีศึกษา เดินทางไปสถานที่ขนส่ง IE มีระยะทางเท่ากับ 285 เมตร IE เดินทางไปยัง HY มีระยะทางเท่ากับ 96 เมตร HY เดินทางไปยัง HX มีระยะทางเท่ากับ 127 เมตร HX เดินทางไปยัง IH มีระยะทางเท่ากับ 107 เมตร IH เดินทางไปยัง IL มีระยะทางเท่ากับ 92 เมตร IL เดินทางไปยัง IV มีระยะทางเท่ากับ 161 เมตร IV เดินทางไปยัง KA มีระยะทางเท่ากับ 93 เมตร KA เดินทางไปยัง LV มีระยะทางเท่ากับ 60 เมตร LV เดินทางไปยัง LQ มีระยะทางเท่ากับ 77 เมตร LQ เดินทางกลับบริษัทเท่ากับ 100 เมตร รวมระยะทางเท่ากับ 1,198 เมตร ดังนั้นต้นทุนการเดินทางของแผนการจัดการการขนส่งเท่ากับ 1,198 เมตรคูณด้วยอัตราการใช้น้ำมันเป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.003 บาท/เมตร ค่าที่ได้กับ 3.594 บาท

ตารางที่ 4.2 แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง

	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ	FAH
IE	0	96	223	330	413	408	322	262	185	285
HY	96	0	127	234	326	487	418	358	281	381
HX	223	127	0	107	199	360	453	401	408	508
IH	330	234	107	0	92	253	346	294	323	423
IL	413	326	199	92	0	161	254	202	231	331
IV	408	487	360	253	161	0	93	153	226	326
KA	322	418	453	346	254	93	0	60	137	237
LV	262	358	401	294	202	153	60	0	77	177
LQ	185	281	358	251	231	226	137	77	0	100
FAH	285	381	458	351	331	326	237	177	100	0

2. ต้นทุนค่าแรงงาน สมการการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานจากสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 โดยหาค่าระยะเวลามาจากสมการที่ 3.3 ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานได้แก่

อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล อัตราการลงขยะรีไซเคิล และความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาหนะ โดยมีค่าเท่ากับ 18.00 วินาที/กิโลกรัม 1.28 วินาที/กิโลกรัม และ 7.5 เมตร/วินาที เวลาการทำงานรวมของพาหนะ ได้จากการรวมเวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล เวลาการลงขยะรีไซเคิล เวลาการเดินทางของพาหนะ

ตารางที่ 4.3 ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง

จุดเริ่มต้น	จุดขนส่ง	ระยะทาง (เมตร)
FAH	IE	285
IE	HY	96
HY	HX	127
HX	IH	107
IH	IL	92
IL	IV	161
IV	KA	93
KA	LV	60
LV	LQ	77
LQ	FAH	100
ระยะทางรวม		1,198

ตารางที่ 4.4 การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับง่าย

เวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล	น้ำหนักขยะรีไซเคิลทั้งหมด x อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล
	$700 \times 18.00 = 12,600$ วินาที
เวลาการลงขยะรีไซเคิล	น้ำหนักขยะรีไซเคิลทั้งหมด x อัตราการลงขยะรีไซเคิล
	$700 \times 1.28 = 896$ วินาที
เวลาการเดินทางของพาหนะ	ระยะทาง / ความเร็ว
	$1,198 / 7.5 = 93.33$
เวลาการทำงานรวมของพาหนะ	$12,600 + 896 + 93.33 = 13,589.33$ วินาที

ทำการเปรียบเทียบเวลาจากการทำงานของพาหนะกับชั่วโมงเวลาการทำงานในเวลาปกติที่ 28800 วินาที พบว่าเวลาการทำงานของพาหนะอยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ดังนั้นค่าแรงงานจึงเท่ากับค่าแรงงานในเวลาปกติที่คนละ 300 บาทต่อวัน โดยที่พาหนะ 1 คันมีพนักงานประจำ 2 คน ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานเท่ากับ 600 บาท

3. ต้นทุนค่าวัตถุดิบ การหาต้นทุนค่าวัตถุดิบจากสมการที่ 3.6 พบว่าค่าวัตถุดิบได้จากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลคูณด้วยราคารับซื้อขยะรีไซเคิล และรายได้จากการขายขยะรีไซเคิล

เป็นผลคูณของขยะรีไซเคิลที่ขายกับราคาขายขยะรีไซเคิลแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าราคาซื้อสินค้ารวมเท่ากับ 3,765 บาท ไม่มีการส่งสินค้าขาย

ตารางที่ 4.5 ราคาซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล

สถานที่	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ
น้ำหนัก	150	60	145	55	90	40	60	45	55
ประเภท	1	1	1	4	4	4	5	5	5
ราคาซื้อ/หน่วย	3	3	3	12	12	12	3	3	3
ราคาซื้อ	450	180	435	660	1080	480	180	135	165
ราคาซื้อรวม	3,765 บาท								

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = ต้นทุนค่าขนส่ง + ต้นทุนค่าแรงงาน + ต้นทุนวัตถุดิบ -
รายได้จากการขาย

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = 3.594 + 600 + 3,765

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = 4,368.594 บาท

4.1.2 ชุดข้อมูลตัวอย่างระดับการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรม

ชุดข้อมูลตัวอย่างระดับการคำนวณระดับปานกลาง โดยให้การคำนวณระดับปานกลางมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีทั้งสถานที่รับซื้อและส่งขายขยะรีไซเคิล ขยะรีไซเคิลที่ทำการรับซื้อสามารถส่งขายแบบโดยตรงได้ จำนวนสถานที่ขนส่งเท่ากับ 10 แห่ง จากตารางที่ 4.6 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรมมีสถานที่ขนส่ง 10 แห่งประกอบด้วย IH HX IL IV KA LV S HY IE และ LQ น้ำหนักของขยะรีไซเคิลเท่ากับ 55 145 90 40 60 45 300 60 150 และ 55 กิโลกรัมตามลำดับประเภทของขยะรีไซเคิลได้แก่ประเภทที่ 4 2 4 4 5 5 1 1 1 และ 5

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรม

สถานที่	IH	HX	IL	IV	KA	LV	S	HY	IE	LQ
น้ำหนัก	55	145	90	40	60	45	300	60	150	55
ประเภท	4	2	4	4	5	5	1	1	1	5

1. ต้นทุนการขนส่ง การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งเป็นค่าที่ได้จากการคูณของค่าระยะทางการเดินทางทั้งหมดกับอัตราการใช้น้ำมัน ระยะทางของการเดินทางจากแผนภูมิจากไป ของลำดับการเดินทางของ IH HX IL IV KA LV S HY IE และ LQ ตารางที่ 4.7 แสดงตารางแผนภูมิจากไปของทุกสถานที่ขนส่ง นำค่าระยะทางที่ได้จากตารางแผนภูมิจากไป หาระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทางแสดงในตารางที่ 4.8 โดยการเดินทางของพาหนะเริ่มต้นที่บริษัทกรณีศึกษา เดินทางไปสถานที่ขนส่ง IH มีระยะทางเท่ากับ 351 เมตร IH เดินทางไปยัง HX มีระยะทางเท่ากับ 107 เมตร HX เดินทางไปยัง IL มีระยะทางเท่ากับ 199 เมตร IL เดินทางไปยัง IV มีระยะทางเท่ากับ 161 เมตร IV เดินทางไปยัง KA มีระยะทางเท่ากับ 93 เมตร KA เดินทางไปยัง LV มีระยะทางเท่ากับ 60 เมตร LV เดินทางกลับมาที่บริษัท มีระยะทางเท่ากับ 177 เมตร เดินทางออกจากบริษัทไปยัง S มีระยะทางเท่ากับ 1,545 เมตร S เดินทางไปยัง HY มีระยะทางเท่ากับ 1,143 เมตร HY เดินทางไปยัง IE มีระยะทางเท่ากับ 96 เมตร IE เดินทางไปยัง LQ มีระยะทางเท่ากับ 185 เมตร LQ เดินทางกลับบริษัทเท่ากับ 100 เมตร รวมระยะทางเท่ากับ 4,217 เมตร ดังนั้นต้นทุนการเดินทางของแผนการจัดการขนส่งเท่ากับ 4,217 เมตรคูณด้วยอัตราการใช้น้ำมันเป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.003 บาท/เมตร ค่าที่ได้กับ 12.651 บาท

ตารางที่ 4.7 แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง

	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ	S	FAH
IE	0	96	223	330	413	408	322	262	185	1268	285
HY	96	0	127	234	326	487	418	358	281	1214	381
HX	223	127	0	107	199	360	453	401	408	1087	508
IH	330	234	107	0	92	253	346	294	323	1194	423
IL	413	326	199	92	0	161	254	202	231	1286	331
IV	408	487	360	253	161	0	93	153	226	1447	326
KA	322	418	453	346	254	93	0	60	137	1540	237
LV	262	358	401	294	202	153	60	0	77	1488	177
LQ	185	281	358	251	231	226	137	77	0	1445	100
S	1228	1143	1270	1363	1455	1616	1550	1490	1413	0	1513
FAH	285	381	458	351	331	326	237	177	100	1545	0

2. ต้นทุนค่าแรงงาน สมการการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานจากสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 โดยหาค่าระยะเวลามาจากสมการที่ 3.3 ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานได้แก่ อัตราการขึ้นขยี่ไรโซเคิล อัตราการลงขยี่ไรโซเคิล และความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาหนะ โดยมีค่าเท่ากับ 18.00วินาที/กิโลกรัม 1.28 วินาที/กิโลกรัม และ 7.50 เมตร/วินาที เวลาการทำงานรวมของ

พาหนะ ได้จากการรวมเวลาการขึ้นขยະรีไซเคิล เวลาการลงขยະรีไซเคิล เวลาการเดินทางของพาหนะ ทำการเปรียบเทียบเวลาจากการทำงานของพาหนะกับชั่วโมงเวลาการทำงานในเวลาปกติที่ 28,800 วินาที พบว่าเวลาการทำงานของพาหนะอยู่ในช่วงเวลาการทำงานปกติ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 ดังนั้น ค่าแรงงานจึงเท่ากับค่าแรงงานในเวลาปกติที่คนละ 300 บาทต่อวัน โดยที่พาหนะ 1 คันมีพนักงานประจำ 2 คน ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานเท่ากับ 600 บาท

ตารางที่ 4.8 ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง

จุดเริ่มต้น	จุดขนส่ง	ระยะทาง (เมตร)
FAH	IH	351
IH	HX	107
HX	IL	199
IL	IV	161
IV	KA	93
KA	LV	60
LV	FAH	177
FAH	S	1545
S	HY	1143
HY	IE	96
IE	LQ	185
LQ	FAH	100
ระยะทางรวม		4,217

