



การพัฒนาอิวิริสติกสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัด
เส้นทางการขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย

สุจิตรา แก้วพลอย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



DEVELOPMENT OF A HEURISTIC FOR SELECTING NETWORK MARKET
LOCATIONS AND VEHICLE ROUTING FOR RUBBER
IN THE LOWER SOUTHERN THAILAND

SUJITTRA KAEWPLOY

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2020
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเกื้อหนุนและความดูแลของหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สีนธูเชวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งสละเวลา กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ตลอดจนให้ความรู้ทางด้านวิชาการอันเป็นแนวทางในการทำวิจัยเป็นอย่างดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่ามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์รวมทั้งให้คำแนะนำที่มีประโยชน์โดยประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธารชุตา พันธนิกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้สนใจทุกท่าน ในการนำข้อมูลต่าง ๆ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในทางปฏิบัติและงานวิชาการต่อไป

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และเพื่อนๆ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และยังมีผู้เกี่ยวข้องทุกท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุจิตรา แก้วพลอย
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง : การพัฒนาฮิวริสติกสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัด
เส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย

ผู้วิจัย : สุจิตรา แก้วพลอย

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สีนธูเชาวน์

คำสำคัญ : ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง, ตลาดเครือข่าย,
วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้

ตลาดกลางยางพาราเป็นสถานที่ที่ผู้ปลูกยางพาราและผู้ซื้อเจรจาสัญญาซื้อขาย โดยมีตลาดกลางยางพาราเพียง 2 แห่งในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด เป็นที่น่าเสียดายที่เกษตรกรผู้ปลูกยางพาราส่วนใหญ่อาศัยอยู่ห่างไกลจากตลาดกลางยางพาราทั้ง 2 แห่งทำให้ส่วนใหญ่ต้องตัดสินใจขายยางพาราให้กับตลาดท้องถิ่นในราคาที่ไม่เป็นธรรม หากมีเครือข่ายของตลาดกลางที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสมและทำงานเหมือนตลาดกลางท้องถิ่นจะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งของระบบและเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราจะได้รับราคาที่เป็นธรรม งานวิจัยนี้ได้นำเสนอฮิวริสติกส์เพื่อหาสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายที่เหมาะสมที่สุดและทำการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อลดต้นทุนทั้งระบบภายใต้ข้อจำกัดด้านระยะทางและความจุของยานพาหนะ โดยเริ่มต้นประยุกต์ใช้วิธีการ K-mean clustering ในการจัดกลุ่มและทำการจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัดในการหาคำตอบเริ่มต้น จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมและตามด้วยวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ในการปรับปรุงคำตอบ ผลการวิจัยพบว่ามีตลาดเครือข่ายที่เปิดได้ทั้งหมด 8 แห่งในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างจำนวนเส้นทางทั้งหมด 176 เส้นทางโดยมีต้นทุนรวมทั้งระบบเท่ากับ 322,058.58 บาทต่อวัน เมื่อทำการวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์กับปัญหาทั้ง 3 ขนาดโดยการเปรียบเทียบกับโปรแกรม Lingo ด้วยการทดสอบทางสถิติ พบว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกส์ที่เสนอกับโปรแกรม Lingo มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF A HEURISTIC FOR SELECTING NETWORK MARKET
LOCATIONS AND VEHICLE ROUTING FOR RUBBER IN THE LOWER
SOUTHERN THAILAND

AUTHOR : SUJITTRA KAEWPLOY

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

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

KEYWORDS : LOCATION ROUTING PROBLEM, NETWORK MARKET, ADAPTIVE LARGE
NEIGHBORHOOD SEARCH

A central rubber market is a place where rubber growers and buyers negotiate contracts. There are only two central rubber markets in the far southern region of Thailand, spanning 7 provinces. Unfortunately, most rubber growers live far away from both central rubber markets. As a result, most of them decide to sell their rubber to local markets at unfairly low prices. If there were a network of central markets located conveniently and functioning locally, transportation costs would be reduced and growers would receive fair prices. This research proposes a heuristic to determine the optimal locations for a network of markets and designing routes for transporting rubber to minimize the total system cost under distance and capacity constraints. The heuristic initially applies a K-means clustering method and routing algorithm to generate an initial feasible solution. The genetic algorithm (GA) is then applied, followed by a large adaptive neighborhood search to improve the solution. The computational result shows that 8 network markets should be opened in far southern Thailand and 176 vehicle routes should be constructed with a total system cost of 322,058.58 Baht per day. To measure the performance of the proposed heuristic, three sample sizes for this problem were tested and solutions were compared to those obtained with the LINGO program. Through statistical testing, solutions obtained from the proposed heuristic and LINGO were found to be not significantly different.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง	5
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	7
2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง	11
2.4 วิธีการแก้ปัญหา (Solution Approach)	14
2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม	19
2.6 เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ K-means	31
2.7 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่	33
2.8 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้	35
2.9 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search)	37
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	58
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	59
3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับตลาดเครือข่าย	62
3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับค่าใช้จ่าย	62
3.5 วิเคราะห์ปัญหาและกำหนดกรอบ	63
3.6 สมมติฐานและลักษณะของปัญหา	64
3.7 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	65
3.8 การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Lingo	69

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การแก้ปัญหาและการพัฒนาอีวริสติกส์	
4.1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ ปรับค่าได้	72
4.2 การดัดแปลงกระบวนการเชิงพันธุกรรมกับลักษณะปัญหา	77
4.3 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้	83
4.4 การประเมินประสิทธิภาพวิธีการ GA-ALNS	93
4.5 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GA-ALNS	103
4.6 สรุปผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธีการ GA-ALNS	107
4.7 การเปรียบเทียบต้นทุนในการขนส่ง	108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	109
5.3 ข้อเสนอแนะ	111
เอกสารอ้างอิง	112
ภาคผนวก	
ก รายชื่อและพิกัดตำแหน่งของเกษตรกรยางพาราในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย	123
ข เส้นทางการขนส่งแต่ละตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด	138
ประวัติผู้วิจัย	148

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	พื้นที่การปลูกและผลผลิตยางพาราในประเทศไทย ปี 2559	1
2.1	ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่าง ๆ	9
2.2	วิธีการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	30
2.3	การคัดเลือกตามความแข็งแรง	31
2.4	อัลกอริทึมของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่	34
2.5	อัลกอริทึมของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้	56
2.6	สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและวิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา LRP	45
2.7	การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GENETIC ALGORITHM) ในการหาคำตอบ	46
2.8	สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
3.1	ข้อมูลที่ตั้งของผู้ขายยางพารา	60
3.2	ระยะทางการขนส่งยางพารา (กิโลเมตร)	61
3.3	ค่าเสื่อมราคาของตลาดเครือข่ายแต่ละประเภท	62
3.4	ค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะแต่ละประเภท	63
3.5	ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม LINGO กับกลุ่มปัญหขนาดต่าง ๆ	70
4.1	ผู้ขายยางพาราและปริมาณยางของแต่ละผู้ขาย	77
4.2	ระยะทางระหว่างผู้ขายยางพาราและตลาดเครือข่าย	84
4.3	กำหนดค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1	84
4.4	ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1	85
4.5	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1	87
4.6	ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2	88
4.7	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2	90
4.8	ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3	91
4.9	การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3	92
4.10	กลุ่มตัวอย่างปัญหาที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการ GA-ALNS	93
4.11	การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	94
4.12	การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง	97
4.13	ผลการหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมวิธีต่าง ๆ เทียบกับโปรแกรม Lingo	98
4.14	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอัลกอริทึมกับโปรแกรม Lingo	100
4.15	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม GA กับ ALNS	102
4.16	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม GA กับ GA-ALNS	102
4.17	ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม ALNS กับ GA-ALNS	103
4.18	ตำแหน่งของตลาดเครือข่ายและการจัดสรรผู้ขายยางพารา	104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.19	ขนาดยานพาหนะที่ใช้และต้นทุนค่าใช้จ่ายของตลาดเครือข่ายแต่ละแห่ง	106
4.20	ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึม	108

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	8
2.2	รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง	11
2.3	ลำดับวิธีการเชิงพันธุกรรม	20
2.4	รูปแบบของโครโมโซม	20
2.5	รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม	21
2.6	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point กำหนดจุดตัด	21
2.7	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่ถูกตัด	21
2.8	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ทำการตัดตัวที่ซ้ำ	22
2.9	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ถ่ายทอดยีนที่ตัดตัวซ้ำ	22
2.10	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point	22
2.11	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point กำหนดจุดตัด	23
2.12	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์	23
2.13	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ทำการตัดตัวที่ซ้ำ	23
2.14	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ถ่ายทอดยีนที่ทำการตัดแล้ว	23
2.15	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point	24
2.16	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) กำหนดจุดตัด	24
2.17	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) แลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ในช่วงการตัด	24
2.18	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) สร้างรูปภาพความสัมพันธ์	25
2.19	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) เปลี่ยนค่าที่ซ้ำตามความสัมพันธ์	25
2.20	การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX)	25
2.21	การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนการเลือกโครโมโซม	26
2.22	การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนสุ่มตำแหน่งที่จะแทรก	26
2.23	การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนสุ่มเลือกยีนที่จะนำมาแทรก	26
2.24	การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนการแทรก	26
2.25	การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation)	27
2.26	การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการเลือกโครโมโซม	27
2.27	การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มเลือกตำแหน่ง	27
2.28	การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มช่วงที่จะนำมาแทรก	27
2.29	การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการแทรก	28
2.30	การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation)	28

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.31 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มเลือกโครโมโซม	28
2.32 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มตำแหน่ง	28
2.33 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสลับ	29
2.34 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation)	29
2.35 วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel)	30
2.36 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบ K-means Clustering	32
2.37 การทำลายและการซ่อมแซมของปัญหา Capacitated Vehicle Routing	33
2.38 รูปแบบการค้นหาคำตอบแบบ ALNS	35
2.39 รูปแบบวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้	37
2.40 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Random removal	37
2.41 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี K-Route removal	38
2.42 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Entirely route removal	38
2.43 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Worst removal	38
2.44 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Relate removal	39
2.45 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Cluster removal	39
2.46 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion	40
2.47 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Regret-H insertion	40
2.48 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random insertion	40
2.49 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary insertion	41
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	59
3.2 ตำแหน่งพิกัดของผู้ขายยางพาราและตลาดกลางยางพารา	61
3.3 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งยางพาราภายใต้เวลาที่จำกัด	64
3.4 กรอบแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย	64
3.5 การจำแนกขนาดกลุ่มปัญหา	69
4.1 กระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการ GA-ALNS	73
4.2 การหาคำตอบเริ่มต้นด้วย K-mean Clustering	75
4.3 ต้นทุนรวมเทียบกับจำนวนตลาดเครือข่ายที่เปิด	75
4.4 การจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด	76
4.5 ตัวอย่างรูปเส้นทางก่อนการเข้ารหัสโครโมโซม	78
4.6 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม	78
4.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสการเปิดตลาดเครือข่าย	78
4.8 ตัวอย่างการเข้ารหัสของยานพาหนะและผู้ขายยางพารา	79
4.9 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point crossover ของตลาดเครือข่าย	80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.10	กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point crossover ของเส้นทางขนส่ง	80
4.11	วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรกของเส้นทางขนส่ง	81
4.12	วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรกของตลาดเครือข่าย	81
4.13	วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งในส่วน of เส้นทางขนส่ง	81
4.14	วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งในส่วน of ตลาดเครือข่าย	81
4.15	การถอดรหัสของยานพาหนะและผู้ขายยางพารา	82
4.16	ตำแหน่งจุดเปิดตลาดเครือข่ายและเส้นทางขนส่งหลังจากกระบวนการถอดรหัส	82
4.17	Residual Plot ของคำตอบที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	96
4.18	การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของพารามิเตอร์	97
4.19	เปรียบเทียบเวลาประมวลผลระหว่างโปรแกรม Lingo กับอัลกอริทึม	99
4.20	เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ Gap ของอัลกอริทึมแต่ละวิธี	101
4.21	ตำแหน่งตลาดเครือข่ายและเส้นทางขนส่งยางพาราของลูกค้าแต่ละราย	107

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ โดยได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการผลิต ด้านการแปรรูป และด้านการส่งออก เป็นต้น ดังนั้นทำให้พื้นที่การปลูกยางพาราของประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มขึ้นทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ ดังนั้นส่งผลให้ผลผลิตยางพาราของประเทศไทยขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามลำดับ จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร 2560 พบว่าพื้นที่ภาคใต้มีปริมาณการปลูกยางพารามากที่สุดถึง 14,579,285 ไร่ หรือร้อยละ 63.35 รองลงมาคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ร้อยละ 21.25 ภาคตะวันออก ร้อยละ 9.7 ภาคเหนือ ร้อยละ 3.8 และภาคกลาง ร้อยละ 1.91 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปริมาณพื้นที่การปลูกยางพาราของทั้งประเทศ

ตารางที่ 1.1 พื้นที่การปลูกและผลผลิตยางพาราในประเทศไทย ปี 2559

ภาค	จำนวนจังหวัดที่ปลูก	จำนวนพื้นที่ปลูก (ไร่)	ผลผลิตที่ได้รับ (ตัน)
ภาคใต้	14	14,579,285	3,135,888
ภาคตะวันออก	7	2,224,194	409,166
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	20	4,891,748	670,560
ภาคเหนือ	10	878,519	92,005
ภาคกลาง	12	440,551	31,056
รวม	63	23,014,297	4,338,675

ที่มา: สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2560: เว็บไซต์)

ผลผลิตที่ได้รับของทั้งประเทศในช่วงปี 2559 อยู่ที่ 4.3 ล้านตัน ลดลงจาก 4.42 ล้านตัน ในปี 2558 หรือร้อยละ 2.71 ทั้งนี้ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นต้นยางพาราที่เริ่มกรีดได้เป็นปีแรก ยังให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำ มีพื้นที่ที่เปิดกรีดแล้วประมาณ 19.55 ล้านไร่ เพิ่มขึ้นจาก 18.81 ล้านไร่ ในปี 2558 คิดเป็นร้อยละ 3.78 ด้านการตลาด พบว่าความต้องการใช้ยางพาราของโลกอยู่ที่ 12.48 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี 2558 คิดเป็นร้อยละ 2.72 ตามความต้องการใช้ยางพาราในอุตสาหกรรมยานยนต์และอุตสาหกรรมต่อเนื่องของจีน ประเทศผู้ส่งออกยางพาราที่สำคัญได้แก่ ไทย โดยมีปริมาณการส่งออกอยู่ที่ 3.31 ล้านตัน ลดลงจาก 3.66 ล้านตัน ในปี 2558 หรือลดจรร้อยละ 9.56 สำหรับอินโดนีเซียมีปริมาณการส่งออก 2.54 ล้านตัน เวียดนาม 1.17 ล้านตัน และมาเลเซีย 0.99 ล้านตัน

สำหรับข้อมูลการใช้ยางพาราภายในประเทศนั้น พบว่ามีปริมาณการใช้อยู่ที่ 610,000 ตัน เพิ่มขึ้นจาก 600,491 ตันในปี 2558 หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.58 โดยการเพิ่มขึ้นก็เนื่องมาจากการขยายฐานการ

ผลิตของอุตสาหกรรมจากต่างประเทศ ทั้งอุตสาหกรรมยางล้อและอุตสาหกรรมแบบจุ่ม เช่น ถุงมือยาง และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560)

จากปริมาณความต้องการใช้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นบวกกับการขยายตัวของพื้นที่ในการปลูกยางพาราภายในประเทศ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการสร้างรายได้และความมั่นคงเกี่ยวกับชีวิตความเป็นอยู่ให้กับเกษตรกร โดยได้มีการจัดตั้งตลาดกลางยางพาราโดยให้มีการกระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ อันได้แก่ ตลาดกลางยางพารายะลา ตลาดกลางยางพาราสงขลา ตลาดกลางยางพารานครศรีธรรมราช ตลาดกลางยางพาราสุราษฎร์ธานี ตลาดกลางยางพาราบุรีรัมย์ และตลาดกลางยางพาราหนองคาย เพื่อเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมยางและกระจายผลผลิตยางพาราไปยังผู้ซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบตลาดท้องถิ่นกลับมีอิทธิพลต่อตลาดการซื้อขายยางพาราเป็นอย่างมาก นั่นคือเกษตรกรส่วนใหญ่จะนิยมขายยางพาราผ่านตลาดท้องถิ่น อันได้แก่ร้านค้าซึ่งกระจายอยู่ตามหมู่บ้าน ตำบลหรืออำเภอที่มีปริมาณการปลูกยางมาก ซึ่งการซื้อขายผ่านพ่อค้าคนกลางจะทำให้เกษตรกรถูกเอารัดเอาเปรียบและไม่ได้รับความเป็นธรรมในเรื่องราคา ทั้งนี้ ปริมาณการซื้อขายยางในบางครั้งเกษตรกรมีปริมาณยางที่จะขายน้อยการจะไปส่งยางพารายังตลาดกลาง ถือเป็นเรื่องไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากจะมีต้นทุนในการขนส่งยางพาราเข้ามาเกี่ยวข้อง ในทางกลับกันหากเกษตรกรบางรายมีปริมาณยางพาราที่จะขายในปริมาณมาก รถกระบะเพียงคันเดียวที่มีความสามารถบรรทุกได้เต็มที่ไม่เกิน 3 ตัน อาจไม่สามารถบรรทุกได้เพียงเที่ยวเดียวซึ่งจะส่งผลให้เกิดต้นทุนในการขนส่งอันเป็นการลดรายได้ที่ควรจะได้รับของเกษตรกร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งยางพาราจากผู้ขายแต่ละรายแยกตามแต่ละตำบล โดยยึดหลักการดำเนินงานของตลาดเครือข่ายเสมือนตลาดกลางยางพารา

ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกศึกษาและพัฒนาฮิวริสติกส์โดยการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายยางพาราและทำการจัดเส้นทางขนส่งยางพารามาจำหน่ายยังตลาดเครือข่าย โดยพิจารณาเลือกการจัดเส้นทางขนส่งบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งถือเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการปลูกยางสูงสุดของประเทศ ประกอบด้วย 7 จังหวัด คือ ปัตตานี ยะลา นราธิวาส สงขลา พัทลุง ตรังและสตูล ซึ่งคาดว่าผลจากการดำเนินงานวิจัยจะส่งผลให้เกษตรกรได้มีรายได้ที่เพิ่มขึ้น ทั้งยังสามารถประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายในเรื่องน้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางขนส่งยางพารามายังตลาดเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และเพื่อให้ค่าใช้จ่ายของทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุด

1.2.2 เพื่อศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมในการหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายยางพาราและการจัดเส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายยางพารา ให้มีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และเพื่อให้ค่าใช้จ่ายของทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่าย และการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างเท่านั้นประกอบด้วยจังหวัด ปัตตานี ยะลา นราธิวาส พัทลุง สงขลา ตรังและสตูล

1.3.2 การเลือกสถานที่ตั้งของตลาดเครือข่ายยางพาราจะเลือกจากตำแหน่งของผู้ขายยางพารา ที่จำแนกออกเป็นรายตำบล จำนวน 503 ตำบลในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง

1.3.3 การทดสอบและเปรียบเทียบคำตอบอาศัยการสร้างแบบจำลองและคำนวณด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ โดยไม่มีการทดสอบกับสถานที่และยานพาหนะจริง

1.3.4 ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics) และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristics) ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่ง

1.3.5 การจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราจะจัดในส่วน of ตลาดเครือข่ายที่ถูกเลือกและตลาดกลาง ยางพารากับผู้ขายที่จำแนกเป็นรายตำบลเท่านั้น โดยไม่มีการจัดเส้นทางระหว่างตลาดกลางยางพารา กับตลาดเครือข่าย

1.3.6 ขนาดความสามารถในการรับซื้อหรือปริมาณความจุของตลาดเครือข่ายมีจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาดเล็กความจุ 50 ตัน ขนาดกลางความจุ 100 ตัน และขนาดใหญ่ความจุ 200 ตัน โดยสามารถ เลือกเปิดได้ทั้ง 3 ขนาด ตามความเหมาะสม (ยกเว้นตลาดกลางยางพารามีขนาดความจุไม่จำกัด)

1.3.7 ขนาดความจุของรถขนส่งยางพารามีจำนวน 3 ขนาดคือ (1) รถบรรทุก 6 ล้อ น้ำหนัก บรรทุก 10 ตัน (2) รถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักบรรทุก 20 ตัน และ (3) รถบรรทุก 10 ล้อ และรถลากพ่วง น้ำหนักบรรทุก 25 ตัน ซึ่งสามารถเลือกขนาดของรถบรรทุกตามความเหมาะสม ในการจัดเส้นทางการขนส่งระหว่างผู้ขายกับตลาดกลางยางพารา และระหว่างตลาดเครือข่ายกับผู้ขายที่จำแนก ตามแต่ละตำบล

1.3.8 กำหนดช่วงเวลาในการส่งมอบยางพารามายังตลาดเครือข่ายและตลาดกลางก่อน การจัดการประมุลนั้นคือก่อนเวลา 14.00 น. เพื่อให้ทันกับความต้องการของผู้ซื้อหรือโรงงาน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาลักษณะของปัญหาที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและ การจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง

1.4.2 ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและ การจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราโดยการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์และวิธีเมตาฮิวริสติกส์ ในการแก้ปัญหา ตลอดจนการทำงานและการเขียนโปรแกรม Visual Studio 2013 และโปรแกรม Lingo

1.4.3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เช่น ข้อมูลปริมาณผลผลิตยางพาราของเกษตรกร ผู้ขายที่แยกตามแต่ละตำบลของพื้นที่จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง ขนาดความจุของรถบรรทุก ขนาดความจุ ของจุดรับซื้อยางพารา และระยะทางระหว่างผู้ขายแต่ละรายตามแต่ละตำบลและตลาดกลางยางพารา

1.4.4 สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematic Model) สำหรับแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่ง และการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

1.4.5 เขียนและทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้ด้วยโปรแกรม Visual Studio 2013 เพื่อหาคำตอบในการแก้ปัญหา และทำการเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ดีที่สุดกับโปรแกรม Lingo

1.4.6 คำนวณหาคำตอบการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายพร้อมทั้งการจัดเส้นทางขนส่งของผู้ขายยางพารามายังตลาดเครือข่าย

1.4.7 เปรียบเทียบระยะทางรวมของอัลกอริทึมที่ดีที่สุดกับโปรแกรม Lingo กรณีปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และปัญหาจริง

1.4.8 สรุปผลการวิจัยและเรียบเรียงผลงานทั้งหมดพร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้สถานที่ตั้งตลาดเครือข่าย และการจัดเส้นทางขนส่งยางพาราที่มีประสิทธิภาพและเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

1.5.2 ได้อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่าย และการจัดเส้นทางขนส่งยางพารา

1.5.3 สามารถนำวิธีการแก้ปัญหาที่ได้จากการวิจัยไปเผยแพร่ หรือเป็นฐานข้อมูลให้กับตลาดกลางยางพาราอื่น ๆ ในการตัดสินใจสำหรับการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางขนส่งยางพารา

1.5.4 เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับรัฐบาลโดยเฉพาะอย่างยิ่งกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในการตัดสินใจด้านการลงทุนและดำเนินการจัดตั้งตลาดเครือข่ายให้กับเกษตรกรต่อไปในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการและรวมถึงแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางของการขนส่งของยานพาหนะ (Location Routing Problem: LRP) มาใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับกรณีศึกษา การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสร้างความเข้าใจในปัญหา LRP และสามารถนำหลักการหรือวิธีการแต่ละอย่างมาปรับใช้ร่วมกันได้ ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

ในเบื้องต้นของบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางของการขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) เทคนิควิธีการในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง วิธีการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในงานวิจัยในลำดับต่อไป

2.1 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility Location Problem: FLP) มีความสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยในการเลือกสถานที่ตั้งเพื่อที่จะทำให้การประกอบธุรกิจเป็นไปอย่างคล่องตัว ซึ่งปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย ปัจจัยด้านวัตถุดิบ แรงงาน ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ลูกค้านำความสะดวกสาธารณะไปจนถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ชุมชน มาตรฐานค่าครองชีพ คุณภาพชีวิตของชุมชนและความปลอดภัยในชีวิตและครอบครัว เป็นต้น ดังนั้นการเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมมีวัตถุประสงค์ก็เพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะเวลาในการส่งมอบหรือบริการให้มีการใช้เวลาที่น้อยที่สุด อันเป็นการลดต้นทุนในการดำเนินงาน

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยทั่วไปเป็นปัญหาแบบเอ็นทีแบบยาก (NP-hard) Synder (2006) ซึ่งมีหลัก ๆ แยกได้ 4 ประเภทดังต่อไปนี้

2.1.1 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) คือปัจจัยนำเข้าเป็นค่าที่ทราบค่าแน่นอนและคงที่ เช่น ความต้องการของลูกค้า ตำแหน่งของลูกค้า ต้นทุนการขนส่ง เป็นต้น โดยปัญหาแบบดีเทอร์มินิสติก สามารถแบ่งตามวัตถุประสงค์ได้ดังต่อไปนี้

2.1.1.1 ปัญหาการปกคลุม (Covering Problem) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ลูกค้าสามารถเข้ารับบริการได้อย่างทั่วถึงด้วยระยะทางหรือระยะเวลาที่ยอมรับได้เพื่อให้ครอบคลุมความต้องการของลูกค้าทุกคนด้วยต้นทุนที่น้อยที่สุด (Set covering problem) และครอบคลุมความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด (Maximum covering problem)

2.1.1.2 ปัญหาระยะทางไกลที่สุด น้อยที่สุด (Minimax facility location problem) เป็นการเลือกสถานที่ตั้งที่เหมาะสมให้กับสถานีบริการ P แห่ง เพื่อให้ลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุดได้อยู่ใกล้สถานีบริการให้มากที่สุด Drezner and Wesolowsky (1980)

2.1.1.3 ปัญหาสถานที่ตั้งให้บริการแบบไม่พึงประสงค์ (Obnoxious facility location problem) คือตำแหน่งที่ตั้งของสถานบริการตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มลูกค้าและอาจเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมรอบด้าน รวมถึงสุขภาพของพนักงานที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนสถานที่ให้บริการได้รับประโยชน์ซึ่งไม่ยากที่จะอยู่ห่างจากลูกค้ามากเกินไป เช่น โรงไฟฟ้า โรงกำจัดขยะ หรือบ่อบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น Rana and Garg (2014)

2.1.1.4 ปัญหาระยะทางรวมน้อยที่สุด (Minisum facility location problem) เป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง P แห่งจากจำนวนสถานที่ตั้งที่สามารถเป็นไปได้ เพื่อให้มีระยะทางหรือเวลาในการขนส่งระหว่างสถานบริการกับลูกค้าทุกคนมีค่าน้อยที่สุด Dinler and Kemal (2016)

2.1.2 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบพลวัต (Dynamic) ปัญหาดังกล่าวนี้นำเข้าเป็นค่าที่ทราบแน่นอนแต่ไม่คงที่ สามารถปรับเปลี่ยนไปได้ตามกาลเวลา Jena, Cordeau and Gendron (2017)

2.1.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบสโตแคสติก (Stochastic) เป็นการเลือกสถานที่ตั้งจากปัจจัยนำเข้าที่มีค่าไม่แน่นอนซึ่งอยู่ในรูปแบบความน่าจะเป็น มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันไป เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงสภาพที่แท้จริงของปัญหานั้น ๆ เช่น ปัญหาการเลือกที่ตั้งของคลังสินค้าที่มีความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน และปัญหาการมอบหมายงาน Escudero et al. (2018) ส่วน Behmardi (2018) ได้กล่าวว่า การแก้ปัญหาสถานที่ตั้งที่มีความจุแบบพลวัตสำหรับสินค้าบริโภคในซัพพลายเชนที่มีความแตกต่างด้านเวลาและความต้องการของลูกค้าโดยความจุและตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลง เพื่อให้ห่วงโซ่อุปทานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการได้อย่างรวดเร็ว

2.1.4 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบโรบัสต์ (Robust) เป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโดยไม่ทราบค่าคงที่แน่นอนและไม่สามารถบอกได้ด้วยความน่าจะเป็น ซึ่งในการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะใช้ตัวชี้วัด 2 อย่างด้วยกันคือ ค่าการเสียโอกาสในการตัดสินใจผิดพลาด (Regret) และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น Coco, Santos and Noronha (2018)

สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งนี้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Hakimi (1964) เป็นการนำเสนอปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบ P -median problem ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นถึงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ได้ดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของแหล่งวัตถุดิบ โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, I$

j ลำดับของจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงาน โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, J$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

P เป็นจำนวนโรงงานที่จะเปิด

D_{ij} ระยะทางระหว่างโหนด i ไปยังโหนดที่ j

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าแหล่งวัตถุดิบ } i \text{ ส่งวัตถุดิบให้โรงงาน } j \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าจุดที่มีศักยภาพในการตั้งโรงงาน เปิดเป็นโรงงาน} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} Z = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J D_{ij} X_{ij} \quad (2.1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraint)

$$\sum_{j=1}^J X_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, I \quad (2.2)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.3)$$

$$\sum_{j=1}^J Y_j = P \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.4)$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.5)$$

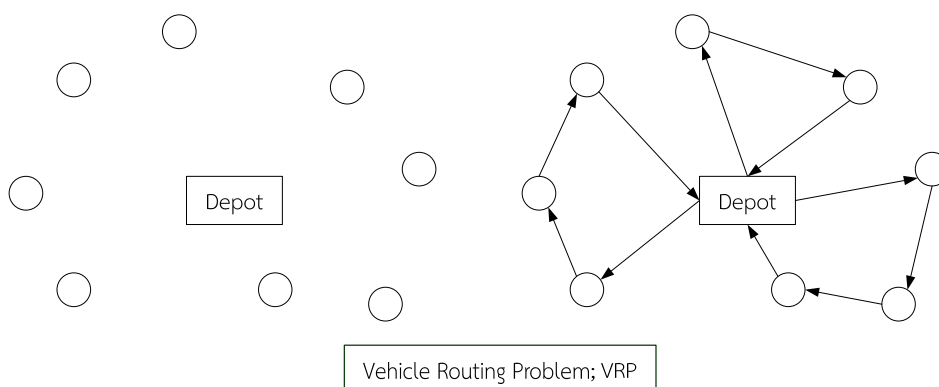
$$Y_j \in \{0, 1\} \quad j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (2.6)$$

โดยที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.1) เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำสุด สมการเงื่อนไขที่ (2.2) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบจะส่งวัตถุดิบให้กับโรงงานเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (2.3) เป็นการประกันว่าแหล่งวัตถุดิบ จะไม่ส่งวัตถุดิบให้โรงงานที่ไม่ได้เปิด สมการที่ (2.4) จำนวนโรงงานที่เปิดเท่ากับ P แห่ง และสมการเงื่อนไขสุดท้าย (2.5)-(2.6) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าระหว่างจุดกระจายสินค้า (Depot) ไปยังลูกค้าโดยใช้พาหนะในการขนส่ง เช่น การขนส่งของไปรษณีย์ การขนส่งของน้ำดื่ม การจัดเส้นทางรถเก็บขยะ ฯลฯ โดยมุ่งเน้นเพื่อหาเส้นทางที่

ดีที่สุดในการส่งสินค้าหรือวัตถุดิบไปยังลูกค้าทุกราย ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดในการดำเนินงาน ในส่วนของเวลาในการทำงานของพนักงาน ความจุของยานพาหนะ เวลาในการขนส่ง ระยะทางในการขนส่ง และจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ จะมุ่งเน้นในการขนส่งสินค้าตามจำนวนความต้องการที่กำหนดไปยังกลุ่มลูกค้าให้ครบถ้วน โดยมีเส้นทางรวมในการขนส่งที่สั้นที่สุดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่ามีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยทั่วไปปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะประกอบไปด้วย

2.2.1 กลุ่มลูกค้า (Set of Customer) ลูกค้าแต่ละรายจะถูกกำหนดให้อยู่กระจายในจุด (Node) ต่าง ๆ กัน และมีความต้องการรับหรือส่งสินค้าในจำนวนต่าง ๆ และในบางครั้งอาจมีการกำหนดความต้องการหรือด้านเวลาเพิ่มเข้าไป

2.2.2 ยานพาหนะ (Vehicle) รถบรรทุก เรือ เครื่องบิน หรือสิ่งที่เตรียมไว้สำหรับการขนส่งที่ใช้ในการให้บริการแก่ลูกค้า มีหน้าที่เดินทาง รับ-ส่งสินค้าระหว่างลูกค้าและคลังสินค้า ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการบรรทุก (Capacity) ซึ่งอาจกำหนดเป็นจำนวนชิ้นของสินค้าหรือน้ำหนักของสินค้าที่สามารถบรรทุกได้สูงสุดต่อยานพาหนะนั้น ๆ

2.2.3 คลังสินค้า (Depot) สถานที่เก็บสินค้า โรงงานของบริษัทผู้ผลิต หรือศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) เป็นสถานที่ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดในการเดินทางซึ่งหมายความว่า พาหนะทุกคันต้องออกเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปให้บริการลูกค้ายังจุดต่าง ๆ และกลับเข้าสู่จุดเดิมเมื่อให้บริการลูกค้าครบถ้วนแล้ว ซึ่งในปัญหาที่ซับซ้อนอาจกำหนดให้มีคลังสินค้าหลายจุดเพื่อให้บริการลูกค้าหลายกลุ่มได้

2.2.4 เส้นทาง (Routes) การมอบหมายว่าจะให้ยานพาหนะคันใดเดินทางไปยังจุดต่าง ๆ หรือลูกค้ารายใดบ้าง และเดินทางตามลำดับก่อนหลังอย่างไร ซึ่งประกอบไปด้วย เส้นทางการเดินทางย่อย (Sub-Route หรือ Tour) หลาย ๆ เส้นทางรวมกัน

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เช่น มีการกำหนดไว้ว่ายานพาหนะทุกคันจะต้องออกและกลับเข้าสู่โรงรถจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น (Single Depot) หรือยานพาหนะออกจากจุดหนึ่งจุดใดแต่อาจกลับเข้าสู่โรงรถจุดอื่น ๆ ได้ (Multi Depot) หรือแม้กระทั่งการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ให้บริการรถจำนวนเพียง 1 คันหรือจำนวนหลาย ๆ คัน

เวลาที่ให้บริการและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันอาจมีเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ โดยในงานวิจัยของ Toth and Vigo (2002) ได้แบ่งประเภทของปัญหา VRP ไว้ 9 ปัญหาด้วยกันดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่าง ๆ

รูปแบบปัญหา	ชื่อย่อ	ความหมาย
Capacitated VRP	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดเรื่องความจุของรถบรรทุก
VRP with Time Windows	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลาในการส่งสินค้า
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
VRP with Pickup and Delivery	VRPPD	VRP แบบมีการรับ-ส่งสินค้า
VRPPD with Time Window	VRPPDTW	VRP แบบมีการรับ-ส่งสินค้าและมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	VRP แบบมีช่วงเวลา
Split Delivery VRP	SDVRP	VRP แบบมีการแยกสินค้าออกส่งเป็นส่วน ๆ
Stochastic VRP	SVRP	VRP แบบมีความไม่แน่นอน

ปัญหา VRP เป็นปัญหาประเภท NP-hard โดยมีจุดเริ่มต้นจากบทความของ Dantzig and Ramser (1959) และมีนักวิจัยอีกจำนวนหนึ่งที่พัฒนาต่อ ๆ กันมาเรื่อย ๆ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกือบ 50 ปีมาแล้ว ยกตัวอย่างนักวิจัยที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนางานทางด้านปัญหา VRP เช่น Golden et al. (1977); Christofides et al. (1979); Laporte et al. (2000); Toth and Vigo (2000) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่าน ๆ มาพบว่าลักษณะของปัญหา VRP แสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานดังต่อไปนี้

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของเมืองที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, N$

j ลำดับของเมืองที่ j โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, N$

k ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ k โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, K$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

D_i ความต้องการสินค้าของลูกค้าที่ i โดยกำหนดให้ $D_1 = 0$

C_{ij} ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ i ไปยังลูกค้าที่ j

Q_k ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่งที่ k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีการเดินทางจากลูกค้า } i \text{ ไปลูกค้า } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

U_i = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary Variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min}Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^k \quad (2.7)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall j = \{2, 3, \dots, N\} \quad (2.8)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall i = \{2, 3, \dots, N\} \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ip}^k - \sum_{j=1}^N X_{pj}^k = 0 \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K, p = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^N D_i (\sum_{j=1}^N X_{ij}^k) \leq Q_k \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=2}^N X_{1j}^k \leq 1 \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.12)$$

$$\sum_{i=2}^N X_{i1}^k \leq 1 \quad \forall k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.13)$$

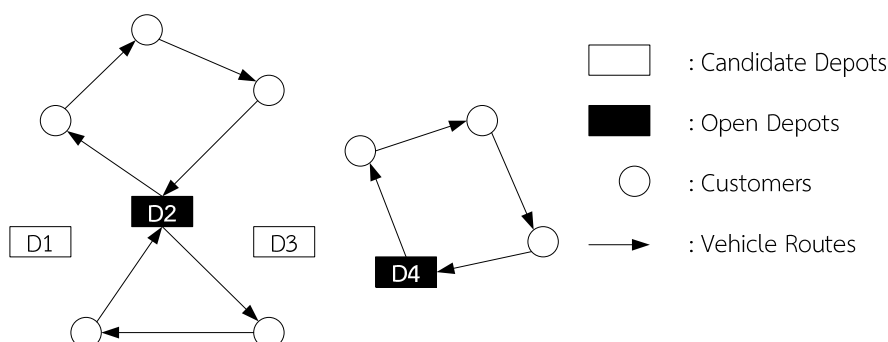
$$U_i - U_j + N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k \leq N - 1 \quad \forall i, j = 2, 3, \dots, N, i \neq j \quad (2.14)$$

$$X_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = 1, 2, 3, \dots, N, k = 1, 2, 3, \dots, K \quad (2.15)$$

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลัก (2.7) ต้องการหาเส้นทางที่ให้ค่าระยะทางรวมต่ำสุด สมการเงื่อนไขที่ (2.8) แสดงว่ามีจุดปลายทางใด ๆ จะมีจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น สมการ (2.9) แสดงถึงการเดินทางจากจุดเริ่มต้นใด ๆ จะมีจุดหมายปลายทางเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (2.10) แสดงความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทาง เมื่อยานพาหนะเดินทางเข้ามายังจุดใด ๆ แล้วต้องมีการเดินทางออกจากจุดนั้น สมการเงื่อนไขที่ (2.11) บังคับให้ความต้องการรวมของลูกค้าในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ สมการเงื่อนไขที่ (2.12) และ (2.13) ยืนยันว่ามียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด สมการเงื่อนไขที่ (2.14) เป็นการจำกัดการเกิดเส้นทางย่อย สมการและเงื่อนไขสุดท้าย (2.15) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี

2.3 ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง (Location Routing Problem: LRP) มีจุดประสงค์เพื่อเลือกสถานที่ตั้งและในขณะเดียวกันก็มีจุดประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งไปด้วย รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งจะมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วย โดยหากเราให้ลูกค้าทุกรายเชื่อมต่อกับโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้า ปัญหานี้ก็จะกลายเป็นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบมาตรฐาน แต่หากกำหนดที่ตั้งของโรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้า ตั้งแต่เริ่มต้นปัญหานี้ก็จะมีรูปแบบเป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 รูปแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง

จากรูปแบบปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีความซับซ้อน ซึ่งปัญหานี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาประเภท Nondeterministic Polynomial-Time Hard (NP-Hard) เนื่องจากการรวมปัญหา NP-Hard ทั้งสองปัญหาคือปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะรวมเข้าด้วยกัน Wu, Low and Bai (2002) ได้นำเสนอการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Perl and Daskin (1985) ซึ่งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหา LRP มีดังต่อไปนี้

ดัชนี (Index)

i จุดศูนย์กลางการกระจายสินค้า โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, I$

j ลูกค้าทั้งหมด โดยที่ $j = 1, 2, 3, \dots, J$

k ยานพาหนะทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่งสินค้า โดยที่ $k = 1, 2, 3, \dots, K$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

N จำนวนของลูกค้าทั้งหมด

C_{ij} ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j

G_i ต้นทุนคงที่ของการสร้างศูนย์กระจายสินค้า i

F_k ต้นทุนคงที่ของการใช้ยานพาหนะ k

V_i ความสามารถในการรองรับสินค้าของศูนย์กระจายสินค้า i

d_j ความต้องการของลูกค้า j

Q_k ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่ง k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากจุด } i \text{ ไปยังจุด } j \text{ บนเส้นทาง } k \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าศูนย์กระจายสินค้า } i \text{ ถูกสร้างขึ้น} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าลูกค้า } j \text{ ถูกกำหนดให้ได้รับการบริการจากศูนย์กระจายสินค้า } i \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$U_{lk} = \text{ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary Variable)}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min}Z = \sum_{i \in I} G_i Y_i + \sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in I \cup J} \sum_{k \in K} C_{ij} X_{ijk} + \sum_{k \in K} F_k \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \quad (2.16)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} = 1 \quad j \in J \quad (2.17)$$

$$\sum_{j \in J} d_i \sum_{i \in I \cup J} X_{ijk} \leq Q_k \quad k \in K \quad (2.18)$$

$$U_{lk} - U_{jk} + NX_{ijk} \leq N = 1 \quad i, j \in J, k \in K \quad (2.19)$$

$$\sum_{j \in I \cup J} X_{ijk} - \sum_{j \in I \cup J} X_{jik} = 0 \quad k \in K \quad (2.20)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ijk} \leq 1 \quad k \in K \quad (2.21)$$

$$\sum_{j \in J} d_j Z_{ij} - V_i Y_i \leq 0 \quad i \in I \quad (2.22)$$

$$-z_{ij} + \sum_{u \in I \cup J} (X_{iuk} + X_{ujk}) \leq 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.23)$$

$$X_{ijk} = 0, 1 \quad i \in I, j \in J, k \in K \quad (2.24)$$

$$Y_i = 0, 1 \quad i \in I \quad (2.25)$$

$$Z_{ij} = 0, 1 \quad i \in I, j \in J \quad (2.26)$$

$$U_{lk} \geq 0 \quad l \in J, k \in K \quad (2.27)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (2.16) คือผลรวมต่ำที่สุดจากผลบวกของต้นทุนคงที่ในการสร้างศูนย์กระจายสินค้า ต้นทุนการขนส่งและต้นทุนคงที่ในการใช้ยานพาหนะขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (2.17) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละคนสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการที่ (2.18) เป็นการกำหนดเงื่อนไขว่าปริมาณของสินค้าที่พาหนะคันนั้น ๆ รับผิดชอบจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกทุกสินค้า สมการที่ (2.19) เป็นสมการเงื่อนไขป้องกันการเกิดซ้ำหัวรถ สมการที่ (2.20) เป็นเงื่อนไขที่บังคับให้พาหนะขนส่งออกจากจุดใดต้องกลับเข้าจุดนั้น สมการที่ (2.21) พาหนะขนส่งแต่ละคันสามารถทำงานให้กับศูนย์กลางการจัดส่งพัสดุเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (2.22) เป็นเงื่อนไขด้านความสามารถในการรองรับความต้องการของลูกค้าของศูนย์กระจายสินค้า สมการที่ (2.23) เป็นการจัดสรรลูกค้าให้เข้าใช้บริการในศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงแห่งเดียว ส่วนสมการที่ (2.24)-(2.26) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี สมการเงื่อนไขสุดท้าย (2.27) เป็นตัวแปรสนับสนุนที่ต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น

2.4 วิธีการแก้ปัญหา (Solution Approach)

ในการหาคำตอบของปัญหา LRP ในอดีตจะใช้คนในการกำหนดสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางโดยใช้กลยุทธ์ที่ไม่ซับซ้อนในการเลือกและใช้การคำนวณที่ไม่ยุ่งยากมากนัก เนื่องจากปัญหามีขนาดไม่ใหญ่มากถึงยังมีความซับซ้อนไม่มากนัก โดยผลลัพธ์อยู่ในขอบข่ายที่ยอมรับได้ แต่ในปัจจุบันธุรกิจมีการเจริญเติบโตมากยิ่งขึ้น รูปแบบของปัญหาย่อมมีความซับซ้อน รวมทั้งปัญหามีขนาดใหญ่เกินที่ความสามารถของคนในการจัดเส้นทางเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม การพัฒนาโดยนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ทำให้เราสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ในเวลาที่สั้นลง และได้วิธีการที่มีประสิทธิภาพมาใช้ได้จริง ซึ่งการหาคำตอบของปัญหา LRP นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ (1) การหาคำตอบแบบ Exact Optimization และ (2) การหาคำตอบแบบ Heuristic Optimization โดยจุดเด่นของการหาคำตอบแบบ Exact Optimization จะได้คำตอบของผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องสร้างตัวแปรทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหา โดยจะใช้เวลาในการคำนวณที่สูงมากเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ส่วนวิธีการหาคำตอบแบบ Heuristic Optimization พบว่าจะได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบแบบ Exact Optimization

2.4.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Optimization)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะนั้นเป็นปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Problem) โดยคำตอบมักอยู่ในรูปจำนวนเต็ม (Integer) หรือเป็นเพียงได้แค่ 0 และ 1 เท่านั้น นั่นคือ ถ้ายานพาหนะที่จะไป ($x=1$) หรือถ้าไม่ไป ($x=0$) เท่านั้น

วิธีการหนึ่งที่จะทราบได้ว่าทางเลือกใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ของปัญหาคือการลองแทนค่าตัวแปรจนครบทุกทางเลือกที่เป็นไปได้แล้วเปรียบเทียบเลือกคำตอบที่ดีที่สุด เรียกว่า การแจกแจงแบบครบถ้วน (Complete Enumeration) ซึ่งต้องใช้เวลาในการแทนค่าที่ละคำตอบ โดยเฉพาะถ้าปัญหามีขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานมาก ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหา วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่องนี้ มีเทคนิคที่นำมาใช้แก้ปัญหาได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

2.4.1.1 วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound) ซึ่งจะอาศัยการแตกทางเลือกของปัญหาออกเป็นแผนภูมิต้นไม้ (Decision Tree) และหลีกเลี่ยงการแผ่ขยายของ Node ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการตัด Node (หรือเรียกว่า Pruning) ทางเลือกที่ให้คำตอบขัดแย้งกับเงื่อนไข (Infeasible Solution) หรือทางเลือกที่จะให้คำตอบที่ไม่ดีไปกว่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบในปัจจุบันออก ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ใช้เวลาในการคำนวณมากเกินไป ซึ่งวิธี Branch and Bound สามารถนำไปแก้ปัญหาอื่น ๆ ได้หลายรูปแบบ เช่น Integer Programming หรือ Binary Integer Programming เป็นต้น แต่ข้อด้อยของวิธีนี้มีการใช้เวลาในการคำนวณที่นานมาก จึงไม่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่

2.4.1.2 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม LINGO ซึ่งเป็น Software หนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจรูปแบบต่าง ๆ ทั้งปัญหาเชิงเส้นตรง (Linear Programming) และปัญหาที่ไม่เป็นเส้นตรง (Non-Linear Programming) ซึ่งถูกคิดค้นโดยบริษัท LINDO System ประเทศสหรัฐอเมริกา หลักการทำงานของโปรแกรมนี้อาจเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาได้โดยตรงหรือเขียนในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ทั่วไปได้ โดยเบื้องต้นต้องทำการกำหนดตัวแปรในการตัดสินใจ กำหนดฟังก์ชัน

วัตถุประสงค์ กำหนดฟังก์ชันข้อจำกัด ทำการ Implement แบบจำลองลงบน Model Window ในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นจะใช้คำสั่ง Solver เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

2.4.1.3 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม CPLEX ซึ่งเป็น Software ที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหา Optimization โดยเป็นการคิดค้นของ Robert E. Bixby ในปี 1997 โดย CPLEX เกิดจากการผสมคำระหว่าง คำว่า Simplex และภาษา C โปรแกรม CPLEX เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ต้องการคำตอบเป็นจำนวนเต็ม (Integer Programming) และปัญหาเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ที่มีขนาดใหญ่

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะเป็นปัญหา NP-hard ทางเลือกของคำตอบมีความเป็นไปได้มากมายมหาศาล หากพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานในการหาคำตอบซึ่งไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการแก้ปัญหา จึงได้ใช้วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด (Near Optimal Solution) ซึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (MetaHeuristic)

2.4.2 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Optimization)

ฮิวริสติกเป็นวิธีการค้นหาผลเฉลยของปัญหาภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสมและไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขทุกเงื่อนไขที่กำหนด โดยทั่วไปวิธีฮิวริสติกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบของแต่ละปัญหาเท่านั้น จึงไม่สามารถนำไปใช้หาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ในบางครั้งปัญหาการตัดสินใจที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นอาจไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ เพราะปัญหานั้นมีตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนมาก ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยโลจิสติกส์ เช่น วิธี Saving วิธี Matching Based วิธี Nearest Neighbor วิธี Nearest Insertion และวิธี Local Search เป็นต้น

2.4.2.1 วิธี Nearest Neighbor เป็นวิธีการค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้กับจุดส่งสินค้าจุดสุดท้ายมากที่สุด โดยมีปริมาณความต้องการสินค้าไม่เกินความจุของรถขนส่งสินค้า ถ้าปริมาณความต้องการสินค้าของจุดส่งสินค้าเกินความจุของรถขนส่งสินค้า ก็จะเริ่มใช้รถขนส่งสินค้าคันใหม่ โดยความใกล้เคียงพิจารณาจากระยะทางหรือระยะเวลาในการขนส่งสินค้าได้ตามแต่ความเหมาะสม ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (1) กำหนดจุดเริ่มต้นหรือคลังสินค้าเป็นจุดอ้างอิงในการค้นหาเส้นทางขนส่ง จากนั้นค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด (2) เลือกจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด เพื่อทำการรวมเข้าสู่เส้นทางหลัก จากนั้นปรับให้จุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป (3) ค้นหาจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับจุดอ้างอิงสุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาความต้องการสินค้านรวมของเส้นทางกับจุดส่งสินค้าที่ถูกเลือก ถ้าความต้องการสินค้านรวมไม่เกินความจุของรถบรรทุกให้รวมจุดส่งสินค้าที่ถูกเลือกเข้ากับเส้นทางหลัก แล้วปรับจุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป (4) หากความต้องการสินค้านรวมเกินความจุของรถบรรทุกให้ทำการปิดเส้นทางหลักนั้น จากนั้นตรวจสอบว่ายังมีจุดส่งสินค้าใดที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางหรือไม่ ซึ่งหากยังมีจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ทำการวนซ้ำขั้นที่ 1, 2 และ 3 อีกครั้งจนกว่าจุดส่งสินค้าทุกจุดจะถูกจัดเข้าเส้นทาง

2.4.2.2 วิธี Nearest Insertion เป็นวิธีการสร้างทัวร์ที่มีขั้นตอนการสร้างคือ ค้นหาจุดลูกค้า k ที่ค่า C_{ik} น้อยที่สุดหรืออยู่ใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด จากนั้นสร้างเส้นทางย่อย (Sub Tour) ที่ประกอบด้วยจุดลูกค้า k เพียงจุดเดียวคือ $i-k-i$ จากนั้นค้นหาจุดลูกค้า p ถัดไปที่ไม่ได้อยู่ใน

เส้นทางย่อย โดยค้นหาเส้นเชื่อม (i, j) ในเส้นทางย่อยที่มีค่า $C_{ip} + C_{pj} = C_{ij}$ น้อยที่สุดแล้วแทรก p อยู่ระหว่าง i และ j ทำซ้ำจนกว่าจุดทุกจุดจะอยู่ในเส้นทาง

2.4.2.3 วิธี Arbitrary Insertion Heuristic หลักการวิธีมี Rosenkratz, Stearns and Lewis เป็นผู้วิเคราะห์และศึกษาในปัญหา TSP ใช้ในการสร้างเส้นทางขนส่งเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดี ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (1) การสร้างเส้นทางโดยสุ่มครั้งละ 1 จุด ที่รถต้องหยุดส่งหรือรับสินค้า (2) พิจารณาแทรกจุดนี้เข้าอยู่ระหว่าง 2 จุดที่สุ่ม และ (3) พิจารณาก่อนหน้านี้ที่จะทำให้เกิดระยะทางเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด

2.4.2.4 วิธี Saving เป็นวิธี Constructive ชนิดหนึ่งที่ถูกนำเสนอโดย Clarke และ Wright ในปี 1964 นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติเพราะเป็นวิธีที่ง่ายให้คำตอบที่ตรงไปตรงมา แม้ว่าวิธีนี้จะไม่ประกันถึงการได้คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม สำหรับปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก วิธี Saving ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ซึ่งเราสามารถคำนวณหาคำตอบได้โดยปราศจากการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเพียงแค่อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพียงเล็กน้อย ในหลายครั้ง วิธี Saving จะถูกนำมาใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกมาตรฐานอื่น ๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาแบบทาบ (Tabu Search) และวิธีการอบอ่อน (Simulation Annealing) เป็นต้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการหาคำตอบให้มากยิ่งขึ้น เราสามารถประยุกต์ใช้วิธี Saving ในการหาคำตอบได้เช่นกัน ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้ (1) สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีลูกค้าเพียงจำนวน 1 ลูกค้าเท่านั้น (2) คำนวณค่าความประหยัด (Saving) (3) รวมเส้นทางที่มีค่า Saving สูงสุดเข้าด้วยกัน (4) ตรวจสอบเงื่อนไขน้ำหนักบรรทุกสินค้าของพาหนะกรณีมีการรวมลูกค้าเข้าด้วยกัน และ (5) รวมเส้นทางจนครบทุกจุดของลูกค้า

2.4.2.5 วิธี Route-First-Cluster-Second Heuristic วิธีการนี้จะหาเส้นทางเดินรถก่อน แล้วจึงแบ่งกลุ่มลูกค้า โดยขั้นแรกจะเป็นการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถคันเดียวที่สามารถผ่านได้ทุกจุดในโครงข่าย ซึ่งจะเรียกเส้นทางดังกล่าวว่า Giant Tour แต่เนื่องจากรถเพียงคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดใน Giant Tour ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้ ดังนั้น ในขั้นตอนที่สองจึงต้องแบ่ง Giant Tour ออกเป็นเส้นทางขนส่งย่อย ๆ ซึ่งแต่ละเส้นทางย่อยจะใช้รถหนึ่งคัน ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (1) ใช้วิธี TSP วิธีใดก็ได้สร้างเส้นทางที่ผ่านทุกโหนดรวมทั้ง Depot ด้วย (2) เริ่มที่ Depot เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางเมื่อเจอ Demand ก็รวมน้ำหนักไปเรื่อย ๆ จนเต็มความจุ (Capacity) ของรถ (3) กลับไป Depot หาก Demand เต็มความจุของรถ (4) ทำต่อไปจนครบทุกโหนด และ (5) ใช้วิธีการ TSP ทำการแยกกลุ่มลูกค้า และหาระยะทางที่สั้นที่สุด

2.4.2.6 วิธี Sweep Heuristic เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการกำหนดทิศทางด้วยการหมุน ด้วยเส้นสมมุติในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและรวมปริมาณสินค้าของลูกค้าแต่ละรายด้วยวิธีการกวาดจนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้เคียงความจุของยานพาหนะจึงเปลี่ยนยานพาหนะใหม่จนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบตามจำนวนลูกค้า ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ (1) เลือกโหนดเริ่มต้นไม่รวม Depot โดยพิจารณาเลือกโหนด i ที่อยู่ใกล้ Depot มากที่สุด (2) กวาดรวมลูกค้าในทิศทางตามเข็มนาฬิกาแล้วรวม Demand แต่ Demand ต้องไม่เกินความจุของรถตามที่กำหนด (3) ทำต่อไปเรื่อย ๆ จนครบทุกโหนดและ (4) ใช้วิธีการ TSP เพื่อจัดเส้นทางของลูกค้าแต่ละคัน

2.4.2.7 วิธี Cluster first-route second วิธีการนี้จะแก้ปัญหาเส้นทางโดยทำการสร้างกลุ่มลูกค้าขึ้นก่อนแล้วจึงสร้างเส้นทางเดินรถโดยให้ผ่านจุดของกลุ่มลูกค้าทั้งหมดในกระบวนการแรก ซึ่งเป็นกระบวนการของการสร้างกลุ่มลูกค้าขึ้น มีขั้นตอนในการสร้างกลุ่มลูกค้าอยู่ 2 ขั้นตอนคือ (1) กำหนดจุดลูกค้า 1 จุดให้เป็น Seed Point หรือจุดตั้งต้น โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกจุดใดเป็น Seed Point นั้น ให้ทำการเลือกจากหลักเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เป็นจุดที่อยู่ใกล้จากคลังสินค้ามากที่สุด (Nearest from Depot) เป็นจุดที่อยู่ไกลจากคลังสินค้ามากที่สุด (Farthest from Depot) หรือ เป็นจุดที่มีสิทธิพิเศษสูงที่สุด (Highest Priority) และ (2) การเพิ่มจุดลูกค้าอื่น ๆ เข้าสู่กลุ่ม (Cluster) ให้ครบตามความจุของรถบรรทุกสินค้าโดยลูกค้าที่ถูกเพิ่มเข้าสู่กลุ่มลูกค้าขึ้นจะถูกพิจารณาจาก ความใกล้ (Nearest Neighbor or Nearest Insertion) หรือความประหยัด (Saving)

2.4.3 วิธีการหาคำตอบแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Optimization)

วิธีเมตาฮิวริสติกมีลักษณะคล้ายกับวิธีฮิวริสติกในแง่ของความอิสระในการออกแบบขั้นตอนการแก้ปัญหา เป็นการหาคำตอบที่ไม่ได้มุ่งเน้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) แต่เน้นการหาคำตอบที่มีค่าดีเพียงพอในเวลาที่ไม่มากจนเกินไป วิธีเมตาฮิวริสติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจ (Optimization Problem) ได้หลากหลายกว่าวิธีฮิวริสติกซึ่งจะแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งแบบเฉพาะเจาะจงเท่านั้น ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกที่นิยมใช้มีดังนี้

2.4.3.1 วิธี Tabu Search เป็นการค้นหาคำตอบในกรณีที่มีข้อห้ามเกิดขึ้นมา เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ที่ต่างจากเดิม กระบวนการทำงานของการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) คือในแต่ละรอบการทำงานปัจจุบัน เมื่อสิ้นสุดการทำงานและพร้อมที่จะไปทำงานในรอบทำงานถัดไป จะเลือกผลเฉลยบริเวณใกล้เคียงที่มีคะแนนสูงที่สุดจากฟังก์ชันประเมินผลที่กำหนดขึ้น แล้วเคลื่อนย้ายจากผลเฉลยปัจจุบันไปแก้ปัญหาของผลเฉลยบริเวณใกล้เคียงจนกระทั่งพบเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือเข้าเงื่อนไขจบการทำงานจึงหยุดการค้นหา ผลเฉลยที่ถูกแก้และยอมรับแล้วในรอบการทำงานปัจจุบันจะถูกบันทึกไว้ในรายการต้องห้าม (Tabu List) โดยในการแก้ปัญหาในรอบถัดไปจะรวมการพิจารณาผลจากรายการต้องห้าม ซึ่งเป็นผลเฉลยจากเส้นทางที่ได้เคลื่อนที่ผ่านมาแล้ว และหลีกเลี่ยงไม่พิจารณาปัญหาซ้ำอีกครั้ง เพราะจะทำให้เกิดวังวนและไม่สามารถทำงานได้จบ เป็นการบังคับให้แผ่ขยายขอบเขตการค้นหาไปยังพื้นที่ในส่วนที่ยังไม่ได้รับการค้นหา

2.4.3.2 วิธี Ant Colony Optimization (ACO) เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของการหาอาหารของมดในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร โดยใช้ฟีโรโมน (Pheromone) ที่มีดวงไว้ระหว่างทางเพื่อใช้ในการสื่อสารทางอ้อมกับมดตัวอื่นในฝูง ในระหว่างการเดินทางหากเจอสิ่งกีดขวางมดแต่ละตัวจะตัดสินใจเลือกเส้นทางเลี้ยวอย่างสุ่ม สมมติว่ามีสองเส้นทางที่เลี้ยวได้ ในช่วงแรกปริมาณของฟีโรโมนบนสองเส้นทางจะมีปริมาณเท่ากัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปเส้นทางที่ใกล้กว่าจะมีปริมาณของฟีโรโมนที่มากกว่า เนื่องจากใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ไกล โดยธรรมชาติของมดจะชอบเดินตามกลิ่น ฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้น จึงทำให้มดตัวอื่นที่เดินตามหลังมาเลือกเดินในเส้นทางที่ใกล้กว่านั่นเอง

2.4.3.3 วิธี Simulation Annealing (SA) เป็นการจำลองการอบอ่อน ซึ่งอาศัยแนวคิดในการค่อย ๆ เย็นตัวลงของวัตถุจนถึงจุดที่ดีที่สุด เป็นการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม ซึ่งเลียนแบบกรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นลงช้า ๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทาง

โครงสร้างผลึกที่มีพลังงานภายในน้อยที่สุด การจำลองการอบเหนียวอาจมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในบางกรณีได้ดีกว่าการแจกแจงจนกว่าจะได้คำตอบ (Exhaustive Enumeration) หากว่าเป้าหมายเป็นเพียงแค่การหาคำตอบที่จะมาแก้ปัญหาได้ดีในเวลาที่จำกัด ไม่ใช่เพื่อการหาวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.4.3.4 วิธี Genetic Algorithm (GA) เป็นการเลียนแบบวิวัฒนาการของพันธุกรรมในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีไว้ ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับการค้นหาผลเฉลย (Solutions) หรือคำตอบโดยประมาณของปัญหา โดยอาศัยหลักการจากทฤษฎีวิวัฒนาการจากชีววิทยา และการคัดเลือกตามธรรมชาติ (Natural Selection) นั่นคือสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมที่สุดจึงจะอยู่รอด กระบวนการคัดเลือกได้เปลี่ยนแปลงสิ่งมีชีวิตให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วยตัวปฏิบัติการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) เช่น การสืบพันธุ์ (Inheritance or Reproduction) การกลายพันธุ์ (Mutation) และการแลกเปลี่ยนยีน (Recombination) เป็นต้น

2.4.3.5 วิธี Differential Evolution (DE) ในวิธีการค้นหาที่ยึดตามหลักประชากร การวิวัฒนาการจะเริ่มสุ่มประชากรเริ่มต้น ในขนาด N ของเวกเตอร์มิติ D การแก้ไขปัญหาคือการวิวัฒนาการอัลกอริทึมที่จะไปแทนที่มิติของเวกเตอร์ D ซึ่งค่าของแต่ละตัวแปรแต่ละตัวในพื้นที่ของมิติจะถูกแสดงเป็นเลขในระบบจำนวนจริง เบื้องหลังใจความสำคัญของการวิวัฒนาการนี้ คือกลไกใหม่สำหรับการสร้างเวกเตอร์ของการทดลองการวิวัฒนาการจะสร้างเวกเตอร์การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงและมองข้ามหลักการดำเนินงาน จากนั้นทดแทนการดำเนินงานเฉพาะรายบุคคลที่เราเรียกว่า การดำเนินการคัดเลือกที่เกิดขึ้นเมื่อเวกเตอร์การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเวกเตอร์ที่สอดคล้องกัน กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการอีกครั้งจนกว่าจะมีเกณฑ์บ่งชี้ให้มีการหยุด ทั้งนี้การวิวัฒนาการของประชากรก็จะถูกดำเนินการโดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ขั้นตอนหลัก ซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์ ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ และการคัดเลือก

2.4.3.6 วิธี Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นวิธีหนึ่งที่มีนวัตกรรมการพัฒนาของสิ่งมีชีวิต เช่น การใช้ชีวิตร่วมกันของฝูงนกหรือกลุ่มปลา สำหรับวิธี PSO นั้น สมาชิกแต่ละตัวในกลุ่มถูกเรียกว่า Particle ในขณะที่กลุ่มถูกเรียกว่า Swarm สมาชิกในกลุ่มจะมีการกระจายการเคลื่อนที่ออกไปในพื้นที่ต่าง ๆ สมาชิกแต่ละตัวเปรียบเสมือนตัวแทนในการค้นหาคำตอบเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของแต่ละ Particle มีแนวโน้มดึงดูดในการค้นหาคำตอบเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด (Best position) ทั้งจากตัวของมันเองและสมาชิกที่อยู่ใกล้เคียงกัน หลังจาก que สมาชิกทุกตัวในกลุ่มได้ตำแหน่งครบแล้ว สมาชิกที่ได้ตำแหน่งหรือคำตอบที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Global best) ส่วนตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิกที่ค้นหาได้ในรอบนั้น ๆ จะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิก (Particle Best)

นอกจากนี้ยังมีวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) อีกหลายวิธี ได้แก่ การเปลี่ยนพื้นที่ใกล้เคียงในการค้นหา โดยจะเปลี่ยนแปลงพื้นที่ในการค้นหาคำตอบไปหลาย ๆ พื้นที่ เช่น วิธี Very Large Scale Neighborhood (VLSN) เป็นต้น วิธีการสร้างคำตอบแบบไม่เป็นประชากรคือมีการสร้างคำตอบออกมาเพียงคำตอบเดียวในการค้นหาแต่ละรอบ เช่น วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) และวิธี Iterated Local Search เป็นต้น และวิธีที่มีสมการ

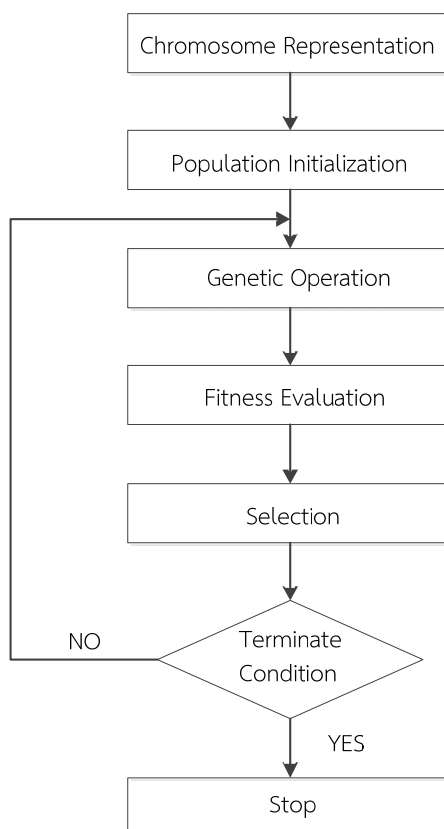
เป้าหมายเปลี่ยนไป เป็นวิธีการที่จะมีการใช้สมการเป้าหมายที่เปลี่ยนไปเพื่อให้ได้คำตอบใหม่ ๆ ในการคำนวณ เช่น วิธี Guided Local Search เป็นต้น

2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการหาคำตอบโดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ได้ถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณปี 1975 โดย John Holland แนวคิดของวิธีนี้เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural evolution) ตามคำกล่าวของนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Charles Dawin “เผ่าพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ (Survival of the fittest)” ดังนั้นวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) นั้นก็เป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจอันหนึ่งที่เลียนแบบลักษณะของการวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm) โดยตั้งอยู่บนแนวความคิดของการเลือกเผ่าพันธุ์ธรรมชาติ (Natural Selection) และวิธีการทางพันธุกรรม (Genetics) นอกจากนี้วิธีเชิงพันธุกรรมอาจถูกพิจารณาว่าเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีความฉลาดมากขึ้น (Intelligent search)

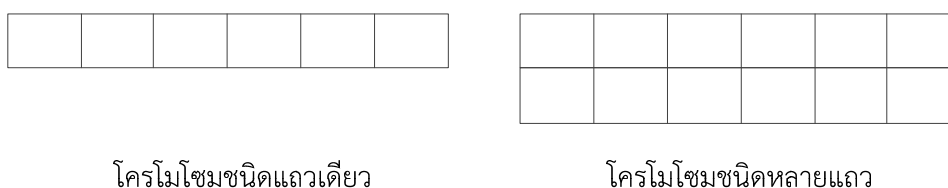
เนื่องจากวิธีทางพันธุกรรมนี้เลียนแบบวิธีทางพันธุกรรมทางธรรมชาติได้อย่างค่อนข้างสมเหตุสมผลค่อนข้างดูน่าเชื่อถือ จึงนับได้ว่าวิธีนี้ค่อนข้างแพร่หลายและถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย อาทิ เช่น การแยก DNA ในวงการแพทย์ การออกแบบขั้นตอนการตกผลึกทางอุตสาหกรรมเคมี การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์ การแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์ เป็นต้น เหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งซึ่งเหมือนกับวิธี SA และวิธีทาบูน นั่นก็คือ วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมนี้มีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นมาก (Generalization) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใด ๆ ได้ทันที

สำหรับขั้นตอนการทำงานหลักของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยทั่วไปประกอบด้วยการกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization) กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operations) การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) และการคัดเลือก (Selection) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลำดับวิธีการเชิงพันธุกรรม

2.5.1 การกำหนดรูปแบบโครโมโซม (Chromosome Representation) กำหนดโครโมโซมให้เหมาะสมกับปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยการกำหนดโครโมโซมมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ ชนิดแบบแถวเดียวและชนิดแบบหลายแถว ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 รูปแบบของโครโมโซม

2.5.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Population Initialization) เพื่อนำไปใช้ในการเริ่มต้นการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยการหาคำตอบเริ่มต้นสามารถหาได้หลายวิธีไม่ว่าจะใช้คำตอบจากโปรแกรมหรือใช้วิธีสุ่มในการหาคำตอบเพื่อเป็นประชากรเริ่มต้น

การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งก่อนที่จะดำเนินการในขั้นตอนอื่นต่อไปในขั้นตอนเชิงพันธุกรรมจำเป็นต้องผ่านการเข้ารหัสโครโมโซมก่อน ซึ่งการเข้ารหัสนั้นสามารถเข้าได้หลายรูปแบบ เช่น เลขฐานสอง จำนวนเต็ม

ค่าของข้อมูล หมายเลขลำดับ หรือสัญลักษณ์เฉพาะ ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการเข้ารหัสการจัดเส้นทาง การเดินรถโดยเข้ารหัสเป็นหมายเลขดังภาพที่ 2.5

โครโมโซม A =	4	3	1	6	5	2
--------------	---	---	---	---	---	---

ภาพที่ 2.5 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม

2.5.3 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operations) จะมีกิจกรรมอยู่ 2 ขั้นตอนคือการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ในขั้นนี้จะเป็นกระบวนการค้นหาและแลกเปลี่ยนผลคำตอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดีขึ้น ซึ่งขั้นตอนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ มีขั้นตอนและวิธีการอยู่หลายแบบ

2.5.3.1 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการดำเนินการร่วมระหว่าง 2 โครโมโซม (โครโมโซม พ่อ แม่) เพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ (โครโมโซมลูก) โดยทั่วไปการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ไม่ควรเกิดกับประชากรทั้งหมด โดยโอกาสในการเกิดจะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็น (Crossover Probability) ซึ่งโดยปกติช่วงความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์จะอยู่ที่ 0.7-0.9 และวิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์มีหลากหลายวิธีสามารถยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้

1) การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point

วิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธีนี้ถูกคิดค้นโดย Murata, Ishibuchi and Tanaka (1996) ซึ่งวิธีการดำเนินการจะเริ่มต้นโดยการนำโครโมโซมพ่อและแม่ ทำการสุ่มตัด 1 จุดตัดโครโมโซมออกเป็น 2 ส่วน (แทนจุดตัดด้วยสัญลักษณ์ “ | ”) โดยขั้นตอนการแลกเปลี่ยนขั้นแรกในการทำการแลกเปลี่ยนจะสุ่มจุดตัดซึ่งจุดตัดสมาชิกพ่อและแม่ต้องมีจุดตัดที่ตรงกันดังภาพที่ 2.6

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

ภาพที่ 2.6 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point กำหนดจุดตัด

หลังจากนั้นทำการส่งผ่านยีนในช่วงที่ทำการตัดจากโครโมโซม P1 ไปยังโครโมโซม O1 และจากโครโมโซม P2 ไปยังโครโมโซม O2 และแทนค่าส่วนช่วงที่ยังไม่ได้รับการส่งผ่านยีนด้วยเครื่องหมาย X ดังแสดงในภาพที่ 2.7

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

ภาพที่ 2.7 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่ถูกตัด

เมื่อได้ส่งผ่านยีนชั้นแรกเสร็จแล้วพิจารณาจากพ่อแม่ โดยการตัดยีนที่มีค่าซ้ำในส่วนที่ลูกได้รับได้ถ่ายทอดไปแล้วออก และถ่ายทอดที่เหลือไปยังรุ่นลูกที่ได้กำหนดไว้ในโครโมโซม P1 จะตัดค่าที่โครโมโซม O2 ได้รับถ่ายทอดไปแล้ว และโครโมโซม P2 จะตัดค่าที่โครโมโซม O1 ได้รับถ่ายทอดไปแล้วตามภาพที่ 2.8

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

ภาพที่ 2.8 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ทำการตัดตัวที่ซ้ำ

ทำการถ่ายทอดยีนที่ทำการพิจารณาและตัดค่าที่ซ้ำออกไปแล้วไปยังรุ่นลูกในส่วนที่ยังไม่ได้รับค่า ดังแสดงในภาพที่ 2.9

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

ภาพที่ 2.9 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point ถ่ายทอดยีนที่ตัดตัวซ้ำ

ผลการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธี One point จากโครโมโซม พ่อและแม่ที่ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์เป็นไปตามภาพที่ 2.10

พ่อ	1	5	|	3	2	6	4
แม่	2	4	|	6	3	1	5
ลูก 1	1	5	|	2	4	6	3
ลูก 2	2	4	|	1	5	3	6

ภาพที่ 2.10 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point

2) การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two Point

วิธีการ Two point ได้ถูกนำเสนอพร้อม ๆ กับ One point โดย Murata Ishibuchi and Tanaka (1996) ซึ่งวิธีนี้จะทำการนำโครโมโซมของพ่อและแม่ มาทำการสุ่มตัด 2 จุด (แทนจุดตัดด้วยสัญลักษณ์ “ | ”) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ทำการตัดสมาชิกในรุ่นพ่อแม่ต้องมีจุดตัดที่ตรงกันดังภาพที่ 2.11

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

ภาพที่ 2.11 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point กำหนดจุดตัด

เมื่อทำการตัดเสร็จแล้วทำการส่งผ่านยีนที่อยู่นอกการตัด ไปยังรุ่นลูกจากโครโมโซม P1 ไปยังโครโมโซม O1 และจากโครโมโซม P2 ไปยังโครโมโซม O2 และแทนค่าส่วนช่วงที่ยังไม่ได้รับการส่งผ่านยีนด้วยเครื่องหมาย X ดังภาพที่ 2.12

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

ภาพที่ 2.12 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

หลังจากนั้นมาพิจารณายีนพ่อ และแม่ ตัดยีนที่ซ้ำกับที่ลูกได้รับไปแล้วโดยโครโมโซม P1 พิจารณาที่โครโมโซม O2 และโครโมโซม P2 พิจารณาที่โครโมโซม O1 ดังภาพที่ 2.13

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

ภาพที่ 2.13 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ทำการตัดตัวที่ซ้ำ

ทำการถ่ายทอดยีนที่ได้ทำการตัดค่าเรียบร้อยแล้วไปยังรุ่นลูกในส่วนที่ยังไม่ได้รับการถ่ายทอดตามภาพที่ 2.14

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

ภาพที่ 2.14 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point ถ่ายทอดยีนที่ทำการตัดแล้ว

ภาพรวมการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point จากโครโมโซมพ่อและแม่ เมื่อทำการแลกเปลี่ยนแล้วได้โครโมโซมลูก 1 และ 2 ดังภาพที่ 2.15

พ่อ	1	5	3	2	6	4
แม่	2	4	6	3	1	5
ลูก 1	1	2	6	3	5	4
ลูก 2	2	1	3	6	4	5

ภาพที่ 2.15 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Two point

3) การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX)

วิธีการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover ได้ถูกคิดค้นและนำเสนอโดย Goldberg and Lingle (1985) ในการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์วิธีนี้จะเริ่มต้นจากการสุ่มเลือกจุดตัดมา 2 จุด (แทนจุดตัดด้วยสัญลักษณ์ “ | ”) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ทำการตัดสมาชิกในรุ่นพ่อและแม่ต้องมีจุดตัดที่ตรงกัน ดังภาพที่ 2.16

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

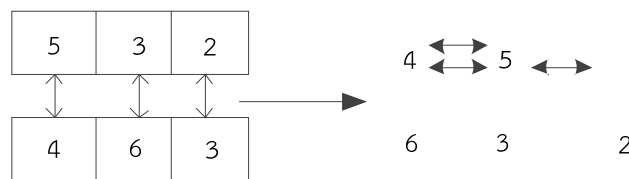
ภาพที่ 2.16 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) กำหนดจุดตัด

ทำการสลับยีนที่อยู่ในช่วงการตัดของโครโมโซม P1 และโครโมโซม P2 เพื่อสร้างรุ่นลูก ดังแสดงในภาพที่ 2.17

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

ภาพที่ 2.17 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) แลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ในช่วงการตัด

พิจารณายีนในส่วนที่ทำการสลับกันของโครโมโซม P1 และโครโมโซม P2 สามารถแสดงความสัมพันธ์ให้เห็นได้ตามภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) สร้างรูปภาพความสัมพันธ์

พิจารณายีนที่โครโมโซม O1 และโครโมโซม O2 ถ้ายีนที่ไม่ได้อยู่ในช่วงการตัดมีค่าซ้ำกัน ยีนที่อยู่ในช่วงการตัด ให้ทำการเปลี่ยนแปลงตามความสัมพันธ์ที่มีต่อกันจากรูปที่ได้สร้างมา ดังภาพที่ 2.19