ตารางที่ 4.9 การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับปานกลาง

เวลาการขึ้นขยະรีไซเคิล	น้ำหนักขยະรีไซเคิลทั้งหมด x อัตราการขึ้นขยະรีไซเคิล
	$1,000 \times 18.00 = 18,000$ วินาที
เวลาการลงขยະรีไซเคิล	น้ำหนักขยະรีไซเคิลทั้งหมด x อัตราการลงขยະรีไซเคิล
	$1000 \times 1.28 = 1,280$ วินาที
เวลาการเดินทางของพาหนะ	ระยะทาง / ความเร็ว
	$4,217 / 7.50 = 562.267$ วินาที
เวลาการทำงานรวมของพาหนะ	$18,000 + 1,280 + 562.267 = 19,842.267$ วินาที

3. ต้นทุนค่าวัตถุดิบ การหาต้นทุนค่าวัตถุดิบจากสมการที่ 3.6 พบว่าค่าวัตถุดิบได้จากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลคูณด้วยราคารับซื้อขยะรีไซเคิล และรายได้จากการขายขยะรีไซเคิลเป็นผลคูณของขยะรีไซเคิลที่ขายกับราคาขายขยะรีไซเคิลแสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่าราคาซื้อสินค้ารวมเท่ากับ 6,405 บาท และราคาขายสินค้ารวมเท่ากับ 4,059 บาท

ตารางที่ 4.10 ราคารับซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล

สถานที่	IH	HX	IL	IV	KA	LV	S	HY	IE	LQ
น้ำหนัก	55	145	90	40	60	45	300	60	150	55
ประเภท	4	2	4	4	5	5	1	1	1	5
ราคาซื้อ/หน่วย	12	15	12	12	3	3	3	3	3	3
ราคาซื้อ	660	2,175	1,080	480	180	135	900	180	450	165
ราคาซื้อรวม	6,405 บาท									
ราคาขาย/หน่วย	19.8									
ราคาขาย	2,871									
ราคาขายรวม	4,059 บาท									

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = ต้นทุนค่าขนส่ง + ต้นทุนค่าแรงงาน + ต้นทุนวัตถุดิบ - รายได้จากการขาย

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = 12.651 + 600 + 6,405 - 4,059

ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย = 2,958.651 บาท

4.1.3 ชุดข้อมูลตัวอย่างการคำนวณระดับยากสำหรับการทดสอบโปรแกรม

ชุดข้อมูลตัวอย่างระดับการคำนวณระดับยาก โดยให้การคำนวณระดับยากมีเงื่อนไขว่า พาหนะที่ใช้ในแผนการเดินทางเท่ากับ 1 คัน สถานที่ขนส่งมีทั้งสถานที่รับซื้อและส่งขายขยะรีไซเคิล ขยะรีไซเคิลที่ทำการรับซื้อสามารถส่งขายแบบโดยตรงได้ จำนวนสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่ง จากตารางที่ 4.12 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับยากสำหรับการทดสอบโปรแกรม มีสถานที่ขนส่ง 17 แห่งประกอบด้วย LQ IE HY HX IH IL IV KA LV S AO AN AM AL BP BT และ HB น้ำหนักของขยะรีไซเคิลเท่ากับ 55 150 60 145 55 90 40 60 45 300 90 70 60 70 90 80 และ 50 กิโลกรัมตามลำดับ ประเภทของขยะรีไซเคิลได้แก่ประเภทที่ 5 1 1 2 4 4 5 5 1 1 1 4 4 4 และ 5 ตามลำดับ

1. ต้นทุนการขนส่ง การคำนวณต้นทุนค่าขนส่งเป็นค่าที่ได้จากการคูณของค่าระยะทางการเดินทางทั้งหมดกับอัตราการใช้น้ำมัน ระยะทางของการเดินทางจากแผนภูมิจากไป ของลำดับ

การเดินทางของ LQ IE HY HX IH IL IV KA LV S AO AN AM AL BP BT และ HB ตารางที่ 4.14 แสดงตารางแผนภูมิจากไปของทุกสถานที่ขนส่ง นำค่าระยะทางที่ได้จากตารางแผนภูมิจากไปแสดงระยะทางดังตาราง 4.15 เป็นค่าระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง เริ่มจากการเดินทางจากบริษัท กระจกศึกษาเดินทางไปยังสถานที่ขนส่ง LQ มีระยะทางเท่ากับ 100 เมตร LQ เดินทางไปยัง IE มีระยะทางเท่ากับ 185 เมตร IE เดินทางไปยัง HY มีระยะทางเท่ากับ 96 เมตร HY เดินทางไปยัง HX มีระยะทางเท่ากับ 127 เมตร HX เดินทางไปยัง IH มีระยะทางเท่ากับ 107 เมตร IH เดินทางไปยัง IL มีระยะทางเท่ากับ 92 เมตร IL เดินทางไปยัง IV มีระยะทางเท่ากับ 161 เมตร IV เดินทางไปยัง KA มีระยะทางเท่ากับ 93 เมตร KA เดินทางไปยัง LV มีระยะทางเท่ากับ 60 เมตร LV เดินทางกลับไปที่บริษัท มีระยะทางเท่ากับ 177 เมตร แล้วเดินทางออกจากบริษัทไปยัง S มีระยะทางเท่ากับ 1,545 เมตร S เดินทางไปยัง AO มีระยะทางเท่ากับ 431 เมตร AO เดินทางไปยัง AN มีระยะทางเท่ากับ 163 เมตร AN เดินทางไปยัง AM มีระยะทางเท่ากับ 100 เมตร AM เดินทางไปยัง AL มีระยะทางเท่ากับ 110 เมตร AL เดินทางไปยัง BP มีระยะทางเท่ากับ 523 เมตร BP เดินทางไปยัง BT มีระยะทางเท่ากับ 191 เมตร BT เดินทางไปยัง HB มีระยะทางเท่ากับ 154 เมตร HB เดินทางไปกลับบริษัทเท่ากับ 1,008 เมตร รวมระยะทางเท่ากับ 5,423 เมตร ดังนั้นต้นทุนการเดินทางของแผนการจัดการขนส่งเท่ากับ 5,423 เมตรคูณด้วยอัตราการใช้น้ำมันเป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.003 บาท/เมตร ค่าที่ได้กับ 16.269 บาท

2. ต้นทุนค่าแรงงาน สมการการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานจากสมการที่ 3.4 และสมการที่ 3.5 โดยหาค่าระยะเวลาจากสมการที่ 3.3 ค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนค่าแรงงานได้แก่ อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล อัตราการลงขยะรีไซเคิล และความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาหนะ โดยมีค่าเท่ากับ 18.00 วินาที/กิโลกรัม 1.28 วินาที/กิโลกรัม และ 7.5 เมตร/วินาที เวลาการทำงานรวมของพาหนะ ได้จากการรวมเวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล เวลาการลงขยะรีไซเคิล เวลาการเดินทางของพาหนะ

ตารางที่ 4.11 การหาระยะเวลาการทำงานของพาหนะสำหรับข้อมูลการคำนวณระดับปานกลาง

เวลาการขึ้นขยะรีไซเคิล	น้ำหนักขยะรีไซเคิลทั้งหมด × อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล
	$1,510 \times 18.00 = 27,180$ วินาที
เวลาการลงขยะรีไซเคิล	น้ำหนักขยะรีไซเคิลทั้งหมด × อัตราการลงขยะรีไซเคิล
	$1,510 \times 1.28 = 1,932.80$ วินาที
เวลาการเดินทางของพาหนะ	ระยะทาง / ความเร็ว
	$5,423 / 7.50 = 723.067$ วินาที
เวลาการทำงานรวมของพาหนะ	$27,180 + 1,932.80 + 723.067 = 29,835.867$ วินาที

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างชุดข้อมูลการคำนวณระดับปานกลางสำหรับการทดสอบโปรแกรม

สถานที่	LQ	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	S	AO	AN	AM	AL	BP	BT	HB
น้ำหนัก	55	150	60	145	55	90	40	60	45	300	90	70	60	70	90	80	50
ประเภท	5	1	1	2	4	4	4	5	5	1	1	1	1	4	4	4	5

ตารางที่ 4.13 ราคาซื้อและราคาขายขยะรีไซเคิล

สถานที่	LQ	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	S	AO	AN	AM	AL	BP	BT	HB
น้ำหนัก	55	150	60	145	55	90	40	60	45	300	90	70	60	70	90	80	50
ประเภท	5	1	1	2	4	4	4	5	5	1	1	1	1	4	4	4	5
ราคาซื้อ/หน่วย	3	3	3	15	12	12	12	3	3	3	3	3	3	12	12	12	3
ราคาซื้อ	165	450	180	2,175	660	1,080	480	180	135	900	270	210	180	840	1,080	960	150
ราคาซื้อรวม	10,095 บาท																
ราคาขาย/หน่วย	19.8 3.96																
ราคาขาย	2,871 1,188																
ราคาขายรวม	4,059 บาท																

ตารางที่ 4.14 แผนภูมิจากไปของสถานที่ขนส่ง

	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ	S	AO	AN	AM	AL	BP	BT	HB	FAH
IE	0	96	223	330	413	408	322	262	185	1,268	843	1,006	1,106	1,070	992	984	864	285
HY	96	0	127	234	326	487	418	358	281	1,214	789	952	1,052	1,054	976	920	768	381
HX	223	127	0	107	199	360	453	401	408	1,087	662	825	925	927	849	793	641	508
IH	330	234	107	0	92	253	346	294	323	1,194	769	932	1,032	998	920	899	712	423
IL	413	326	199	92	0	161	254	202	231	1,286	861	1,024	1,124	1,090	1,012	991	804	331
IV	408	487	360	253	161	0	93	153	226	1,447	1,022	1,185	1,285	1,251	1,173	1,152	965	326
KA	322	418	453	346	254	93	0	60	137	1,540	1,115	1,278	1,378	1,344	1,266	1,245	1,058	237
LV	262	358	401	294	202	153	60	0	77	1,488	1,063	1,226	1,326	1,292	1,214	1,193	1,006	177
LQ	185	281	358	251	231	226	137	77	0	1,445	1,020	1,183	1,283	1,249	1,171	1,150	963	100
S	1,228	1,143	1,270	1,363	1,455	1,616	1,550	1,490	1,413	0	431	594	694	804	844	838	821	1,513
AO	797	712	839	932	1,024	1,185	1,119	1,059	982	425	0	163	263	373	588	407	390	1,082
AN	977	892	895	966	1,058	1,219	1,299	1,239	1,162	262	359	0	100	210	437	256	410	1,262
AM	877	792	795	866	958	1,119	1,199	1,139	1,062	514	611	252	0	110	337	156	310	1,162
AL	1,435	1350	1353	1424	1,516	1,677	1,757	1,697	1,620	554	734	810	910	0	523	714	868	1,720
BP	912	827	830	901	993	1,154	1,234	1,174	1,097	549	646	287	387	78	0	191	345	1,197
BT	721	636	639	710	802	963	1,043	983	906	641	738	379	479	259	181	0	154	1,006
HB	723	638	641	712	804	965	1,045	985	908	656	753	394	494	447	369	348	0	1,008
FAH	285	381	458	351	331	326	237	177	100	1,545	1,120	1,283	1,383	1,349	1,271	1,250	1,063	0

ตารางที่ 4.15 ระยะทางการเดินทางของทุกเส้นทาง

จุดเริ่มต้น	จุดขนส่ง	ระยะทาง (เมตร)
FAH	LQ	100
LQ	IE	185
IE	HY	96
HY	HX	127
HX	IH	107
IH	IL	92
IL	IV	161
IV	KA	93
KA	LV	60
LV	FAH	177
FAH	S	1,545
S	AO	431
AO	AN	163
AN	AM	100
AM	AL	110
AL	BP	523
BP	BT	191
BT	HB	154
HB	FAH	1,008
ระยะทางรวม		5,423

ทำการเปรียบเทียบเวลาจากการทำงานของพาหนะกับชั่วโมงเวลาการทำงานในเวลาปกติที่ 28800 วินาที พบว่าเวลาการทำงานของพาหนะมากกว่าเวลาการทำงานปกติ ดังนั้นค่าแรงงานจึงเท่ากับค่าแรงงานในเวลาปกติที่คนละ 300 บาทต่อวัน รวมค่าแรงการทำงานช่วงล่วงเวลาซึ่งได้จากเวลาช่วงล่วงเวลาเท่ากับ 1,035.867 วินาทีคูณกับอัตราค่าแรงช่วงนอกเวลา 0.0156 บาท/วินาที/คน โดยที่พาหนะ 1 คันมีพนักงานประจำ 2 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ดังนั้นค่าแรงช่วงล่วงเวลาเท่ากับ 32.319 บาท ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานเท่ากับ 600 บาท รวมต้นทุนค่าแรงเท่ากับ 632.319 บาท

3. ต้นทุนค่าวัสดุ การหาต้นทุนค่าวัสดุจากสมการที่ 3.6 พบว่าค่าวัสดุได้จากการนำน้ำหนักขยะรีไซเคิลคูณด้วยราคารับซื้อขยะรีไซเคิล และรายได้จากการขายขยะรีไซเคิล

เป็นผลคูณของขยะรีไซเคิลที่ขายกับราคาขายขยะรีไซเคิลแสดงดังตารางที่ 4.13 พบว่าราคาซื้อสินค้ารวมเท่ากับ 10,095 บาท และราคาขายสินค้ารวมเท่ากับ 4,059 บาท

$$\text{ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย} = \text{ต้นทุนค่าขนส่ง} + \text{ต้นทุนค่าแรงงาน} + \text{ต้นทุนวัตถุดิบ} - \text{รายได้จากการขาย}$$

$$\text{ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย} = 16.269 + 632.319 + 10,095 - 4,059$$

$$\text{ต้นทุนรวมของค่าใช้จ่าย} = 6,684.588 \text{ บาท}$$

4.2 การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดพารามิเตอร์

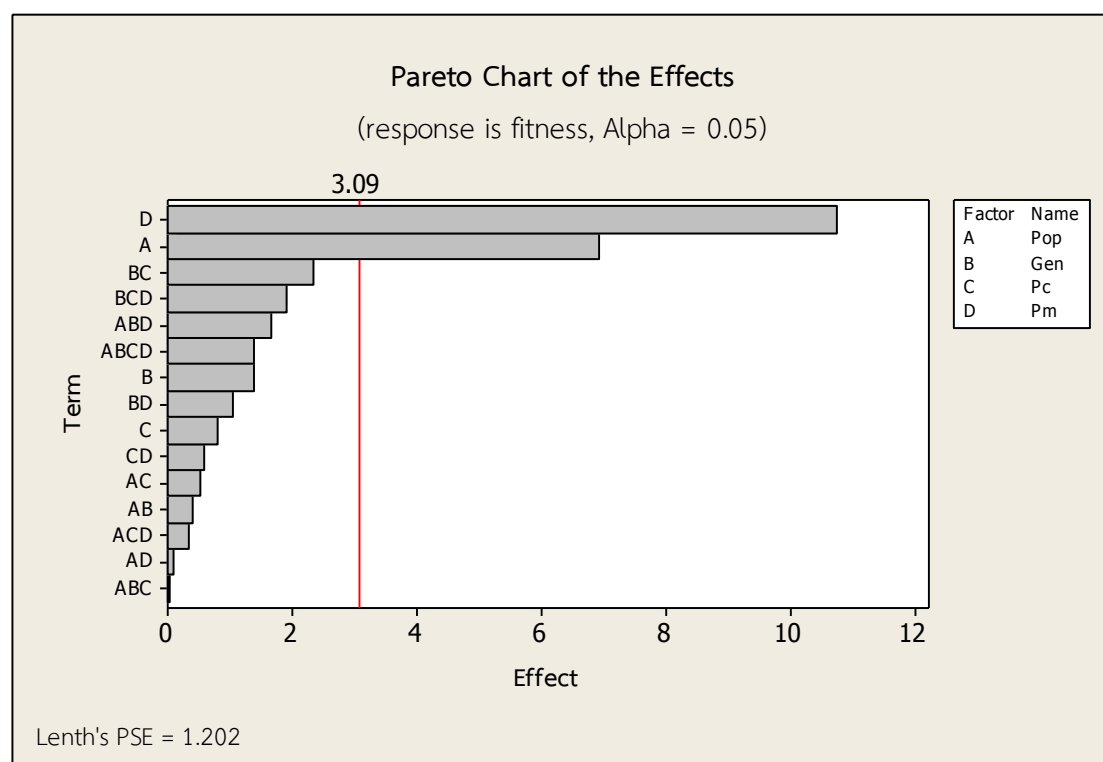
ผลของการหาสภาวะทดลองที่มี 4 ปัจจัย ได้แก่ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 4 ค่าที่ใช้ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนประชากรเบื้องต้น จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ออกแบบการทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบให้มีการทดลอง 16 การทดลอง แต่ละการทดลองทำซ้ำการทดลองละ 6 ครั้ง แล้วหาเฉลี่ยของแต่ละการทดลอง กำหนดให้ผลตอบแทนเป็นค่าต้นทุนของแผนการจัดการการขนส่ง โดยปัญหาของการทดลอง มีจำนวนสถานที่ขนส่งเท่ากับ 17 แห่ง พาหนะที่ใช้ในการขนส่ง 1 คัน พบว่าเมื่อทำการทดลองซ้ำทั้ง 6 ครั้งแล้วนำต้นทุนของแผนการจัดการการขนส่งมาหาค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.16 ผลที่ได้เข้าสู่วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab release 16 การทดสอบข้อมูลของต้นทุนเฉลี่ยของแผนการจัดการการขนส่งมีการกระจายเป็นปกติ แล้วนำข้อมูลนี้เข้าสู่วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่ผลกระทบบั้กับต้นทุนต่อไป

ตารางที่ 4.16 ผลการหาสภาวะทดลองที่มี 4 ปัจจัย และค่าผลตอบแทน

การทดลอง	Pop	Gen	Pc	Pm	ค่าผลตอบแทนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1	500 (-1)	300 (1)	0.5 (-1)	0.1 (-1)	6,743.79	13.5624
2	1,100 (1)	100 (-1)	0.9 (1)	0.5 (1)	6,724.93	2.3928
3	500 (-1)	300 (1)	0.5 (-1)	0.5 (1)	6,732.61	10.3100
4	500 (-1)	300 (1)	0.9 (1)	0.1 (-1)	6,738.66	8.1147
5	500 (-1)	100 (-1)	0.9 (1)	0.1 (-1)	6,745.23	10.1439
6	1,100 (1)	300 (1)	0.9 (1)	0.5 (1)	6,723.54	0.9071
7	1,100 (1)	100 (-1)	0.9 (1)	0.1 (-1)	6,736.41	9.3266
8	1,100 (1)	300 (1)	0.5 (-1)	0.5 (1)	6,724.93	2.4294
9	1,100 (1)	300 (1)	0.5 (-1)	0.1 (-1)	6,735.75	11.6005
10	500 (-1)	100 (-1)	0.5 (-1)	0.5 (1)	6,729.06	7.2125

ตารางที่ 4.16 ผลการหาสภาวะทดลองที่มี 4 ปัจจัย และค่าผลตอบแทน (ต่อ)

การทดลอง	Pop	Gen	Pc	Pm	ค่าผลตอบแทนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
11	500 (-1)	300 (1)	0.9 (1)	0.5 (1)	6,733.61	11.2886
12	500 (-1)	100 (-1)	0.9 (1)	0.5 (1)	6,728.17	5.2096
13	1,100 (1)	300 (1)	0.9 (1)	0.1 (-1)	6,735.18	10.8092
14	1,100 (1)	100 (-1)	0.5 (-1)	0.1 (-1)	6,731.35	8.8812
15	1,100 (1)	100 (-1)	0.5 (-1)	0.5 (1)	6,722.75	0.6727
16	500 (-1)	100 (-1)	0.5 (-1)	0.1 (-1)	6,739.06	7.5835



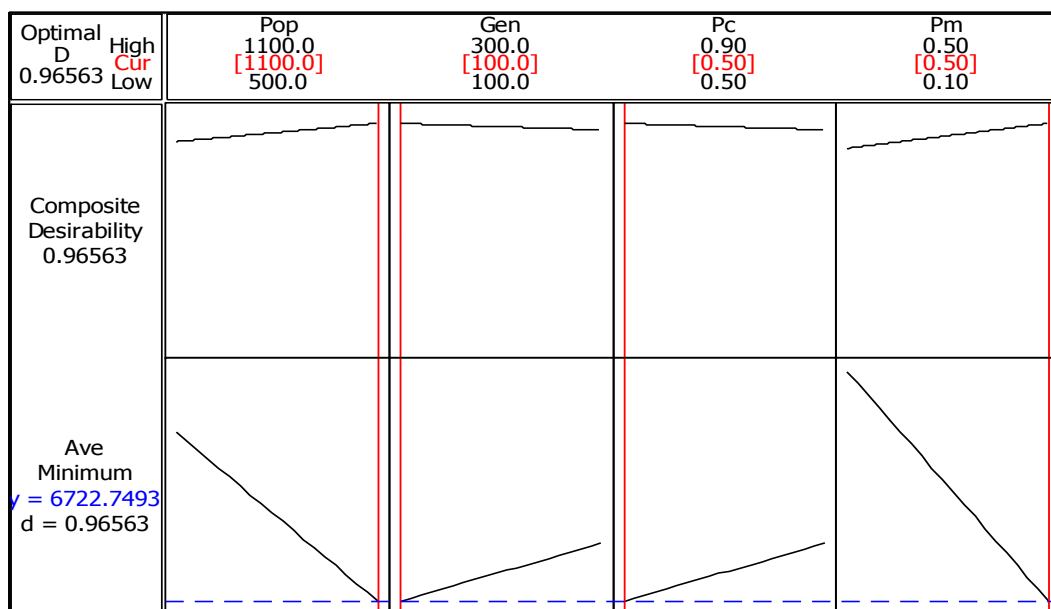
ภาพประกอบ 4.1 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับต้นทุนของการวางแผนการขนส่ง