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

ภาพที่ 2.19 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) เปลี่ยนค่าที่ซ้ำตามความสัมพันธ์

ผลการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX) จากโครโมโซมพ่อและแม่ที่ทำการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ได้ผลเป็นโครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ดังภาพที่ 2.20

พ่อ	1	5	3	2	6	4
แม่	2	4	6	3	1	5
ลูก 1	1	4	6	3	2	5
ลูก 2	6	5	3	2	1	4

ภาพที่ 2.20 การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ Partial Mapped Crossover (PMX)

2.5.3.2 การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นขั้นตอนหนึ่งของกระบวนการเชิงพันธุกรรมที่จะสร้างสมาชิกรุ่นใหม่ ซึ่งในกระบวนการนี้เป็นการทำการแลกเปลี่ยนยีนภายในตัวสมาชิกตัวเดียวเท่านั้น เช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ที่จะไม่เกิดการกลายพันธุ์ทั้งหมด โดยจะมีค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation probability) เป็นตัวกำหนดโอกาสที่จะเกิดการกลายพันธุ์ขึ้น ซึ่งค่าจะอยู่ในช่วง 0.1-0.3 และวิธีในการกลายพันธุ์ มีหลายวิธีเช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ ซึ่งจะยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation)


การกลายพันธุ์วิธีนี้เป็นทางเลือกยีนโดยการสุ่มแล้วทำการแทรกลงในตำแหน่งที่สุ่มเพื่อให้ได้ประชากรใหม่ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนเริ่มแรกทำการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นพ่อแม่ ดังภาพที่ 2.21

$$P1 = (1 \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad 6 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.21 การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนการเลือกโครโมโซม

หลังจากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่ต้องการจะทำการแทรกตามภาพที่ 2.22



$$P1 = (1 \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad 6 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.22 การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนสุ่มตำแหน่งที่จะแทรก

ขั้นตอนต่อไปจะทำการสุ่มเลือกยีนที่จะทำการเข้ามาแทรก (แทนจุดที่เลือกด้วยสัญลักษณ์ “ | ”) ดังภาพที่ 2.23

$$P1 = (1 \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad | 6 | \quad 4)$$

ภาพที่ 2.23 การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนสุ่มเลือกยีนที่จะนำมาแทรก

หลังจากนั้นนำค่าที่ทำการเลือกไปแทนที่ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มเลือกไว้ ในที่นี้ค่า 6 ไปแทรกในตำแหน่งที่ 2 ดังภาพที่ 2.24

$$O1 = (1 \quad 6 \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.24 การกลายพันธุ์แบบแทรก ขั้นตอนการแทรก

การกลายพันธุ์แบบแทรกเป็นการเลือกยีนโดยการสุ่ม แล้วทำการแทรกลงในตำแหน่งที่สุ่มเพื่อให้ได้ประชากรใหม่ ตามภาพที่ 2.25

		↓				
พ่อ	1	5	3	2	6	4
ลูก	1	6	5	3	2	4

ภาพที่ 2.25 การกลายพันธุ์แบบแทรก (Insertion Mutation)

2) การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation)

การกลายพันธุ์วิธีนี้มีขั้นตอนและวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการแบบแทรก แตกต่างกันที่ทำการสุ่มมาเป็นช่วงตำแหน่ง โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้
เริ่มต้นจากการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นพ่อ แม่ ดังภาพที่ 2.26

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

ภาพที่ 2.26 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการเลือกโครโมโซม

หลังจากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการเคลื่อนตำแหน่ง ดังภาพที่ 2.27

		↓				
P1 =	(1	5	3	2	6	4)

ภาพที่ 2.27 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มเลือกตำแหน่ง

หลังจากนั้นทำการสุ่ม 2 จุดเพื่อหาช่วงตำแหน่งยีนที่จะนำมาแทรก ดังภาพที่ 2.28

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

ภาพที่ 2.28 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มช่วงที่จะนำมาแทรก

ขั้นสุดท้ายนำช่วงยีนที่ได้ทำการสุ่มเลือกไว้ไปแทนในตำแหน่งที่ทำการสุ่มเลือกไว้ โดยในที่นี้นำค่า 2 และ 6 ไปแทรกในตำแหน่งที่ 2 ดังภาพที่ 2.29

$$O1 = (1 \quad 2 \quad 6 \quad 5 \quad 3 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.29 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง ขั้นตอนการแทรก

วิธีการกลายพันธุ์วิธีแบบเคลื่อนตำแหน่ง มีขั้นตอนและวิธีการที่คล้ายคลึงกับวิธีการแบบแทรกแตกต่างกันที่ทำการสุ่มมาเป็นช่วงตำแหน่ง และผลการกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 2.30

พ่อ	1	5	3	2	6	4
ลูก	1	2	6	5	3	4

ภาพที่ 2.30 การกลายพันธุ์แบบเคลื่อนตำแหน่ง (Displacement Mutation)

3) การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation)

วิธีการสลับตำแหน่งเป็นวิธีการที่ทำการเปลี่ยนแปลงยีน 2 ยีน โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ในขั้นตอนแรกเริ่มจากการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวขึ้นมาเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นพ่อ แม่ ดังภาพที่ 2.31

$$P1 = (1 \quad 5 \quad 3 \quad 2 \quad 6 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.31 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มเลือกโครโมโซม

เมื่อได้โครโมโซมตัวต้นแบบแล้วทำการสุ่มตำแหน่งจำนวน 2 ตำแหน่งดังภาพที่ 2.35

		↓		↓		
P1 =	(1	5	3	2	6	4)

ภาพที่ 2.32 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสุ่มตำแหน่ง

หลังจากนั้นทำการสลับยีนทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มเลือกมาจะได้สมาชิกในรุ่นลูก ดังแสดงในภาพที่ 2.33

$$O1 = (1 \quad 2 \quad 3 \quad 5 \quad 6 \quad 4)$$

ภาพที่ 2.33 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง ขั้นตอนการสลับ

วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งจะทำการสุ่ม 2 ตำแหน่งและทำการสลับค่าของทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มมา ดังภาพที่ 2.34

พ่อ	1	5	3	2	6	4
ลูก	1	2	3	5	6	4

ภาพที่ 2.34 การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Reciprocal Exchange Mutation)

2.5.4 การประเมินความแข็งแรง (Fitness Evaluation) การประเมินความแข็งแรงจะทำการถอดรหัสตัวโครโมโซมออกมาให้เป็นตัวแปรที่ใช้ ในการคำนวณในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) โดยในการวัดความแข็งแรงจะแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 มีวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective)

$$\text{Fitness Function} = \text{Objective Function}$$

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

2.5.5 การคัดเลือก (Selection) การคัดเลือกเป็นการคัดสรรสมาชิกที่มีความเหมาะสมจากรุ่นปัจจุบันไปสู่รุ่นลูกต่อไป ซึ่งโครโมโซมที่มีความแข็งแรง (Fitness) มากกว่าก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีความแข็งแรงน้อย ๆ ในการคัดเลือกมีวิธีการคัดเลือกอยู่หลายวิธี ดังจะยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

2.5.5.1 การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

การคัดเลือกวิธีนี้ใช้ความน่าจะเป็น ในการถูกคัดเลือกซึ่งจะกำหนด โดยอัตราส่วนค่าจากความแข็งแรงของแต่ละโครโมโซมเทียบกับค่าความแข็งแรงรวมของโครโมโซมทั้งหมดตามสมการที่ 2.28

$$P_i = \frac{F_i}{\sum_{n=1}^N F_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.28)$$

P_i แทน ค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกคัดเลือกของโครโมโซม i

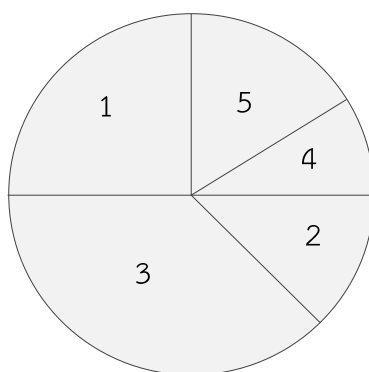
F_i แทน ค่าความแข็งแรงของโครโมโซม i

N แทน จำนวนประชากรทั้งหมด

ทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าค่าที่มีความแข็งแรงสูงกว่าจะมีโอกาสถูกเลือกมากกว่า และหลังจากนั้นทำการสร้างวงล้อเสี่ยงทายตามอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้คำนวณไว้ดังภาพที่ 2.35 และเมื่อพิจารณาพบว่าที่โครโมโซมหมายเลข 3 มีความน่าจะเป็นในการถูกเลือกเยอะที่สุด โดยในพื้นที่มีช่องเสี่ยงทายเยอะที่สุดหลังจากทำการสุ่มเพื่อเลือกโครโมโซมไปทำเป็นประชากรตั้งต้นในรุ่นถัดไป

ตารางที่ 2.2 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



ภาพที่ 2.35 วงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel)

2.5.5.2 การคัดเลือกตามความแข็งแรง (Fitness Selection)

ในวิธีการนี้ทำการนำค่าความแข็งแรงทั้งหมดมาเรียงลำดับ และทำการเลือกโครโมโซมตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้ โดยจะทำการเลือกโครโมโซมที่แข็งแรงสุดก่อน

ตารางที่ 2.3 การคัดเลือกตามความแข็งแรง

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

จากตารางที่ 2.3 แสดงให้เห็นการทำการคัดเลือกตามความแข็งแรง โดยในตารางกำหนดจำนวนที่ทำการคัดเลือกไว้ที่ 2 โครโมโซม

2.5.6 การหยุดกระบวนการ (Terminate) ในการกำหนดการหยุดกระบวนการ สามารถตั้งเป็นเงื่อนไขการหยุด เช่น กำหนดรอบของกระบวนการหรือ เวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน

2.6 เทคนิคการจัดกลุ่มแบบ K-means

การจัดกลุ่มแบบ K-means (K-mean Clustering) ได้ระบุว่ามีการใช้ครั้งแรกโดย James Mac Queen ในปี 2510 ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งใน Data mining ซึ่งอยู่ในกลุ่มของ Unsupervised Learning นั่นคือเป็นการจัดกลุ่มข้อมูลจากข้อมูลที่มีอยู่ โดยไม่ต้องอาศัยข้อมูลเดิมในการสร้างตัวแบบเพื่อการเรียนรู้ก่อนหน้า เป็นวิธีการหาค่าของข้อมูลที่น่าสนใจ กับค่าของข้อมูลที่อยู่ใกล้กันมากที่สุด หรือ คล้ายกันมากที่สุดของแต่ละกลุ่มนั่นเอง โดยอัลกอริทึม K-means จะตัดแบ่ง (Partition) วัตถุออกเป็น K กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่ม ซึ่งใช้เป็นจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของกลุ่มในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกัน ในขั้นตอนแรกของการจัดกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยแบบ K ต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการ และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด โดยการกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นของแต่ละกลุ่ม ควรจะกำหนดด้วยวิธีการที่เหมาะสม เพราะตำแหน่งจุดศูนย์กลางเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่แตกต่างกัน ดังนั้นในทางที่ดีควรจะกำหนดจุดศูนย์กลางนี้ให้ห่างจากจุดศูนย์กลางอื่น ๆ

ขั้นตอนต่อมาเป็นการสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดจะถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุดจนครบหมดทุกจุด และคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ โดยหาค่าเฉลี่ยของทุกจุดที่อยู่ในกลุ่ม หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่ ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จะสังเกตเห็นว่าผลลัพธ์จากการทำซ้ำแบบนี้ทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งไปทีละรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางจำนวน K จุดไม่มี

การเปลี่ยนแปลงจึงจะสิ้นสุดกระบวนการ Rashed Sahraeian (2010) โดยสามารถสรุปสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเทคนิคการจัดกลุ่มแบบ K-means Clustering ได้ดังสมการที่ 2.29

$$MinZ = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \left(\|x_i^j - c_j\| \right)^2 \quad (2.29)$$

โดยที่

$\|x_i^j - c_j\|$	คือ ระยะทางระหว่าง x_i^j กับ c_j โดยวิธีการ Euclidean
n	คือ จำนวนของชุดข้อมูล
k	คือ จำนวนของ Cluster center
x_i^j	คือ ชุดข้อมูลที่จุด i
c_j	คือ จุด Centroid สำหรับ Cluster j

ซึ่งขั้นตอนกระบวนการของ K-means clustering สามารถอธิบายได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

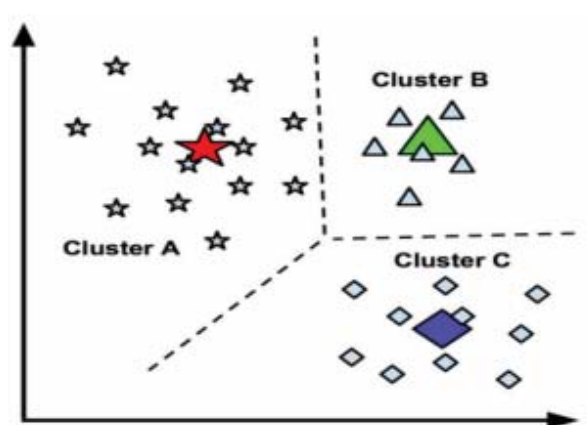
2.6.1 สุ่มเลือกกลุ่ม Cluster center “ k ” หรือในที่นี้ให้เรียกว่าจุด “Centroid”

2.6.2 คำนวณระยะทางจากจุดข้อมูลต่าง ๆ กับจุด Centroid จุดใดอยู่ใกล้กับจุด Centroid ใด ก็ให้เป็นสมาชิกของจุด Centroid นั้น

2.6.3 หาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเพื่อกำหนดจุดศูนย์กลางใหม่

2.6.4 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนกว่าค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลางไม่เปลี่ยนแปลง

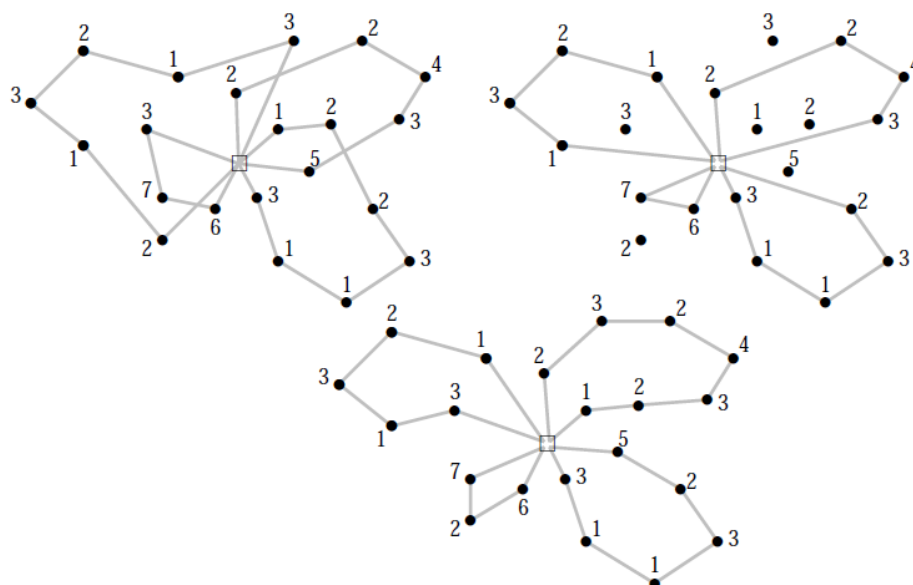
โดยที่ตัวอย่างรูปแบบของการจัดกลุ่มแบบ K-means Clustering ที่ได้จากการทดสอบสามารถแสดงผลตัวอย่างได้ดังภาพที่ 2.36



ภาพที่ 2.36 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบ K-means Clustering
ที่มา: Queen, J. M. (1967)

2.7 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่

วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search: LNS) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบย่านใกล้เคียงขนาดใหญ่ มีการกำหนดย่านที่ชัดเจนช่วยให้หาคำตอบในพื้นที่ได้อย่างง่ายดาย ซึ่งเป็นวิธีการที่ถูกใช้ครั้งแรกโดย Shaw (1998) โดยวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่จะมีการกำหนดพื้นที่ใกล้เคียงคำตอบเริ่มต้น ซึ่งใช้หลักการในการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบใหม่ การแก้ปัญหาจะใช้วิธีการทำลายจากการสุ่มพื้นที่ต่าง ๆ ในย่านใกล้เคียง $N(x)$ และหลังจากนั้นจะทำการซ่อมแซมคำตอบที่ถูกทำลาย ดังแสดงในภาพที่ 2.37



ภาพที่ 2.37 การทำลายและการซ่อมแซมของปัญหา Capacitated Vehicle Routing
ที่มา: David Pisinger and Stefan Ropke (2010)

วิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ Combinatorial และ Global ในการแก้ปัญหา อาศัยการปรับเปลี่ยนโครงสร้างการปรับปรุงคำตอบ โดยวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีการจะทำซ้ำจนกว่าจะเจอคำตอบหรือจนกว่าจะถึงเงื่อนไขการหยุดการค้นหา ซึ่งตัวอย่างอัลกอริทึมของวิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียงขนาดใหญ่ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 อัลกอริทึมของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่

Algorithm 1 Large neighborhood search
1: input: a feasible solution x
2: $x^b = x$;
3: repeat
4: $x^t = r(d(x))$;
5: if accept (x^t, x) then
6: $x = x^t$;
7: end if
8: if $c(x^t) < c(x^b)$ then
9: $x^b = x^t$;
10: end if
11: until stop criterion is met
12: return x^b

ที่มา: Pisinger and Ropke (2010)

สำหรับขั้นตอนของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (LNS) สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.7.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้นเพื่อนำมาคำนวณหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีการสุ่มค่าตัวเลขจากค่าขององค์ประกอบ

2.7.2 การทำลายคำตอบด้วยวิธีการ Worse removal ซึ่งเป็นการทำลายจากการสุ่มเลือกจากงานวิจัยนี้ โดยขั้นตอนงานที่ถูกทำลายเรียกว่า ND มีค่าเท่ากับร้อยละของการทำลายคุณด้วยจำนวนขั้นตอนงานค่า ND ที่ได้คำตอบไม่ดีหรือคำตอบที่แย่งจะถูกทำลายออกจากโซลูชันปัจจุบัน

2.7.3 การคำนวณมูลค่าการทำลายขั้นตอนงานออก $L_{is} = C_S - t_{is}$

2.7.4 ทำลายขั้นตอนงานตามจำนวน ND จากโซลูชันปัจจุบัน

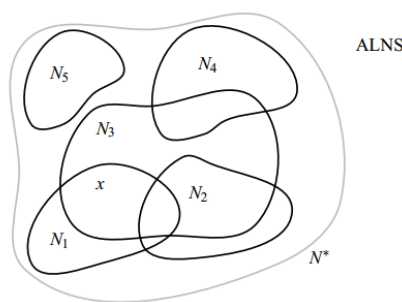
2.7.5 คำนวณหาค่า $P_{is} = C_S + t_{is}$ ของขั้นตอนงานที่อยู่ในสถานีนงาน เพื่อทำการแทรกขั้นตอนงานที่ถูกทำลายออก โดยเลือกค่าเวลาของสถานีนงานที่ต่ำที่สุด

2.7.6 แทรกขั้นตอนงานจากขั้นตอนที่ 5

2.7.7 ยอมรับโซลูชันที่ผ่านขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 7

2.8 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้

วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive large neighborhood search: ALNS) ถูกนำเสนอโดย Ropke and Pisinger (2006) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้จากการปรับปรุงต่อเนื่องจากวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search) โดยเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าปัญหาเดียวกันสามารถมีวิธีการในการหาคำตอบที่แตกต่างกันได้ทั้งในส่วนของการทำลายคำตอบเริ่มต้นและวิธีการซ่อมแซมคำตอบ หลักการของ ALNS จะมีการกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) ให้กับวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบแต่ละวิธี โดยในเบื้องต้นจะกำหนดค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 เท่ากันทุกวิธี เมื่อทำการสุ่มเลือกวิธีการมาใช้หาคำตอบด้วยวิธีวงล้อรูเล็ตแล้ววิธีการใดให้คำตอบที่ดีขึ้น วิธีการนั้นจะถูกเพิ่มน้ำหนักให้โดยอัตโนมัติ และมีโอกาสที่จะถูกเรียกมาใช้งานในรอบถัดไป ซึ่งรูปแบบการค้นหาคำตอบแบบ ALNS แสดงดังภาพที่ 2.38



ภาพที่ 2.38 รูปแบบการค้นหาคำตอบแบบ ALNS
ที่มา: Ropke and Pisinger (2006)

หลักการในการออกแบบอัลกอริทึมแบบ ALNS มีสิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาอยู่ 2 ส่วนคือ

2.8.1 การเปลี่ยนคำตอบเริ่มต้น (Diversification) ซึ่งเป็นการทำลายคำตอบเริ่มต้นและซ่อมแซมคำตอบกลับเข้าไปใหม่เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม (Destroy operator and Repair operator) ซึ่งค่าของ N_1, \dots, N_k จะเป็นสับเซตของ N ที่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดที่ถูกกำหนดให้มีการค้นหาคำตอบ

2.8.2 การปรับค่าน้ำหนัก (Intensification) โดยการปรับค่าน้ำหนักให้มีความเหมาะสมเพื่อให้คำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และจะได้มั่นใจได้ว่าคำตอบที่ไม่มีประสิทธิภาพจะไม่ถูกเลือกมาใช้ หรือมีการถูกเลือกมาใช้น้อย และการเลือกตำแหน่งพื้นที่ที่จะค้นหาคำตอบที่ดีจะสามารถนำไปสู่การปรับปรุงคำตอบที่ดีได้ ซึ่งวิธีการ ALNS ในช่วงของการดำเนินการค้นหาคำตอบจะมีการปรับค่าน้ำหนักเป็นระยะด้วยการวนรอบซ้ำแทนด้วยตัวแปร P_u เพื่อเป็นการปรับปรุงคำตอบ ซึ่งการเลือกฮิวริสติกส์ในการวนซ้ำเพื่อหาคำตอบจะขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่ใช้ปรับค่า กำหนด $D = \{d_i \mid i = 1, \dots, k\}$ โดยที่ k เป็นชุดของฮิวริสติกส์การทำลาย และ $R = \{r_i \mid i = 1, \dots, l\}$ โดยที่ l เป็นชุดของฮิวริสติกส์การซ่อมแซม การให้น้ำหนักในขั้นแรกจะเท่ากัน แสดงด้วย $w(r_i)$ และ $w(d_i)$ โดยความน่าจะเป็นของฮิวริสติกส์เป็นดังสมการที่ 2.30

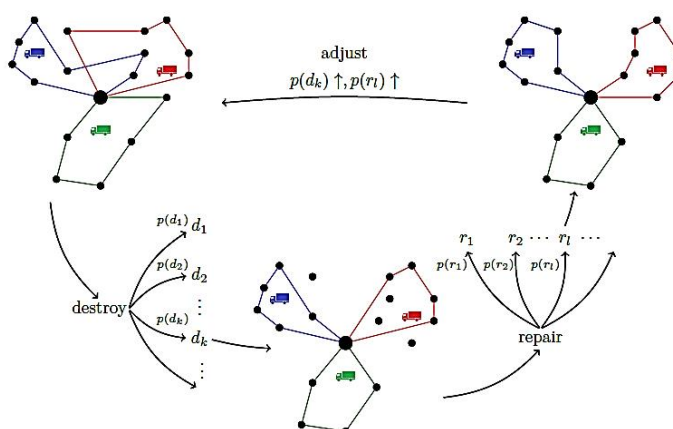
$$p(r_i) = \frac{w(r_i)}{\sum_{j=1}^k w(r_j)}, p(d_i) = \frac{w(d_i)}{\sum_{j=1}^l w(d_j)} \quad (2.30)$$

สำหรับลักษณะรูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของ ALNS เป็นเช่นเดียวกับ LNS จากทางเลือกการทำลายและการซ่อมแซมฮิวริสติกส์ รวมถึงน้ำหนักในการปรับค่าในทุกรอบการทำซ้ำ Pu สามารถแสดงตัวอย่างของอัลกอริทึมได้ดังตารางที่ 2.5 และตัวอย่างรูปแบบวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ดังแสดงในภาพที่ 2.39

ตารางที่ 2.5 อัลกอริทึมของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้

Algorithm 2 Adaptive large neighborhood search
1: input: a feasible solution x
2: $x^b = x$; $\rho^- = (1, \dots, 1)$; $\rho^+ = (1, \dots, 1)$;
3: repeat
4: select destroy and repair methods $d \in \Omega^-$ and $r \in \Omega^+$ using ρ^- and ρ^+ ;
5: $x^t = r(d(x))$;
6: if accept (x^t, x) then
7: $x = x^t$;
8: end if
9: if $c(x^t) < c(x^b)$ then
10: $x^b = x^t$;
11: end if
12: update ρ^- and ρ^+ ;
13: until stop criterion is met
14: return x^b

ที่มา: Ropke and Pisinger (2006)



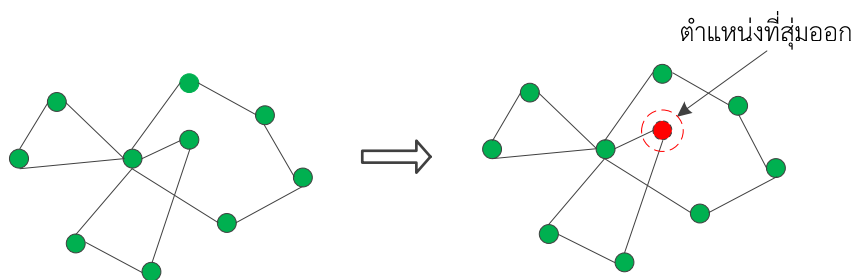
ภาพที่ 2.39 รูปแบบวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้
ที่มา: Lutz (2014)

กระบวนการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้มีวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบเพื่อปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นกว่าคำตอบเดิม โดยวิธีการในการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีดังต่อไปนี้

2.9 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search)

2.9.1 วิธีการทำลายคำตอบ

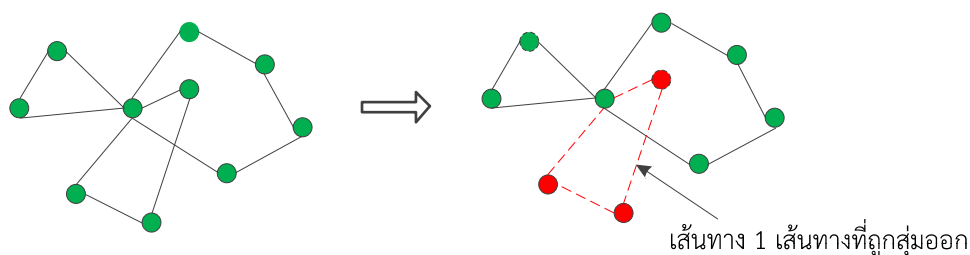
2.9.1.1 วิธีการทำลายคำตอบแบบ Random removal เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบโดยการสุ่มเลือกเส้นทางบางเส้นทางออกเพื่อจัดเส้นทางใหม่ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้ถือเป็นวิธีการที่ง่ายไม่มีความซับซ้อน ไม่ได้มีการพิจารณาว่าคำตอบที่ได้จะดีหรือไม่ดี แต่วิธีการทำลายแบบ Random removal มีความเสี่ยงที่จะสุ่มเอาคำตอบที่เหมาะสมออกจากคำตอบเดิม koc (2016); Chen and et al. (2018) รูปแบบวิธีการทำลายดังกล่าวดังแสดงในภาพที่ 2.40



ภาพที่ 2.40 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Random removal

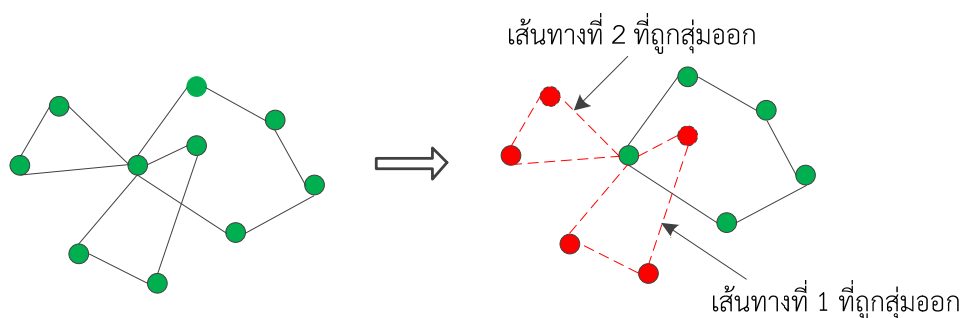
2.9.1.2 วิธีการทำลายคำตอบแบบ K-Route removal เป็นวิธีการทำลายคำตอบโดยเอาเส้นทางที่ได้จากคำตอบเริ่มต้นออกจากเส้นทางทั้งหมดที่ได้จัดเอาไว้ ซึ่งการทำลายด้วยวิธีนี้จะมี การเอาเส้นทางออก 1 เส้นทางหรือเป็นการทำลาย 1 เส้นทาง หรือสามารถที่จะเอาเส้นทางออกได้ 2 เส้นทางหรือเป็นการทำลาย 2 เส้นทาง หากต้องการเอาออก 3 เส้นทางก็จะเป็นลักษณะการทำลาย

3 เส้นทางก็ได้ koc (2016); Chen and et al. (2018) ซึ่งตัวอย่างรูปแบบการทำลาย 1 เส้นทางเป็นดังภาพที่ 2.41



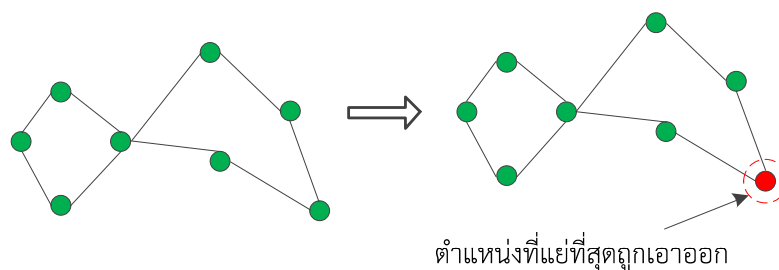
ภาพที่ 2.41 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี K-Route removal

2.9.1.3 วิธีการทำลายคำตอบแบบ Entirely route removal เป็นวิธีการทำลายคำตอบเช่นเดียวกันกับวิธีการของ K-Route removal แต่ลักษณะการทำลายคำตอบที่จัดได้จากคำตอบเริ่มต้นจะมีการทำลายคำตอบได้ก็เส้นทางก็ได้ขึ้นอยู่กับสุ่มเลือกกว่าจะให้มีการทำลายเส้นทางไหน koc (2016); Chen and et al. (2018) โดยรูปแบบการทำลายลักษณะดังกล่าวนี้เป็นไปตามภาพที่ 2.42



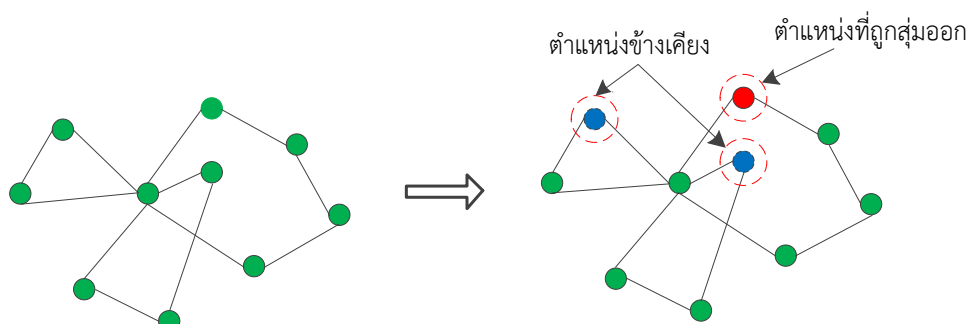
ภาพที่ 2.42 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Entirely route removal

2.9.1.4 วิธีการทำลายคำตอบแบบ Worst removal เป็นรูปแบบวิธีการทำลายคำตอบโดยนำส่วนที่แย่ที่สุดออกจากคำตอบเดิม นั่นคือส่วนที่มีค่าต้นทุนสูงที่สุดหรือส่วนที่มีระยะทางมากที่สุดซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนมีค่าสูง koc (2016); Chen and et al. (2018) ดังแสดงในภาพที่ 2.43



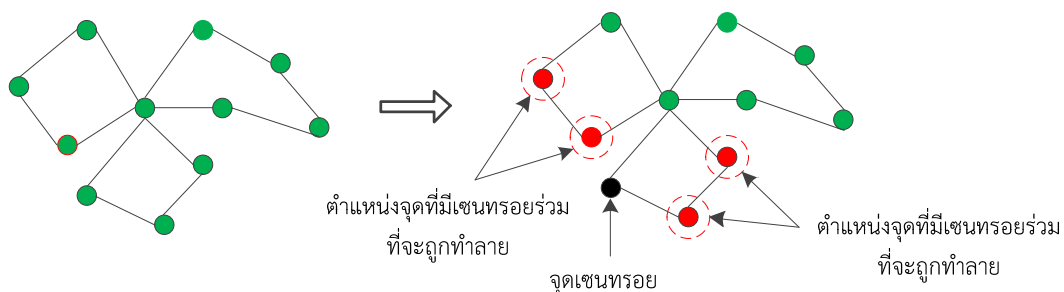
ภาพที่ 2.43 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Worst removal

2.9.1.5 วิธีการทำลายคำตอบแบบ Relate removal เป็นรูปแบบวิธีการทำลายคำตอบ โดยเลือกจากตำแหน่งสถานที่ที่อยู่ใกล้เคียงที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งสถานที่ ที่ถูกกำหนดให้ทำลาย ออกไปก่อนหน้านี้แล้ว koc (2016); Chen and et al. (2018) ดังแสดงในภาพที่ 2.44



ภาพที่ 2.44 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Relate removal

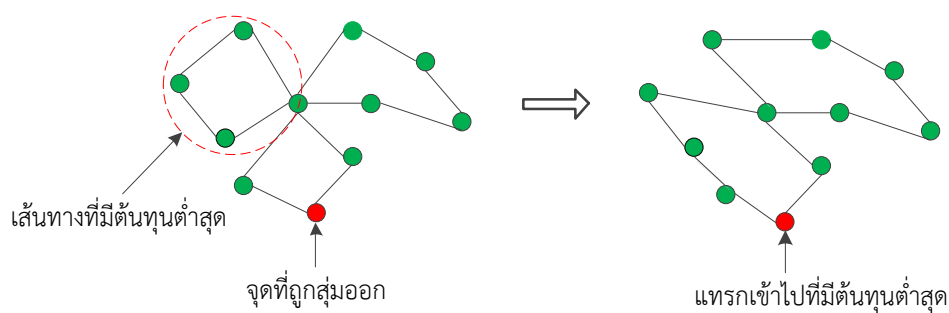
2.9.1.6 วิธีการทำลายคำตอบแบบ Cluster removal เป็นรูปแบบวิธีการทำลายคำตอบ โดยการสุ่มเลือกเส้นทางการทำลายคำตอบสำหรับหาจุดเซนทรอยด์ในคำตอบ และใช้วิธีการ Euclidean distance สำหรับการหาสถานที่ที่อยู่ใกล้กับจุดเซนทรอยด์ ซึ่งจุดเหล่านี้จะช่วยให้ในการปรับปรุงตำแหน่งของจุดเซนทรอยด์ใหม่ koc (2016); Chen and et al. (2018) ดังแสดงในภาพที่ 2.45



ภาพที่ 2.45 รูปแบบการทำลายคำตอบด้วยวิธี Cluster removal

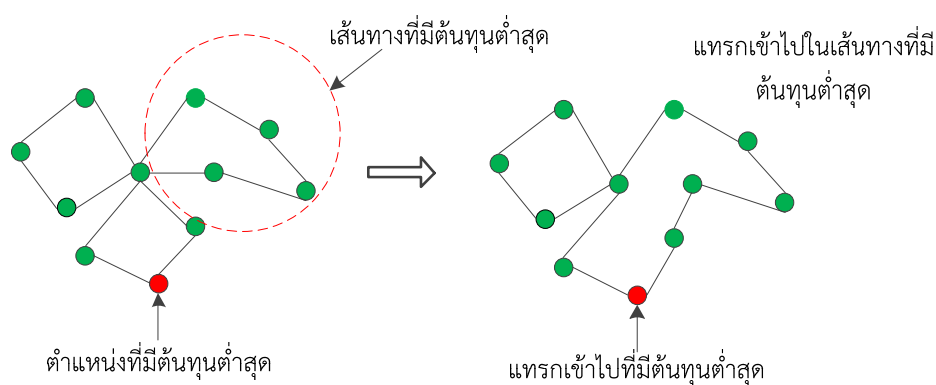
2.9.2 วิธีการซ่อมแซมคำตอบ

2.9.2.1 วิธีการซ่อมแซมคำตอบแบบ Greedy insertion เป็นวิธีการในการซ่อมแซมคำตอบ โดยการหาผลต่างของเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำสุดแล้วนำไปแทรกในเส้นทาง ผลที่ได้ก็จะได้เส้นทางใหม่ koc (2016) ดังแสดงในภาพที่ 2.46



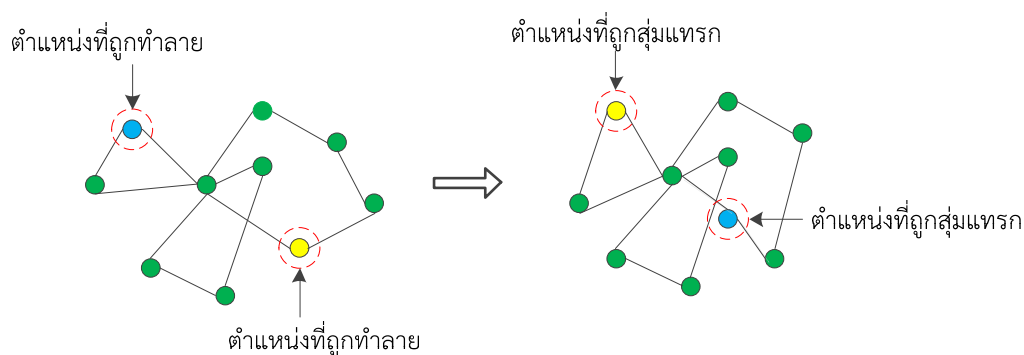
ภาพที่ 2.46 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Greedy insertion

2.9.2.2 วิธีการซ่อมแซมคำตอบแบบ Regret-H insertion เป็นวิธีการในการซ่อมแซมคำตอบโดยเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนต่ำที่สุดแล้วทำการแทรกเข้าไปในตำแหน่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด Chen and et al. (2018) ดังแสดงในภาพที่ 2.47