จากการวิเคราะห์ผลตอบแทนพบว่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อต้นทุนของการจัดการขนส่งได้แก่ ค่าจำนวนประชากรเริ่มต้น ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.1 และเมื่อนำค่าของค่าจำนวนประชากรเริ่มต้น ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าค่า P ของค่าจำนวนประชากรเริ่มต้น และ

ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์น้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าทั้งสองมีผลกระทบกับค่าผลตอบแทน ซึ่งก็คือต้นทุนของแผนการจัดการการขนส่ง ค่า Lack of Fit มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีความเหมาะสม และค่า R-Sq เท่ากับร้อยละ 89.91 ซึ่งหมายความว่าถ้าแบ่งความแปรผันจากการทดลองเป็น 100 ส่วน จะเป็นความแปรผันเกิดจากปัจจัยที่สนใจ (จำนวนประชากร เบื้องต้น จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์) ร้อยละ 89.91 ส่วนอีกร้อยละ 10.09 ที่เหลือเป็นความผันแปรที่มาจากสิ่งอื่นที่ไม่สามารถอธิบายได้

ตารางที่ 4.17 ตารางวิเคราะห์ความสัมพัทธ์

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	651.701	651.701	325.85	57.92	0.000
Pop	1	191.398	191.398	191.398	34.02	0.000
Pm	1	460.303	460.303	460.303	81.82	0.000
Residual Error	13	73.131	73.131	5.625		
Lack of Fit	1	0.036	0.036	0.036	0.01	0.94
Pure Error	12	73.095	73.095	6.091		
Total	15	724.832				
R-Sq = 89.91% R-Sq(pred) = 84.72% R-Sq(adj) = 88.36%						



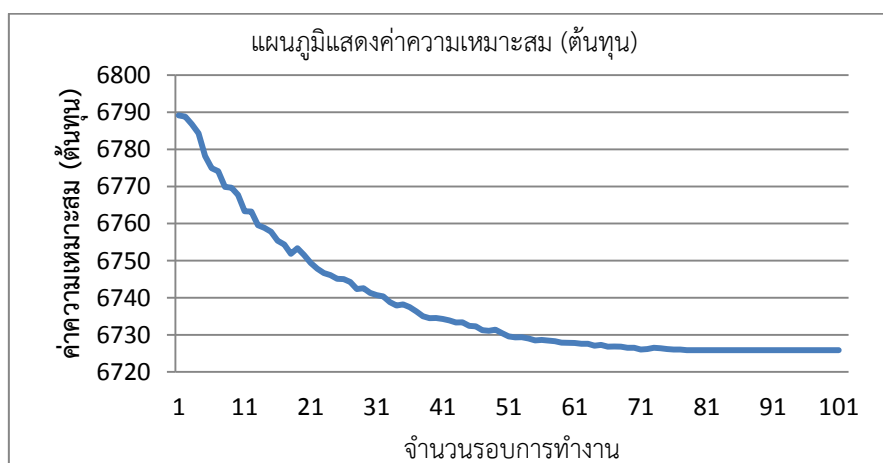
ภาพประกอบ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาการวางแผนการจัดการขนส่ง จำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 1100 จำนวนรอบการทำงานเท่ากับ 100 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ 0.5 ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2

ตารางที่ 4.18 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์
จำนวนประชากรเบื้องต้น	1,100
จำนวนรอบการทำงาน	100
ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	0.5
ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์	0.5

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ได้แก่ จำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 1100 จำนวนรอบการทำงานเท่ากับ 100 ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.18 ทำการทดสอบผลของการประมวลของการทำงานของโปรแกรมที่ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจำนวน 30 ครั้ง ผลที่ได้คือส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ หาค่าเฉลี่ยแล้วแสดงเป็นแผนภูมิเส้นแสดงค่าที่ได้ในแต่ละรอบการทำงานของการทำงานของโปรแกรม พบว่าแผนภูมิเส้นมีลักษณะลาดเอียงลง บางช่วงของข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็ลดลงเมื่อจำนวนรอบผ่านไป จนถึงจุดที่ได้แผนภูมิมีค่าที่คงที่ ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 แผนภูมิเส้นแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเหมาะสม กับจำนวนรอบการทำงาน

4.3 การใช้ข้อมูลทดสอบโปรแกรม

การใช้ข้อมูลทดสอบโปรแกรมทำการของปัญหา 6 กรณี โดยที่แต่ละกรณีทำการทดสอบด้วยโปรแกรมซ้ำกัน 12 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ด้วยพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง เพื่อต้องการทดสอบความเสถียรของผลที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม

1. สถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน การทดสอบกรณีที่สถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คันดังตารางที่ 4.26 พบว่าผลการประมวลผลที่ได้ทั้ง 12 ครั้งได้ส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่เท่ากันทุกครั้ง คือ 4,368.59 บาท ดังนั้นที่กรณีที่สถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองให้คำตอบที่แม่นยำเท่ากันทุกครั้ง และคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่มีความเหมาะสมดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	4,368.59
2	4,368.59
3	4,368.59
4	4,368.59
5	4,368.59
6	4,368.59
7	4,368.59
8	4,368.59
9	4,368.59
10	4,368.59
1	4,368.59
12	4,368.59
เฉลี่ย	4,368.59
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0

2. สถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน การทดสอบกรณีที่สถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน ดังตารางที่ 4.27 พบว่าแต่ละครั้งของการประมวลผลให้ค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ ที่ไม่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 6,685.97 บาท ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.0344 ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	6,686.23
2	6,684.93
3	6,686.23
4	6,684.93
5	6,685.27
6	6,687.80
7	6,686.23
8	6,684.93
9	6,685.27
10	6,687.80
11	6,685.09
12	6,686.94
เฉลี่ย	6,685.97
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.0344

3. สถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน การทดสอบกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน ดังตารางที่ 4.27 พบว่าแต่ละครั้งของการประมวลผลให้ค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ไม่เท่ากันกัน ค่าเฉลี่ยของที่ได้เท่ากับ 7,259.38 บาท ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.5469 ดังตารางที่ 4.21

4. สถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน การทดสอบกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน ดังตารางที่ 4.28 พบว่าแต่ละครั้งของการประมวลผลให้ค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ไม่เท่ากันกัน ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 10,866.13 บาทส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.8705 ดังตารางที่ 4.22

5. สถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 3 คัน การทดสอบกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 3 คัน ดังตารางที่ 4.28 พบว่าแต่ละครั้งของการประมวลผลให้ค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ไม่เท่ากันกัน ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 11,471.07 บาทส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.1457 ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.21 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	7,259.15
2	7,260.28
3	7,259.15
4	7,260.28
5	7,258.88
6	7,259.37
7	7,259.15
8	7,260.28
9	7,258.88
10	7,259.37
11	7,258.88
12	7,258.88
เฉลี่ย	7,259.38
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.5469

6. สถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 4 คัน การทดสอบกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 4 คัน ดังตารางที่ 4.28 พบว่าแต่ละครั้งของการประมวลผลให้ค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ไม่เท่ากัน ค่าเฉลี่ยที่ได้เท่ากับ 12,074.90 บาทส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.7409 ดังแสดงในตารางที่ 4.24

เมื่อนำเวลาของการประมวลผลทั้ง 6 กรณีพบว่าที่จำนวนสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่ง พาหนะ 1 คัน พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 1.76 นาที จำนวนสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่ง แต่มenosกว่า 20 พาหนะ 1 คันใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 3.20 นาที แต่หากใช้พาหนะ 2 คัน เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 4.70 นาที ที่จำนวนสถานที่มากกว่า 20 แห่งแต่น้อยกว่า 30 แห่ง พาหนะ 2 คัน พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 7.37 นาที ถ้าใช้พาหนะเท่ากับ 3 คัน เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 8.12 นาที ถ้าใช้พาหนะเท่ากับ 4 คัน เวลาในการประมวลผลเท่ากับ 9.67 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.22 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	10,867.07
2	10,865.48
3	10,867.07
4	10,865.48
5	10,867.21
6	10,865.55
7	10,867.07
8	10,865.48
9	10,867.21
10	10,865.55
11	10,864.76
12	10,865.59
เฉลี่ย	10,866.13
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.8705

ตารางที่ 4.23 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 3 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	11,470.98
2	11,469.47
3	11,470.98
4	11,469.47
5	11,470.94
6	11,472.46
7	11,470.98
8	11,469.47
9	11,470.94
10	11,472.46
11	11,471.75
12	11,472.99
เฉลี่ย	11,471.07
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.1457

ตารางที่ 4.24 การทดสอบโปรแกรม กรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 4 คัน

รอบ	ต้นทุน (บาท)
1	12,074.47
2	12,072.74
3	12,074.47
4	12,072.74
5	12,077.66
6	12,075.99
7	12,074.47
8	12,072.74
9	12,077.66
10	12,075.99
11	12,073.46
12	12,076.36
เฉลี่ย	12,074.90
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.7409

ตารางที่ 4.25 เวลาการประมวลผลของโปรแกรมทั้ง 6 กรณี

เงื่อนไข		เวลา (นาที)
สถานที่ขนส่ง (แห่ง)	จำนวนพาหนะ (คัน)	
น้อยกว่า 10	1	1.76
มากกว่า 10 น้อยกว่า 20	1	3.20
มากกว่า 10 น้อยกว่า 20	2	4.70
มากกว่า 20 น้อยกว่า 30	2	7.37
มากกว่า 20 น้อยกว่า 30	3	8.12
มากกว่า 20 น้อยกว่า 30	4	9.67

ตารางที่ 4.26 ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน

สถานที่	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	LQ
น้ำหนัก	150	60	145	55	90	40	60	45	55
ประเภท	1	1	1	4	4	4	5	5	5

ตารางที่ 4.27 ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน และ 2 คัน

สถานที่	LQ	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	S	AO	AN	AM	AL	BP	BT	HB
น้ำหนัก	55	150	60	145	55	90	40	60	45	300	90	70	60	70	90	80	50
ประเภท	5	1	1	2	4	4	4	5	5	1	1	1	1	4	4	4	5

ตารางที่ 4.28 ข้อมูลการทดสอบโปรแกรมกรณีสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 30 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน 3 คัน และ 4 คัน

สถานที่	LQ	IE	HY	HX	IH	IL	IV	KA	LV	S	AO	AN	AM	AL	BP	BT	HB	B	D	F	AV	AX	BH	AU	A
น้ำหนัก	55	150	60	145	55	90	40	60	45	300	90	70	60	70	90	80	50	90	75	60	70	85	50	65	90
ประเภท	5	1	1	2	4	4	4	5	5	1	1	1	1	4	4	4	5	1	1	1	4	4	4	5	5

4.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมกับข้อมูลจริง

การทดสอบการทำงานของโปรแกรมกับข้อมูลจริงเป็นการเปรียบเทียบต้นทุนทั้ง 3 ค่า ได้แก่ ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนวัตถุดิบ โดยการเปรียบเทียบมีการกำหนดเงื่อนไขของจำนวนสถานที่ขนส่งที่เหมือนกัน ในส่วนเงื่อนไขของจำนวนพาหนะจะเป็นไปตามเงื่อนไขการทำงานของโปรแกรมและข้อมูลจริง

1. สถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน เงื่อนไขจำนวนสถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน พบว่าข้อมูลที่น่ามาทดสอบมีจำนวนสถานที่ขนส่งเท่ากับ 9 แห่ง ใช้จำนวนพาหนะ 1 คันสำหรับการทำงานของโปรแกรม ซึ่งพบว่าสถานที่ทั้ง 9 แห่งไม่มีการส่งขายขยะรีไซเคิล และไม่มีการรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูป ดังนั้นการทำงานของโปรแกรมและข้อมูลจริงมีต้นทุนที่เท่ากันโดยที่ต้นทุนรวมเท่ากับ 4,368.59 บาท ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรมกรณีที่ 1

สถานที่ขนส่ง : 9 แห่ง / พาหนะ : 1 คัน / การรับซื้อขยะ : ไม่มี / การส่งขายขยะ : ไม่มี		
รายการ	ผลจากข้อมูลจริง (บาท)	ผลการโปรแกรม (บาท)
ต้นทุนการขนส่ง	3.59	3.59
ต้นทุนค่าแรง	600.00	600.00
ต้นทุนวัตถุดิบ	3,765.00	3,765.00
รวมค่าใช้จ่าย	4,368.59	4,368.59
รายได้จากการขาย	0	0
ส่วนต่างค่าใช้จ่ายและรายได้	4,368.59	4,368.59

2. สถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 1 คัน เงื่อนไขจำนวนสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่ง พบว่าจำนวนสถานที่ที่น่ามาทดสอบเท่ากับ 17 แห่ง โดยใช้พาหนะ 1 คัน สำหรับการทำงานของโปรแกรม มีการรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูป มีการส่งขายสินค้า ดังนั้นการทำงานของข้อมูลจริงมีการใช้พาหนะเพิ่ม 1 คันสำหรับการเดินทางไปส่งขายขยะรีไซเคิล การจากทดสอบพบว่าการทำงานจริงมีต้นทุนมากกว่าการทำงานของโปรแกรม 3,444.58 บาท เนื่องจากจำนวนพาหนะที่แยกกันเดินทางระหว่างการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลและการไปส่งขายขยะรีไซเคิลทำให้ต้นทุนค่าแรงเพิ่มขึ้น 567.68 บาท การเสียโอกาสในการขายขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูปอีก 2,871 บาท และต้นทุนค่าขนส่งที่แตกต่างกัน 5.90 บาท ดังนั้นการทำงานของโปรแกรมและข้อมูลจริงมีส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ต่างกันเป็นสัดส่วนร้อยละ 34.01 ดังตาราง 4.30

ตารางที่ 4.30 การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรม กรณีที่ 2

สถานที่ขนส่ง : 17 แห่ง / พาหนะ : 1 คัน / การรับซื้อขยะ : มี / การส่งขายขยะ : มี		
รายการ	ผลจากข้อมูลจริง (บาท)	ผลการโปรแกรม (บาท)
ต้นทุนการขนส่ง	22.17	16.27
ต้นทุนค่าแรง	1,200.00	632.32
ต้นทุนวัตถุดิบ	8,907.00	8,907.00
รวมค่าใช้จ่าย	10,129.17	9,555.59
รายได้จากการขาย	-	2,871.00
ส่วนต่างค่าใช้จ่ายและรายได้	10,129.17	6,684.59

3. สถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่งโดยใช้พาหนะ 2 คัน เงื่อนไขจำนวนสถานที่ขนส่งมากกว่า 10 แห่งแต่ไม่เกิน 20 แห่ง พบว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบเท่ากับ 17 แห่ง โดยใช้พาหนะ 2 คันสำหรับการทำงานของโปรแกรม มีการรับซื้อขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูป และมีการส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้า ดังนั้นการข้อมูลจริงต้องมีการเพิ่มพาหนะ 1 คันสำหรับการส่งขายขยะรีไซเคิลจากคลังสินค้า พบว่าการทำงานจริงมีต้นทุนมากกว่าการทำงานของโปรแกรม 3,474.13 บาท เนื่องจากจำนวนพาหนะที่แยกกันเดินทางระหว่างการไปรับซื้อขยะรีไซเคิลและการไปส่งขายขยะรีไซเคิลทำให้ต้นทุนค่าแรงเพิ่มขึ้น 600 บาท การเสียโอกาสในการขายขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องนำกลับมาแปรรูปอีก 2,871 บาท และต้นทุนค่าขนส่งที่แตกต่างกัน 3.13 บาท ดังนั้นการทำงานของโปรแกรมและข้อมูลจริงมีส่วนต่างของค่าใช้จ่ายและรายได้ที่ต่างกันเป็นสัดส่วนร้อยละ 32.37 ดังตาราง 4.31

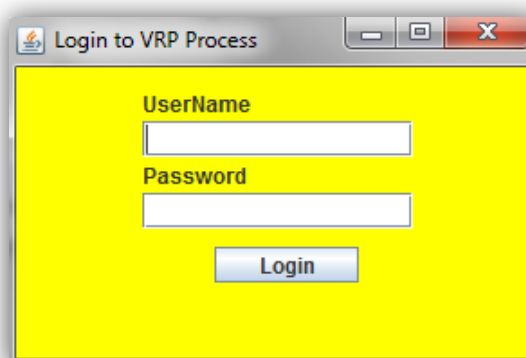
ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบต้นทุนระหว่างข้อมูลจริงและผลการโปรแกรม กรณีที่ 3

สถานที่ขนส่ง : 17 แห่ง / พาหนะ : 2 คัน / การรับซื้อขยะ : มี / การส่งขายขยะ : มี		
รายการ	ผลจากข้อมูลจริง (บาท)	ผลการโปรแกรม (บาท)
ต้นทุนการขนส่ง	26.10	22.97
ต้นทุนค่าแรง	1,800.00	1,200.00
ต้นทุนวัตถุดิบ	8,907.00	8,907.00
รวมค่าใช้จ่าย	10,733.10	10,129.97
รายได้จากการขาย	-	2,871.00
ส่วนต่างค่าใช้จ่ายและรายได้	10,733.10	7,258.97

4.5 คู่มือการใช้โปรแกรม

คู่มือการใช้โปรแกรม เป็นการแสดงขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาการใช้งานโปรแกรม ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ขั้นตอนการป้อนข้อมูลเพื่อวางแผนการทำงาน ขั้นตอนการแสดงผลการทำงาน ขั้นตอนการป้อนข้อมูลของฐานข้อมูล ซึ่งการใช้งานโปรแกรมได้มีการออกแบบให้โปรแกรมมีการใช้งานที่ง่ายไม่ซับซ้อน ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

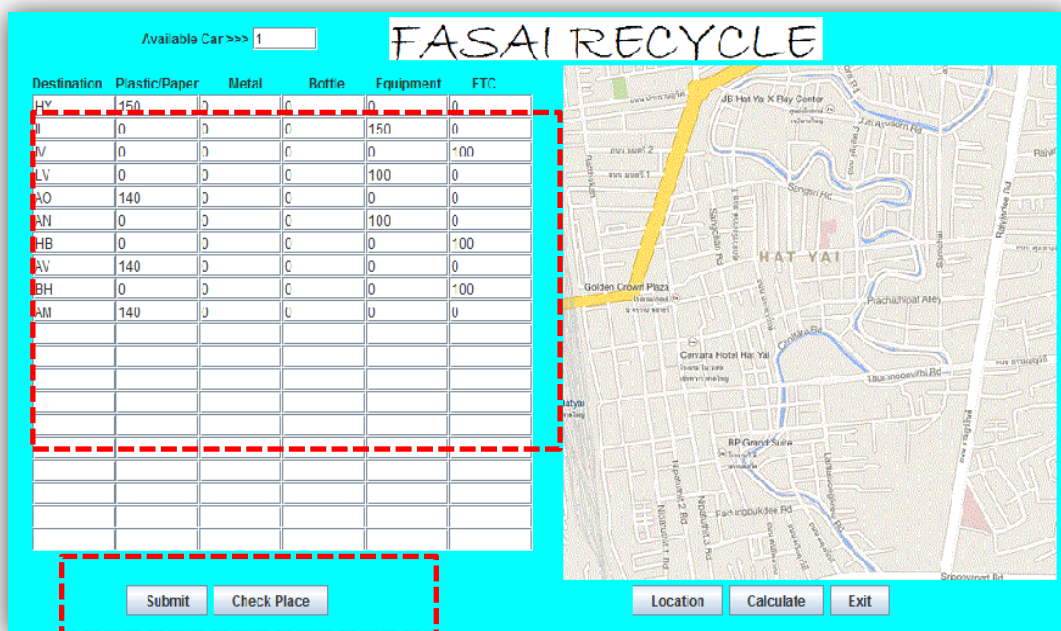
ก. **ขั้นตอนการเข้าสู่โปรแกรม** ขั้นตอนแรกก่อนเข้าสู่หน้าโปรแกรมหลักคือการป้อนข้อมูลผู้ใช้งานและรหัสผ่านเพื่อเข้าสู่การทำงานในหน้าหลักของโปรแกรม ดังแสดงในภาพประกอบ 4.4 หน้าจอการทำงานของโปรแกรมหลักประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ส่วนของการป้อนข้อมูลเพื่อการคำนวณการวางแผนการจัดการการขนส่ง ส่วนที่ 2 คือหน้าต่างแสดงลำดับการเดินทางของพาหนะ และส่วนที่ 3 คือส่วนของการป้อนข้อมูลเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลดังแสดงในภาพประกอบ 4.5 ซึ่งส่วนที่ 1 ของหน้าจอการทำงานแสดงในภาพประกอบ 4.6 ส่วนของการป้อนข้อมูลเพื่อการคำนวณระยะทาง ประกอบด้วยการป้อนข้อมูลจำนวนพาหนะที่ใช้ในแผนการจัดการการขนส่ง การป้อนข้อมูลสถานที่ขนส่ง เลือกใส่ข้อมูลน้ำหนักของขยะรีไซเคิลตามประเภทของขยะรีไซเคิลทั้ง 5 ประเภทซึ่งได้แก่ประเภทของกระดาษและพลาสติก ประเภทโลหะ ประเภทขวด ประเภทอุปกรณ์เครื่องมือ และสุดท้ายประเภทอื่นๆ กดปุ่มตรวจสอบการซ้ำของรายชื่อสถานที่ขนส่งเพื่อตรวจสอบการซ้ำของสถานที่ขนส่ง แล้วกดปุ่มส่งข้อมูล สถานที่ขนส่งที่ป้อนไว้จะปรากฏในส่วนที่ 2 เมื่อทำการกดปุ่มแสดงตำแหน่ง ดังแสดงในภาพประกอบ 4.7 จากนั้นกดปุ่มการคำนวณเส้นทาง การคำนวณการวางแผนการจัดการการขนส่งเริ่มประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่เป็นลำดับเส้นทางการขนส่งเสร็จสิ้นการประมวลผลจะแสดงลำดับเส้นทางการเดินทางไปยังสถานที่ขนส่งปรากฏในส่วนที่ 2 ของหน้าจอ ส่วนที่ 2 ของหน้าจอหลักแสดงจะแสดงตำแหน่งของสถานที่ขนส่งหลังจากการกดปุ่มส่งข้อมูล เมื่อทำการกดปุ่มการคำนวณ โปรแกรมจะทำการประมวลผล เมื่อสิ้นสุดการประมวลผลจะแสดงลำดับการเดินทางของพาหนะในส่วนที่ 2 ของหน้าจอแสดงในภาพประกอบ 4.8



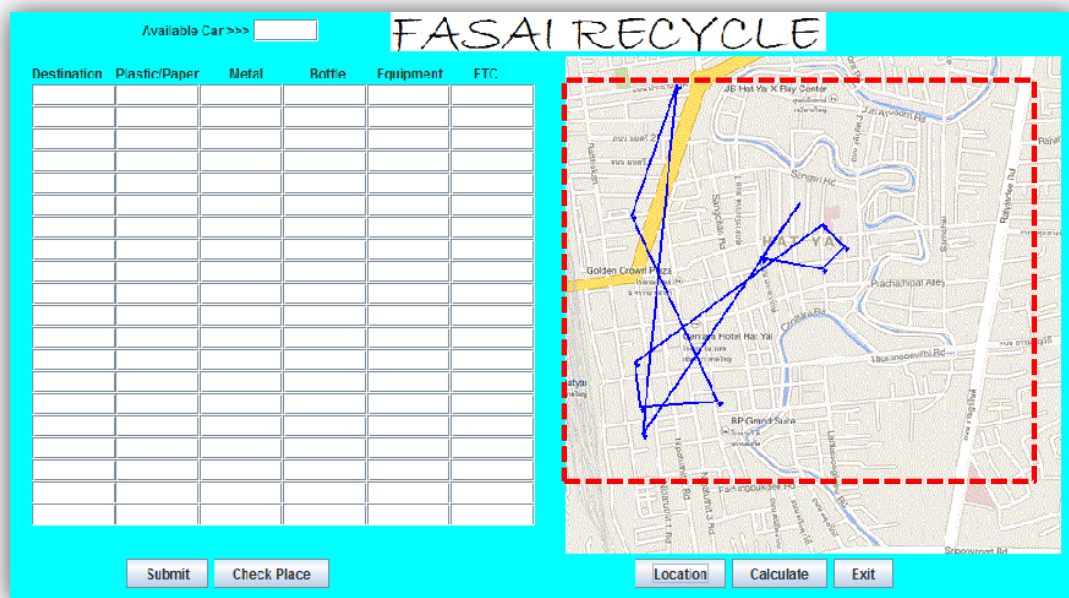
ภาพประกอบ 4.4 หน้าจอการใส่รหัสผู้ใช้งานก่อนเข้าสู่โปรแกรมหลัก



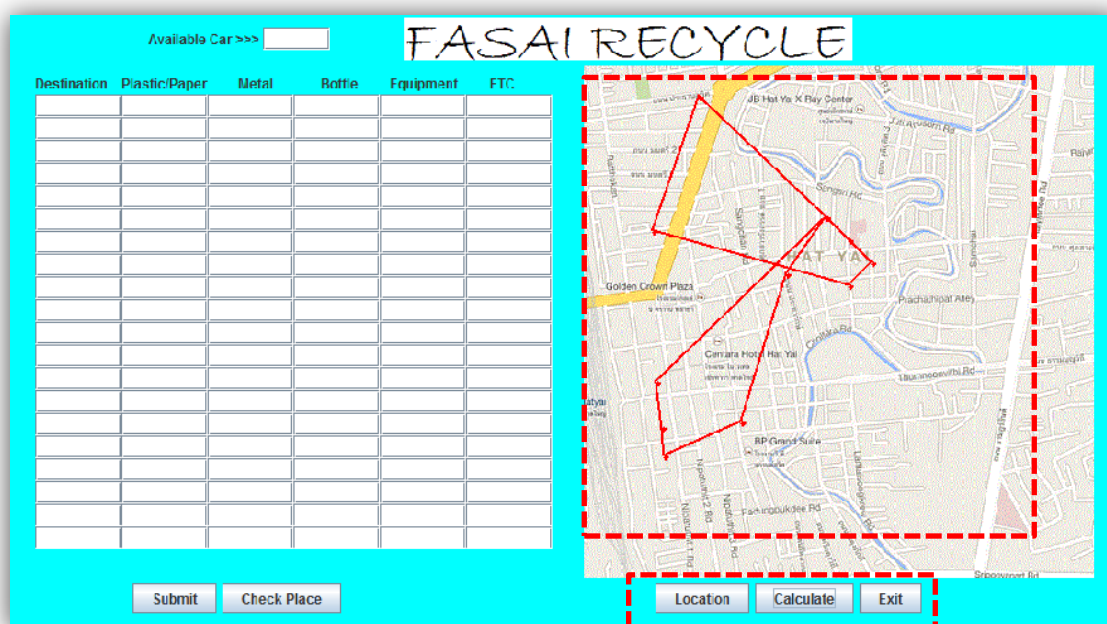
ภาพประกอบ 4.5 หน้าจอหลักของโปรแกรมการทำงาน



ภาพประกอบ 4.6 หน้าจอการป้อนข้อมูลสำหรับการประมวลผล



ภาพประกอบ 4.7 ตำแหน่งสถานที่ขนส่งหลังจากกดปุ่มแสดงตำแหน่ง



ภาพประกอบ 4.8 แผนที่ลำดับการเดินทางของพาหนะเมื่อสิ้นสุดการประมวลผล

ข. หน้าจอการป้อนข้อมูลของพารามิเตอร์ หน้าการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมเป็นหน้าจอที่อยู่ในส่วนที่ 3 ของโปรแกรมหลัก การทำงานของการติดตั้งฐานข้อมูลของพารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมโดยการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ จำนวนประชากร จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกใน Microsoft excel เมื่อโปรแกรมทำการคำนวณ

การวางแผนการจัดการขนส่งจะเรียกใช้ข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลใน Microsoft Excel ที่ได้ถูกบันทึกไว้ก่อนหน้าดังแสดงในภาพประกอบ 4.9

Population	
Generation Number	
Pc	
Pm	

OK

ภาพประกอบ 4.9 หน้าจอการป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ในกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรม

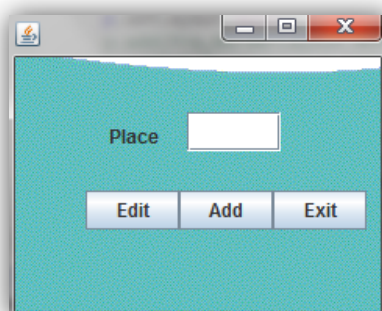
ค. หน้าจอการป้อนข้อมูลค่าคงที่ ค่าคงที่ที่ต้องใช้ในการคำนวณประกอบด้วยค่าอัตราการใช้น้ำมัน อัตราการขึ้นขยะรีไซเคิล อัตราการลงขยะรีไซเคิล อัตราค่าแรงในชั่วโมงการทำงานปกติ อัตราค่าแรงการทำงานช่วงนอกเวลาการทำงานดังแสดงในภาพประกอบ 4.10

อัตราการใช้ น้ำมัน	
อัตราการนำขยะรีไซเคิล	
อัตราการนำขยะลงจากรถ	
อัตราค่าแรงงานเวลาปกติ	
อัตราค่าแรงงานช่วงล่วงเวลา	

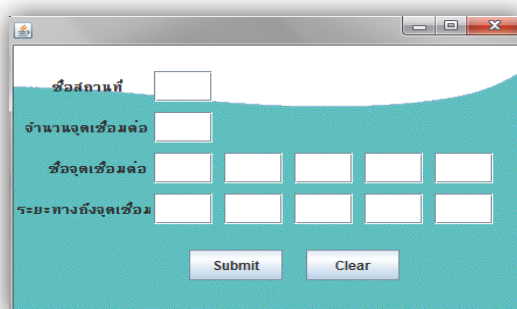
OK

ภาพประกอบ 4.10 หน้าจอการป้อนข้อมูลค่าคงที่

ง. หน้าจอการป้อนข้อมูลลูกค้า หน้าจอฐานข้อมูลลูกค้า เป็นการป้อนข้อมูลเพื่อเพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลของลูกค้า โดยข้อมูลของลูกค้าที่ต้องบันทึกได้แก่ข้อมูลรายชื่อลูกค้า จำนวนจุดเชื่อมต่อของในตำแหน่งของลูกค้า รายชื่อจุดเชื่อมต่อแต่ละจุด และสุดท้ายระยะทางระหว่างตำแหน่งของลูกค้าและจุดเชื่อมต่อทุกจุด ดังแสดงในภาพประกอบ 4.11 และ 4.12

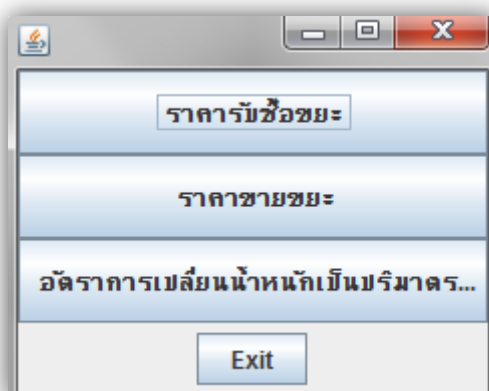


ภาพประกอบ 4.11 หน้าจอการเพิ่มหรือแก้ไขฐานข้อมูลลูกค้า

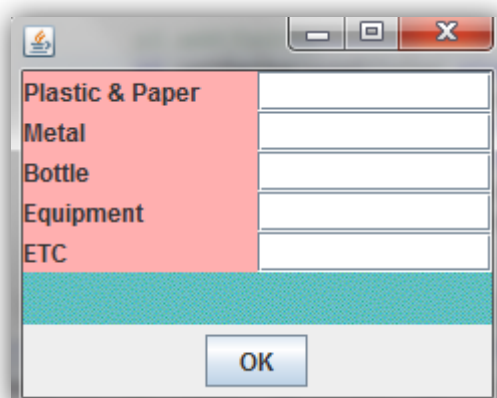


ภาพประกอบ 4.12 หน้าจอข้อมูลสำหรับการเพิ่มหรือแก้ไขฐานข้อมูลลูกค้า

จ. หน้าจอการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องของขยะรีไซเคิล หน้าจอการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องของขยะรีไซเคิล เป็นการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณซึ่งประกอบด้วยข้อมูลราคาซื้อขยะรีไซเคิล ราคาขายขยะรีไซเคิล อัตราการเปลี่ยนจากน้ำหนักเป็นปริมาตรของขยะรีไซเคิล โดยที่หน้าจอการป้อนข้อมูลของทั้ง 3 รายการจะมีการแบ่งประเภทของขยะรีไซเคิลดังแสดงในภาพประกอบ 4.13 และ 4.14