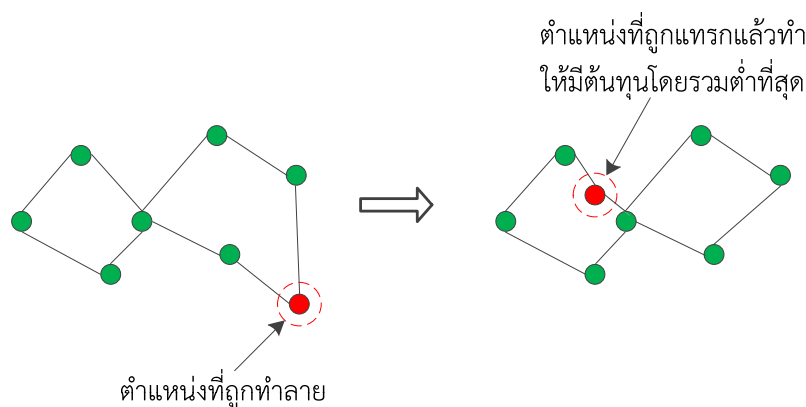
ภาพที่ 2.47 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Regret-H insertion

2.9.2.3 วิธีการซ่อมแซมคำตอบแบบ Random insertion เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยทำการสุ่มแทรกลูกค้ายลงในตำแหน่งใด ๆ โดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนแต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น ปริมาณการบรรทุกทุกของยานพาหนะ หรือระยะทางรวมที่กำหนดไว้ koc (2016) ซึ่งวิธีการดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2.48



ภาพที่ 2.48 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Random insertion

2.9.2.4 วิธีการซ่อมแซมคำตอบแบบ Arbitrary insertion เป็นวิธีการซ่อมแซมที่คล้ายกับวิธี Greedy insertion โดยทำการแทรกในทุกตำแหน่งที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขที่กำหนดไว้และเปรียบเทียบเลือกตำแหน่งที่ทำให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด Chen and et al. (2018) ดังแสดงในภาพที่ 2.49



ภาพที่ 2.49 รูปแบบการซ่อมแซมคำตอบด้วยวิธี Arbitrary insertion

2.9.3 การยอมรับคำตอบ (Acceptance criterion)

วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) ได้นำมาใช้ในการตรวจสอบการยอมรับคำตอบ เนื่องจากวิธี SA เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ อาจยอมรับคำตอบที่แย่มาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปพัฒนาเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดต่อไป โดยการพิจารณายอมรับหรือไม่ยอมรับคำตอบสามารถใช้หลักการความน่าจะเป็น (Probability) $e^{\frac{Z(s')-Z(s)}{KT}}$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของคำตอบ $Z(s), Z(s')$ และอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิจะลดลงตามจำนวนรอบการค้นหาและจะหยุดเมื่ออุณหภูมิเทียบเท่าอุณหภูมิห้องหรือด้วยเหตุผลอื่น ๆ จะสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ได้มีการนำเสนอวิธีการในการแก้ปัญหาที่หลากหลายตามลักษณะของปัญหาโดยมีเงื่อนไขของแต่ละปัญหาแตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งให้มีประสิทธิภาพควรแก้ปัญหาไปพร้อม ๆ กัน โดยไม่ต้องแยกปัญหาออกจากกัน เนื่องจากปัญหามีความสัมพันธ์กันจำเป็นต้องบูรณาการวิธีการหาคำตอบเข้าด้วยกัน ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคำตอบที่ได้ ดังสรุปแนวทางวิธีการแก้ปัญหาของนักวิจัยแต่ละท่านได้ดังต่อไปนี้

Sattrawut Ponboon (2016) การประยุกต์ LRPTW โดยพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบการกระจายสินค้า ประกอบด้วย สถานที่สำหรับจัดตั้งคลังสินค้า ขนาดความจุของจุดรับซื้อ ความจุของยานพาหนะ และมีเงื่อนไขด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้หลักอัลกอริทึม branch-and-price ซึ่งพบว่าการประยุกต์ใช้ LRPTW เพื่อกระจายสินค้าจากคลังไปยังเมืองต่าง ๆ พบว่าคลังสินค้าขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ที่จังหวัดมินาโตะมีการให้บริการด้วยคลังขนาดใหญ่ และรถขนาด 3 ตัน จะให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด

Mazin Abed Mohammed and et al. (2017) นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษาภายในมหาวิทยาลัย Tenaga Nasional (UNITEN) โดยมีรถเมล์จำนวน 8 คันนำพานักศึกษาไปยังที่ต่าง ๆ 8 แห่งและมีเส้นทางที่แตกต่างกัน 2 เส้นทาง รถเมล์จะวนกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ มีเงื่อนไขว่าในแต่ละเส้นทางและความจุของรถแต่ละคันจะเพียงพอสำหรับนักศึกษาทุกคนที่อยู่ตามแต่ละเส้นทางโดยใช้วิธีการ ของ GA ในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า การจัดเส้นทางรถรับส่งนักศึกษา สามารถลดระยะทางในแต่ละเส้นทางของรถประจำทางได้อย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับระยะเวลาในการขนส่งได้ด้วย Tsung-Che Chiang และ Tsung-Che Chiang (2014) เป็นการศึกษาการแก้ปัญหการจัดเส้นทางรถรับส่งแบบหลายวัตถุประสงค์โดยกำหนดกรอบเวลามีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนยานพาหนะและระยะทางทั้งหมดให้สั้นลง ซึ่งใช้ อัลกอริทึมแบบวิธีการของ GA ในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า การแก้ปัญหการจัดเส้นทางรถรับส่งสามารถลดจำนวนของยานพาหนะและระยะทางในการขนส่งได้เป็นอย่างดี ในส่วนของ Rui Borges Lopes and et al. (2016) ได้ศึกษาวิธีการ GA แบบผสมในการแก้ปัญหาคำถามที่จัดและจัดเส้นทางรถรับส่งซึ่งมีขนาดความจุของรถบรรทุก (CLRP) เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเลือกใช้อัลกอริทึม GA ในกระบวนการกลายพันธุ์ในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึมที่ใช้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงเวลาในการประมวลผลซึ่งต้องสมเหตุสมผลกับจำนวนข้อมูลที่มีด้วย V.Sivaram Kumar and et al. (2014) ศึกษาการจัดเส้นทางรถรับส่งแบบมีหลาย ๆ วัตถุประสงค์และมีกรอบเวลา (VRPTW) เข้ามาเกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อลดระยะทางและจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ โดยอาศัยหลักการวิธีของ GA แบบ Fitness Aggregated Genetic Algorithm (FAGA) ในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า วิธี FAGA สามารถกำหนดเส้นทางโดยรวมที่ดีขึ้นซึ่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระยะทางโดยรวมและจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ Yong Shi and et al. (2017) บริษัท Home Health care ให้บริการดูแลรักษาผู้ป่วยตามบ้านเพื่อฟื้นฟูสภาพร่างกาย ซึ่งพบว่ามีต้นทุนการขนส่งที่ค่อนข้างสูงในการเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลผู้ป่วย ปริมาณความต้องการยาที่ไม่แน่นอนของผู้ป่วยและการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแบบ GA ผสมผสานกับวิธีการสุ่มตัวอย่างในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า วิธีดังกล่าวสามารถช่วย บริษัท HHC ในการแก้ปัญหา การจัดเส้นทางในการขนส่งได้เป็นอย่างดี

Heechul Bae and Ilkyeong Moon. (2016) การจัดเส้นทางรถรับส่งของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากมีคลังสินค้าหลาย ๆ แห่งโดยต้องส่งถึงมือลูกค้าภายในเวลาที่กำหนด ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึม GA ในการแก้ปัญหาเพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่มีความเหมาะสม ผลการวิจัยพบว่า อัลกอริทึมที่นำมาใช้ สามารถแก้ปัญหาที่ค่อนข้างใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Abdelhalim, H. and et al. (2017) ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางคลังสำหรับของเน่าเสีย โดยกำหนดจำนวนและที่ตั้งของคลังที่ต้องการ ระดับการจัดเก็บในแต่ละจุด และเส้นทางในการขนส่งโดยปัญหาที่ศึกษาเป็นปัญหา NP-hard จึงมีการพัฒนาอัลกอริทึม GA ในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยพบว่า คำตอบที่ได้ประสบผลสำเร็จในด้านคุณภาพ และให้คำตอบที่เหมาะสมกับเวลา แต่ยังคงอาศัยการวิเคราะห์พฤติกรรมของคนในท้องถิ่นอีกด้วย Saso Karakatic and Vili Podgorelec (2015) งานวิจัยนี้นำเสนอการสำรวจขั้นตอนวิธีการทางพันธุกรรมที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางของยานพาหนะแบบมีหลาย ๆ จุดรับซื้อ อาศัยวิธีการแก้ปัญหาทางพันธุกรรมที่ใช้จะถูก

เปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ที่มีปัญหาและพฤติกรรมคล้าย ๆ กัน วิธีการของ GA ไม่ได้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการหาคำตอบที่เหมาะสม แต่เป็นวิธีการที่ดีในการแก้ปัญหา และก็มีประสิทธิภาพมากเพียงพอภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว โดยเฉพาะเมื่อปัญหานั้นมีขนาดใหญ่ วิธีการของ GA เป็นวิธีที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาในการประมวลผล ดังนั้นการใช้วิธีการของ GA จึงเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้เพราะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ Ali Nadizadeh และ Hasan Hosseini Nasab (2014) นำเสนอการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีการเปลี่ยนแปลง มีความไม่แน่นอนซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทุกช่วงเวลา มีจำนวนยานพาหนะและคลังสินค้าสำหรับสำรองให้บริการลูกค้าตามความต้องการที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีการตั้งสมมุติฐานความต้องการของลูกค้าที่มีความคลุมเครือ และประยุกต์ใช้โปรแกรมในการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีการ Hybrid heuristic algorithm ร่วมกับ Stochastic และ local search ร่วมด้วยในการแก้ปัญหา พบว่าอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้จริงกับปัจจุบัน ขณะที่ Houda, D. and et al. (2010) งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งด้วยคลังเก็บข้อมูลแบบหลาย ๆ คลัง จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้จะพิจารณาการตัดสินใจการหาตำแหน่งที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งไปพร้อม ๆ กัน มีการพัฒนาปัญหานี้โดยวิธีการวนซ้ำเฉพาะพื้นที่ (ILS) และได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธี Tabu search การนำเสนอวิธีการ ILS เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีในการตัดสินใจจัดเส้นทางขนส่ง โดยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับวิธีการ การหาคำตอบแบบวนซ้ำเฉพาะที่ และโครงสร้างพื้นฐานความแตกต่างของแต่ละพื้นที่ โดยวิธีการ ILS จะทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนาเพิ่มมากขึ้นกว่าวิธีการแบบ Tabu search สำหรับ Wu, Low and Bai (2002) ได้มีการนำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งปัญหาประกอบไปด้วย จำนวนจุดที่จะตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า ขนาดและชนิดของยานพาหนะ โดยลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการจัดส่งสินค้าโดยยานพาหนะเพียงหนึ่งคัน และความต้องการของสินค้าในแต่ละเส้นทางจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถของยานพาหนะที่ได้ถูกจัดสรรให้เดินทางในเส้นทางนั้น ๆ และเมื่อรถคันใดออกจากศูนย์กระจายสินค้าใดแล้ว จำเป็นต้องวนกลับมายังศูนย์กระจายสินค้านั้น Fathali (2006) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) เข้ามาหาคำตอบในปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง (P-median) โดยได้ดัดแปลงจำนวนการวนซ้ำในการหาคำตอบกล่าวคือนำจำนวนการวนซ้ำสูงสุดที่ได้ตั้งค่าบวกกับจำนวน p-facility ที่ได้กำหนด และนำคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียง จากผลการทดลองที่ได้ทดลองกับฐานข้อมูลของ OR-Library จำนวน 40 การทดสอบ พบว่าคำตอบที่ได้จากการใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 0.61% ในขณะที่วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียง มีค่า 1.08% Yu, V. F. and Lin, S. Y. (2015) ได้ทำการศึกษาปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งมีเงื่อนไขว่าความสามารถของสถานที่ตั้งมีไม่เท่ากัน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเลือกสถานที่ตั้งและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ลดต้นทุนของยานพาหนะ โดยทำการทดสอบกับลูกค้า 318 ราย โดยได้ทำการศึกษาด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ แบบอบอ่อน (Simulation annealing: SA) มาใช้ในการแก้ปัญหา จากการศึกษาพบว่า วิธีการของ SA ให้ประสิทธิภาพสูงและมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาดังกล่าว Yannis and et al. (2013)

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางของอัลกอริทึมแบบผสมผสานโดยใช้วิธี partial swarm optimization (PSO) เพื่อแก้ปัญหาด้านการจัดการซัพพลายเชน กรณีปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีความไม่แน่นอน (RRPSD) ซึ่งเป็นปัญหาแบบ NP-hard มีการจำกัดความจุของยานพาหนะและมีการเดินทางออกจากคลังสินค้าได้เมื่อมีการบรรทุกเต็มคันรถก่อนไปส่งให้กับลูกค้า โดยจะทราบความต้องการลูกค้าก็ต่อเมื่อรถมาถึงยังลูกค้าเท่านั้น จากผลการทดลองพบว่าวิธีการของ PSO ให้ผลการทดสอบที่มีประสิทธิภาพที่ดี และสำหรับงานวิจัยด้านปัญหา LRP ของยางพารา สมศักดิ์ แก้วพลอย (2559) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบทาบู่ ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของจุดรับซื้อยางพาราและการจัดสรรผู้ขายและการจัดเส้นทางขนส่งของตลาดกลางยางพารา ผลการวิจัยพบว่าจำนวนจุดรับซื้อทั้งหมด 16 จุด มีความจุขนาด 10 ตัน จำนวนยานพาหนะทั้งหมด 5 คัน มีต้นทุนรวมเท่ากับ 53,313.89 บาท/วัน และสุพรรณ สุตสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์ (2549) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการคัดเลือกลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าแบบสมดุลความต้องการสินค้า พบว่าวิธีการดังกล่าวให้คำตอบและเวลาในการหาคำตอบมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม ส่วนธารชดา พันธนิกุล (2551) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีทั้งการรับและส่งในจุดเดียวกัน โดยในการหาคำตอบเริ่มต้นนั้นได้นำเสนอวิธีฮิวริสติกส์ไว้หลายวิธีด้วยกัน และพบว่าวิธี Saving สามารถสร้างคำตอบเริ่มต้นได้ดีที่สุด จากนั้นนำคำตอบเริ่มต้นที่ได้มาปรับปรุงด้วยวิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood Search จำนวน 4 แบบ ร่วมกับวิธีการค้นหาแบบทาบู่ เรียกว่าวิธี Customized Tabu Search ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ มีความแตกต่างจากวิธีการค้นหาแบบทาบู่ โดยทั่ว ๆ ไปโดยค่าตัวแปรต่าง ๆ จะถูกกำหนดให้เหมาะสมกับปัญหาแต่ละขนาด นอกจากนี้ยังมีค่าโทษ และค่ายอมรับในการเลือกคำตอบอีกด้วย นัทพวงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2553) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบเนเบอร์ฮูดผืนแปรสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายขั้นตอนและหลายเงื่อนไข ผลการศึกษาพบว่าวิธีการค้นหาแบบเนเบอร์ฮูดผืนแปรโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนให้ผลเฉลยที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับการแก้ปัญหาโดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป Lingo และ Negy and Salhi (2007) ได้สำรวจตัวแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ตามโครงสร้างของปัญหา ชนิดของข้อมูล ช่วงเวลาในการวางแผน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า โครงสร้างของเส้นทาง เป็นต้น โดยผลการสำรวจพบว่างานวิจัยส่วนมากจะอยู่ในรูปแบบของการเลือกสถานที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า เพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่ง โดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินิสติก และใช้วิธีการแบบฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยทั้ง 2 ท่านได้สรุปรูปแบบของปัญหาและวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางตรง (Exact Optimization) และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Optimization) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สรุปภาพรวมของงานวิจัยที่ใช้วิธีทางตรงและวิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา LRP

ประเภทของปัญหา	ผู้วิจัย	วิธีการแก้ปัญหา
General deterministic LRP	Laporte and et al. (1983) Laporte and et al. (1988) Barreto and et al. (in press) Salhi and Fraser (1996) Nagy and Salhi (2007) Albareda Sambola et al. (2005)	Cutting planes Branch and bound Clustering based Iterative Hierarchical Hierarchical
Round trip location	Drezner (1982)	Numerical optimization
Euclidian location	Ghiani and Laporte (1999)	Branch and cut
Minimax TS location	Averbakh and Berman (2002)	Graph theoretical
Plant cycle location	Labbe and et al. (2004) Billionnet et al. (2005)	Branch and cut Clustering based
Planar LRP	Salhi and Nagy (in review)	Iterative

Huang (2015) ได้ทำการแก้ปัญหการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีข้อจำกัดเรื่องความจุของรถบรรทุกและมีการรับ-ส่งสินค้าที่มีความต้องการแบบไม่แน่นอน โดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาแบบทาคู ผลการแก้ปัญหาพบว่าสามารถแก้ปัญหาได้เป็นอย่างดีและมีความเหมาะสมในการใช้เวลาในการแก้ปัญหา ในส่วนของ Warren, L. (2010) ได้มีการอธิบายถึงวิธีการค้นหาคำตอบแบบผสม (Hybrid) โดยประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งใช้การสุ่มตัวอย่าง (Random Walk) ที่เป็นฮิวริสติกส์ในการค้นหาคำตอบเบื้องต้น จากนั้นจะใช้วิธี Harmony Search ที่เป็นฮิวริสติกส์อีกวิธีหนึ่งในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งผลการทดลองพบว่าคำตอบที่ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ Nanthavaji et al. (2008) นำเสนอเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะส่งสินค้า โดยใช้แรงงานพนักงานในการขนส่งสินค้า ในตัวปัญหานี้มีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางรับส่งของ แต่เพิ่มจุดพิจารณาถึงเรื่องพนักงานที่ทำงานด้วย โดยผู้วิจัยได้ทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายถึงปัญหาและคิดต้นทุนในการเดินทาง โดยมีข้อจำกัดด้านภาระงานที่พนักงานได้รับ เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดส่งสินค้าสู่ลูกค้า สำหรับ Thangiah Potvin and Sun (1996) ทำการวิจัยแก้ปัญหการจัดเส้นทางรถโดยสารภายใต้กรอบเวลา และเดินทางเปล่ากลับมายังจุดเริ่มต้น (Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Window: VRPBTW) ในการแก้ปัญหาทราบถึงข้อจำกัดเรื่องความจุของรถ และทราบถึงความต้องการของลูกค้าในแต่ละจุด ซึ่งแตกต่างกันในการแก้ปัญหาพบว่าเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยได้ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการแก้ปัญหา และ Laporte, G. (1992) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่ง โดยพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งได้แยกระดับความสำคัญของปัญหาออกเป็น 2 ปัญหา คือ ปัญหาหลัก

(Master Problem) คือปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง ใช้วิธี Tree Search Algorithm ในการแก้ปัญหา และปัญหารอง (Sub Problem) คือปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง ใช้วิธี Branch and Bound ในการแก้ปัญหา ซึ่งคำตอบที่ได้จากวิธีการนี้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution)

นอกจากนี้ยังมีผู้นำเสนอวิธีการฮิวริสติกส์และเมตาฮิวริสติกส์ไปประยุกต์ใช้ ในการแก้ปัญหา การเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่งอีกหลากหลายวิธี ซึ่งวิธีเมตาฮิวริสติกส์วิธีหนึ่งที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านคุณภาพของคำตอบและเวลาในการประมวลผลเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization) นั่นคือวิธี การหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) โดยสามารถใช้เวลาในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ที่รวดเร็วขึ้นเมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้นมากกว่า 50 เมืองขึ้นไป (ธีรณี มณีสรี, 2552) นอกจากนี้ Pupong, Aphirak and Christian (2008) และ Pupong et al. (2001) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาการกำหนดงานของกระบวนการผลิต นอกจากนี้มีผู้วิจัยหลาย ๆ ท่านได้นำวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งรวมถึงการจัดเส้นทางขนส่ง ดังสรุปไว้ในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการหาคำตอบ

การแก้ปัญหา	นักวิจัย/ปี	วิธีการ
Exploration of genetic parameters and operators through travelling salesman problem	Pupong, Warattapop and Peeraya (2007)	Genetic Algorithms
Multi-objective Vehicle Routing Problem with Time Windows using Goal Programming and Genetic Algorithm	Keivan Ghoseiri and Seyed Farid Ghannadpour (2010)	Genetic Algorithms
Genetic Algorithm with Iterated Local Search for Solving a Location-Routing Problem	Houda D. and et al. (2012)	Genetic Algorithms and Iterated Local Search
A Knowledge-Based Evolutionary Algorithm for The Multi-Objective Vehicle Routing Problem with Time windows	Tsung-Che Chiang and Wei-Huai Hsu (2014)	Genetic Algorithms
A Simple and Effective Evolutionary Algorithm for The Capacitated Location-Routing Problem	Rui Borges Lopes, and et.al (2016)	Genetic Algorithms

ตารางที่ 2.7 การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการหาคำตอบ (ต่อ)

การแก้ปัญหา	นักวิจัย/ปี	วิธีการ
A Genetical Algorithm for the Vendor-Managed Inventory Routing Problem with Lost Sales	Yang-Byung P. et al. (2016)	Genetic Algorithms
A Genetic Algorithm Approach for Location-Inventory-Routing Problem with Perishable Products	Abdelhalim, H. et al. (2017)	Genetic Algorithms
Solving Vehicle Routing Problem by using Improved Genetic Algorithm for Optimal Solution	Mazin Abed Mohammed et al. (2017)	Genetic Algorithms

ในงานวิจัยของวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ ที่มีความทนทานต่อความผิดพลาดและความหลากหลายของรูปแบบข้อมูล ซึ่งจุดเด่นของการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมคือการค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลจำนวนมาก (กลุ่มประชากรของโครโมโซม) แทนการพิจารณาข้อมูลที่ละคำตอบ โดยหลักการของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมคือการคัดเลือกคำตอบที่ดีกว่าจากชุดคำตอบหรือกลุ่มประชากร และการผสมผสานรายละเอียดข้อมูลย่อยในชุดคำตอบ (การผสมผสานยีนในโครโมโซม) เพื่อค้นหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นร่วมกับการสุ่มเปลี่ยนข้อมูลย่อยหรือการกลายพันธุ์เพื่อป้องกันการยึดติดกับคำตอบที่ดีเฉพาะที่ และแม้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้คำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา แต่สำหรับการแก้ปัญหา LRP ในบางครั้งวิธีการเมตาฮิวริสติกส์วิธี GA ก็ยังพบว่ามีข้อบกพร่องเนื่องจากการหาคำตอบแบบคงที่ยังถือว่าไม่ได้เป็นวิธีการที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ได้เป็นไปได้ว่าอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาอัลกอริทึมเพิ่มเติมเพื่อให้ผลที่ได้มีค่าเหมาะสมมากที่สุด

Wenjuan, Gu et al (2019) ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการขนส่งกรณีที่ถูกค่ามีความต้องการสินค้าหลายชนิด การขนส่งสินค้าของยานพาหนะแต่ละคันจึงจำเป็นต้องไปส่งให้ลูกค้าหลายรายในระยะเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยมีการประยุกต์ใช้ ALNS ในการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้วิธีการทำลายคำตอบแบบ Shaw removal (เปลี่ยนลูกค้าที่ละเซต) วิธีการ Worst removal วิธีการ Random removal และวิธีการ Route removal ส่วนวิธีการซ่อมแซมคำตอบได้เลือกใช้ วิธีการซ่อมแซมแบบ Greedy insertion วิธี Regret insertion และ Random insertion ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการให้บริการลูกค้าได้มากที่สุดและทันเวลา มีการพัฒนาคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้ Mathematical Programming Based Operator (MPO) ผลการศึกษาพบว่า การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ให้คำตอบที่ดีที่สุด ในระยะเวลาอันสั้น Vinicius, G. et al. (2018) นำเสนอการแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Gate Matrix Layout Problem (GMLP) โดยการหารูปแบบส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเป็นการลดจำนวนจุดแนวเชื่อมต่อของวงจร อันเป็นการลดค่าใช้จ่ายภายในอุตสาหกรรมและสามารถพัฒนาประสิทธิภาพ

ของวงจรโดยการลดพื้นที่วงจร โดยงานวิจัยดังกล่าวนี้มีการประยุกต์ใช้วิธีการ ALNS ในการแก้ปัญหา GMLP ผลจากการทดลองพบว่า วิธีการของ ALNS สามารถให้ประสิทธิภาพของคำตอบได้ถึงร้อยละ 89 ในส่วนของ Zhixing, L. et al. (2016) เป็นการนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง การขนส่งกรณีที่ถูกค่ามีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนและน้ำหนักสินค้ามีความสัมพันธ์ต่อค่าใช้จ่าย ในงานวิจัยดังกล่าวมีการประยุกต์ใช้วิธีการ ALNS มาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยมีวิธีการทำลาย คำตอบ 3 ขั้นตอนคือ random removal, worst removal และ neighborhood graph removal และวิธีการซ่อมแซมคำตอบ 2 วิธีการได้แก่ basic greedy insertion และ deep greedy insertion ผลจากการทดสอบพบว่า คำตอบที่ได้สามารถนำมาเป็นคำตอบมาตรฐานสำหรับงานวิจัยอื่น ๆ ในอนาคตได้เป็นอย่างดี Sacramento, D. et al. (2019) นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะโดยใช้ โดรน ซึ่งการนำโดรนมาใช้สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานของเส้นทางได้อย่างมากและสามารถลด พลังงานเชื้อเพลิงทั้งหมดที่จะใช้ในรถบรรทุกได้เป็นอย่างดี มีการนำวิธีการ ALNS มาใช้ในการ แก้ปัญหา จากผลการทดสอบพบว่า การนำโดรนมาใช้แทนรถบรรทุกสามารถให้ผลการดำเนินงานที่ไวกว่า การใช้รถบรรทุก Emrah, D. et al. (2013) ได้มีการนำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางของมลพิษ โดย มีการรอบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งปัญหามลพิษดังกล่าวประกอบด้วยจำนวนเส้นทางของรถที่ให้บริการลูกค้า โดยมีการกำหนดความเร็วในแต่ละเส้นทางเพื่อลดค่าฟังก์ชันค่าใช้จ่ายให้มีค่าต่ำที่สุด อันประกอบด้วย ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าการปล่อยมลพิษและค่าจ้างคนขับ โดยมีการนำวิธีการ ALNS มาใช้ในการ แก้ปัญหาดังกล่าวโดยมีการใช้วิธีการทำลายคำตอบ 12 วิธีและวิธีการซ่อมแซมคำตอบ 5 วิธีการ ผลการ ทดสอบพบว่าสามารถยืนยันประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้เป็นอย่างดี สำหรับ Chen et al. (2018) ได้ศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางของปัญหารถยนต์แบบไดนามิกส์ด้วยการแก้ปัญหา ด้วยวิธี ALNS ซึ่งมีข้อจำกัดของยานพาหนะ ใช้วิธีการทำลายคำตอบในกระบวนการ ALNS คือ Random removal, Worst removal, Static-Related removal และ Time-Related removal และการซ่อมแซม คำตอบใช้วิธีการ แบบ Greedy insertion, Regret insertion และ Noise insertion เมื่อเปรียบเทียบกับ ระยะทางในการเดินทางโดยเฉลี่ยกับวิธีการอื่นพบว่าผลการทดลองของ ALNS แย่กว่าวิธีอื่นเล็กน้อย แต่คำตอบที่ได้มีข้อผิดพลาดน้อยกว่า 4.63% เมื่อเทียบกับคำตอบวิธีอื่น และ Ran, L. et al. (2019) นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยมีเงื่อนไขรอบเวลาการเยี่ยมชมปัญหาการจัดเส้นทาง ที่มีรอบเวลาเป็นการใช้ในการออกแบบวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง มีการจำลองโปรแกรมสำหรับปัญหาดังกล่าวและนำเสนอฮิวริสติกส์แบบ ALNS ซึ่งมีวิธีการทำลายคำตอบ 5 วิธีการ ประกอบด้วย Related removal, Worst removal, Synchronize-service customer removal, Route removal และ Random removal และวิธีการซ่อมแซม 2 วิธีการประกอบด้วย Best insertion และ Regrete insertion ผลการวิจัยพบว่าวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวนี้สามารถให้ผลที่ดีกว่าแนวทางเดิมที่เป็นอยู่ นอกจากนี้ Natthanan, P. et al. (2019) นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตและการ มอบหมายงานในฟาร์มเลี้ยงไก่เนื้อ เพื่อให้มีกำไรสูงสุดมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อกำไรที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะการวางแผนการผลิตในส่วนของต้นทุนการขายและการขนส่ง โดยมีการประยุกต์ใช้วิธีการ ค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) จำนวน 3 รูปแบบคือ ALNS1, ALNS2 และ ALNS3 ในการแก้ปัญหา ผลการทดสอบพบว่าวิธีการ ALNS1 ให้ ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและใช้เวลาในการประมวลผลที่สั้นที่สุด ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มกำไร

ให้กับฟาร์มโกได้ถึง 5.74% Nabila, A. et al. (2014) มีการประยุกต์ใช้ ALNS ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่ให้บริการหลาย ๆ เส้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถให้บริการลูกค้าได้มากที่สุดแต่มีต้นทุนในการเดินทางต่ำสุด โดยวิธีการ ALNS ในการทำลายคำตอบที่เลือกใช้ คือ Random customer removal, Related customer removal, Random route removal และ Related route removal และวิธีการซ่อมแซมด้วยวิธี Least cost heuristic และ Regret-base heuristic โดยใช้การยอมรับคำตอบด้วยวิธีการอบอุ่น Simulate annealing พบว่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นที่น่าพอใจ Pitakaso, R. And Sethanan, K. (2019) นำเสนอวิธีการ ALNS โดยการใช้แนวคิดของ DE ในการแก้ปัญหาเครื่องเก็บเกี่ยวเชิงกลและปัญหาการจัดเส้นทางภายใต้กรอบเวลาเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการให้บริการโดยเครื่องเก็บเกี่ยวเชิงกลภายใต้การใช้ทรัพยากรร่วมกันซึ่ง ALNS ได้ออกแบบสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ผลการทดลองพบว่า ฟังก์ชันพาราโบลาให้คุณภาพของคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าฟังก์ชันอื่น ๆ ทั้งหมดและแสดงให้เห็นว่าฮิวริสติกที่เสนอนั้นมีประสิทธิภาพมาก สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานภาคสนามของเกษตรกรรายย่อยและช่วยจัดการด้านโลจิสติกส์เข้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ Massan, R. et al (2012) นำเสนอการแก้ปัญหาด้านการขนส่งในระหว่างจุดรับและส่งสินค้า มีการประยุกต์ใช้ตัวแปร Pickup and Deliver (PDP) ที่สามารถขอเปลี่ยนยานพาหนะได้ในระหว่างการเดินทาง โดยมีการนำหลักการ ALNS มาใช้ในการแก้ปัญหาผลการดำเนินงานด้วยวิธีดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ขนส่งคนพิการ โดยผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการมีจุดถ่ายสามารถพัฒนาปรับปรุงได้อย่างมีนัยสำคัญมากถึง 9% ในค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ Jun, Yang and Hao, Sun (2015) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการหาทำเลที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่งสถานีแลกเปลี่ยนแบตเตอรี่ที่มีตัวเก็บประจุของรถไฟฟ้าภายใต้ข้อจำกัดระยะทางการขับขี่โดยแบตเตอรี่ มีการนำเสนอฮิวริสติกส์แบบ 4 เฟสที่เรียกว่า SIGALNS ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการของ Tabu Search-modified Clarke and Wright Savings heuristic (TS-MCWS) ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม CPLEX พบว่าวิธีการ SIGALNS สามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า Hemmelmayr, V. (2017) งานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึม วิธี Large neighborhood search (LNS) ในการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งแบบมีช่วงเวลา periodic location routing problem (PLRP) มีการวางแผนการเยี่ยมชมของลูกค้า กำหนดความถี่และสามารถเลือกวันที่จะเข้าเยี่ยมชมแบบเฉพาะเจาะจงได้ ผลการวิจัยพบว่าฮิวริสติกส์ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่างานวิจัยที่นำเสนอมาก่อนหน้านี้ สำหรับ Mustafa, A. and Mualla, G. A. (2017) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาของปัญหาช่วงซ่อมซึ่งไม่มีข้อผูกมัดใด ๆ กำไรขึ้นอยู่กับเวลาและโอกาสของแต่ละจุดมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มรายได้ โดยมีการประยุกต์ใช้วิธี Greedy randomized adaptive search procedure (GRASP) ร่วมกับวิธี Iterated local search (ILS) ผลจากการวิจัยพบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา Yuan, Q. and Jonathan, F. B. (2012) ปัญหาการรับและส่งสินค้ามีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์ งานวิจัยดังกล่าวนี้ได้รับแรงบันดาลใจจากปัญหาระบบการขนส่งทางอากาศเพื่อให้ได้กำไรสูงสุดมีการนำวิธีฮิวริสติกส์แบบ GRASP มาใช้ในการแก้ปัญหาและการนำวิธีการ ALNS มาใช้ในการปรับปรุงเส้นทางที่เป็นไปได้ผลการทดสอบพบว่าฮิวริสติกส์ GRASP จากการปรับปรุงคำตอบด้วย ALNS ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ Houda, D. et al (2012) งานวิจัยนี้นำเสนอปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งแบบมีความหลากหลาย

ของขนาดจุดรับซื้อและมีรถบรรทุกแบบไม่จำกัดโดยนำฮิวริสติกส์แบบ GA ร่วมกับวิธีการ Iterative local search (ILS) ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาวิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาได้ดีกว่าวิธี TABU search และ Thibaut, V. et al (2013) นำเสนอวิธีการ GA ผสมผสานกับปัญหาการจัดเส้นทางที่มีความหลากหลายแบบมีกรอบเวลา มีการนำเสนอเทคนิคใหม่โดยพิจารณาถึงค่าโทษในการแก้ปัญหาโดยมีข้อจำกัดด้านเวลา ผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึม ดังกล่าวที่นำเสนอสามารถนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาขนาดใหญ่และให้ผลที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก Yannis, M. and et al (2013) งานวิจัยดังกล่าวนี้ นำเสนออัลกอริทึมแบบ partial swarm optimization (PSO) ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางแบบมีความต้องการสินค้าไม่แน่นอน พาหนะมีความสามารถในการบรรทุกที่จำกัดโดยจะออกจากคลังสินค้าเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกเต็มคันรถซึ่งจะทราบความต้องการเมื่อรถขนส่งเข้ามาถึงจุดรับซื้อ ผลการทดลองพบว่าวิธีการดังกล่าวให้ผลที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ผ่านมา Vincent, F. Y. et al. (2010) งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งโดยนำเสนอวิธีการ SA ในการแก้ปัญหาผลจากการวิจัยพบว่า วิธีการของ SALRP สามารถที่จะแข่งขันกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่รู้จักกันทั่วไปได้เป็นอย่างดี และ Ahmad S. et al (2019) งานวิจัยนี้นำเสนอปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งของสินค้าคงคลัง (Inventory location routing problem (ILRP) โดยการใช้กลยุทธ์ vendor managed inventory (VMI) โดยการปรับปรุงวิธีของ GA มาใช้ในการแก้ปัญหา ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าวิธีการ IGA ที่ได้ทำการปรับปรุงมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโดยให้ต้นทุนที่ต่ำเมื่อจำนวนลูกค้ามีมากขึ้น จำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นและปริมาณความจุของคลังมีน้อยลง Vincent, F. Y. and et al (2017) งานวิจัยดังกล่าวนี้เป็นปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งในการเปิดศูนย์กระจายสินค้า โดยพิจารณาตัวแปรคือปริมาณความจุของจุดที่ทำการเปิด โดยที่พาหนะขนส่งจะไม่กลับมายังศูนย์กระจายสินค้าภายหลังจากให้บริการลูกค้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว มีการนำวิธีการ SA มาใช้ซึ่งพบว่าวิธีการของ SA ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพในการนำมาใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว Hossein, A. and Samsung L. (2017) นำเสนอแนวทางในการบริหารจัดการขยะมูลฝอยในชุมชน โดยอาศัยกรอบปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและการจัดเส้นทางเพื่อหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียเนื่องจากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาแบบ NP-Hard จึงมีการนำอัลกอริทึม SA มาใช้ในการดำเนินงานวิจัยดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่าวิธีการของ SA ให้ประสิทธิภาพที่ดี Novita, H. and et al. (2019) งานวิจัยดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัลกอริทึมแบบบอบอ่อน SA ร่วมกับวิธีการของ Greedy เพื่อวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยว งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการจำลองขั้นสูงด้วยอัลกอริทึมบอบอ่อน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมแบบบอบอ่อนที่มีการปรับปรุงแล้ว สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ของนักท่องเที่ยวได้เป็นอย่างดี Iqbal, Wahyn Saputra et al. (2018) นำเสนอการจัดส่งหนังสือพิมพ์แบบมีกรอบเวลาในการส่งมอบในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมวิวัฒนาการที่แตกต่างกัน Differential Evolution เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับทุกหน่วยงาน ผลการดำเนินงานพบว่าได้เส้นทางที่สั้นและระยะเวลาในการเดินทางที่สั้นลง Abdelhalim, H. et al. (2017) ศึกษาการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งประเภทสินค้าคงคลังแบบผลิตภัณฑ์ที่เน่าเสียง่าย โดยมีการประยุกต์ใช้วิธีการ Genetic algorithm วิธีการดังกล่าวนี้ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดภายใต้เวลาที่เหมาะสม ซึ่งมีการพัฒนาโครโมโซมใหม่รวมถึงการวิเคราะห์ฮิวริสติกส์สำหรับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ Shangce, G. et al (2016)

นำเสนอการแก้ปัญหา LRP ในสภาพแวดล้อมแบบไดนามิกส์ โดยเสนออัลกอริทึมการรวมกลุ่มของฝูงมด (Clustering ant colony algorithm: KACO) มีการใช้อัลกอริทึมของ K-mean ในการจัดกลุ่มผลการวิจัย พบว่า ได้คำตอบของข้อมูลที่มีประสิทธิภาพที่ดี Kazakovtsev, L. A. and Antamoshkin, A.N. (2014) ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีของ Greedy algorithm สำหรับการแก้ปัญหาการหาทำเลที่ตั้งแบบ P-median โดยการจัดกลุ่มด้วย K-mean ผลการวิจัยพบว่า วิธีการดังกล่าวนี้สามารถแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งที่มีขนาดใหญ่มากโดยการจัดกลุ่มได้ผลเป็นที่น่าพอใจอย่างมาก Yuzhuo, Q et al. (2018) งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในกระบวนการผลิต สินค้าคงคลังและการส่งมอบสินค้าให้ถึงมือลูกค้า โดยมีการนำเสนอฮิวริสติกส์แบบการค้นหาพื้นที่ข้างเคียง Variable Neighborhood Search: VNS ผลการวิจัยพบว่า ฮิวริสติกส์ที่นำเสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าฮิวริสติกส์ที่ได้นำเสนอมาก่อนหน้านี้ Drazen, Popovic and et al. (2012) งานวิจัยดังกล่าวนี้เป็นการนำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของสถานีสบริการน้ำมันรวมถึงการจัดการสินค้าคงคลังในสถานีสบริการน้ำมัน โดยการใช้วิธีฮิวริสติกส์การค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงแบบแปรผัน Variable Neighborhood search เพื่อแก้ปัญหา IRP (Inventory Routing Problem) และทำการเปรียบเทียบกับแบบจำลอง Mixed Integer Liner Programing (MILP) และฮิวริสติกส์แบบ Compartment Transfer (CT) ผลการทดลองพบว่าฮิวริสติกส์แบบ VNS ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการแก้ปัญหาแบบ CT ฮิวริสติกส์

จากการทบทวนวรรณกรรมในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาพบว่า การหาคำตอบแบบไม่คงที่โดยมีการหาคำตอบพื้นที่ใกล้เคียงปัจจุบันหรือมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงนั้นสามารถหาคำตอบได้ด้วยวิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เนื่องจากขอบเขตของพื้นที่ใกล้เคียงจะป้องกันไม่ให้เกิดการค้นหาตำแหน่งเดิม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในระยะเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งได้แก่วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search: LNS) วิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่มาก (Very Large Scale Neighborhood Search: VLSN) วิธีการค้นหาข้างเคียงแบบแปรผัน (Variable Neighborhood Search: VNS) วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) วิธีการแปรผันกลยุทธ์ในการหาคำตอบใกล้เคียงแบบปรับค่าได้ (Variable Neighborhood Strategy Adaptive Search: VaNSAS) เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้อาศัยหลักการ การทำลายคำตอบเริ่มต้นและการซ่อมแซมคำตอบใหม่ผลที่ได้จะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยพบว่าวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (ALNS) เป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีลักษณะเข้มข้นแบบลงลึก (Intensification) ในการหาต้นทุนที่ต่ำลงไปเรื่อย ๆ ไม่ได้มีการหาแบบมูมกว้างทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด เช่นเดียวกับวิธีการของ GA ที่ผู้วิจัยมีความสนใจมาตั้งแต่ต้น เนื่องจากเป็นวิธีที่มีการค้นหาคำตอบจากชุดข้อมูลจำนวนมากแทนการพิจารณาข้อมูลที่ละคำตอบ (กลุ่มประชากรของโครโมโซม) คำตอบที่ได้มีความกระจายแบบหลากหลาย (Diversification) จากกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์และการผ่าเหล่า ดังนั้นงานวิจัยดังกล่าวนี้จึงมีการประยุกต์ใช้วิธีการของ GA ร่วมกับวิธีการ ALNS เพื่อจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหากรณีศึกษาดังกล่าวนี้

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Wenjuan, G. et al	2019	Adaptive large neighborhood Search for commodity constrained split delivery VRP.											✓	
Hossein, A. and Samsung L.	2019	simulated annealing to an integrated municipal solid waste location-routing problem.	✓											
Hemmelmayr, V.	2019	Large Neighborhood Search Algorithms for the Periodic Location Routing Problem.								✓				
Theeraviriya, C. and et al.	2020	Location routing problem in finding rubber purchasing center.										✓		
Rapeepan Pitakaso and Kanchana Sethanan	2019	Adaptive large neighborhood search for scheduling sugarcane by Differential Evolution.											✓	

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Natthan, P. et al.	2019	Adaptive Large Neighborhood Search to Solve Multi-Level Scheduling and Assignment Problems.											✓	
Sacramento et al.	2019	Adaptive large neighborhood search metaheuristic for the routing problem.											✓	
Ran, L. et al.	2019	An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows.											✓	
Vinicius, G. et al.	2018	Adaptive large neighborhood search for Gate Matrix Layout Problem (GMLP).											✓	
Chen et al.	2018	An adaptive large neighborhood search heuristic for dynamic vehicle routing problems.											✓	

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Chen et al.	2018	An adaptive large neighborhood search heuristic for dynamic vehicle routing problems.											✓	
Yuzhuo, Q. et al	2018	A variable neighborhood search heuristic algorithm for production routing problems.									✓			
Iqbal, W. S. et al.	2018	Vehicle Routing Problem with Time Windows using Differential Evolution.		✓										
Mustafa, A. and Mualla, G. A.	2017	A GRASP with iterated local search for routing.						✓	✓					
Vincent, F. Y. and et al.	2017	simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem.	✓											
Abdelhalim, H. et al.	2017	genetic algorithm for location routing problem.			✓									

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Zhixing, L. et al.	2016	Adaptive large neighborhood search heuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands.											✓	
Mustafa, A. and Mualla, G. A.	2017	A GRASP with iterated local search for routing.						✓	✓					
Vincent, F. Y. and et al.	2017	simulated annealing heuristic for the hybrid vehicle routing problem.	✓											
Abdelhalim, H. et al.	2017	genetic algorithm for location routing problem.			✓									
Zhixing, L. et al.	2016	Adaptive large neighborhood search heuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands.											✓	

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Shangce, G. et al.	2016	Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem.					✓							
Jun, Yang and Hao, Sun	2015	location-routing problem with capacitated.												✓
Nabila, A. et al.	2014	An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes.											✓	
Kazakovtsev, L.A. and Antamoshkin, A.N	2014	Genetic Algorithm with Fast Greedy Heuristic for Clustering and Location Problems.			✓									
Thibaut, V. et al.	2013	A hybrid genetic algorithm of vehicle routing problem with time-windows.			✓									

ตารางที่ 2.8 สรุปวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	ปี	การแก้ปัญหา	วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย											
			SA	DE	GA	PSO	ACO	ILS	GRASP	LNS	VNS	VaNSAS	ALNS	SIGALNS
Yannis, M. and et al.	2013	Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands.				✓								
Massan R. et al.	2012	An Adaptive Large Neighborhood Search for the Pickup and Delivery Problem with Transfers.											✓	
Yuan, Q. and Jonathan, F. B.	2012	A GRASP with adaptive large neighborhood search for pickup and delivery problems.							✓				✓	
Houda, D. et al.	2012	Genetic algorithm with iterated local search for solving a location routing problem.			✓			✓						
Emrah, D. et al.	2012	An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution routing problem.											✓	
Ahmad S. S. et al.	2012	genetic algorithm for location routing problem.			✓									

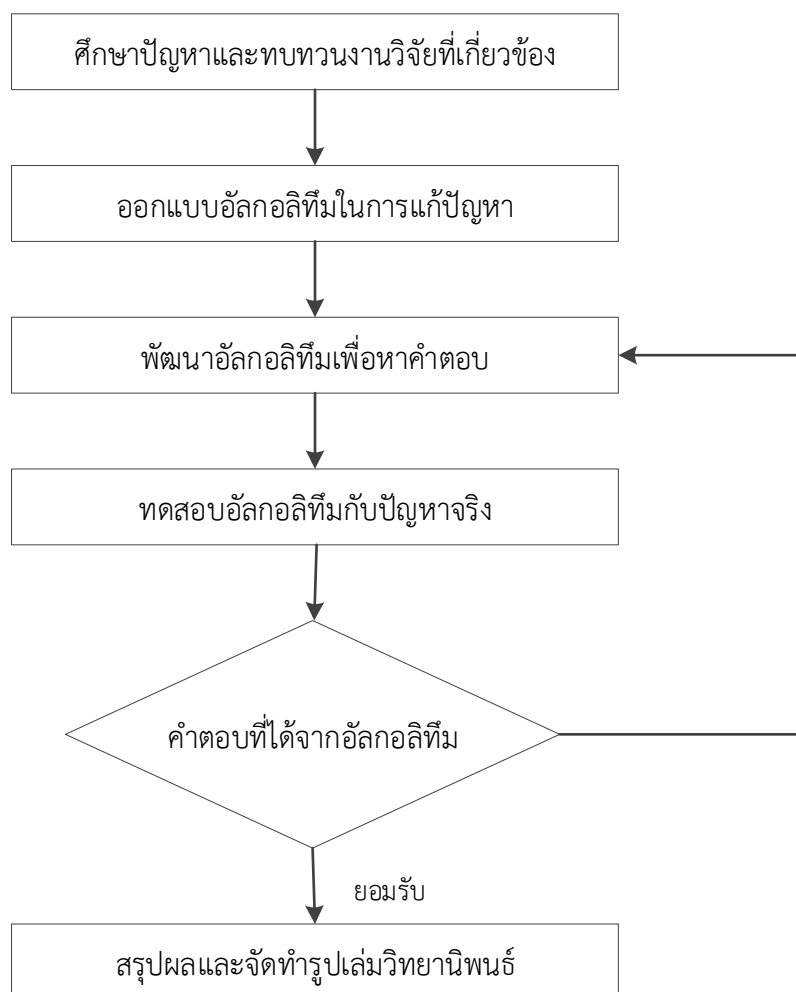
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยซึ่งจะมีการอธิบายตั้งแต่ข้อมูลพิกัดการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง มีการรวบรวมข้อมูลผู้ขายทั้งหมดที่ขายยางพาราให้กับตลาดกลาง มีการศึกษาข้อมูลทั้งในส่วนของระยะทางระหว่างตำบล ข้อมูลปริมาณยางพาราของทุกตำบลในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ศึกษากรอบแนวคิดในการวิจัย รวมถึงการตั้งสมมติฐานของปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้เพื่อให้ได้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางการขนส่งของตลาดเครือข่ายในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ในการหาคำตอบ รวมถึงข้อมูลรายละเอียดของคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล ซึ่งจะสามารถสรุปผลการดำเนินการวิจัย และจัดทำรูปแบบการดำเนินงานวิจัยได้ในลำดับต่อไป

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการวางแผนการดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานต่ำที่สุด ซึ่งในเบื้องต้น 1) จะทำการศึกษาปัญหา ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่ง 2) ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหา 3) พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อหาคำตอบ โดยการประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์เพื่อค้นหาคำตอบของปัญหาผ่านโปรแกรม Visual Studio 2013 4) ทดสอบอัลกอริทึมกับปัญหาจริง และ 5) วัดประสิทธิภาพของคำตอบกับโปรแกรม Lingo สำหรับปัญหาขนาดเล็ก กลางและใหญ่และปัญหาจริงของพื้นที่ผลผลิตยางพาราจำนวน 503 ตำบล ร่วมกับตลาดกลางยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลา หากประสิทธิภาพของคำตอบมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติถือว่าประสิทธิภาพของคำตอบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของพื้นที่กรณีศึกษาได้ 6) สรุปผลและจัดทำรูปแบบวิทยานิพนธ์โดยสามารถกำหนดลำดับและขั้นตอนในการดำเนินการได้ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีข้อพิจารณาในรายละเอียดเกี่ยวกับ สถานที่ตั้งของผู้ขายที่แยกแบบรายตำบลภายในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง ระยะทางในการจัดส่งยางพาราระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายแบบแยกตามรายตำบล และปริมาณยางพาราที่ขาย เพื่อจะนำมากำหนดสถานะของปัญหาในการวิจัย โดยกำหนดเป็นตัวแทนทางคณิตศาสตร์ (Mathematics Model) ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาดำเนินการสถานที่ตั้งของตลาดเครือข่ายรับซื้อยางพารา โดยเป็นการบริหารงานโลจิสติกส์ในเรื่องการขนส่งแบบเบ็ดเสร็จภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

3.2.1 ผู้ขายยางพารา

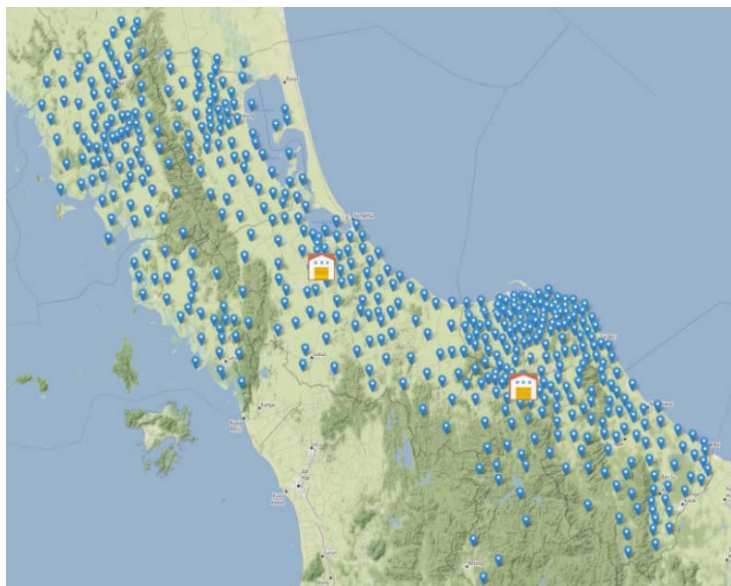
ผู้ขายยางพารา คือ ผู้นำยางพารามาจำหน่ายยังตลาดเครือข่าย ซึ่งในงานวิจัยดังกล่าวนี้ ทำการศึกษาข้อมูลผู้ขายยางพาราแบบแยกตามรายตำบลของพื้นที่ภายในจังหวัดภาคใต้ตอนล่างซึ่งพบว่ามีจำนวนจังหวัดทั้งหมด 7 จังหวัด รวม 503 ตำบล และมีตลาดกลางยางพารา 2 แห่งคือตลาดกลางยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลา โดยทำการบันทึกพิกัดละติจูด ลองจิจูด โดยใช้โปรแกรม

Google map และปริมาณยางพาราที่ผลิตได้ภายในพื้นที่แต่ละตำบล ของพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ตั้งของผู้ขายยางพารา

ลำดับที่	ที่อยู่ผู้ขาย	ละติจูด	ลองจิจูด	ปริมาณ (กิโลกรัม/วัน)
1	ตลาดกลางยางพาราสงขลา	7°01'01"N	100°29'55"E	-
2	ตลาดกลางยางพารายะลา	6°30'54"N	101°16'23"E	-
3	ตำบลกันตัง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°24'14"N	99°30'36"E	1,178
4	ตำบลกันตังใต้ อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°21'23"N	99°31'18"E	2,045
5	ตำบลเกาะลิบง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°14'27"N	99°23'01"E	1,180
6	ตำบลคลองชีล้อม อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°24'50"N	99°34'05"E	1,080
7	ตำบลคลองลู อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°28'40"N	99°30'41"E	2,800
8	ตำบลควนธานี อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°30'48"N	99°33'42"E	572
9	ตำบลโคกยาง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°30'34"N	99°31'06"E	896
10	ตำบลนาเกลือ อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง	7°19'38"N	99°28'13"E	1,383
..
..
..
504	ตำบลละงู อำเภอละงู จังหวัดสตูล	6°52'27"N	99°50'49"E	10,470
505	ตำบลแหลมสน อำเภอละงู จังหวัดสตูล	6°56'21"N	99°42'43"E	1,782

ที่มา: สำนักงานการพัฒนารายการเกษตร (2560: เว็บไซต์)



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งพิกัดของผู้ขายยางพาราและตลาดกลางยางพารา

3.2.2 การหาระยะทางระหว่างผู้ขายแต่ละราย (Distance Matrix)

ในการหาระยะทางระหว่างผู้ขายแต่ละราย มีการจัดทำเป็นตารางเมตริก ซึ่งประกอบด้วยผู้ขายยางพาราแยกตามแต่ละตำบลจำนวน 503 ตำบล และตลาดกลางยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลา รวมทั้งหมด 505 ราย โดยใช้โปรแกรม Google map ในการคำนวณพิกัดตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ตามหัวข้อที่ 3.2.1 มาหาระยะทางทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ระยะทางการขนส่งยางพารา (กิโลเมตร)

พิกัด	D1	D2	D3	...	...	D504	D505
D1	0	8.4	26.5	...	...	174	298
D2	8.4	0	34.7	...	...	183	306
D3	26.5	34.7	0	...	...	197	320
D4	7.7	15.9	33.7	...	...	175	350
D5	14.4	22.6	25.9	...	...	172	393
.
.
D504	174	183	197	...	...	0	150
D505	298	306	320	...	...	150	0

3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับตลาดเครือข่าย

ระบบตลาดยางของประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 ระบบ คือ ระบบตลาดท้องถิ่น ระบบตลาดกลางยางพารา และระบบตลาดซื้อขายล่วงหน้า ตลาดยางที่ซื้อขายโดยมีการส่งมอบจริง (Physical Market) สำหรับตลาดยางภายในประเทศแบ่งออกเป็นระบบตลาดท้องถิ่น และระบบตลาดกลางยางพารา ชาวสวนยางส่วนใหญ่นิยมขายยางผ่านระบบตลาดท้องถิ่น จะเห็นได้จากประมาณร้อยละ 94 ของปริมาณยางทั้งประเทศซื้อขายผ่านตลาดท้องถิ่น ดังนั้นจึงถือได้ว่าตลาดท้องถิ่นในระดับหมู่บ้าน ตำบล อำเภอหรือจังหวัด มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อระบบการซื้อขายยางพารา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวทางที่จะพัฒนาระบบการซื้อขายยางพาราในระบบตลาดท้องถิ่นขึ้นเป็นตลาดเครือข่ายโดยเลือกพิจารณาพื้นที่เขตตำบลต่าง ๆ ของทั้ง 7 จังหวัดภาคใต้ตอนล่างรวมทั้งหมด 503 ตำบล โดยกำหนดให้มีการบริการแบบเบ็ดเสร็จ กล่าวคือตลาดเครือข่ายจะให้บริการทุกขั้นตอน ตั้งแต่การคัดคุณภาพยาง การชั่งน้ำหนัก การรับและจ่ายเงินค่ายาง โดยผู้ซื้อที่ประมูลยางได้สามารถมารับยางได้ในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงที่ได้ประมูลยางผ่านตลาดกลางยางพาราไว้ โดยพาหนะขนส่งจะต้องมีความสามารถในการขนส่งยางพารามายังตลาดเครือข่ายให้ทันเวลาในการประมูลยาง นั่นคือเวลาต้องไม่เกิน 14.00 น. ทั้งนี้ในงานวิจัยดังกล่าวครอบคลุมในเขตพื้นที่ตลาดกลางยางพารา ยะลาและตลาดกลางยางพาราสงขลา โดยจะกำหนดให้ตลาดทั้ง 2 ที่ดังกล่าวเปรียบเสมือนตลาดเครือข่ายหนึ่งเช่นกัน

3.4 ข้อมูลเกี่ยวกับค่าใช้จ่าย

ปัญหาในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการต้นทุนต่ำที่สุด (Cost Minimization) ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนในการขนส่งจากผู้ขายไปยังตำแหน่งตลาดเครือข่าย ค่าเสื่อมราคาของจุดที่เปิดเป็นตลาดเครือข่าย และค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ ซึ่งการเปิดตลาดเครือข่ายสามารถเปิดได้ถึง 3 ขนาด ประกอบด้วยตลาดเครือข่ายขนาดเล็ก ขนาดความจุของตลาดเครือข่าย 50 ตัน โดยมีต้นทุนในการเปิดเท่ากับ 1,000,000 บาท ตลาดเครือข่ายขนาดกลาง ขนาดความจุของตลาดเครือข่าย 100 ตัน โดยมีต้นทุนในการเปิดเท่ากับ 2,000,000 บาท และตลาดเครือข่ายขนาดใหญ่ ขนาดความจุของตลาดเครือข่าย 200 ตัน มีต้นทุนในการเปิดเท่ากับ 3,000,000 บาท และนอกจากนี้ตลาดกลางก็เปรียบเสมือนเป็นตลาดเครือข่าย ซึ่งจะต้องดำเนินการเปิด โดยมีขนาดความจุไม่จำกัด อายุการใช้งานของตลาดเครือข่ายกำหนดไว้ที่ 20 ปี ดังนั้นสามารถคำนวณค่าเสื่อมราคาของตลาดเครือข่ายแต่ละประเภทได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าเสื่อมราคาของตลาดเครือข่ายแต่ละประเภท

ประเภทของตลาดเครือข่าย	ต้นทุนการเปิด (บาท/จุด)	ค่าเสื่อมราคาที่ 20 ปี (บาท/วัน)
ตลาดเครือข่ายขนาดเล็ก (50 ตัน)	1,000,000	136.99
ตลาดเครือข่ายขนาดกลาง (100 ตัน)	2,000,000	273.97
ตลาดเครือข่ายขนาดใหญ่ (200 ตัน)	3,000,000	410.96

สำหรับค่าขนส่งยางพารา จะคำนวณโดยคิดตามระยะทางของเกษตรกรแต่ละรายในอัตรา 4 บาทต่อ กิโลเมตร ส่วนค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะจะ คำนวณจากมูลค่าของรถบรรทุก ซึ่งมี 3 ประเภท ประกอบด้วย รถบรรทุก 6 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุก 10 ตัน มูลค่า 1,500,000 บาท รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุก 20 ตัน มูลค่า 2,300,000 บาท และรถบรรทุก 10 ล้อและรถลากพ่วง ขนาดน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน มูลค่า 3,000,000 บาท โดยอายุการใช้งานของรถบรรทุกกำหนดไว้เท่ากับ 12 ปี ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะแต่ละประเภท

ประเภทของยานพาหนะ	มูลค่าพาหนะ (บาท/คัน)	ค่าเสื่อมราคา 12 ปี (บาท/วัน)
รถบรรทุก 6 ล้อ	1,500,000	342.47
รถบรรทุก 10 ล้อ	2,300,000	525.11
รถบรรทุกลากพ่วง	3,000,000	684.93

ที่มา: สมศักดิ์ แก้วพลอย (2559)

3.5 วิเคราะห์ปัญหาและกำหนดกรอบ

หลังจากศึกษาและค้นคว้าทฤษฎี หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และกำหนดขอบเขตของงานวิจัย ได้ดังต่อไปนี้

3.5.1 รูปแบบปัญหาการจัดพาหนะขนส่ง

เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งมีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ และหลายเงื่อนไขในการกำหนดรูปแบบของปัญหา เช่น มีหลายจุดกระจายสินค้า (Multi-Depot) มีหลายชนิดพาหนะขนส่ง หรือแม้แต่การจำกัดความเร็วของยานพาหนะ จากรูปแบบที่หลากหลายของปัญหาเหล่านี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกรูปแบบที่ใช้เป็นขอบเขตของปัญหาที่ศึกษา คือการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยกำหนดให้พาหนะขนส่งไปถึงตลาดเครือข่ายไม่เกินช่วงเวลาที่กำหนด และระยะทางรวมที่ยานพาหนะแต่ละคันเดินทางขนส่งยางพาราแต่ละวันได้ไม่เกิน 480 กิโลเมตรต่อเที่ยว โดยขอบเขตงานในการศึกษาและเงื่อนไขการพัฒนาระบบมีดังต่อไปนี้

3.5.1.1 ข่ายงานในปัญหาที่ศึกษา มีตลาดเครือข่ายหลายแห่งและมีผู้ขายหลายราย

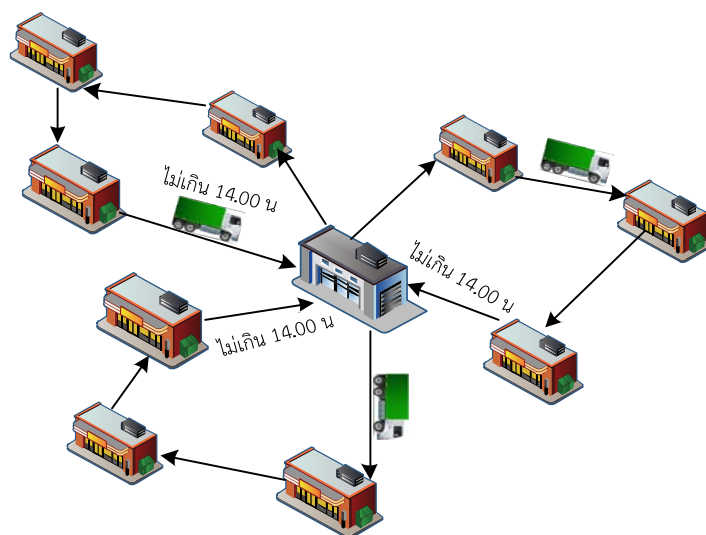
3.5.1.2 พาหนะขนส่งมีหลายประเภท (Heterogeneous)

3.5.1.3 ตลาดเครือข่ายที่ได้รับการเลือกจัดตั้งสามารถเปิดได้ 3 ขนาดคือ ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งแต่ละจุดที่เปิดได้รับการเลือกเป็นทั้งจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการเดินทาง

3.5.1.4 กรอบระยะเวลาให้ยานพาหนะขนส่งมาถึงยังตลาดเครือข่ายไม่เกิน 14.00 น.

3.5.1.5 ทราบปริมาณการรับสินค้าและส่งสินค้าเป็นที่แน่นอน (Deterministic Demand)

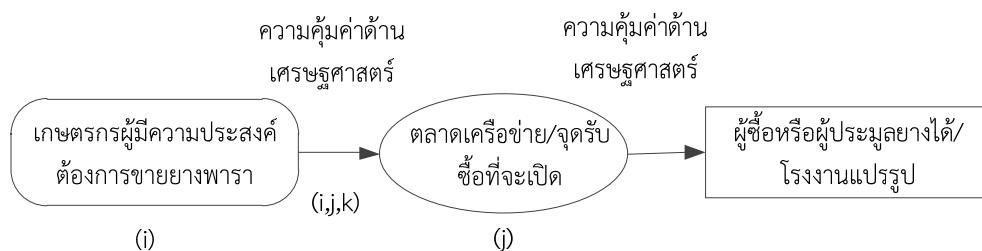
การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งยางพารา สามารถพิจารณาได้ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ประกอบด้วยจุดรวบรวมสินค้าหรือตลาดเครือข่ายเพียงหนึ่งแห่ง และมีจำนวนผู้ขายยางพารา 9 ราย โดยพาหนะขนส่งแต่ละคันจะต้องกลับมาถึงยังจุดรับซื้อไม่เกิน 14.00 น.



ภาพที่ 3.3 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งยางพาราภายใต้เวลาที่จำกัด

3.5.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งยางพาราโดยผู้ขายยางพาราคือเกษตรกรทั่วไปที่มีความประสงค์จะขายยางพาราโดยนำยางพาราไปขายยังตลาดเครือข่ายที่ใกล้บ้าน โดยพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และตลาดเครือข่ายสามารถนำรถไปรับยางพาราตามจุดต่าง ๆ ด้วยการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing) โดยพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เช่นเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 กรอบแนวคิดในการดำเนินงานวิจัย

3.6 สมมติฐานและลักษณะของปัญหา

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายยางพาราและจัดเส้นทางขนส่งยางพาราในบริเวณพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง มีข้อสมมติฐานและลักษณะของปัญหาดังต่อไปนี้

3.6.1 ในการจำลองตัวแบบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายยางพาราและการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยผู้วิจัยจะต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งของเกษตรกร ตำแหน่งของตลาดเครือข่าย โดยจะทำการจัดเส้นทางการขนส่งระหว่างตลาดเครือข่ายและเกษตรกรผู้ขายยางพารา ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการหาคำตอบด้วยวิธีการหาคำตอบตามอัลกอริทึม ที่ได้ออกแบบไว้

3.6.2 ปริมาณยางพาราของผู้ขายแยกตามรายตำบลของพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างซึ่งมีทั้งหมด 503 ตำบล โดยผู้ขายแต่ละรายจะต้องขายยางพาราให้กับตลาดเครือข่ายจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น

3.6.3 ในการเปิดตลาดเครือข่ายสามารถเปิดได้ 3 ขนาดคือ ขนาดเล็กความจุของตลาดเครือข่ายไม่เกิน 50 ตันต่อวัน มีต้นทุนในการเปิด 1,000,000 บาท ตลาดเครือข่ายขนาดกลาง ความจุไม่เกิน 100 ตัน มีต้นทุนในการเปิด 2,000,000 บาท และตลาดเครือข่ายขนาดใหญ่ ความจุไม่เกิน 200 ตันต่อวัน โดยมีต้นทุนในการเปิด 3,000,000 บาท โดยสามารถเลือกเปิดตลาดเครือข่ายได้ทั้ง 3 ขนาดตามความเหมาะสมหรือตามปริมาณการผลิตแต่ละพื้นที่ โดยมีการพิจารณาในส่วนของการใช้จ่ายในการเปิดตลาดเครือข่าย

3.6.4 การขนส่งยางพารายังตลาดเครือข่ายและตลาดกลางยางพาราประกอบด้วยยานพาหนะ 3 ขนาดคือ รถบรรทุก 6 ล้อ (น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 10 ตัน) รถบรรทุก 10 ล้อ (น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 20 ตัน) รถบรรทุกสิบล้อและรถพ่วง (น้ำหนักบรรทุกไม่เกิน 25 ตัน) โดยมีการเลือกขนาดของยานพาหนะเป็นการพิจารณาเลือกตามความเหมาะสม

3.6.5 มีการกำหนดเวลาในการขนส่งยางพารา จากเกษตรกรมายังตลาดเครือข่าย โดยกำหนดให้ไม่เกินเวลาจัดการประมุลยงคือเวลา 14.00น

3.6.6 รถที่ใช้ในการขนส่งมีเพียงพอและมีความสามารถในการบรรทุกยางพาราในปริมาณความจุที่กำหนด

3.6.7 ทราบน้ำหนักยางพาราที่มาจากจำหน่ายยังตลาดเครือข่ายที่แน่นอน

3.6.8 กำหนดให้ระยะทางรวมที่ยานพาหนะแต่ละคันเดินทางขนส่งยางพาราในแต่ละวันได้สูงสุดไม่เกิน 480 กิโลเมตรต่อเที่ยว

3.6.9 มีข้อจำกัดเกี่ยวกับความเร็วของยานพาหนะที่วิ่งได้แต่ละคันไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายใต้ระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมงต่อเที่ยว

3.6.10 ไม่มีข้อกำหนดในการเก็บสินค้าคงคลัง และไม่มีการเก็บสินค้าคงคลังไว้ยังจุดรับซื้อ

3.7 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพารา ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพารา ซึ่งมีลักษณะของปัญหาดังต่อไปนี้

3.7.1 ดัชนี (Index)

i, j คือดัชนีของโหนดต่าง ๆ ของผู้ขายยางพารา ตลาดเครือข่ายและตลาดกลางยางพารา โดยที่ $j = 1$ คือตลาดกลางยางพาราสงขลา $j = 2$ คือตลาดกลางยางพารายะลา

k คือดัชนียานพาหนะที่ใช้ขนส่งยางพารา

a คือดัชนีขนาดตลาดเครือข่าย ($a = 1$ คือขนาดเล็ก, $a = 2$ คือขนาดกลาง, $a = 3$ คือขนาดใหญ่, และ $a = 4$ คือตลาดกลาง)

3.7.2 เซต (Sets)

I คือเซตของตำแหน่งผู้ขายยางพารา โดยที่ $I = \{1, 2, \dots, 505\}$

J คือเซตของตำแหน่งที่สามารถเปิดตลาดเครือข่าย โดยที่ $J = \{1, 2, \dots, 505\}$

K คือเซตของยานพาหนะ โดยที่ $K = \{1, 2, \dots, k\}$

A คือเซตของตำแหน่งขนาดตลาดเครือข่าย โดยที่ $A = \{1, 2, 3, 4\}$

3.7.3 ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

E_k คือค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของรถขนส่งคันที่ k (บาท/(กิโลเมตร))

Q_i คือปริมาณยางพาราทั้งหมดที่มีอยู่ต่อวันของผู้ขายรายที่ i (ตันต่อวัน)

D_{ij} คือระยะทางการขนส่งจากโหนด i ไปโหนด j (กิโลเมตร)

D^{Max} คือการกำหนดให้ระยะทางขนส่งยางพาราได้ไม่เกิน 480 กิโลเมตร

B^M คือกำหนดค่า big M

C_a คือปริมาณความสามารถในการรับยางพาราของตลาดเครือข่าย a (ตันต่อวัน)

โดยที่

M_a คือค่าเสื่อมราคาของขนาดตลาดเครือข่าย a (บาทต่อวัน)

F_a คือค่าใช้จ่ายคงที่ในการดำเนินการของตลาดเครือข่าย a (บาทต่อวัน)

V_k คือความสามารถสูงสุดในการบรรทุกของยานพาหนะ k (กิโลกรัม)

H_k คือค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ k (บาทต่อวัน)

3.7.4 ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variable)

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากโหนด } i \text{ ไปโหนด } j \text{ ด้วยยานพาหนะ} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$y_{ja} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเปิดตลาดเครือข่ายยางพาราที่จุด } a \text{ ขนาดตลาดเครือข่าย} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$s_k = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการใช้ยานพาหนะ} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

3.7.5 ตัวแปรสนับสนุนการตัดสินใจ (Support Decision Variable)

w_{ik} คือ ปริมาณยางพาราผู้ขายยางพาราที่ i ขนด้วยยานพาหนะ k

$$v_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากตลาดเครือข่าย } j \text{ ขนด้วยยานพาหนะ } k \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$z_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเดินทางจากผู้ขายยางพาราที่ } i \text{ ไปตลาดเครือข่ายหรือตลาด} \\ & \text{กลางที่ } j \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

3.7.6 สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } Z = \left(\sum_{j \in J} \sum_{a \in A} y_{ja} (F_a + M_a) \right) + \left(\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} E_k D_{ij} x_{ijk} \right) + \left(\sum_{k \in K} H_k s_k \right) \quad (3.1)$$

3.7.7 ข้อกำหนดเงื่อนไข (Constraint)

$$\sum_{i \in I} w_{ik} \leq V_k \quad \forall k \in K \quad (3.2)$$

$$\sum_{k \in K} w_{ik} = Q_i \quad \forall i \in I \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3.4)$$

$$w_{ik} \leq B^M \sum_{j \in I} x_{ijk} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3.5)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ijk} = \sum_{j \in I} x_{jik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3.6)$$

$$\sum_{j \in J} z_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (3.7)$$

$$\sum_{a \in A, a \neq 4} y_{ja} \leq 1 \quad \forall j \in J, j > 2 \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} Q_i \leq \sum_{k \in K} v_{jk} V_k \quad \forall j \in J \quad (3.9)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} Q_i \leq \sum_{a \in A} y_{ja} C_a \quad \forall j \in J \quad (3.10)$$

$$v_{jk} \leq \sum_{a \in A} y_{ja} \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (3.11)$$

$$\sum_{j \in J} v_{jk} \leq s_k \quad \forall k \in K \quad (3.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq s_k N \quad \forall k \in K \quad (3.13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} D_{ij} x_{ijk} \leq D^{Max} \quad \forall k \in K \quad (3.14)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + 1 \leq N(1 - x_{ijk}) \quad \forall i, j \in I, \forall k \in K, i \neq j \quad (3.15)$$

$$0 \leq u_{ik} \leq N \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3.16)$$

$$y_{j4} = 1 \quad j \in \{1, 2\} \quad (3.17)$$

$$x_{ijk}, y_{ja}, s_k, v_{jk}, z_{ij} \in \{0, 1\} \quad i, j \in I, \forall k \in K, \forall a \in A \quad (3.18)$$

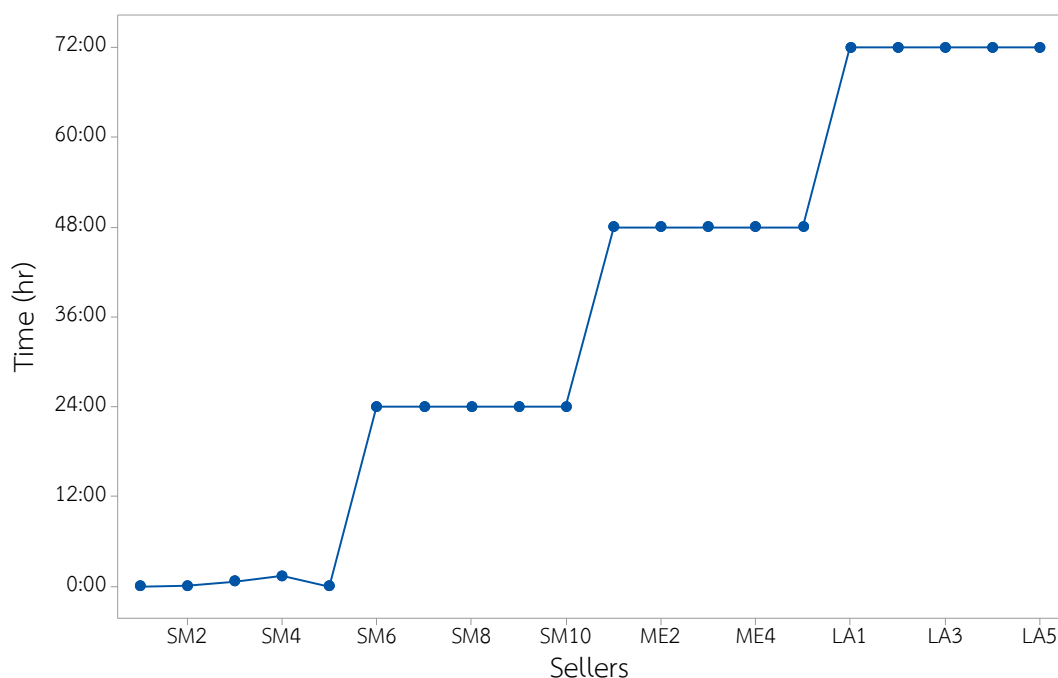
$$w_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (3.19)$$

สมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3.1 เพื่อให้ค่าใช้จ่ายของทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุดประกอบด้วยค่าจัดตั้งค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคาของตลาดเครือข่าย ค่าการขนส่งจากผู้ขายยางพาราไปตลาดเครือข่าย และค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ เงื่อนไขที่ 3.2 สำหรับยานพาหนะใด ๆ ปริมาณการบรรทุกยางพาราต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกยางพาราของยานพาหนะ เงื่อนไขที่ 3.3 ปริมาณยางพาราที่รถขนส่งไปรับยังผู้ขายต้องมีปริมาณเท่ากับปริมาณยางพาราของผู้ขายที่มีอยู่เงื่อนไขที่ 3.4 แต่ละยานพาหนะวิ่งเข้าแต่ละโหนดไม่เกินหนึ่งเส้นทางขาออก เงื่อนไขที่ 3.5 จะมีปริมาณยางพาราของผู้ขายยางพารา i ที่รับโดยยานพาหนะที่ k ก็ต่อเมื่อมีการขนส่งจากโหนดใด ๆ มาที่ผู้ขายยางพารา i เงื่อนไขที่ 3.6 การบังคับให้ยานพาหนะเมื่อเข้าจุดใดต้องออกจากจุดนั้นเสมอเงื่อนไขที่ 3.7 การบังคับผู้ขายยางพาราให้กับตลาดเครือข่ายได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น เงื่อนไขที่ 3.8 จุดที่เปิดตลาดเครือข่ายจะเลือกขนาดได้เพียงหนึ่งรูปแบบ หรือไม่เปิด เงื่อนไขที่ 3.9 แต่ละตลาดเครือข่าย ปริมาณความสามารถของยานพาหนะจะต้องมากกว่าปริมาณยางพาราผู้ขาย เงื่อนไขที่ 3.10 แต่ละตลาดเครือข่าย ปริมาณความสามารถการรับยางพาราของตลาดเครือข่ายจะต้องมากกว่าปริมาณยางพาราผู้ขายที่ถูกรวบรวม เงื่อนไขที่ 3.11 การบังคับให้มียานพาหนะเฉพาะสำหรับตลาดเครือข่ายที่ถูกเปิด เงื่อนไขที่ 3.12 แต่ละยานพาหนะจะถูกใช้ได้กับหนึ่งตลาดเครือข่ายที่เปิด ในกรณีที่มีการใช้ยานพาหนะนี้ เงื่อนไขที่ 3.13 การบังคับให้มีเส้นทางได้ก็ต่อเมื่อมีการใช้ยานพาหนะ k เงื่อนไขที่ 3.14 กำหนดให้ยานพาหนะแต่ละคันทำการขนส่งยางพาราไม่เกิน 480 กิโลเมตรต่อคันต่อเที่ยว เงื่อนไขที่ 3.15-3.16 สมการป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Sub-tour) เงื่อนไขที่ 3.17 กำหนดให้ ตลาดกลางยางพาราเปิดแบบไม่จำกัด เงื่อนไขที่ 3.18