ภาพประกอบ 4.13 หน้าจอฐานข้อมูลราคาซื้อ ราคาขาย และอัตราการเปลี่ยนจากน้ำหนักเป็นปริมาตร



ภาพประกอบ 4.14 หน้าจอการแยกประเภทของขยะรีไซเคิลของการบันทึกในฐานข้อมูล

การทดสอบการคำนวณค่าผลลัพธ์จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยมือพบว่าที่การคำนวณทั้ง 3 ระดับให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง จากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการออกแบบการทดลอง เพื่อให้การประมวลผลของโปรแกรมทำงานได้อย่างรวดเร็วและให้คำตอบที่มีความน่าเชื่อถือพบว่าค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 1100 ประชากร ค่าจำนวนรอบการทำงานเท่ากับ 100 รอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ถูกนำมาทดสอบความแม่นยำของการประมวลผล พบว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดของการคำนวณจากทั้ง 6 กรณีศึกษาเท่ากับ 1.7409 จากที่ค่าเฉลี่ย 12,074.90 และเวลาการทำงานของโปรแกรมที่มีจำนวนสถานที่ขนส่งมากที่สุดที่ 25 แห่งใช้เวลาในการทำงานเท่ากับ 9.67 นาที การทดสอบเปรียบเทียบผลการทำงานของโปรแกรมกับข้อมูลจริงของการวางแผนการทำงานกับบริษัทกรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่กรณีที่ไม่มี การส่งสินค้าขายจากคลัง ไม่มีการรับซื้อขยะประเภทที่สามารถขายได้โดยตรง สถานที่ขนส่งน้อยกว่า 10 แห่ง ใช้พาหนะ 1 คัน ต้นทุนการทำงานมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนแตกต่างกันคือระยะเวลาและระยะทางในการเดินทางไปยังสถานที่ขนส่งโดยไม่ใช้โปรแกรม จะใช้มากกว่าการคำนวณจากโปรแกรม ในกรณีที่เดินทางมีการไปรับซื้อขยะ และการไปส่งขายขยะ และขยะที่รับซื้อมีขยะประเภทที่สามารถส่งขายแบบโดยตรง จำนวนพาหนะที่ใช้ในการคำนวณเท่ากับ 1 คัน พบว่าการทำงานแบบเดิมมีต้นทุนที่สูงกว่าทุกด้าน ทั้งต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนค่าวัตถุดิบ และจากการทดสอบพบว่าการใช้จำนวนพาหนะเพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผล ที่จำนวนสถานที่ปลายทางเท่ากัน ไปรับสินค้าชนิดเดียวกันพบว่า ที่จำนวนพาหนะ 1 คัน มีต้นทุนการจัดการการขนส่งที่น้อยกว่าพาหนะ 2 คัน แต่โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นไม่มีการออกแบบให้ตัดสินใจเรื่องจำนวนพาหนะที่จะใช้ในแผนการจัดการการขนส่ง ดังนั้นหากผู้ใช้โปรแกรมต้องการเปรียบเทียบต้นทุนของจำนวนพาหนะที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องทำการประมวลผลเพิ่ม เพื่อนำค่าผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบ ซึ่งผลที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าต้นทุนสามารถทำให้บริษัทกรณีศึกษาออกแบบการทำงานได้ 2 แนวทาง คือการใช้พาหนะในการทำงานลดลง หรือใช้พาหนะในการทำงานเท่าเดิมแต่ทำการเพิ่มสถานที่ขนส่งโดยการร้องขอจากลูกค้าเพื่อต้องการไปรับซื้อขยะ

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่งของบริษัท ทรูศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมในการวางแผนการจัดการการขนส่งโดยการประยุกต์การวิจัยเชิงพันธุกรรมใช้ในการหาคำตอบโดยพิจารณาที่กำไรของแผนการจัดการการขนส่งที่สูงสุดเป็นตัวชี้วัดที่ดีที่สุด โปรแกรมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการรับข้อมูลเพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูล ส่วนของการประมวลผลโดยมีการรับข้อมูลของแผนการขนส่งในการประมวลผลโดยใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรม และส่วนของการแสดงผลการทำงานซึ่งเป็นลำดับการเดินทางของพาหนะไปยังสถานที่ขนส่ง

5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาการใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการการขนส่งของบริษัท ทรูศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เพื่อต้องการเพิ่มสัดส่วนกำไรอย่างน้อยร้อยละ 15 จากการศึกษาถึงกระบวนการทำงานของบริษัทสามารถแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลักได้แก่ 1. การรับซื้อขยะรีไซเคิลโดยการส่งพาหนะออกไปรับ เป็นขั้นตอนการออกไปรับขยะรีไซเคิลนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการได้รับการนัดหมายจากลูกค้าเพื่อให้เดินทางไปรับสินค้า โดยการวางแผนการทำงานจะมีการบันทึกข้อมูลการจัดลำดับเส้นทางการเดินทางใน Microsoft Excel ประกอบด้วยรายละเอียดของหมายเลขพาหนะที่ใช้ วันที่ของการทำงาน ตำแหน่งของสถานที่ขนส่ง ช่วงเวลาการเดินทาง ซึ่งเรียงลำดับการเดินทางตามลำดับการโทรนัดหมาย โดยมีพาหนะจำนวน 3 คันในการเดินทางไปรับขยะรีไซเคิล 2. ขั้นตอนการแปรรูปขยะรีไซเคิล เป็นขั้นตอนหลังจากการไปรับขยะรีไซเคิลแล้วกลับมาเก็บขยะรีไซเคิลที่บริษัทโดยแบ่งขยะรีไซเคิลออกเป็น 4 ประเภทหลักได้แก่ ประเภทกระดาษและพลาสติก ประเภทโลหะ ประเภทขวดแก้ว และประเภทเครื่องมือและอุปกรณ์ ขยะรีไซเคิลที่เข้าสู่กระบวนการแปรรูปได้แก่ขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษและพลาสติก และขยะรีไซเคิลประเภทอุปกรณ์เครื่องมือ ส่วนที่ไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปได้แก่ประเภทโลหะ และประเภทขวดแก้วจะถูกนำเข้าสู่จัดเก็บเพื่อให้มีปริมาณที่เหมาะสมจึงส่งขายการแปรรูปขยะรีไซเคิลประเภทกระดาษและพลาสติกจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการอัด โดยใช้เครื่องอัดเป็นเครื่องจักรในการดำเนินงาน การแปรรูปขยะรีไซเคิลประเภทเครื่องมือและอุปกรณ์จะถูกนำเข้าสู่การแยกชิ้นส่วนตามประเภทของส่วนประกอบนั้น 3. ขั้นตอนการส่งขายขยะรีไซเคิลโดยการใช้พาหนะออกไปส่ง เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีปริมาณขยะรีไซเคิลที่จัดเก็บในคลังสินค้ามากเพียงพอที่จะเดินทางไปขายโดยการใช้พาหนะ 1 คันที่เตรียมแยกไว้เฉพาะการส่งขายขยะรีไซเคิลเท่านั้น ซึ่งพบว่าทั้ง 2 กระบวนการหลักนี้มีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่ (1) การรับหรือส่งขยะรีไซเคิลซึ่งเป็น

กิจกรรมที่ต้องใช้พาหนะในการเดินทาง และเพื่อต้องการลดความสูญเสียจากการเดินทางของรถเที่ยวเปล่าซึ่งเป็นหนึ่งในหลักการการจัดการโลจิสติกส์ ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบการเดินทางของพาหนะ โดยให้รวมการเดินทางเพื่อไปรับซื้อและขายให้อยู่ในพาหนะคันเดียวกัน ส่วนที่ (2) ได้แก่ประเภทของขยะที่ทำการรับซื้อสามารถแบ่งกลุ่มออกมาได้ 2 กลุ่มหลัก ได้แก่กลุ่มที่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูป และกลุ่มที่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ดังนั้นเพื่อต้องการลดความสูญเสียเปล่าจากการเก็บสินค้าในคลังที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่ม และเพื่อต้องการลดต้นทุนจม จึงมีการออกแบบการส่งขยะแบบโดยตรง สำหรับขยะรีไซเคิลที่ไม่ต้องเข้าสู่กระบวนการแปรรูป ซึ่งเรียกว่าเป็นการออกแบบการจัดการการขนส่งแบบบูรณาการ และจากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด แผนการจัดการการขนส่งเดิมที่ใช้ Microsoft Excel ในการบันทึกการวางแผนการใช้รถ คงไม่สามารถออกแบบการทำงานที่ซับซ้อนได้ เพราะจากการรวมการรับซื้อและการส่งขายในพาหนะคันเดียวกัน การไปส่งขยะรีไซเคิลขายแบบโดยตรง มีเงื่อนไขที่เข้ามาให้ทำการตัดสินใจหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบลำดับการเดินทางเพื่อรับซื้อหรือส่งขาย หากมีการส่งขายแบบโดยตรงควรจะไปขายที่ไหน จึงจำเป็นต้องมีการใช้เครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ และงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งแบบบูรณาการ โดยตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรสูงสุด การกำหนดรูปแบบโครโมโซมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหานี้ได้ออกแบบโครโมโซมเป็นแผนการจัดการการขนส่ง โดยตำแหน่งของยีนในโครโมโซมคือสถานที่ขนส่ง ตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรสูงสุดได้จากการคำนวณต้นทุนรวมลบด้วยรายได้จากการขาย โดยที่ต้นทุนประกอบด้วยต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าวัตถุดิบ และรายได้จากการขายแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่รายได้จากการขายขยะรีไซเคิลในคลังสินค้า และรายได้จากการขายขยะรีไซเคิลแบบโดยตรง การจากนำการวิจัยเชิงพันธุกรรมมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดการการขนส่งได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้กระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุด เช่นเดียวกัน การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลการทำงานของกรวิจัยเชิงพันธุกรรมนั้น ได้จากการออกแบบการทดลองโดยการใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยทำการกำหนดปัจจัยไว้ 4 ปัจจัยซึ่งได้แก่จำนวนประชากรเบื้องต้น จำนวนรอบการทำงาน ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ทำการทดลองที่ 2 ระดับการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโปรแกรมการแก้ปัญหาการวางแผนการจัดการการขนส่งนั้นให้กำหนดค่าจำนวนประชากรเบื้องต้นเท่ากับ 1000 ประชากร จำนวนรอบการทำงานเท่ากับ 100 รอบ ค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เท่ากับ 0.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.5 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการทดสอบความแม่นยำของการคำนวณพบว่าทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ทำการประมวลชุดข้อมูลละ 6 ครั้งนั้นให้ค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุดเท่ากับ 1.7409 และระยะเวลาการประมวลผลที่เป็นกรณีที่มีการเดินทางขนส่งขยะรีไซเคิลเท่ากับ 25 แห่งนั้น เวลาการประมวลผลเท่ากับ 9.67 นาที เมื่อนำผลการทำงานของโปรแกรมเปรียบเทียบกับการทำงานจริงพบว่าสัดส่วนกำไรของการทำงานด้วยโปรแกรมมากกว่าการทำงานแบบเดิมเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 30 หรือประมาณ 3000 บาทต่อวัน และจากการทดลองกับการทำงานจริงพบว่าที่แผนการขนส่งเดียวกัน โปรแกรมพบว่าสัดส่วนกำไรของการขนส่งที่พาหนะจำนวนน้อยกว่ามีค่ามากกว่า ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบสัดส่วนกำไรนี้สามารถออกแบบแนวทางการทำงาน