เป็นการกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจว่ามีค่าได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หรือ 1 เงื่อนไขที่ 3.19 มีการขนย้ายยางพาราของผู้ขายด้วยยานพาหนะ k

3.8 การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Lingo

ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปัญหาเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Lingo โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น โดยจำแนกขนาดของกลุ่มปัญหาจากการทดลองเพิ่มจำนวนผู้ขายยางพาราไปเรื่อย ๆ แล้วดูผลของระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม Lingo ในการหาคำตอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 การจำแนกขนาดกลุ่มปัญหา

ภาพที่ 3.5 พบว่าหากมีการเพิ่มจำนวนผู้ขายยางพาราเข้าไปในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้นแบบก้าวกระโดด ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้ขอบเขตดังกล่าวในการจำแนกขนาดของปัญหา ซึ่งจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มปัญหา ประกอบด้วย (1) กลุ่มปัญหาขนาดเล็ก มีผู้ขายยางพาราจำนวน 5-10 ราย ตลาดกลางยางพาราจำนวน 1 แห่ง (2) กลุ่มปัญหาขนาดกลาง มีผู้ขายยางพาราจำนวน 40 ราย ตลาดกลางยางพาราจำนวน 2 แห่ง และ (3) กลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ มีผู้ขายยางพาราจำนวน 200 รายขึ้นไป ตลาดกลางยางพาราจำนวน 2 แห่ง เมื่อรวมทั้ง 3 กลุ่มมีจำนวน 20 ปัญหาย่อย สำหรับการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นกับกลุ่มปัญหาดังกล่าวที่ได้ทำการจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มปัญหา นำมาหาคำตอบด้วยโปรแกรม Lingo V.13 ทำการประมวลผล

ผ่านคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง Inter® Core (TM) i7-5500U 2.4 GHz หน่วยความจำ 4.0 GB
คำตอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo กับกลุ่มปัญหาขนาดต่าง ๆ

ขนาด ปัญหา	จำนวน ผู้ขาย	ปริมาณยางพารา (กิโลกรัม/วัน)	จำนวนตลาด เครือข่าย	คำตอบ (บาท/วัน)	เวลา (ชั่วโมง: นาที: วินาที)	สถานะ
เล็ก	5	71,260	1	4,092	00:00:44	Optimal
	5	55,284	1	3,201	00:00:23	Optimal
	5	21,608,368	1	3,602	00:43:54	Optimal
	5	33,514,575	1	5,158	01:32:04	Optimal
	5	12,455,539	1	2,640	00:00:06	Optimal
	10	35,429,566	1	6,014	24:00:00	Best bound
	10	44,026,264	1	6,996	24:00:00	Best bound
	10	23,878,840	1	4,462	24:00:00	Best bound
	10	43,159,676	1	6,603	24:00:00	Best bound
	10	36,535,982	1	6,159	24:00:00	Best bound
กลาง	40	609,142	2	24,121	48:00:00	Lower bound
	40	625,947	2	24,382	48:00:00	Lower bound
	40	645,586	2	23,613	48:00:00	Lower bound
	40	558,574	2	20,492	48:00:00	Lower bound
	40	712,959	2	26,757	48:00:00	Lower bound

ตารางที่ 3.5 ผลการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรม Lingo กับกลุ่มปัญหาขนาดต่าง ๆ (ต่อ)

ขนาด ปัญหา	จำนวน ผู้ขาย	ปริมาณยางพารา (กิโลกรัม/วัน)	จำนวนตลาด เครือข่าย	คำตอบ (บาท/วัน)	เวลา (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	สถานะ
ใหญ่	200	2,406,694	2	117,438	72:00:00	Lower bound
	200	2,558,500	2	107,045	72:00:00	Lower bound
	200	2,321,010	2	92,635	72:00:00	Lower bound
	200	2,513,443	2	105,342	72:00:00	Lower bound
	200	2,511,019	2	105,684	72:00:00	Lower bound

จากการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์กับกลุ่มปัญหาจำนวน 3 กลุ่มปัญหา ด้วยโปรแกรม Lingo พบว่า (1) กลุ่มปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนผู้ขาย 5 ราย ใช้เวลาในการหาคำตอบโดยเฉลี่ย 2 ชั่วโมง 17 นาที และสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimization) ส่วนจำนวนผู้ขาย 10 ราย ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ย 24 ชั่วโมง แต่ได้เพียงคำตอบที่เป็นไปได้เท่านั้น (Best bound Solution) (2) กลุ่มปัญหาขนาดกลาง ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ย 48 ชั่วโมง แต่ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ หาได้เพียงขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound solution) เท่านั้น และ (3) กลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยมากกว่า 72 ชั่วโมง แต่ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ หาได้เพียงขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound solution) เช่นเดียวกับกลุ่มปัญหาขนาดกลาง แสดงให้เห็นว่า โปรแกรม Lingo จำเป็นต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ทดสอบจำนวนมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากปัญหามีตัวแปรจำนวนมาก อีกทั้งลักษณะของปัญหามีความซับซ้อนทั้งในส่วนของจำนวนผู้ขาย ยางพารา จำนวนตลาดกลางยางพารา และปริมาณยางพารา จะไม่สามารถหาคำตอบในรูปแบบ Global Optimal ได้ และใช้เวลาในการประมวลผลนาน ผลการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Lingo พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ สามารถนำไปใช้ในการหาคำตอบได้ แต่มีข้อจำกัดด้านเวลา ซึ่งเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น กล่าวคือยิ่งเพิ่มขนาดข้อมูล เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็จะยิ่งนานขึ้น ดังนั้นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย จึงจำเป็นต้องใช้วิธีฮิวริสติกส์หรือเมตาฮิวริสติกส์ในการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรจำนวนมากดังเช่นปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 4

การแก้ปัญหาและการพัฒนาฮิวริสติกส์

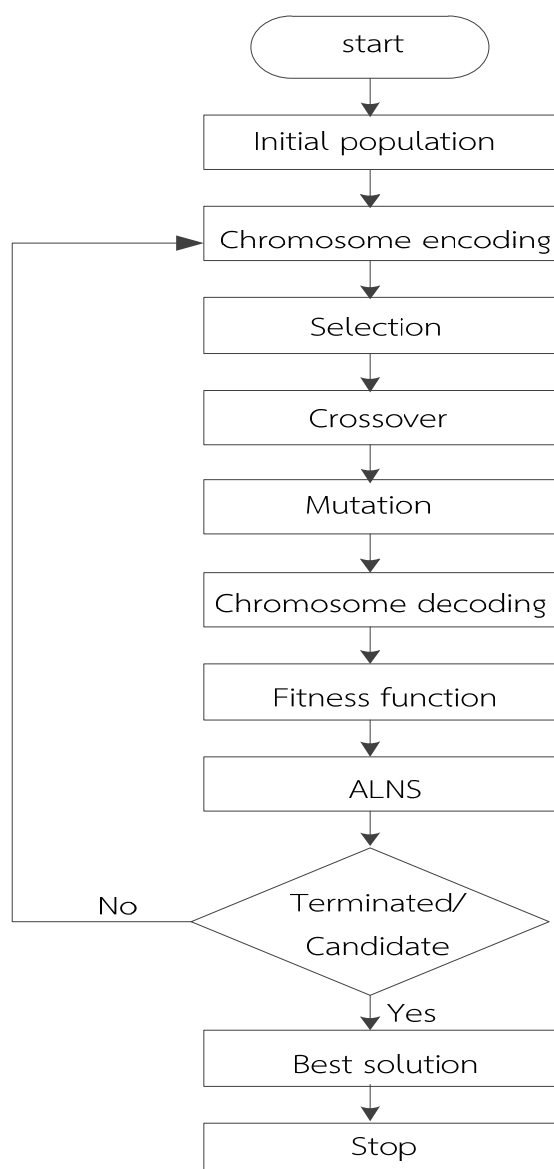
ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง จัดเป็นปัญหาในระดับ NP-hard เนื่องจากเป็นปัญหามีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน ซึ่งมีผลต่อการใช้เวลาในการประมวลผลค่อนข้างนาน ในบางครั้งคำตอบที่ได้ก็ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดจากการทดลองใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.13 พบว่าเมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้น โปรแกรมไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global optimal) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบอัลกอริทึมในการหาคำตอบ โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถประยุกต์ใช้กับวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งทางพารา ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่มีความหลากหลายและแบบเข้มข้นผสมผสานกัน ทำให้ได้คำตอบที่มีความเหมาะสมในเวลาอันรวดเร็ว โดยอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมีการวัดประสิทธิภาพของคำตอบด้วยการเปรียบเทียบกับโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.13 เพื่อเป็นการยืนยันอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงหลักการทำงานของวิธีการ GA-ALNS และการวัดประสิทธิภาพของคำตอบ โดยการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างที่สร้างขึ้นสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งทางพารา โดยแบ่งขนาดปัญหาออกเป็น 3 กลุ่มคือ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยปัญหาขนาดเล็กประกอบด้วยเกษตรกรผู้ขายยางพาราจำนวน 5 ราย และ 10 ราย ปัญหาขนาดกลางประกอบด้วยเกษตรกรผู้ขายยางพาราจำนวน 40 ราย และปัญหาขนาดใหญ่ประกอบด้วยเกษตรกรผู้ขายยางพาราจำนวน 200 ราย รวมถึงปัญหากรณีศึกษา

4.1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง มีการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่ง ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่มีความหลากหลาย (Diversification) และแบบเข้มข้นลงลึก (Intensification) ในการค้นหาคำตอบภายในเวลาอันรวดเร็ว โดยมีขั้นตอนเริ่มแรกเป็นการสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial population) คือขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้นเพื่อเป็นประชากรจำนวน N โคโรโมโซม โดยคัดเลือกจากประชากรที่ดีที่สุดจากหลักการ Iterative K-mean clustering และวิธีแบบประหยัด (Saving method) จากนั้นทำการหาคำตอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) โดยทำการเลือกคู่โครโมโซมจากเลือกแบบการจัดลำดับ (Ranking based selection) และทำการสุ่มเพื่อตัดสินใจแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ด้วยความน่าจะเป็น (Crossover probability: P^c) แต่ละประชากรในกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์

(Crossover) จะทำการสุ่มเพื่อตัดสินใจทำการกลายพันธุ์ด้วยความน่าจะเป็น (Mutation probability: P^m) คำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness function) หรือค่าต้นทุนของแต่ละประชากรแต่ละประชากรใน ขั้นตอนการกลายพันธุ์จะถูกใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นของวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (ALNS) ตามจำนวนรอบที่กำหนด หลังจากนั้นทำการอัปเดตค่าคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าพบค่าที่ดีที่สุดให้เก็บค่านี้ไว้ ถ้าถึงจำนวนรอบของวิธี GA-ALNS ครบจำนวนรอบที่กำหนดให้หยุดการทำงานและได้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นคำตอบของการแก้ปัญหา ถ้าไม่ใช่ให้กลับไปทำกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ใหม่อีกครั้ง ดังรายละเอียดขั้นตอนตามภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการ GA-ALNS

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง ได้ทำการพัฒนาฮิวริสติกส์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ โดยส่วนแรกเป็น

การหาคำตอบเริ่มต้นโดยใช้วิธีการ K-mean Clustering จากนั้นส่วนที่ 2 เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแบบประหยัดในการจัดเส้นทางรถขนส่ง และส่วนที่ 3 นำวิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่ปรับค่าได้ (GA-ALNS) ซึ่งทำการเขียนด้วยโปรแกรม Visual studio community (C#) โดยทำการประมวลผลในหลาย ๆ กรณีแล้วทำการเลือกผลลัพธ์ของกรณีที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุดมาเป็นคำตอบของปัญหาโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization of solution)

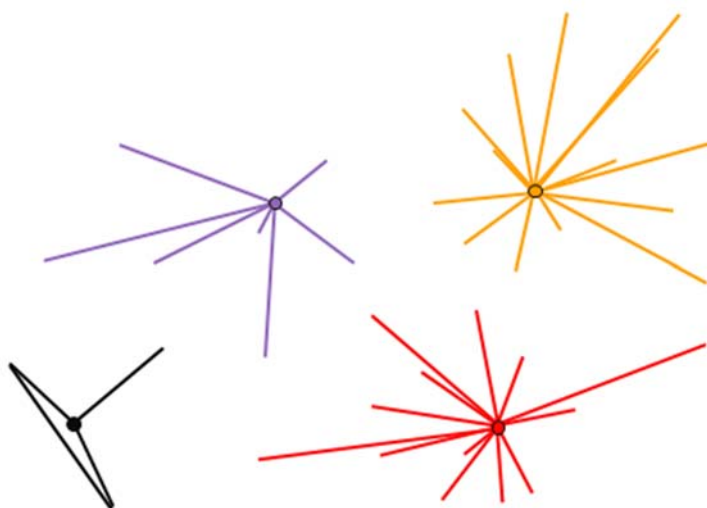
ในการสร้างคำตอบเริ่มต้นในเบื้องต้นได้ทำการเลือกตลาดเครือข่ายตั้งแต่ 2 จุด (เนื่องจากมีตลาดเครือข่าย 2 แห่งคือตลาดกลางยางพาราสงขลาและตลาดกลางยางพารายะลา) โดยใช้หลักการ K-mean clustering ในการหาคำตอบเริ่มต้น โดยมีวิธีการดังนี้

4.1.1.1 ทำการสุ่มสร้างจุดศูนย์กลาง (Centroid) หรือตลาดเครือข่ายยางพาราจากผู้ขายยางพาราให้ครบจำนวน K กลุ่ม (เริ่มที่ K=2)

4.1.1.2 ทำการสุ่มผู้ขายยางพาราที่เหลือเพื่อเพิ่มไปยังกลุ่มที่มีระยะทางสั้นที่สุดของจุดศูนย์กลางและผู้ขายยางพารา ทั้งนี้จะพิจารณาไม่เลือกกลุ่มที่มีจำนวนน้ำหนักยางพาราที่เกินขนาดของความสามารถตลาดเครือข่ายยางพาราสูงสุด ซึ่งเรียกว่า การจัดกลุ่มที่มีความจุ (Capacitated Clustering) โดยการเพิ่มนี้จะทำให้จุดศูนย์กลางของกลุ่มถูกเปลี่ยนไป

4.1.1.3 ทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของจุดศูนย์กลางใหม่ (New Centroid) โดยพิจารณาจากการจัดกลุ่มที่ได้ของผู้ขายแต่ละกลุ่ม ดังนั้นจุด Centroid ที่ได้อาจเปลี่ยนไปจากจุดเดิม

4.1.1.4 ทำซ้ำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าผู้ขายยางพาราจะถูกเพิ่มเข้าเป็นสมาชิกจนครบ ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การหาคำตอบเริ่มต้นด้วย K-mean Clustering

4.1.1.5 ทำการเลือกตลาดเครือข่ายเพิ่มเป็นจำนวน 3 แห่ง (K=3) และเพิ่มจำนวนตลาดเครือข่ายเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบจำนวน 30 แห่ง (K=30) โดยพิจารณาจากจำนวนต้นทุนการเปิดตลาดเครือข่ายและการขนส่งโดยทำการประมวลผลซ้ำในแต่ละครั้งของการเปิดตลาดเครือข่ายจำนวน 10 รอบ

แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยของต้นทุน จากการวิจัยพบว่าจำนวนต้นทุนของการเปิดตลาดเครือข่ายมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยจำนวนตลาดเครือข่ายที่มีต้นทุนต่ำสุดคือ คือจำนวนตลาดเครือข่ายเท่ากับ 8 แห่ง และเมื่อตลาดเครือข่ายเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 15 แห่งเป็นต้นไปพบว่าจำนวนต้นทุนของการเปิดตลาดเครือข่ายก็จะมากขึ้นตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ต้นทุนรวมเทียบกับจำนวนตลาดเครือข่ายที่เปิด

4.1.2 วิธีการ Iterative K-mean clustering

เป็นวิธีการในการหาจุด Centroid ซ้ำอีกครั้ง โดยการพิจารณานำเอาจุดเซนทรอยด์ (Centroid) เดิมที่ได้จากหัวข้อ 4.1.1 มาเป็นคำตอบตั้งต้นในการหาจุด Centroid ใหม่ โดยจำนวน solution ทั้งหมดที่อยู่ในขั้นตอนการหาคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) จะมีค่าเท่ากับ $M \times N$ โดยที่ M คือจำนวนของตลาดเครือข่าย (มีค่า Maximum ของตลาดเครือข่ายคือ $K=30$ แห่ง) จากการทดสอบ สร้างคำตอบเริ่มต้น ส่วน N คือจำนวนรอบในการทำซ้ำเพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายคำตอบ จากการใช้รูปแบบ Iterative K-mean clustering ที่มีการทำซ้ำเพื่อหา Centroid ใหม่ จำนวน P รอบ ดังนั้นจะได้ solution ทั้งหมด $M \times N \times P$ ยกตัวอย่างเช่น กรณีตลาดเครือข่ายที่มีการเปิดตั้งแต่ 2-30 แห่ง (รวม 29 แห่ง) จะมีการทำซ้ำ 10 รอบ (N) ก็จะได้คำตอบ ($M \times N$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $29 \times 10 = 290$ คำตอบเริ่มต้น หากทำการ Iterative ซ้ำจำนวน $P=5$ รอบ ในส่วนของ K-mean clustering จะได้คำตอบ $M \times N \times P = 29 \times 10 \times 5 = 1,450$ solution เป็นคำตอบเริ่มต้น

4.1.3 วิธีการอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving algorithm)

นำผลของการจัดกลุ่มตามวิธีการ Iterative K-mean clustering ในหัวข้อที่ 4.1.2 ที่มีการเพิ่มตลาดเครือข่ายเป็น $K=30$ แห่งมาทำการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการแบบประหยัด (Saving method) เพราะเมื่อพิจารณาตามภาพที่ 4.3 พบว่าเมื่อจำนวนตลาดเครือข่ายมากกว่า 15 แห่งเป็นต้นไป แนวโน้มของการเปิดตลาดเครือข่ายก็จะมีต้นทุนเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงกำหนดตลาดเครือข่ายไว้ที่ 30 แห่ง การนำตลาดเครือข่ายดังกล่าวนี้มาทำการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการแบบประหยัดจะมีการพิจารณาเงื่อนไขข้อจำกัดในการเดินทางแต่ละยานพาหนะจะต้องมีสินค้าไม่เกินความจุของยานพาหนะและต้องใช้เวลาไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาหาค่าเหมาะที่สุดคือทำให้

ทราบจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ขนส่งโดยยานพาหนะแต่ละคัน โดยมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

4.1.3.1 เลือกจุด 1 จุดมาเป็นจุดตลาดเครือข่ายจุดที่หนึ่ง

4.1.3.2 คำนวณค่าระยะทางในการขนส่งที่ประหยัด (Saving cost) โดยใช้สูตร

$$D_{ij} = D_{0i} + D_{0j} - D_{ij}$$

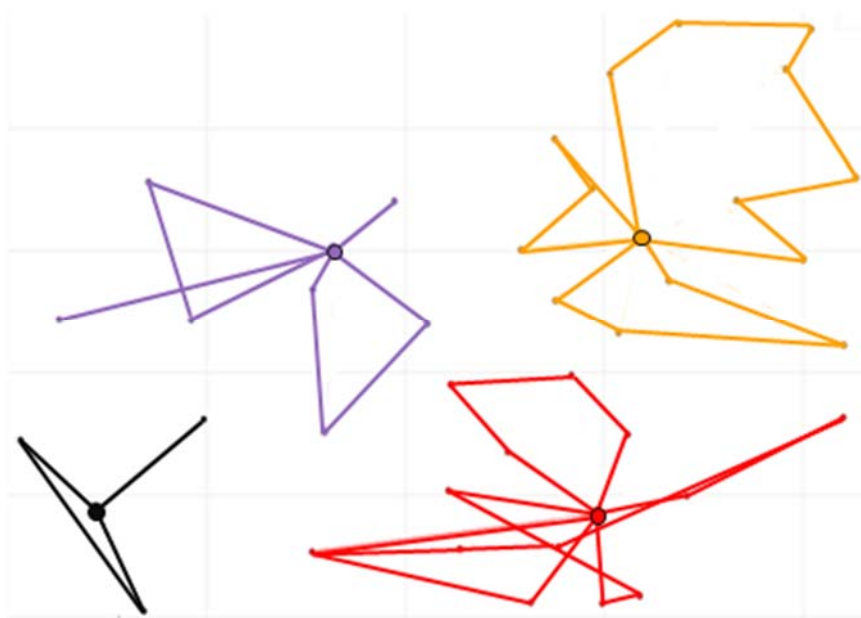
ซึ่งก็คือค่าความประหยัดระหว่างจุด i และ j โดยที่ i, j คือเกษตรกรผู้ขาย
 ยางพารา ส่วน D คือจุดที่เปิดเป็นตลาดเครือข่าย

4.1.3.3 เรียงลำดับค่า D_{ij} จากมากไปหาน้อย

4.1.3.4 สร้างเส้นทางของยานพาหนะโดยเชื่อมจุด i และ j ที่มีค่า D_{ij} มากที่สุด

4.1.3.5 ทำซ้ำจนกว่าจะจัดเส้นทางได้ครบ โดยมีเงื่อนไขของข้อจำกัดในการเดินทางแต่ละยานพาหนะจะต้องมียางพาราไม่เกินความจุของยานพาหนะ และต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินระยะเวลาที่กำหนด

จากรูปแบบการจัดสรรผู้ขายให้กับตลาดเครือข่ายด้วยวิธีการ K-mean Clustering สามารถนำมาจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด (Saving method) ดังแสดงในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 การจัดเส้นทางด้วยวิธีการแบบประหยัด

4.2 การดัดแปลงกระบวนการเชิงพันธุกรรมกับลักษณะปัญหา

การดัดแปลงกระบวนการวิจัยเชิงพันธุกรรมกับลักษณะของปัญหา ในงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลในการแก้ปัญหาซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน การสร้างประชากร

เริ่มต้น การคัดเลือกสายพันธุ์ การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และการหยุดค้นหาของกระบวนการ โดยกำหนดโครโมโซมจะได้มีการกล่าวถึงในลำดับถัดไป

4.2.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

ในการสร้างประชากรเริ่มต้น (Population initialization) โดยการนำผลของ Iterative K-mean clustering จำนวน 1,450 solution มาทำการจัดเส้นทางโดยวิธีการแบบประหยัด (Saving method) จากนั้นทำการเรียงลำดับของคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดไปหาคำตอบที่แย่สุด แล้วทำการสุ่มเลือกคำตอบแบบเอนเอียง (Bias) โดยให้อีกคำตอบที่ถูกเลือกเป็นคำตอบที่ดีมีโอกาสมากกว่าคำตอบที่ไม่ดี โดยสุ่มเลือกจำนวน 100 คำตอบ มากำหนดเป็นประชากรเริ่มต้น

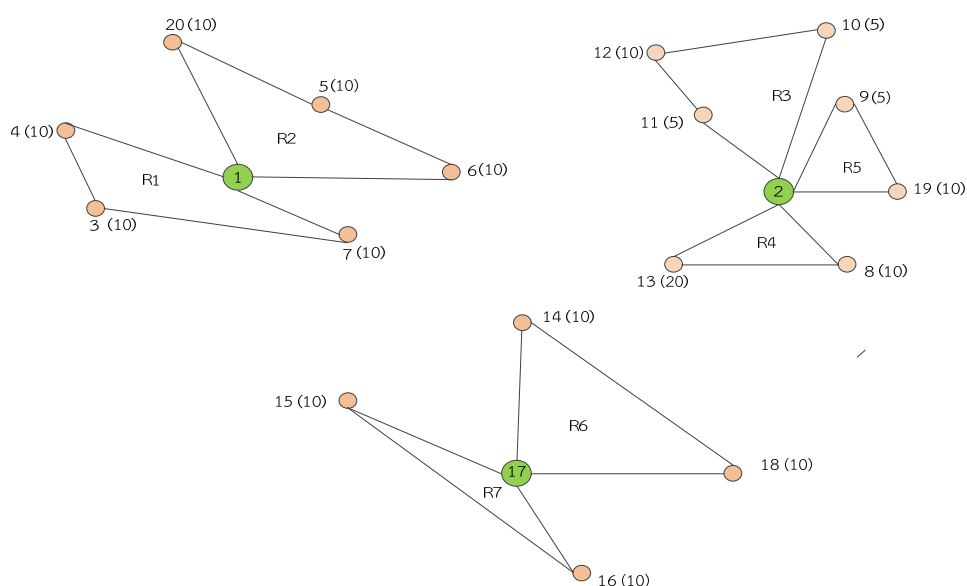
4.2.2 การกำหนดรูปแบบโครโมโซม

ในการกำหนดรูปแบบโครโมโซมเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการประมวลผลสำหรับการแก้ปัญหา โดยในการเข้ารหัสโครโมโซมซึ่งมีการกำหนดเงื่อนไขของรหัสยีน เพื่อกำหนดกระบวนการทำงานของแต่ละรหัสยีนที่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการเข้ารหัสโครโมโซมจึงเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง อันส่งผลให้การประมวลผลมีความแม่นยำและถูกต้อง

4.2.2.1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome encoding) โดยวิธีเลขลำดับเมือง ในเบื้องต้นเนื่องจาก GA จะอยู่ในรูปของโครโมโซม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการเข้ารหัสคำตอบให้อยู่ในรูปของโครโมโซมที่ประกอบด้วยจำนวนช่องเท่ากับจำนวนตลาดเครือข่ายสูงสุดที่เปิด (Max depot: MD) จำนวนของยานพาหนะ (Number of vehicle: NV) และจำนวนผู้ขายยางพารา (Number of seller: NS) โดยในการเข้ารหัสโครโมโซมได้นั้นจำเป็นจะต้องรู้จำนวนผู้ขายและผลผลิตแต่ละรายเพื่อกำหนดเป็นเงื่อนไขในการบรรทุกของยานพาหนะไม่ให้เกินขีดความสามารถของพาหนะ ดังกรณีตัวอย่างต่อไปนี้ ได้กำหนดจำนวนผลผลิตของผู้ขายแต่ละรายดังแสดงในตารางที่ 4.1 และแต่ละเส้นทางมีความจุในการบรรทุกไม่เกิน 30 ตัน และความสามารถในการเปิดตลาดเครือข่ายสมมติเปิดได้สูงสุดไม่เกิน 65 ตัน ดังแสดงในภาพที่ 4.5

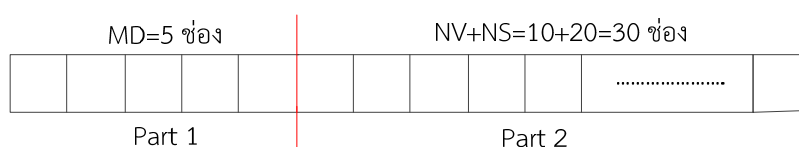
ตารางที่ 4.1 ผู้ขายยางพาราและปริมาณยางของแต่ละผู้ขาย

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



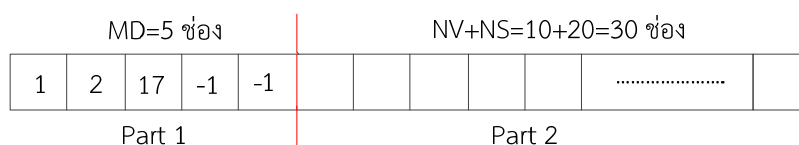
ภาพที่ 4.5 ตัวอย่างรูปเส้นทางก่อนการเข้ารหัสโครโมโซม

1) การสร้างจำนวนช่องหรือยีนของโครโมโซม ในที่นี้กำหนดให้จำนวนตลาดเครือข่าย (MD=5) จำนวนของยานพาหนะ (NV=10) และจำนวนของผู้ขายยางพารา (NS=20) ดังนั้นจำนวนช่องต่อ 1 โครโมโซมจะมีค่าเท่ากับ 35 ช่อง โดยที่ Part ที่ 1 จะใช้เก็บรหัสของตลาดเครือข่ายและตลาดกลาง ส่วน Part ที่ 2 จะใช้เก็บรหัสของผู้ขายทั้งหมดและจำนวนยานพาหนะทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม

2) การเข้ารหัสส่วน Part 1 ในส่วนของตลาดเครือข่าย โดย Part 1 มีจำนวนช่องเท่ากับ MD และจากรูปที่ 4.7 แสดงคำตอบที่มีการจัดเส้นทางที่ประกอบไปด้วย 3 depot ซึ่งมีรหัส 1, 2, 17 ดังนั้นสามารถเข้ารหัส Part 1 ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ส่วนช่องที่เหลือจะแทนด้วย -1 เป็นการแสดงให้เห็นว่าจุดนั้นไม่มีการเปิดตลาดเครือข่าย



ภาพที่ 4.7 ตัวอย่างการเข้ารหัสการเปิดตลาดเครือข่าย

3) การเข้ารหัสส่วน Part 2 โดยในส่วนของ Part ที่ 2 นี้ประกอบด้วยจำนวนช่องเท่ากับ NS+NV โดยมีผู้ขายยางพารา (NS) จำนวน 20 แห่งและจำนวนของยานพาหนะ (NV) เท่ากับ 10 คัน ดังนั้นจะได้ช่องรวมทั้งหมด 30 ช่อง โดยจะเริ่มเติมเส้นทางทีละเส้นทางเรียงลำดับตามเส้นทางที่อยู่ในตลาดเครือข่ายของ Part 1 โดยเลือกเส้นทางแรกจากตลาดเครือข่ายรหัสที่ 1 และเส้นทาง R1 จากนั้นทำการเพิ่มเส้นทางในตลาดเครือข่ายจุดที่ 1 ให้ครบโดย -1 คือตัวคั่นระหว่างเส้นทางทำการเพิ่มเส้นทางให้ครบทุกตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด ทั้งนี้เนื่องจากรหัสของผู้ขายที่อยู่ในเส้นทางทั้งหมดยังไม่ครบจำนวน 20 ผู้ขาย จึงได้เพิ่มรหัสของผู้ขายที่เหลือเป็นรหัสของตลาดเครือข่ายเป็น 1,2 และ 17 แทน ดังแสดงในภาพที่ 4.8

Part 1 (Depot)					Part 2 (Route)								
					R1			R2					
1	2	17	-1	-1	4	3	7	-1	6	5	20	-1	
					R3			R4			R5		
10	12	11	-1	8	13	-1	9	19	-1	14	18	-1	
					R7								
15	16	-1	1	2	17	-1	-1	-1					

ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างการเข้ารหัสของยานพาหนะและผู้ขายยางพารา

4.2.3 การคัดเลือกโครโมโซม

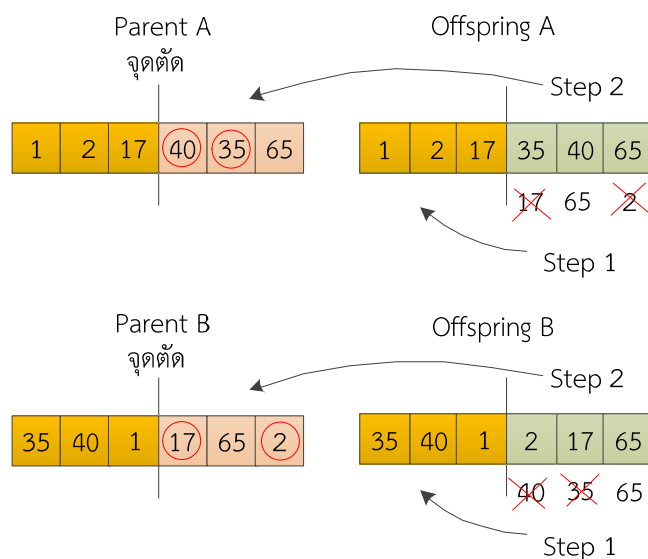
เมื่อทำการเข้ารหัสโครโมโซมแล้ว หลังจากนั้นจะทำการคัดเลือกโครโมโซม โดยวิธีการสุ่มครั้งละ 2 โครโมโซม (1 คู่) ซึ่งงานวิจัยนี้มีจำนวนโครโมโซมทั้งหมด 100 โครโมโซม (Population) ดังนั้นจะต้องทำการสุ่มทั้งหมด 50 คู่ เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนกระบวนการเชิงพันธุกรรมต่อไป

4.2.4 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic operation)

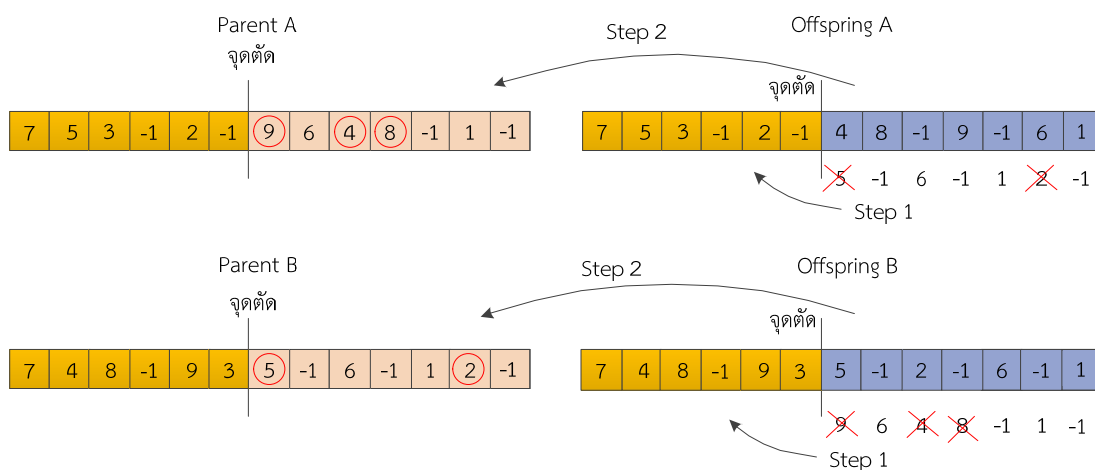
สำหรับในกระบวนการนี้มีขั้นตอนที่สำคัญในการพัฒนาคำตอบ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นโดยใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และกระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยในเบื้องต้นจะต้องทำการคัดเลือกโครโมโซมเพื่อจะนำมาเป็นโครโมโซมต้นแบบ (พ่อและแม่) ในการสืบสายพันธุ์เพื่อการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของ ชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin)

4.2.4.1 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการนำเอาโครโมโซมในประชากรที่ได้จากการสืบพันธุ์มาจับคู่และผสมยีนระหว่างกันให้ได้โครโมโซมใหม่เพื่อหาลักษณะทางพันธุกรรมใหม่ที่มีความเหมาะสมดีกว่ารุ่นพ่อแม่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบจุดเดียว (One point crossover) โดยทำการสุ่มตัด 1 จุดของสมาชิกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่โดยจุดที่ตัดจะต้องตรงกัน จากนั้นทำการส่งผ่านยีนช่วงที่ทำการตัดจากโครโมโซมพ่อ (Parent A) ไปยังโครโมโซมลูก (Offspring A) และโครโมโซมแม่ (Parent B) ไปยังโครโมโซมลูก (Offspring B) ตัดยีนที่มีค่าซ้ำในส่วนที่ลูกได้รับไปแล้วออก และถ่ายทอดยีนไปยังรุ่นลูกในส่วนที่ยังไม่ได้รับค่าโดยใน

การครอสโอเวอร์นั้นจะทำการแยกส่วนกันระหว่างจุดที่จะตั้งเป็นตลาดเครือข่ายและเส้นทางในการขนส่ง ซึ่งลักษณะการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point crossover ของส่วนที่จะตั้งเป็นตลาดเครือข่าย แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 4.9 และส่วนของเส้นทางในการขนส่งแสดงตัวอย่างดังในภาพที่ 4.10



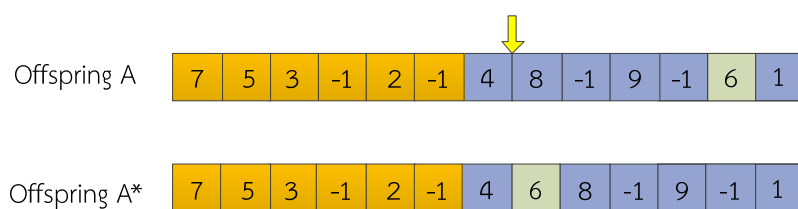
ภาพที่ 4.9 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point crossover ของตลาดเครือข่าย



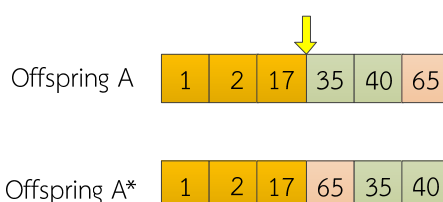
ภาพที่ 4.10 กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์แบบ One point crossover ของเส้นทางขนส่ง

4.2.4.2 กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นกระบวนการที่ช่วยเสริมความสมบูรณ์ของการสืบพันธุ์และการผสมยีนถึงแม้ว่าการคัดเลือกโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมดีในกระบวนการสืบพันธุ์และผสมแลกเปลี่ยนยีนจะสามารถสร้างโครโมโซมใหม่ที่มีค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าเดิมได้ แต่กระบวนการดังกล่าวเป็นการอาศัยข้อมูลจากโครโมโซมเดิมที่มีอยู่แล้ว และอาจไม่สามารถค้นพบโครโมโซมที่ดีกว่าภายนอกข้อมูลในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิมได้ การกลายพันธุ์เป็นการช่วยให้สามารถค้นพบคำตอบที่อาจไม่มีข้อมูลอยู่ในกลุ่มประชากรของโครโมโซมเดิมได้ด้วยการสุ่มเปลี่ยนแปลง

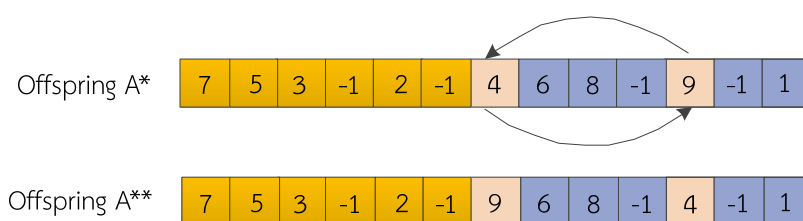
ในโครโมโซมในอัตราความน่าจะเป็นที่ค่อนข้างต่ำโดยกระบวนการกลายพันธุ์เป็นการสร้างโครโมโซมตัวใหม่ที่มีการแลกเปลี่ยนยีนบางส่วนหลังจากผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์มาแล้ว ยีนแต่ละตัวภายในโครโมโซมมีโอกาสที่จะถูกเลือกในการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งเท่า ๆ กัน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรกเริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกยีนมาหนึ่งค่าแล้วทำการแทรกในตำแหน่งที่ได้เลือกไว้ในตัวอย่างนี้ทำการสุ่มเลือกยีนตำแหน่งที่ 12 คือหมายเลข 6 แล้วนำมาแทรกในตำแหน่งที่ 8 คือหมายเลข 8 ทำให้ได้ประชากรใหม่ของเส้นทางการขนส่งดังในภาพที่ 4.11 และการกลายพันธุ์แบบแทรกในส่วนของตลาดเครือข่ายดังแสดงในภาพที่ 4.12 ส่วนวิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งเริ่มแรกทำการสุ่มเลือกสมาชิก 1 ตัวมาเป็นต้นแบบในรุ่นพ่อแม่ทำการสุ่มตำแหน่ง 2 ตำแหน่งแล้วทำการสลับยีนทั้ง 2 ตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มเลือกมาจะทำให้ได้สมาชิกรุ่นลูกใหม่ดังแสดงในภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14



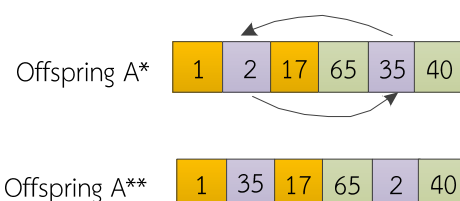
ภาพที่ 4.11 วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรกของเส้นทางการขนส่ง



ภาพที่ 4.12 วิธีการกลายพันธุ์แบบแทรกของตลาดเครือข่าย



ภาพที่ 4.13 วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งในส่วนของเส้นทางการขนส่ง



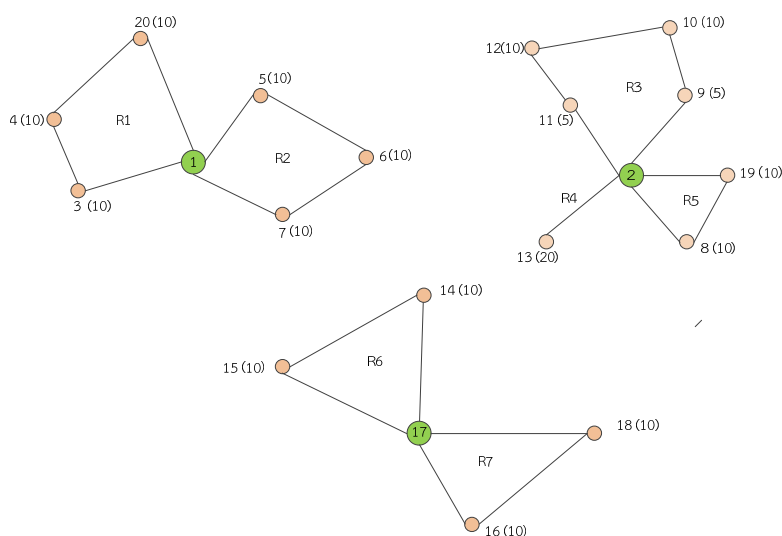
ภาพที่ 4.14 วิธีการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่งในส่วนของตลาดเครือข่าย

4.2.5 การถอดรหัสโครโมโซม (Chromosome decoding)

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการ Crossover และ Mutation แล้วโครโมโซมจำเป็นต้องถูกถอดรหัสคำตอบโครโมโซมเพื่อแปลงสายโครโมโซมให้อยู่ในรูปคำตอบของแผนการจัดเส้นทางขนส่ง โดยการนำส่วนของ Part 1 มากำหนดให้เป็นตลาดซื้อขายและส่วนของ Part 2 นำมาแปลงสายลำดับโครโมโซมให้อยู่ในรูปของเส้นทางขนส่ง โดยทำการแบ่งเส้นทางตามลำดับจากซ้ายไปขวา ซึ่งจะมีการสร้างเส้นทางใหม่เมื่อพบกับตัวคั่น (-1) และกำหนดปริมาณยางพาราที่ยานพาหนะสามารถบรรจุได้สูงสุดไม่เกิน 30 ตัน ในแต่ละเส้นทาง ทั้งนี้จะข้ามรหัสที่เป็นตลาดซื้อขายใน Part 1 (1, 2 และ 17) ถ้าหากช่องของรูปแบบโครโมโซมยังไม่ครบ 35 ช่องให้เพิ่มรหัสของเส้นทางที่เหลือเป็นรหัสของตลาดซื้อขายแทน ดังตัวอย่างรูปแบบการถอดรหัสโครโมโซมหลังผ่านกระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) แสดงในภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16 แสดงตัวอย่างตำแหน่งจุดเปิดตลาดซื้อขายและเส้นทางขนส่งยางพาราหลังผ่านกระบวนการถอดรหัส

Part 1 (Depot)					Part 2 (Route)							
1	2	17	-1	-1	R1							
					3	4	20	-1	5	6	7	-1
R3					R4		R5		R6			
9	10	12	11	-1	13	-1	8	19	-1	14	15	-1
R7												
16	18	-1	1	2	17	-1	-1	-1				

ภาพที่ 4.15 การถอดรหัสของยานพาหนะและผู้ขายยางพารา



ภาพที่ 4.16 ตำแหน่งจุดเปิดตลาดซื้อขายและเส้นทางขนส่งยางพาราหลังผ่านกระบวนการถอดรหัส

หลังจากดำเนินการในขั้นตอนการถอดรหัสโครโมโซมแล้ว พบว่ามี Depots ทั้งหมดจำนวน 3 จุด ประกอบด้วยจุดที่ 1 จุดที่ 2 และจุดที่ 17 โดยจุดที่ 1 มีจำนวน 2 เส้นทาง คือเส้นทางที่ 1 (Route 1): 1-3-4-20-1 และเส้นทางที่ 2 (Route 2): 1-5-6-7-1 จุดที่ 2 มีจำนวน 3 เส้นทาง ในที่นี้จะทำการนับรวมเส้นทางต่อจากจุดที่ 1 จะได้เป็นเส้นทางที่ 3 (Route 3): 2-9-10-12-11-2 เส้นทางที่ 4 (Route 4): 2-13-2 และเส้นทางที่ 5 (Route 5): 2-8-9-2 ส่วนจุดที่ 17 มีจำนวน 2 เส้นทาง คือเส้นทางที่ 6 (Route 6): 17-14-15-17 และเส้นทางที่ 7 (Route 7): 17-16-18-17

4.2.6 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation)

เมื่อผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมแล้วโครโมโซมทั้งหมดจะถูกประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness value) ของโอกาสในการอยู่รอดแต่ละโครโมโซม (Probability of selection) โดยใช้สมการเป้าหมายเป็นตัววัดค่าความน่าจะเป็นในการอยู่รอดของโครโมโซม

4.2.7 การหยุดการค้นหา

การหยุดการทำงานของกระบวนการเชิงพันธุกรรม จะหยุดการค้นหาเมื่อมีการวนรอบการทำงานครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการเชิงพันธุกรรม หากกำหนดจำนวนรอบในการทำงานน้อยเกินไปอาจทำให้ได้คำตอบที่ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด หรือหากกำหนดรอบการทำงานไว้มากเกินไปอาจทำให้เสียเวลาในการทำงานโดยเปล่าประโยชน์หากคำตอบที่ดีที่สุดสามารถพบได้ตั้งแต่รอบการทำงานแรก ๆ ดังนั้นการกำหนดรอบการทำงานต้องหาค่าจำนวนรอบที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดในช่วงเวลาที่สั้นที่สุด โดยงานวิจัยนี้กำหนดรอบในการรันไว้ที่ 1000 รอบตลอดการทดลอง

จากการศึกษาพบว่าวิธีการของ GA เป็นวิธีการได้คำตอบที่มีความหลากหลาย (Diversification) ซึ่งไม่ได้คำตอบแบบเฉพาะเจาะจง (Intensification) ลงลึกแบบเข้มข้นในตัวคำตอบ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการ แก้ปัญหาโดยการนำวิธีการ ALNS มาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการของ GA เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) โดยหลักการของ ALNS มีขั้นตอนและกระบวนการในการดำเนินการดังต่อไปนี้

4.3 วิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้

วิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive Large Neighborhood Search: ALNS) เป็นวิธีที่ได้จากการปรับปรุงต่อเนื่องจากวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search: LNS) โดยมีหลักการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบใหม่ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ Combinatorial Search และ Global ในการแก้ปัญหา โดยวิธีการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกวิธีการทำลายคำตอบ (Destroy Operators) จำนวน 3 วิธี ประกอบด้วย (1) การทำลายคำตอบแบบ Random removal (2) การทำลายคำตอบแบบ Worst removal (3) การทำลายคำตอบแบบ Related removal ส่วนวิธีการซ่อมแซมคำตอบ (Repair Operator) จำนวน 3 วิธี ประกอบด้วย (1) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Greedy insertion (2) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Random insertion และ (3) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Arbitrary insertion

การคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีการ ALNS จากกรณีที่ตลาดเครือข่ายได้รับซื้อยางพาราจากผู้ขายสมมติให้มีตำแหน่งที่เปิดเป็นตลาดเครือข่ายจำนวน 1 แห่งคือ D0 และมีผู้ขายยางพาราจำนวน 5 แห่ง ได้แก่ S1, S2, S3, S4 และ S5 โดยมีปริมาณยางพาราของผู้ขายแต่ละรายดังนี้ 10, 10, 10, 15 และ 5 หน่วย/วัน ตามลำดับ และกำหนดให้มีระยะทางระหว่างตลาดเครือข่ายและผู้ขายยางพารา ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ระยะทางระหว่างผู้ขายยางพาราและตลาดเครือข่าย

พิกัด	S1	S2	S3	S4	S5	D0
S1	0	11	31	13	14	17
S2	11	0	41	23	24	28
S3	31	41	0	40	30	41
S4	13	23	40	0	20	18
S5	14	24	30	20	0	13
D0	17	28	41	18	13	0

จากคำตอบที่ได้จากวิธีที่ผ่านมาคือ D0-S2-S3-S4-S5-S1-D0 มีระยะทางรวมเท่ากับ 160 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเลือก degree of destructive (d) คือจำนวนโหนดที่จะสุ่มออกจากคำตอบ ซึ่งสมมติให้มีค่าเท่ากับ {20%, 30%, 40%, 50% และ 60%}

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทำลายคำตอบเริ่มต้นโดยการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือก Repair operator ($r_j \in R$) โดยในรอบแรกจะกำหนดให้ Destroy operator และ Repair operator มีค่าน้ำหนักเริ่มต้นเท่ากับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 กำหนดค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small random removal (d_1)	1	Random insertion (r_1)	1
Small worst removal (d_2)	1	Arbitrary insertion (r_2)	1
Small related removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	1
Large random removal (d_4)	1		
Large worst removal (d_5)	1		
Large relate removal (d_6)	1		

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ Operator ของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบได้ จากสมการที่ 2.30 ในบทที่ 2

$$P(d_i) = \frac{w(d_i)}{\sum_{j=1}^k w(d_j)} \quad \text{และ} \quad P(r_i) = \frac{w(r_i)}{\sum_{j=1}^k w(r_j)}$$

แทนค่าในสมการ จะได้ความน่าจะเป็นดังตารางที่ 4.3

$$P(d_1) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \quad P(r_1) = \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3}$$

$$P(d_2) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \quad \text{และ} \quad P(r_2) = \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3}$$

$$P(d_3) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6} \quad P(r_3) = \frac{1}{1+1+1} = \frac{1}{3}$$

$$P(d_4) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6}$$

$$P(d_5) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6}$$

$$P(d_6) = \frac{1}{1+1+1+1+1+1} = \frac{1}{6}$$

ตารางที่ 4.4 ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
d_1	1	0.167	0.167	r_1	1	0.33	0.33
d_2	1	0.167	0.333	r_2	1	0.33	0.67
d_3	1	0.167	0.500	r_3	1	0.33	1.00
d_4	1	0.167	0.667				
d_5	1	0.167	0.833				
d_6	1	0.167	1.000				
รวม		1.00				1.00	

จากนั้นทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลข สมมติเลือกได้ตัวเลขสุ่มดังนี้

d ได้ตัวเลขสุ่ม 0.2: $d=20\%$ (20% ของ 5 ผู้ขายยางพาราคือเท่ากับ 1 ผู้ขายยางพารา: กรณีสุ่มค่า d ได้เลขไม่ใช่จำนวนเต็มของผู้ขายยางพารา ให้ทำการปัดขึ้นเป็นเลขจำนวนเต็มทุกครั้ง)

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.15: $d_i = d_1$ (วิธีการ Small Random removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.50: $r_i = r_2$ (วิธีการ Arbitrary insertion)

ดังนั้นจะมีการทำลายผู้ขายยางพาราในเส้นทางเริ่มต้นจำนวน 1 แห่งด้วยวิธีการ Small random removal และทำการซ่อมแซมเส้นทางด้วยวิธีการ Arbitrary insertion โดยตลาดเครือข่ายแห่งเดียวกันกับที่ทำลายไป

ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนของการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเริ่มต้น $S=r(d(S))$ จากคำตอบเริ่มต้น $S= D0-S2-S3-S4-S5-S1-D0$; $Z(S)= 160$; $d=20\%$ ซึ่งก็คือ 1 ผู้ขายและจากนั้นจะทำลายคำตอบ d_1 (Small random removal)

สมมติเลือกได้ผู้ขายรายที่ 4 ให้ทำลายผู้ขายรายที่ 4 ออกจากคำตอบจะได้ $S= D0-S2-S3-S5-S1-D0$ และซ่อมแซมคำตอบ r_2 (Arbitrary insertion) โดยนำผู้ขายรายที่ 4 ใส่กลับเข้าไปในคำตอบใหม่โดยใช้หลักการ Arbitrary ซึ่งจะได้คำตอบใหม่นี้

$S= D0-S4-S2-S3-S5-S1-D0$; $Z(S') = 143^*$

$S= D0-S2-S4-S3-S5-S1-D0$; $Z(S') = 152$

$S= D0-S2-S3-S4-S5-S1-D0$; $Z(S') = 160$

$S= D0-S2-S3-S5-S4-S1-D0$; $Z(S') = 149$

$S'= D0-S2-S3-S5-S1-S4-D0$; $Z(S') = 144$

ดังนั้นเลือก $S'= D0-S4-S2-S3-S5-S1-D0$; $Z(S') = 143$ เนื่องจากได้คำตอบที่ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 การหาค่าของการยอมรับ (Accept S') โดยมีอยู่หลายหลักวิธีแต่ในงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกใช้วิธีการอบอ่อน (Simulated Annealing; SA) ในการพิจารณา

ถ้าหาก $Z(S') \geq Z(S)$ หมายความว่า ไม่ยอมรับคำตอบ จะต้องกลับไปเริ่มต้นการสุ่มวิธีการทำลายและวิธีการซ่อมแซมคำตอบใหม่อีกครั้ง

ถ้าหาก $Z(S') \leq Z(S)$ หมายความว่า ยอมรับคำตอบที่ได้ และให้ $S=S'$ เพื่อนำไปคำนวณและเปรียบเทียบคำตอบในรอบถัดไป และมีการตั้งค่าให้ $S_{min}=S$ เมื่อ $Z(S') < Z(S_{min})$

ถ้าหาก $Z(S') > Z(S)$ หมายความว่า ยอมรับคำตอบและตั้งค่า $S=S'$ ด้วยความน่าจะเป็น $p = e^{\frac{-[z(s')-z(s)]}{kT}}$ ซึ่งจากตัวอย่างที่ได้มา $Z(S') \leq Z(S)$ จึงยอมรับคำตอบใหม่และตั้งค่า $S' = S$ และค่าของ $Z(S') < Z(S_{min})$ (New global best) จึงทำให้ $S_{min}=S$

ขั้นตอนที่ 6 การปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight: W) และความน่าจะเป็นของ d_i และ r_i

กำหนดให้ $\lambda \in [0-1]$ คือพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความไวในการเปลี่ยนแปลง weight

α คือพารามิเตอร์ในการกำหนด weight ของ operator

α_1 ถ้าคำตอบใหม่เป็น new global best ให้มีค่า weight =4

α_2 ถ้าคำตอบใหม่ดีขึ้นกว่าคำตอบปัจจุบัน ให้มีค่า weight =3

α_3 ถ้าคำตอบใหม่ไม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันแต่ได้รับการยอมรับคำตอบ ให้มีค่า weight =2

α_4 ถ้าคำตอบใหม่ไม่ดีเท่าคำตอบปัจจุบันและไม่ได้รับการยอมรับคำตอบ ให้มีค่า weight =1

นั่นคือ $\alpha_1 \geq \alpha_2 \geq \alpha_3 \geq \alpha_4 \geq 0$ ซึ่งสามารถคำนวณ Weight ได้จากสมการข้างล่างนี้ (Zhixing, L. et al., 2016)

$$\text{การทำลาย } w(d_i) = \lambda w(d_i) + (1 - \lambda)\alpha_i$$

$$\text{การซ่อมแซม } w(r_i) = \lambda w(r_i) + (1 - \lambda)\alpha_i$$

จากตัวอย่าง $Z(S') \leq Z(S)$ และเป็น New global best (เนื่องจากการรันคำตอบรอบที่ 1) $\alpha_i = \alpha_1 = 4$ และกำหนดค่า $\lambda = 0.3$ คงที่ในทุกรอบของการรัน แทนค่าลงในสมการ จะได้คำตอบดังตารางที่ 4.5

$$w(d_1) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(4) = 3.1$$

$$w(r_1) = 0.3(1) + (1 - 0.3)(4) = 3.1$$

ตารางที่ 4.5 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 1

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small random removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	1
Small worst removal (d_2)	1	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small related removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	1
Large random removal (d_4)	1		
Large worst removal (d_5)	1		
Large relate removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่ 1 จึงเริ่มกระบวนการทำซ้ำต่อในรอบที่ 2 ตามลำดับขั้นตอนเช่นเดิมอีกครั้งดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทำลายคำตอบเริ่มต้นโดยการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือกการซ่อมแซม Repair operator ($r_i \in R$) กำหนดค่าน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4.4

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ Operator ของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ แล้วแทนค่าลงในตารางที่ 4.6 ได้ดังนี้

$$P(d_1) = \frac{3.1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.383$$

$$P(r_1) = \frac{1}{1+3.1+1} = 0.196$$

$$P(d_1) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123 \quad P(r_1) = \frac{3.1}{1+3.1+1} = 0.608$$

$$P(d_1) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123 \quad P(r_1) = \frac{1}{1+3.1+1} = 0.196$$

$$P(d_1) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_1) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

$$P(d_1) = \frac{1}{3.1+1+1+1+1+1} = 0.123$$

ตารางที่ 4.6 ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
d_1	3.1	0.383	0.383	r_1	1	0.196	0.196
d_2	1	0.123	0.506	r_2	3.1	0.608	0.804
d_3	1	0.123	0.630	r_3	1	0.196	1.00
d_4	1	0.123	0.753				
d_5	1	0.123	0.877				
d_6	1	0.123	1.000				
รวม		1.00				1.00	

จากนั้นทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลข สมมติเลือกได้ตัวเลขสุ่มดังนี้

d ได้ตัวเลขสุ่ม 0.40: $d=40\%$ (40% ของ 5 ผู้ขายยางพารา คือ 2 ผู้ขายยางพารา)

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.50: $d_i = d_2$ (วิธีการ Small worst removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.85 : $r_i = r_3$ (วิธีการ Greedy insertion)

ดังนั้นจะมีการทำลายผู้ขายยางพาราในเส้นทางเริ่มต้นจำนวน 2 แห่งด้วยวิธีการ Small worst removal และทำการซ่อมแซมเส้นทางด้วยวิธีการ Greedy insertion โดยตลาดเครือข่ายแห่งเดียวกันกับที่ทำลายไป

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนของการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเริ่มต้น $S=r(d(S))$ จากคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่ 1 นั่นคือ $S= D0-S4-S2-S3-S5-S1-D0$; $Z(S')=143$

สมมติเลือกได้ผู้ขายรายที่ 1 และรายที่ 3 ให้ทำลายผู้ขายรายที่ 1 ออกจากคำตอบจะได้ $S= D0-S4-S2-S5-D0$ และซ่อมแซมคำตอบ r_3 (Greedy insertion) โดยนำผู้ขายรายที่ 1 ใส่กลับเข้าไปในคำตอบใหม่โดยใช้หลักการ Greedy insertion หลังจากนั้นให้สลับนำผู้ขายรายที่ 3 แทรกไปในคำตอบ $S= D0-S4-S2-S5-D0$ อีกครั้ง ซึ่งจะได้คำตอบใหม่ดังนี้

กรณีแทรกผู้ขายรายที่ 1

$$S= D0-S1-S4-S2-S5-D0; \quad Z(S')=90$$

$$S= D0-S4-S1-S2-S5-D0; \quad Z(S')=79^*$$

$$S= D0-S4-S2-S1-S5-D0; \quad Z(S')=79^*$$

$$S= D0-S4-S2-S5-S1-D0; \quad Z(S')=96$$

กรณีแทรกผู้ขายรายที่ 3

$$S= D0-S3-S4-S2-S5-D0; \quad Z(S')=141$$

$$S= D0-S4-S3-S2-S5-D0; \quad Z(S')=136$$

$$S= D0-S4-S2-S3-S5-D0; \quad Z(S')=125$$

$$S= D0-S4-S2-S5-S3-D0; \quad Z(S')=136$$

จากการแทรกผู้ขายรายที่ S1 และ S3 พบว่ามีต้นทุนต่ำที่สุดในเส้นทาง $S= D0-S4-S1-S2-S5-D0$; $Z(S')=79$ และ $S= D0-S4-S2-S1-S5-D0$; $Z(S')=79$ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกเส้นทางที่ $S= D0-S4-S1-S2-S5-D0$; $Z(S')=79$ มาเป็นเส้นทางเริ่มต้นในการแทรก S3 เข้าไปในเส้นทางจะได้เส้นทางหลังทำการแทรก S3 ได้ดังต่อไปนี้

$$S= D0-S3-S4-S1-S2-S5-D0; \quad Z(S')=142$$

$$S= D0-S4-S3-S1-S2-S5-D0; \quad Z(S')=137$$

$$S= D0-S4-S1-S3-S2-S5-D0; \quad Z(S')=140$$

$$S= D0-S4-S1-S2-S3-S5-D0; \quad Z(S')=126$$

$$S= D0-S4-S1-S2-S5-S3-D0; \quad Z(S')=137^*$$

ดังนั้นเลือกเส้นทาง $S= D0-S4-S1-S2-S5-S3-D0$; $Z(S')=137$ มาเป็นคำตอบเนื่องจากให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การยอมรับคำตอบ โดยใช้หลักการ Simulated Annealing (SA) ในการพิจารณาจากตัวอย่างพบว่า $Z(S')=137$, $Z(S)=Z(S_{min})=143$

ดังนั้น $Z(S') \leq Z(S)$, $Z(S_{min})$ จึงยอมรับ S' และตั้งค่า $S = S'$ ในการรันต่อไป และตั้งค่า $Z(S') = Z(S_{min})$ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ $Z(S') > Z(S)$ ต้องคำนวณความน่าจะเป็นในการยอมรับ S' สมมติว่า $Z(S')=143$, $Z(S)=137$ ด้วยความน่าจะเป็น $p = e^{\frac{-[z(s')-z(s)]}{kT}}$ เมื่อแทนค่าจะได้ $p = e^{\frac{-[143-137]}{3 \times 90}}$ จะได้ค่า 0.978 จากนั้นทำการสุ่มเลขที่อยู่ในช่วง [0-1] สมมติได้ตัวเลข $0.924 < p$ ให้ยอมรับ S'

ขั้นตอนที่ 5 การปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight: W) และความน่าจะเป็นของ d_i และ r_i ให้ $\alpha = 4$ และ $\lambda = 0.3$ แทนค่าในสมการด้านล่างนี้ จะได้ตารางการปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลาย และการซ่อมแซมคำตอบดังตารางที่ 4.7

$$\text{การทำลาย } w(d_2) = 0.3(1) + (1-0.3)(4) = 3.1$$

$$\text{การซ่อมแซม } w(r_3) = 0.3(3.1) + (1-0.3)(4) = 3.73$$

ตารางที่ 4.7 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 2

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small random removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	1
Small worst removal (d_2)	3.1	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small related removal (d_3)	1	Greedy insertion (r_3)	3.73
Large random removal (d_4)	1		
Large worst removal (d_5)	1		
Large relate removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่ 2 จึงเริ่มกระบวนการทำซ้ำต่อในรอบที่ 3 ตามลำดับขั้นตอนเช่นเดิมอีกครั้งดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทำลายคำตอบเริ่มต้นโดยการเลือก Destroy operator ($d_i \in D$) และเลือกการซ่อมแซม Repair operator ($r_i \in R$) กำหนดค่าน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 4.6

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละ Operator ของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ แล้วแทนค่าลงในตารางที่ 4.8 ได้ดังนี้

$$P(d_1) = \frac{3.1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.304$$

$$P(r_1) = \frac{1}{3.1+3.73+1} = 0.128$$

$$P(d_2) = \frac{3.1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.304$$

$$\text{และ } P(r_2) = \frac{3.1}{3.1+3.73+1} = 0.396$$

$$P(d_3) = \frac{1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.098$$

$$P(r_3) = \frac{3.73}{3.1+3.73+1} = 0.476$$

$$P(d_4) = \frac{1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.098$$

$$P(d_5) = \frac{1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.098$$

$$P(d_6) = \frac{1}{3.1+3.1+1+1+1+1} = 0.098$$

ตารางที่ 4.8 ความน่าจะเป็นของการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3

Destroy operators	Weight (w)	Prop	Cumpop	Repair operators	Weight (w)	Prop	Cumpop
d_1	3.1	0.304	0.304	r_1	1	0.128	0.128
d_2	3.1	0.304	0.608	r_2	3.1	0.396	0.524
d_3	1	0.098	0.706	r_3	3.73	0.476	1.00
d_4	1	0.098	0.804				
d_5	1	0.098	0.902				
d_6	1	0.098	1.000				
รวม		1.00				1.00	

จากนั้นทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลข สมมติเลือกได้ตัวเลขสุ่มดังนี้

d ได้ตัวเลขสุ่ม 0.20: $d = 20\%$ (20% ของ 5 ผู้ขายยางพารา คือ 1 ผู้ขายยางพารา)

d_i สุ่มได้ตัวเลข 0.65: $d_i = d_3$ (วิธีการ Small related removal)

r_i สุ่มได้ตัวเลข 0.12: $r_i = r_1$ (วิธีการ Random insertion)

ดังนั้นจะมีการทำลายผู้ขายยางพาราในเส้นทางเริ่มต้นจำนวน 1 แห่งด้วยวิธีการ Small related removal และทำการซ่อมแซมเส้นทางด้วยวิธีการ Random insertion โดยตลาดเครือข่ายแห่งเดียวกันกับที่ทำลายไป

ขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนของการทำลายและซ่อมแซมคำตอบเริ่มต้น $S' = r(d(S))$ จากคำตอบที่ดีที่สุดในรอบที่ 2 นั่นคือ $S = D0-S4-S1-S2-S5-S3-D0$; $Z(S') = 137$

สมมติเลือกผู้ขายรายที่ 5 ซึ่งจะมีการทำลายคำตอบด้วยวิธีการ Small related removal จะได้เส้นทาง $S' = D0-S4-S1-S2-S3-D0$ และซ่อมแซมด้วยวิธีการ Random insertion ซึ่งจะได้คำตอบใหม่ดังนี้

$S' = D0-S4-S1-S2-S3-S5-D0$; $Z(S') = 126^*$

$S' = D0-S4-S5-S1-S2-S3-D0$; $Z(S') = 145$

$S' = D0-S5-S4-S1-S2-S3-D0$; $Z(S') = 139$

$S' = D0-S4-S1-S2-S5-S3-D0$; $Z(S') = 137$

$S' = D0-S4-S1-S5-S2-S3-D0$; $Z(S') = 151$

ดังนั้นเลือก $S' = D0-S4-S1-S2-S3-S5-D0$; $Z(S') = 126$ เนื่องจากได้คำตอบที่ต่ำที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 การยอมรับคำตอบ โดยใช้หลักการ Simulated Annealing (SA) ในการพิจารณา จากตัวอย่างพบว่า $Z(S') = 126$, $Z(S) = Z(S_{min}) = 137$

ดังนั้น $Z(S') \leq Z(S)$, $Z(S_{min})$ จึงยอมรับ S' และตั้งค่า $S=S'$ ในการรันต่อไป และตั้งค่า $Z(S') = Z(S_{min})$ อย่างไรก็ตามในกรณีที่ $Z(S') > Z(S)$ ต้องคำนวณความน่าจะเป็นในการยอมรับ S' สมมติว่า $Z(S') = 137$, $Z(S) = 126$ ด้วยความน่าจะเป็น $p = e^{\frac{-(z(s')-z(s))}{kT}}$ เมื่อแทนค่าจะได้ $p = e^{\frac{-[137-126]}{3 \times 90}}$ จะได้ค่า 0.960 จากนั้นทำการสุ่มเลขที่อยู่ในช่วง $[0,1]$ สมมติได้ตัวเลข 0.975 $> p$ จึงไม่ยอมรับ S' และใช้ S เป็นคำตอบ

ขั้นตอนที่ 5 การปรับค่าน้ำหนัก (Adjust Weight: W) และความน่าจะเป็นของ d_i และ r_i ให้ $\alpha = 3$ และ $\lambda = 0.3$ แทนค่าในสมการด้านล่างนี้ จะได้ตารางการปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลาย และการซ่อมแซมคำตอบดังตารางที่ 4.9

$$\text{การทำลาย } w(d_3) = 0.3(1) + (1-0.3)(3) = 2.4$$

$$\text{การซ่อมแซม } w(r_1) = 0.3(1) + (1-0.3)(3) = 2.4$$

ตารางที่ 4.9 การปรับค่าน้ำหนักของวิธีการทำลายและการซ่อมแซมคำตอบ รอบที่ 3

Destroy operators	Weight (w)	Repair operators	Weight (w)
Small random removal (d_1)	3.1	Random insertion (r_1)	2.4
Small worst removal (d_2)	3.1	Arbitrary insertion (r_2)	3.1
Small related removal (d_3)	2.4	Greedy insertion (r_3)	3.73
Large random removal (d_4)	1		
Large worst removal (d_5)	1		
Large relate removal (d_6)	1		

เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดและดำเนินการปรับค่าน้ำหนักแล้วเป็นการเสร็จสิ้นการคำนวณในรอบที่ 3 จึงเริ่มกระบวนการวนรอบซ้ำในรอบที่ 4 โดยดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1 – 5 เหมือนเดิม ทำการวนรอบซ้ำจำนวน 1,000 รอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

4.4 การประเมินประสิทธิภาพวิธีการ GA-ALNS

การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นอยู่กับข้อมูลตำแหน่งผู้ขายยางพารา ตำแหน่งตลาดกลางยางพารา ข้อมูลระยะทาง และปริมาณยางพารา โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมดังแสดงในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ออกแบบปัญหาออกเป็น 3 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีจำนวน

ผู้ขายยางพารา จำนวนตลาดเครือข่าย และปริมาณยางพาราที่แตกต่างกัน โดยกลุ่มปัญหาที่ 1 เป็นปัญหขนาดเล็กกำหนดให้มีจำนวนผู้ขายยางพารา 5 และ 10 ราย จำนวนตลาดเครือข่าย 1 แห่ง กลุ่มปัญหาที่ 2 เป็นปัญหขนาดกลาง กำหนดให้มีจำนวนผู้ขายยางพารา 40 ราย จำนวนตลาดเครือข่าย 2 แห่ง และกลุ่มปัญหาที่ 3 เป็นปัญหขนาดใหญ มีจำนวนผู้ขายยางพารา 200 ราย จำนวนตลาดเครือข่าย 2 แห่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 กลุ่มตัวอย่างปัญหาที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพวิธีการ GA-ALNS

กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนผู้ขาย	จำนวนตลาด เครือข่าย	กลุ่มตัวอย่าง	จำนวนผู้ขาย	จำนวนตลาด เครือข่าย
SM1	5	1	ME1	40	2
SM2	5	1	ME2	40	2
SM3	5	1	ME3	40	2
SM4	5	1	ME4	40	2
SM5	5	1	ME5	40	2
SM6	10	1	LA1	200	2
SM7	10	1	LA2	200	2
SM8	10	1	LA3	200	2
SM9	10	1	LA4	200	2
SM10	10	1	LA5	200	2

ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีนั้น ต้องสร้างจากการกำหนดเงื่อนไขและกำหนดพารามิเตอร์ในการทดลองให้มีความเหมาะสม ซึ่งวิธีการ GA-ALNS มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัวด้วยกัน ซึ่งแต่ละตัวเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์จะทำให้ได้คำตอบที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพารามีประสิทธิภาพสูง ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมดังกล่าว โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) โดยพิจารณาพารามิเตอร์จำนวน 4 พารามิเตอร์ ดังนี้ (1) จำนวนประชากร (Number of Population) (2) จำนวนรอบ (Iterative) (3) กระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และ (4) กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งแต่ละพารามิเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ รวมจำนวนการทดลอง 48 การทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

StdOrder	Population	Iterative	Crossover	Mutation	Cost (Bath)
1	20	200	0.1	0.1	336,755.0
2	80	200	0.1	0.1	330,119.7

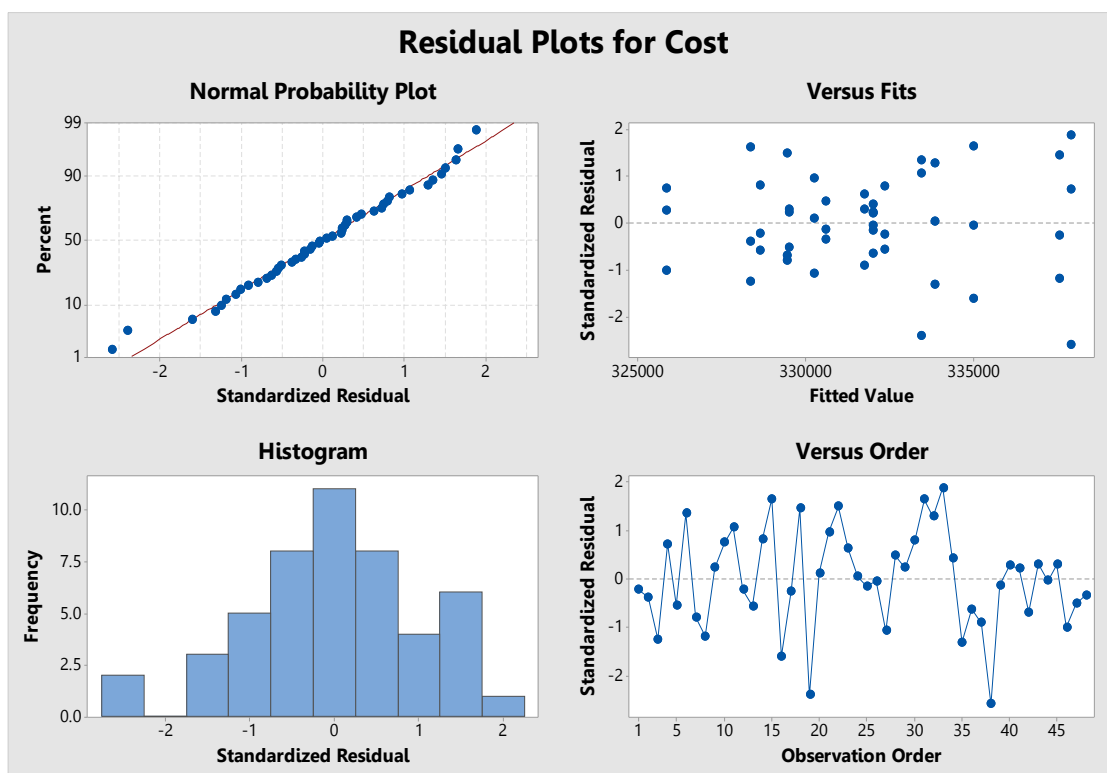
3	20	800	0.1	0.1	330,690.5
4	80	800	0.1	0.1	327,390.8
5	20	200	0.9	0.1	336,550.5
6	80	200	0.9	0.1	327,965.2
7	20	800	0.9	0.1	324,669.5
8	80	800	0.9	0.1	329,597.5
9	20	200	0.1	0.9	330,251.2
10	80	200	0.1	0.9	329,944.2
11	20	800	0.1	0.9	330,251.2
12	80	800	0.1	0.9	332,634.4
13	20	200	0.9	0.9	333,562.9
14	80	200	0.9	0.9	327,087.6
15	20	800	0.9	0.9	322,880.4
16	80	800	0.9	0.9	330,345.2
17	20	200	0.1	0.1	334,037.4
18	80	200	0.1	0.1	333,209.8
19	20	800	0.1	0.1	331,637.3
20	80	800	0.1	0.1	327,097.2
21	20	200	0.9	0.1	337,387.6
22	80	200	0.9	0.1	326,946.8
23	20	800	0.9	0.1	333,158.3
24	80	800	0.9	0.1	330,207.0
25	20	200	0.1	0.9	339,988.2
26	80	200	0.1	0.9	337,605.5
27	20	800	0.1	0.9	334,873.5
28	80	800	0.1	0.9	331,824.8
29	20	200	0.9	0.9	332,597.4

ตารางที่ 4.11 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (ต่อ)

StdOrder	Population	Iterative	Crossover	Mutation	Cost (Bath)
30	80	200	0.9	0.9	330,571.6

31	20	800	0.9	0.9	326,641.3
32	80	800	0.9	0.9	330,165.7
33	20	200	0.1	0.1	330,165.7
34	80	200	0.1	0.1	332,666.6
35	20	800	0.1	0.1	334,651.5
36	80	800	0.1	0.1	333,847.4
37	20	200	0.9	0.1	326,360.2
38	80	200	0.9	0.1	331,014.1
39	20	800	0.9	0.1	327,232.4
40	80	800	0.9	0.1	331,991.4
41	20	200	0.1	0.9	343,383.8
42	80	200	0.1	0.9	333,941.2
43	20	800	0.1	0.9	339,841.3
44	80	800	0.1	0.9	331,516.5
45	20	200	0.9	0.9	329,034.0
46	80	200	0.9	0.9	333,102.9
47	20	800	0.9	0.9	328,034.5
48	80	800	0.9	0.9	327,952.3