ของบริษัทกรณศึกษาได้ 2 แนวทาง คือการใช้จำนวนพาหนะที่น้อยกว่า หรือการใช้พาหนะเท่าเดิม แต่เพิ่มจำนวนสถานที่ขนส่งโดยการร้องขอไปยังลูกค้าเพื่อต้องการเดินทางไปรับซื้อขยะรีไซเคิล กลับมา อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบสัดส่วนกำไรของจำนวนพาหนะที่ต่างกัน ต้องทำการ ประมวลผลจากโปรแกรมแยกกัน เพราะโปรแกรมไม่ได้พัฒนามาเพื่อรองรับการตัดสินใจในการเลือก จำนวนพาหนะเพื่อให้สัดส่วนกำไรเพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะในการดำเนินการวิจัย

จากการนำการวิจัยเชิงพันธุกรรมเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขนส่งของบริษัท กรณศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทรับซื้อของเก่า นั้น สามารถสรุปข้อเสนอแนะและแนวทางในการปรับปรุง ประสิทธิภาพการทำงานเพื่อนำไปพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ดังต่อไปนี้

1. งานวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลลักษณะของปัญหาของบริษัทกรณศึกษา ตัวชี้วัดจึงเป็น กำไรที่สูงสุด ซึ่งอาจการพัฒนาต่อไปเป็นตัวชี้วัดอื่นๆในการจัดการการวางแผนการขนส่งแบบบูรณา การ

2. ข้อมูลการเส้นทางและระยะทางของถนนจะต้องมีการเพิ่มในฐานข้อมูลทุกครั้ง เมื่อมีการเพิ่มลูกค้าใหม่ หากมีการเลือกใช้ฐานข้อมูลที่มีการติดต่อผ่านระบบการทำงานของ Google map อาจทำให้สะดวกในการเพิ่มข้อมูลเส้นทางและระยะทาง และการแสดงลำดับและเส้นทางจาก การประมวลของโปรแกรม

3. โปรแกรมได้ออกแบบตามเงื่อนไขและข้อมูลเบื้องต้นของการทำงานของบริษัท กรณศึกษาดังนั้น หากนำไปปรับใช้กับงานวิจัยอื่น ต้องมีการปรับเงื่อนไขบางรายการเช่น จำนวน พาหนะ ชนิดและประเภทของสินค้า

4. การพัฒนาให้โปรแกรมสามารถตัดสินใจเลือกจำนวนพาหนะที่ใช้ในการวางแผนการจัดการขนส่งโดยตัวชี้วัดความเหมาะสมคือกำไรที่สุด จะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจของ ผู้ประกอบการได้

บรรณานุกรม

- [1] Danele Hoornweg and Perl naz Bhada-Tata., "WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management," *URBAN DEVELOPMENT SERIES KNOWLEDGE PAPERS*, no. 15, March 2012.
- [2] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, "รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2554," กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร, (ISBN) 978-974-286-994-6, 2555.
- [3] กรมควบคุมมลพิษ, "โครงการเพิ่มประสิทธิภาพของท้องถิ่นในการลดและใช้ประโยชน์ของเสีย (ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา)," สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย สถาบันทรัพยากรชายฝั่งมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ , อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา , รายงานหลัก ISBN 974-9879-27-9, 2548.
- [4] Christian Nisson, "Heuristics for the Traveling Salesman Problem".
- [5] พศวีร์ ตรีวิเศษ, "รูปแบบการจัดการการขนส่ง โดยการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม : กรณีศึกษาบริษัทขายวัสดุก่อสร้าง".
- [6] R.SIVARAJ, "Solving Travelling Saleman Problem using Clustering Genetic Algorithm".
- [7] ชัยยา นุรักษ์เช, *การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งขนมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล กรณีศึกษา : ห้าง โอ.ซี.ซี.ฟหลาย*. กรุงเทพมหานคร, 2541.
- [8] Bianchi L. and et al., *The 8th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN VIII) will be held in Birmingham*. UK, 2004 :18-22 September,2004.
- [9] Thangiah S.R., Nygard K.E., and Juell P.L., *A genetic algorithm system for vehicle routing problem with time windows.*: IEEE conference on Artificial Intelligence Application, 1990 pp 115-132.
- [10] พิมพ์ชนก ทำนอง, *การจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าจากจุดส่งเดียว กรณีเปรียบเทียบวิธีการแบบฮิวริสติกส์และวิธีเชิงพันธุกรรม.*: วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตและสารสนเทศ,มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2552.
- [11] Braysy O., *Genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows.*: Special issue on Bioinformatics and Genetic algorithm, 2001.
- [12] Barrie M. Baker and M.A. Ayechev, "A genetic algorithm for the vehicle routing problem," *Computers & Operations research*, vol. 30, no. 5, pp. 787-800, 2003.
- [13] David Naso, Michele Surico, Biagio Turchiano, and Uzay Kaymak, "Genetic

- algorithms for supply-chain scheduling: a case study in the distribution of ready-mixed concrete," *European Journal of Operational Research*, no. 177, pp. 2069-2099, 2007.
- [14] Sandra D. Eksioglu and Daniel Petrolia, "Analyzing the impact of Intermodel Facilities to the Design and Management of Biofuels Supply Chain," *Transportation Research Board of the National Academies*, pp. 144-151, February 2011.
- [15] Fatemeh Forouzanfar and Reza Tavakkoli-Moghaddam, "Using a genetic algorithm to optimize the total cost for a location-routing-inventory problem in a supply chain with risk pooling," *Journal of Applied Operational Research*, pp. 2-13, 2012.
- [16] Pavan Kumar Narahariseti, Iftekhhar A. Karimib, and Rajagopalan Srinivasana, "Optimal Supply Chain Redesign using Genetic," *17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering – ESCAPE17*, 2007.
- [17] Noraini Mohd Razali and John Geraghty, "Genetic Algorithm Performance with Different Selection Strategies in Solving TSP," *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol II*, pp. 6-8, July 2011.
- [18] อุดม จันทร์จรัสสุข, "ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง," *วิศวกรรมลาดกระบัง*, vol. 28, no. 3, pp. 31-37, กันยายน 2554.
- [19] Marziyeh Hassani Doughabadi, Hossein Bahrami, and Farhad Kolahan, "Evaluating the Effects of Parameters Setting on the Performance of Genetic Algorithm Using Regression Modeling and Statistical Analysis," *Journal of Industrial Engineering, University of Tehran, Special Issue*, pp. 61-68, 2011.
- [20] Avni Rexhepi, Adnan Maxhuni, and Agni Dika, "Analysis of the impact of parameters values on the Genetic Algorithm for TSP," *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, vol. 10, no. 3, pp. 158-164, January 2013.
- [21] กรมควบคุมมลพิษ, *ธุรกิจบริการคัดแยกขยะเพื่อรีไซเคิล.*, 2549.
- [22] Sadjadi S, Jafari M., and Amini T., "A new mathematical modeling and a genetic algorithm search for milk run problem (an auto industry supply chain case study)," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 44, No. 1-2, pp. pp. 194-200, 2008.
- [23] มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา ในพระอุปถัมภ์สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอ เจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์, *โครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึม*. กรุงเทพมหานคร: มูลนิธิ สอวน., 2553.
- [24] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, and Clifford Strein,

Introduction to Algorithms, Second Edition.: The MIT Press, 2001.

- [25] ณัฐพงษ์ วารี่ประเสริฐ และ สุธี พงศาสกุลชัย, *โครงสร้างข้อมูลและอัลกอริทึม (Data Structures and Algorithms)*, กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล, Ed. กรุงเทพมหานคร: บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, 2552.
- [26] กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ, ศลิษา ภมรสถิต, และ จักรกฤษณ์ ดวงพัศตรา, *การจัดการโลจิสติกส์*. กรุงเทพมหานคร: แมครอ-ฮิลอินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, 2544.
- [27] Dantzig G.B. and Ramser J.H., *The truck dispatching problem.*: Management Science., 1959 Vol.6, pp.80-91.
- [28] Bodin L. and et al, *Routing and Scheduling of Vehicles and Crews.*: Computers & Operations Research., 1983 Vol.10(2), pp.67-211.
- [29] Filipec M., Skrlec D., and Krajcar S., *An Efficient implementation of genetic algorithms for constrained vehicle routing problem.*: International conference, 1998 vol.3.
- [30] กิตติโชติ ตันติภนา, "แบบจำลองและวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีกรอบเวลา," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต 2551.
- [31] Cynthia Barnhart, Ellis L. Johnson, George L. Nemhauser, Martin W.P. Savelsgergh, and Pamela H. Vance, *Branch-and-Price; column generation for solving huge integer programs:316-329.*: Operations Research 46, 1998.
- [32] Gendreau M, *New Heuristics For The Vehicle Routing problem.*: HEC Montreal, 2004.
- [33] Clarke G. and J.W. Wright, *Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points.:568-581.*: Operations Research 11, 1963.
- [34] Gillett B.E. and Miller, *A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem :340-349.*: Operations Research, 1974.
- [35] Reeves, *Genetics algorithms:55-82.* In;Glover.: Handbook of Metaheuristics, 2003.
- [36] Reimann M., Doerner K., and Hartl D. *Ants, Saving based ants divide and conquer the vehicle routing problem.*: Computers & Operations Reserch, 2004.
- [37] Holland J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems.*Ann Arbor.: University of Michigan Press, 1975.
- [38] Murata T., Ishibuchi H., and Tanaka H., "Genetic algorithms for Flow Shop Scheduling Problems.," *Computer and Industrial Engineering*, vol. 30, no. 4, pp. 1061-1071, 1996.

- [39] Goldberg D.E. and Lingle R., "Alleles ,Loci and the travelling Salesman Problem.,"
In Grefenstette J.J.(Eds) Proceedings of anInternational Conference on Genetic Algorithms and Their Applications.[n.p.], pp. 154-159, Carnegie-Mellon University ,1985.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวเปรมวดี จิตเที่ยง		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5410121013		
วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา	
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2545	

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

เปรมวดี จิตเที่ยง วณิดา รัตนมณี, 2557. การใช้การวิจัยเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการ
จัดการการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทรับซื้อของเก่า อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. ประชุม
วิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 6. พระนครศรีอยุธยา, ประเทศ
ไทย, 23-25 กรกฎาคม 2557