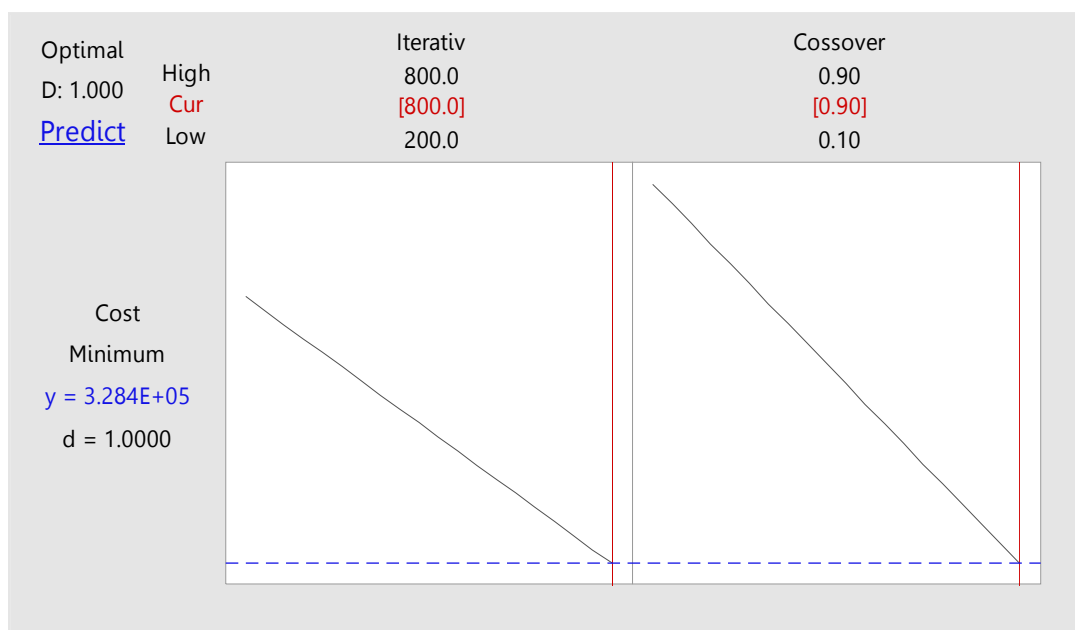
จากข้อมูลผลการทดลองตามแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล การวิเคราะห์เริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต้องตรวจสอบก่อนว่าข้อมูลเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์ถึงคุณสมบัติ (Model Adequacy Checking) ของข้อมูล 3 ประการ คือการทดสอบความอิสระของข้อมูล (Independent Test) การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normal Test) และการทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (Variance Stability Test) จากภาพที่ 4.17 ข้อมูลจากกราฟ Versus Order มีการกระจายไร้รูปแบบ ซึ่งแสดงว่ามีความอิสระของข้อมูลนั่นคือข้อมูลเก็บมาอย่างสุ่ม ข้อมูลจากกราฟ Normal Probability Plot มีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลที่ได้ดำเนินการทดลอง นอกจากนี้กราฟ Histogram มีรูปทรงระฆังคว่ำและกระจายตัวแบบสมมาตรแสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูลเช่นกัน และกราฟ Versus Fits มีลักษณะการเรียงตัวไม่แน่นอนและกระจายตัวแสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนไม่แตกต่างกัน ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีคุณภาพสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อไปได้



ภาพที่ 4.17 Residual Plot ของคำตอบที่ใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคำตอบของการทดลองอัลกอริทึมคือ จำนวนรอบ (Iterative) และกระบวนการแลกเปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนอีก 2 พารามิเตอร์ คือ จำนวนประชากร (Population) และกระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) มีผลต่อคำตอบอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงทำการลดรูป (Reduce Model) แล้วทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ได้ต้นทุนรวมต่ำสุด โดยฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์และใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ดังแสดงในภาพที่ 4.18 พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองวิธี GA-ALNS เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดของการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางรถขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างคือ ขนาดประชากร เท่ากับ 80 Iterative เท่ากับ 800 Crossover เท่ากับ 0.9 และ Mutation เท่ากับ 0.1 ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายที่ได้เท่ากับ 328,400 บาท โดยมีความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1.0000 ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.12



ภาพที่ 4.18 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.12 การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
Population	80
Iterative	800
Crossover	0.9
Mutation	0.1

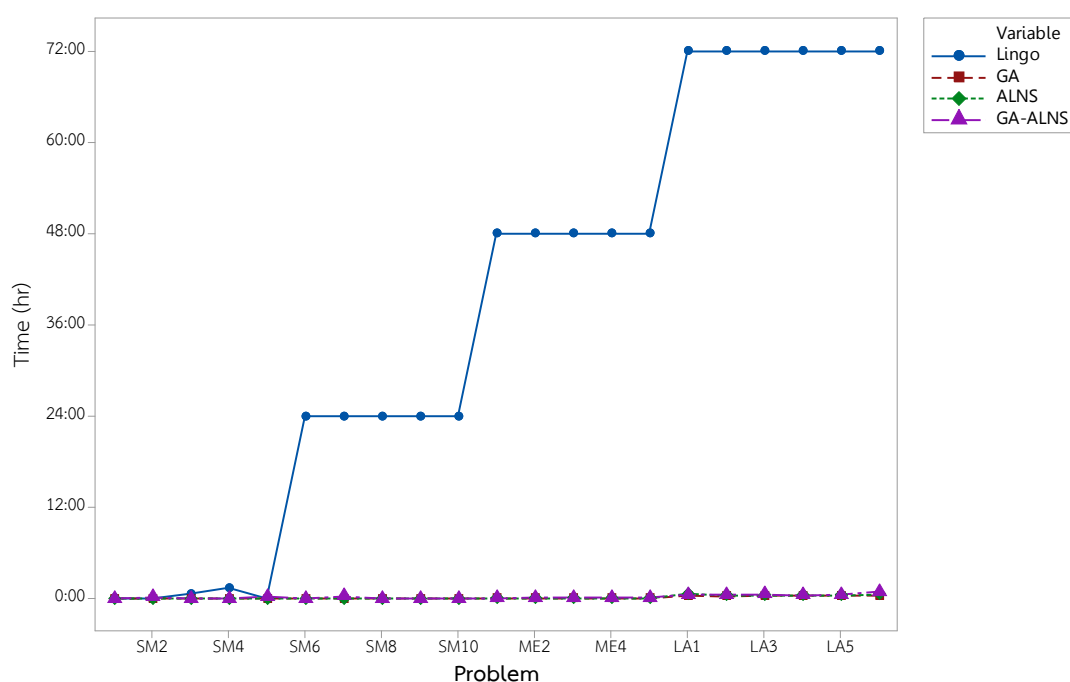
เมื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการทดลองโดยปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.12 และทำการทดลองตามกลุ่มปัญหาที่ได้ออกแบบไว้ ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลการหาคำตอบด้วยอัลกอริทึมวิธีต่าง ๆ เทียบกับโปรแกรม Lingo

Instance	Lingo		Status	GA		ALNS		GA-ALNS	
	Baht	Time (Hr:m:s)		Baht	Time (Hr:m:s)	Baht	Time (Hr:m:s)	Baht	Time (Hr:m:s)
SM1	4,092	00:00:44	Optimal	4,092	00:00:44	4,092	00:00:01	4,092	00:00:07
SM2	3,201	00:00:23	Optimal	3,201	00:00:23	3,201	00:00:01	3,201	00:09:05
SM3	3,602	00:43:54	Optimal	3,602	00:43:54	3,628	00:00:01	3,628	00:00:06
SM4	5,158	01:32:04	Optimal	5,158	00:19:38	5,158	00:00:01	5,158	00:00:07
SM5	2,640	00:00:06	Optimal	2,640	00:00:06	2,640	00:00:01	2,640	00:15:04
SM6	6,014	24:00:00	Best bound	6,038	00:00:01	6,038	00:00:01	6,038	00:00:08
SM7	6,996	24:00:00	Best bound	7,239	00:00:01	7,216	00:00:01	7,216	00:16:09
SM8	4,462	24:00:00	Best bound	4,516	00:00:01	4,493	00:00:01	4,493	00:00:09
SM9	6,603	24:00:00	Best bound	6,564	00:00:01	6,564	00:00:01	6,564	00:00:08
SM10	6,159	24:00:00	Best bound	6,239	00:00:01	6,239	00:00:01	6,130	00:00:08
ME1	24,121	48:00:00	Lower bound	29,222	00:01:02	26,755	00:02:03	26,747	00:02:39
ME2	24,382	48:00:00	Lower bound	31,236	00:00:53	30,918	00:03:06	29,834	00:06:09
ME3	23,613	48:00:00	Lower bound	32,152	00:00:54	29,665	00:02:25	29,474	00:06:25
ME4	20,492	48:00:00	Lower bound	28,887	00:01:34	26,505	00:03:27	26,102	00:05:15
ME5	26,757	48:00:00	Lower bound	34,565	00:01:43	33,717	00:03:17	32,992	00:05:25
LA1	117,438	72:00:00	Lower bound	123,824	00:21:16	125,669	00:25:02	120,447	00:29:53
LA2	107,045	72:00:00	Lower bound	125,533	00:19:11	124,408	00:24:52	124,553	00:27:22
LA3	92,635	72:00:00	Lower bound	107,400	00:20:07	106,015	00:25:24	106,133	00:32:06
LA4	105,342	72:00:00	Lower bound	123,099	00:21:03	122,573	00:25:17	121,296	00:26:12
LA5	105,684	72:00:00	Lower bound	123,955	00:22:11	123,882	00:24:48	122,711	00:28:19
Case	199,394	72:00:00	Lower bound	239,017	00:23:17	234,293	00:33:44	229,491	00:50:50

ตารางที่ 4.13 เป็นการหาคำตอบด้วยวิธี GA-ALNS เทียบกับคำตอบจากโปรแกรม Lingo โดยผลการทดลองในสแตมภ์ GA-ALNS เป็นผลลัพธ์ที่ได้จากการรวมอัลกอริทึมทั้ง 2 ตัว มาหาคำตอบรวมกัน (GA+ALNS) ส่วนผลการทดลองในสแตมภ์ GA และ ALNS เป็นผลลัพธ์ได้จากการทดสอบแยกในการหาคำตอบด้วยวิธีของตัวเองโดยเฉพาะ เพื่อนำมาเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของ GA-ALNS ซึ่งรวม

การค้นหาคำตอบทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันแทนที่จะเป็นการหาคำตอบด้วยวิธีเดียวซ้ำ ๆ การทดลองนี้กำหนดรอบการค้นหาคำตอบในแต่ละอัลกอริทึมเท่ากับ 1,000 รอบ แล้วใช้ค่าเฉลี่ยคำตอบจากการทดลอง 5 ครั้ง ผลจากการทดลองพบว่าปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขายจำนวน 5 ราย โปรแกรม Lingo สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Optimization) โดยใช้เวลาในการหาคำตอบไม่มาก ส่วนปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขายจำนวน 10 ราย โปรแกรมสามารถหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Best bound Solution) ส่วนปัญหขนาดกลางและปัญหขนาดใหญ โปรแกรมไม่สามารถหาคำตอบได้ (Unknown) ทำได้เพียงขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound solution) เท่านั้น ส่วนอัลกอริทึมอื่น ๆ สามารถหาคำตอบได้ในทุกขนาดของกลุ่มปัญหา แต่กลับใช้เวลาน้อยกว่าโปรแกรม Lingo มาก ดังแสดงในภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.19 เปรียบเทียบเวลาประมวลผลระหว่างโปรแกรม Lingo กับอัลกอริทึม

ในการคำนวณความแตกต่างของค่าคำตอบระหว่างโปรแกรม Lingo กับอัลกอริทึมแต่ละอัลกอริทึมนั้น สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 4.1 โดยผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังแสดงในตารางที่ 4.14

$$\%Gap = \left(\frac{T_W - T_M}{T_L} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ %Gap เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
 S_V คำตอบจากอัลกอริทึมแต่ละวิธี
 S_L คำตอบจากโปรแกรม Lingo

ในกลุ่มปัญหขนาดเล็กผู้ขายยางพาราจำนวน 5 ราย วิธี GA-ALNS, ALNS และ GA มี %Gap เท่ากันคือ 0.14% โดย %Gap เป็นบวกลบแสดงว่าคำตอบของอัลกอริทึมมีค่ามากกว่าโปรแกรม Lingo เนื่องจากเป็นปัญหขนาดเล็ก โปรแกรม Lingo สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ส่วนกลุ่มปัญหขนาดเล็กผู้ขายยางพาราจำนวน 10 ราย วิธี GA-ALNS มี %Gap น้อยที่สุดเท่ากับ 0.62% รองลงมาวิธี ALNS เท่ากับ 0.97% และวิธี GA เท่ากับ 1.13% ตามลำดับ เนื่องจาก Lingo ให้คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ในระยะเวลาจำกัด ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ถึงแม้จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานถึง 24 ชั่วโมงก็ตาม

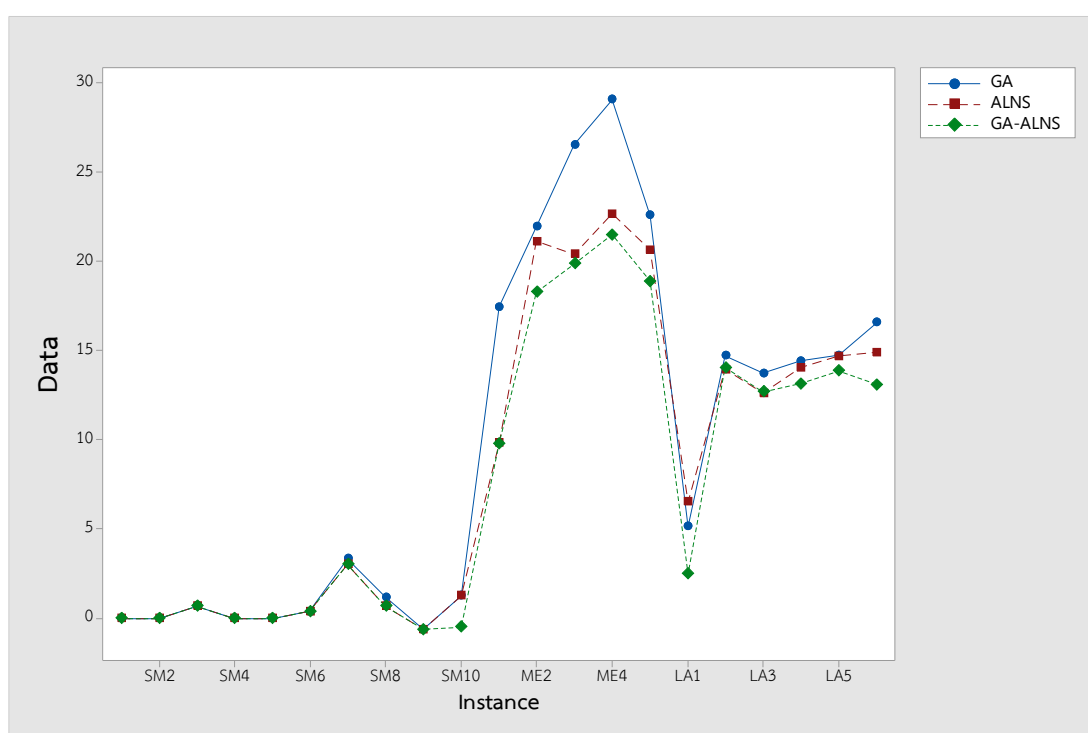
ในกลุ่มปัญหขนาดกลางและขนาดใหญ่วิธี GA-ALNS มี %Gap ที่น้อยที่สุด รองลงมาวิธี ALNS และวิธี GA ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่ากลุ่มปัญหาทั้ง 3 กลุ่ม อัลกอริทึมที่ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับโปรแกรม Lingo มากที่สุดคือวิธี GA-ALNS นั่นเอง การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า GA-ALNS มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า GA และ ALNS เมื่อพิจารณาความแตกต่างของคำตอบเทียบกับโปรแกรม Lingo ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.20

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอัลกอริทึมกับโปรแกรม Lingo

Instance	GA	ALNS	GA-ALNS
SM1	0.00	0.00	0.00
SM2	0.00	0.00	0.00
SM3	0.71	0.71	0.71
SM4	0.00	0.00	0.00
SM5	0.00	0.00	0.00
Average	0.14	0.14	0.14
SM6	0.41	0.41	0.41
SM7	3.35	3.05	3.05
SM8	1.21	0.71	0.71
SM9	-0.59	-0.59	-0.59
SM10	1.28	1.28	-0.47
Average	1.13	0.97	0.62
ME1	17.46	9.85	9.82
ME2	21.94	21.14	18.28
ME3	26.56	20.40	19.89
ME4	29.06	22.68	21.49
ME5	22.59	20.64	18.90
Average	23.52	18.94	17.67
LA1	5.16	6.55	2.50

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอัลกอริทึมกับโปรแกรม Lingo (ต่อ)

Instance	GA	ALNS	GA-ALNS
LA2	14.73	13.96	14.06
LA3	13.75	12.62	12.72
LA4	14.43	14.06	13.15
LA5	14.74	14.69	13.88
Real_Case	16.58	14.90	13.11
Average	13.23	12.80	11.57



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ Gap ของอัลกอริทึมแต่ละวิธี

เมื่อนำค่า %Gap ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างทั้ง 21 กรณี ที่ได้จากการแก้ปัญหา มาทดสอบความแตกต่างระหว่างแต่ละอัลกอริทึมด้วยวิธีการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยกรณีข้อมูลแบบคู่ (Paired-t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

4.4.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างของ %Gap ระหว่าง GA กับ ALNS

$$H_0: \mu_{d1} = 0$$

$$H_1: \mu_{d1} \neq 0$$

โดยที่ μ_{d1} คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยอัลกอริทึม GA กับ ALNS

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม GA กับ ALNS

Method	N	Mean	SD	t	P-Value
GA	21	9.68	10.06	2.39	0.027
ALNS	21	8.43	8.52		
Difference	21	1.253	2.399		

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหาระหว่างอัลกอริทึม GA และ ALNS ด้วย Paired-t-test พบว่าค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่แก้ปัญหด้วยอัลกอริทึม GA และ ALNS มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

4.4.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของ %Gap ระหว่าง GA กับ GA-ALNS

$$H_0: \mu_{d2} = 0$$

$$H_1: \mu_{d2} \neq 0$$

โดยที่ μ_{d2} คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหด้วยอัลกอริทึม GA กับ GA-ALNS

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม GA กับ GA-ALNS

Method	N	Mean	SD	t	P-Value
GA	21	9.68	10.06	3.57	0.002
GA-ALNS	21	7.70	8.11		
Difference	21	1.988	2.555		

ตารางที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหาระหว่างอัลกอริทึม GA และ GA-ALNS ด้วย Paired-t-test พบว่าค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่แก้ปัญหด้วยอัลกอริทึม GA และ GA-ALNS มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

4.4.3 การเปรียบเทียบความแตกต่างของ %Gap ระหว่าง ALNS กับ GA-ALNS

$$H_0: \mu_{d3} = 0$$

$$H_1: \mu_{d3} \neq 0$$

โดยที่ μ_{d3} คือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหด้วยอัลกอริทึม GA กับ GA-ALNS

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ระหว่างอัลกอริทึม ALNS กับ GA-ALNS

Method	N	Mean	SD	t	P-Value
ALNS	21	8.43	8.52	2.97	0.008
GA-ALNS	21	7.70	8.11		
Difference	21	0.735	1.134		

ตารางที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของ %Gap ที่ได้จากการแก้ปัญหาระหว่างอัลกอริทึม ALNS และ GA-ALNS ด้วย Paired-t-test พบว่าค่า P-Value จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่าง %Gap ที่แก้ปัญหด้วยอัลกอริทึม GA และ GA-ALNS มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$

ผลการทดสอบความแตกต่างด้วยวิธี Paired-t-test ของอัลกอริทึมทั้ง 3 วิธี ที่ประกอบด้วยวิธี GA, วิธี ALNS และวิธี GA-ALNS โดยทำการเปรียบเทียบทีละคู่ พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ดังนั้นแสดงให้เห็นว่า วิธี GA-ALNS จะให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม GA และ ALNS ซึ่งสามารถแสดงผลคำตอบของแต่ละกลุ่มตัวอย่างทั้ง 21 กรณี ดังแสดงในภาพที่ 4.17

4.5 ผลการแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธี GA-ALNS

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายของทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุดประกอบด้วยค่าจัดตั้งตลาดเครือข่าย ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคาของตลาดเครือข่าย ค่าการขนส่งจากผู้ขายยางพาราไปตลาดเครือข่ายและค่าเสื่อมราคาของยานพาหนะ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลผู้ขายยางพาราแยกตามรายตำบลของพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างทั้งหมด 7 จังหวัด ประกอบด้วย จังหวัดสงขลา พัทลุง ตรัง สตูล ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส นอกจากนี้ทำการเก็บข้อมูลของตลาดกลางยางพาราสงขลา และตลาดกลางยางพารายะลา ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก. จากการทดสอบอัลกอริทึม GA-ALNS ที่ได้สร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง เพื่อให้ได้ตำแหน่งการเปิดเป็นตลาดเครือข่ายยางพาราที่เหมาะสม มีการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราจากผู้ขายยางพารามายังตลาดเครือข่ายที่เปิดขึ้นมา โดยตำแหน่งของตลาดเครือข่ายและเส้นทางการขนส่งได้ถูกออกแบบด้วยวิธีการ GA-ALNS ซึ่งมีจำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 503 ราย และตลาดกลางยางพาราทั้งหมด 2 แห่ง จากผลการแก้ปัญหาสามารถระบุตำแหน่งตลาดเครือข่ายและจัดสรรผู้ขายยางพาราให้กับตลาดเครือข่าย ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ตำแหน่งของตลาดเครือข่ายและการจัดสรรผู้ขายยางพารา

จุดที่	ตำแหน่ง ตลาดเครือข่าย	ขนาดตลาด เครือข่าย	ตำแหน่งลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)
1	ตลาดกลาง ยางพารา สงขลา (D1)	ไม่จำกัด	267 271 284 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 413 414 415 416 417 418 419 420 421 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 (87 ราย)	1,084
2	ตลาดกลาง ยางพารายะลา (D2)	ไม่จำกัด	87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 (245 ราย)	1,984

ตารางที่ 4.18 ตำแหน่งของตลาดเครือข่ายและการจัดสรรผู้ขายยางพารา (ต่อ)

จุดที่	ตำแหน่ง ตลาดเครือข่าย	ขนาดตลาด เครือข่าย	ตำแหน่งลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)
3	ตำบล นาโยงเหนือ อำเภอनायोग จังหวัดตรัง (D20)	ขนาดใหญ่	5 13 16 17 18 20 21 31 32 36 37 38 39 40 42 43 45 46 47 48 49 78 262 266 268 273 274 277 288 312 321 322 323 324 325 326 (36 ราย)	192
4	ตำบลบ้านนา อำเภอ ปะเหลียน จังหวัดตรัง (D27)	ขนาดใหญ่	22 23 24 25 27 28 29 30 50 51 52 84 85 86 485 487 (16 ราย)	200
5	ตำบล นาโต๊ะหมิง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง (D35)	ขนาดใหญ่	2 3 4 6 7 8 9 10 11 12 14 15 33 35 41 44 58 60 62 64 65 66 67 70 80 (25 ราย)	199
6	ตำบลเขาขาว อำเภอ ห้วยยอด จังหวัดตรัง (D70)	ขนาดใหญ่	53 54 55 56 57 59 61 63 68 71 72 73 74 75 76 77 79 81 82 83 305 (21 ราย)	175
7	ตำบล คูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง (309)	ขนาดใหญ่	263 264 265 269 270 272 275 276 278 279 280 281 282 283 285 286 287 289 301 302 303 304 306 307 309 310 311 313 314 315 316 317 318 319 320 383 384 385 (38 ราย)	186
8	ตำบลท่าแพ อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล (D481)	ขนาดใหญ่	473 474 475 476 477 478 479 481 482 483 484 486 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 (29 ราย)	190
รวม			497 ราย	4,210

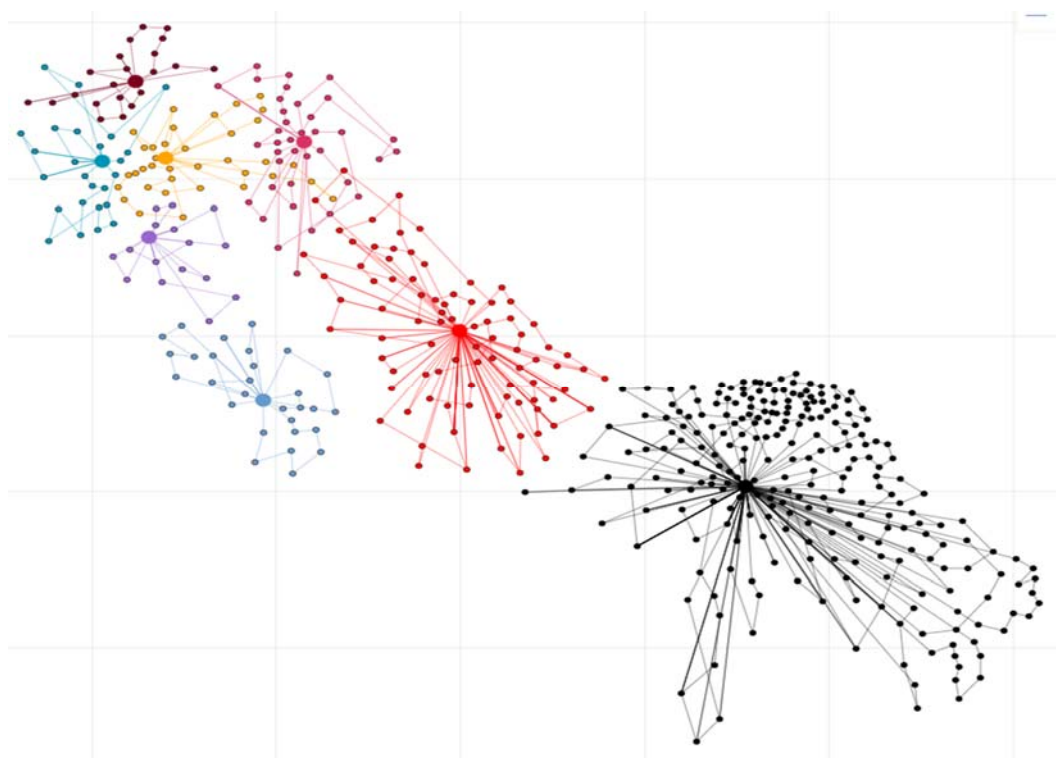
ตารางที่ 4.18 พบว่าตำแหน่งของตลาดเครือข่ายที่เปิดทั้งหมดมีด้วยกัน 6 แห่ง รวมตลาดกลางยางพาราสงขลาและตลาดกลางยางพารายะลาอีก 2 แห่ง รวมทั้งหมด 8 แห่ง โดยตลาดเครือข่ายทั้ง 8 แห่ง ประกอบด้วย (1) ตลาดกลางยางพาราสงขลา มีขนาดความจุไม่จำกัด มีผู้ขายยางพาราทั้งหมด 87 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 1,084 ตัน (2) ตลาดกลางยางพารายะลา มีขนาดความจุไม่จำกัด มีผู้ขายยางพาราทั้งหมด 245 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 1,984 ตัน (3) ตลาดเครือข่าย ตำบลนาโยงเหนือ อำเภอนาโยง จังหวัดตรัง มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 36 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 192 ตัน (4) ตลาดเครือข่าย ตำบลบ้านนา อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 16 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 200 ตัน (5) ตลาดเครือข่าย ตำบลนาโต๊ะหมิง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 25 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 199 ราย (6) ตลาดเครือข่าย ตำบลเขาขาว อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 21 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 175 ตัน (7) ตลาดเครือข่าย ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 38 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 186 ราย (8) ตลาดเครือข่าย ตำบลท่าแพ อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล มีขนาดความจุขนาดใหญ่ จำนวนผู้ขายยางพาราทั้งหมด 29 ราย ปริมาณน้ำหนักรายยางพาราทั้งหมด 190 ตัน นอกจากนี้ได้ทำการจัดเส้นทาง การขนส่งยางพาราของตลาดเครือข่ายแต่ละแห่งรวมถึงยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ตลอดจนต้นทุน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.19 ขนาดยานพาหนะที่ใช้และต้นทุนค่าใช้จ่ายของตลาดเครือข่ายแต่ละแห่ง

ตลาด เครือข่าย	จำนวนผู้ขาย (ราย)	ขนาดรถบรรทุก (ตัน)			รวมพาหนะ (คัน)	ระยะทาง (Km)	ต้นทุนค่าใช้จ่าย (บาท/วัน)
		10	20	25			
1	87	0	0	45	45	5,051.23	73,526.84
2	245	0	1	81	82	10,111.84	137,451.93
3	36	1	0	8	9	772.93	19,742.41
4	16	0	1	7	8	494.72	17,627.28
5	25	0	0	8	8	679.25	18,525.22
6	21	0	3	5	8	478.79	17,243.93
7	38	0	1	7	8	933.03	19,380.52
8	29	0	1	7	8	726.01	18,552.44
รวม	497	1	7	168	176	19,247.80	322,050.58

ตารางที่ 4.19 ผลการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง พบว่ามีตลาดเครือข่ายทั้งหมด 8 แห่ง ขนาดของยานพาหนะที่ใช้ทั้งหมด 176 คัน ประกอบด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 7 คัน และ

รถบรรทุกลากพ่วง จำนวน 168 คัน ระยะทางรวมในการขนส่งเท่ากับ 19,247.80 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อวัน ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราเท่ากับ 322,050.58 บาทต่อวัน โดยตำแหน่งของตลาดเครือข่ายและการจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราของผู้ขายแต่ละราย ดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 ตำแหน่งตลาดเครือข่ายและเส้นทางการขนส่งยางพาราของผู้ขายแต่ละราย

ภาพที่ 4.21 จุดสีดำแสดงตำแหน่งของตลาดเครือข่ายยางพารายะลา จุดสีแดงแสดงตำแหน่งของตลาดกลางยางพาราสงขลา จุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่ายยางพารา ตำบลท่าแพ อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล จุดสีชมพูแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่ายยางพารา ตำบลคูหาสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง จุดสีม่วงแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่าย ตำบลนาโยงเหนือ อำเภอนาโยง จังหวัดตรัง จุดสีเหลืองแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่าย ตำบลบ้านนา อำเภอปะเหลียน จังหวัดตรัง จุดสีฟ้าแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่าย ตำบลนาโต๊ะหมิง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง และจุดสีน้ำตาลแสดงตำแหน่งตลาดเครือข่าย ตำบลเขาขาว อำเภอห้วยยอด จังหวัดตรัง

4.6 สรุปผลการแก้ปัญหาการณศึกษาด้วยวิธีการ GA-ALNS

จากผลการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางการขนส่งยางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง พบว่าสามารถเปิดตลาดเครือข่ายได้ทั้งหมด 6 แห่ง รวมตลาดกลางยางพารา 2 แห่ง เป็นจำนวนทั้งหมด 8 แห่ง จากจำนวนกลุ่มเกษตรกรผู้ขายยางพาราทั้งหมด 503 ราย สามารถจัดเส้นทางการขนส่งยางพารามายังตลาดเครือข่ายได้ทั้งหมด 176 เส้นทาง ดังแสดงในภาคผนวก ข

รวมระยะทางทั้งหมด 19,247.80 กิโลเมตร และต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมด 322,050.58 บาทต่อวัน เพื่อให้เห็นประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการของ GA-ALNS จึงทำการเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของต้นทุนระหว่างอัลกอริทึมของ GA และ ALNS ดังแสดงในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ต้นทุนของแต่ละอัลกอริทึม

Item	Algorithm		
	GA	ALNS	GA-ALNS
Depot Cost (Baht/Day)	37,972.62	37,972.62	37,972.62
Transportation Cost (Baht/Day)	78,148.84	77,559.64	76,991.20
Vehicle Cost (Baht/Day)	209,479.45	208,497.72	207,086.76
Total Cost (Baht/Day)	325,600.91	324,029.98	322,050.58

ตารางที่ 4.20 เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนของการเปิดตลาดเครือข่ายทางพารา พบว่าทุกอัลกอริทึมมีต้นทุนที่เท่ากันคือ 37,972.62 บาทต่อวัน ส่วนต้นทุนของการขนส่งทางพาราของวิธีการ GA-ALNS มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 76,991.20 บาทต่อวัน รองลงมาคือวิธี ALNS และวิธี GA ตามลำดับ นอกจากนี้ต้นทุนของยานพาหนะวิธีการ GA-ALNS มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 207,086.76 บาทต่อวัน รองลงมาคือวิธี ALNS และวิธี GA ตามลำดับ เมื่อทำการพิจารณาต้นทุนรวมทั้งหมด วิธีการ GA-ALNS ให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 322,050.58 บาท/วัน ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการ Genetic Algorithm - Adaptive Large Neighborhood Search: GA-ALNS ให้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถนำฮิวริสติกส์วิธีการ GA-ALNS มาใช้ในการหาคำตอบของการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.7 การเปรียบเทียบต้นทุนในการขนส่ง

ในการทดลองเพื่อหาคำตอบการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง พบว่าตลาดเครือข่ายที่เปิดมีทั้งหมด 8 แห่ง โดย 2 แห่งคือตลาดกลางทางพาราสงขลา และตลาดกลางทางพารายะลา ที่มีขนาดความจุแบบไม่จำกัด และอีก 6 แห่ง เป็นตลาดเครือข่ายขนาดใหญ่มีความจุ 200 ตัน มีต้นทุนรวมทั้งหมด 322,050.58 บาทต่อวัน

เมื่อทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งแบบเดิม ที่เกษตรกรหรือผู้ขายทางพาราต้องนำทางพาราไปขายยังตลาดกลางทางพาราโดยตรง (Direct shipping) และใช้ยานพาหนะของตัวเอง โดยพิจารณาค่าเสื่อมของรถและค่าดำเนินการของตลาดกลางทางพารา (ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 4 บาทต่อกิโลเมตร) พบว่ามีต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ 548,327.51 บาทต่อวัน เมื่อทำการแก้ปัญหากรณีศึกษานี้โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (GA-ALNS) จะทำให้ต้นทุนรวมทั้งระบบมีค่าลดลงเท่ากับ $548,327.51 - 322,050.58 = 226,276.93$ บาทต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 41.27

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

แนวคิดในการหาคำตอบของปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง เป็นการใช้ข้อมูลมาวิเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหาให้มีประสิทธิภาพ จากผลการทดลองการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งทางพารา การวัดประสิทธิภาพของคำตอบในการแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงผลสรุปต่าง ๆ ของงานวิจัยและในส่วนท้ายจะเป็นการนำเสนอข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ และเพื่อเป็นการพัฒนาอิริสติกส์ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางขนส่งด้านอื่น ๆ ต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและจัดเส้นทางขนส่งทางพาราในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง เป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน โดยการศึกษาดังกล่าวนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งทำให้ผู้ขายทางพาราได้รับความเป็นธรรมจากการซื้อขายทางพาราผ่านตลาดเครือข่าย อันเป็นการช่วยเหลือเกษตรกรในด้านการขนส่งและสามารถเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้ขายทางพารา ปัญหาดังกล่าวนี้เป็นปัญหาขนาดใหญ่และมีความซับซ้อนจัดเป็นปัญหาระดับ NP-hard ต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่ค่อนข้างนาน จากการใช้วิธีแบบแม่นยำ (Exact Method) ในการแก้ปัญหานี้กระทำได้ยากหรือไม่สามารถกระทำได้เลยเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการใช้วิธีการทางอิริสติกส์ (Heuristic) หรือเมตาอิริสติกส์ (Meta Heuristic) จึงมีความเหมาะสมเพราะให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการประมวลผลไม่นาน จากการทบทวนวรรณกรรมเพื่อคัดเลือกวิธีการสำหรับการสร้างอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหา ผู้วิจัยมีการประยุกต์ใช้วิธีการ (Genetic Algorithm: GA) ร่วมกับวิธีการค้นหาข้างเคียงขนาดใหญ่แบบปรับค่าได้ (Adaptive large Neighborhood Search: ALNS) เพื่อให้คำตอบที่ได้มีความหลากหลายจากการใช้วิธีการของ GA และคำตอบที่เน้นเฉพาะเจาะจงแบบเข้มข้นตามวิธีการของ ALNS ทั้งนี้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาและเวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว นอกเหนือจากผลลัพธ์ที่ได้แล้วจำเป็นต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้วย ซึ่งก็คือการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้และระยะเวลาในการแก้ปัญหานั้นเองที่จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา

5.1.1 สรุปผลการทดสอบวิธีการ GA-ALNS

สำหรับขั้นตอนกระบวนการในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการ GA-ALNS เบื้องต้นจำเป็นต้องทำการกำหนดคำตอบเริ่มต้นในการหาจำนวนตลาดเครือข่ายที่จะทำการเปิด โดยใช้หลักการ K-mean Clustering จากนั้นทำการหาจุด Centroid ใหม่ซ้ำอีกครั้ง (Iterative K-Mean Clustering) และทำการจัดเส้นทางของกลุ่มตลาดเครือข่ายที่ได้ โดยอาศัยวิธีการแบบประหยัด (Saving Algorithm) ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 1000 รอบ เพื่อนำคำตอบที่ดีที่สุด 100 คำตอบแรกมาเป็นคำตอบเริ่มต้นในการเข้าสู่กระบวนการ GA โดยทำการเข้ารหัสและถอดรหัสคำตอบของสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายและ

เส้นทางการขนส่งทั้งหมดในแต่ละตลาดเครือข่าย ผลลัพธ์จากคำตอบที่ได้จากวิธีการ GA นำไปเข้ากระบวนการ ALNS ซึ่งใช้วิธีการทำลายทั้งหมด 3 วิธี คือ (1) การทำลายคำตอบแบบ Random removal (2) การทำลายคำตอบแบบ Worst removal (3) การทำลายคำตอบแบบ Related removal ส่วนวิธีการซ่อมแซมคำตอบ (Repair operator) จำนวน 3 วิธีประกอบด้วย (1) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Greedy insertion (2) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Random insertion และ (3) การซ่อมแซมคำตอบแบบ Arbitrary insertion ในส่วนของการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการ GA-ALNS ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบปัญหาออกเป็น 3 กลุ่มคือปัญหาขนาดเล็กกำหนดให้มีจำนวนผู้ขายอย่างพารา 5 ราย และ 10 ราย ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนผู้ขายอย่างพารา 40 รายและปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนผู้ขายอย่างพารา 200 ราย ผลการทดลองเปรียบเทียบขนาดปัญหาที่แตกต่างกันระหว่างโปรแกรม Lingo V.13 พบว่าปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขายจำนวน 5 ราย โปรแกรม Lingo สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Optimization) โดยใช้เวลาในการหาคำตอบไม่มาก ส่วนปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขายจำนวน 10 ราย พบได้เพียงคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) เท่านั้นส่วนปัญหาขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่ โปรแกรมไม่สามารถหาคำตอบได้ ทำได้เพียงขอบเขตล่างของคำตอบ (Lower bound) เท่านั้น ส่วนอัลกอริทึมอื่น ๆ สามารถหาคำตอบได้ในทุกขนาดของกลุ่มปัญหา แต่กลับใช้เวลาน้อยกว่าโปรแกรม Lingo มาก และเมื่อนำค่า %Gap ของแต่ละกลุ่มตัวอย่างมาทดสอบความแตกต่างในแต่ละอัลกอริทึมพบว่า กลุ่มปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขาย 5 รายให้ค่า p-value เท่ากับ 1.00 กลุ่มปัญหาขนาดเล็กที่มีผู้ขาย 10 รายให้ค่า p-value เท่ากับ 0.846 กลุ่มปัญหาขนาดกลางที่มีผู้ขาย 40 รายให้ค่า p-value เท่ากับ 0.165 และกลุ่มปัญหาขนาดใหญ่ที่มีผู้ขาย 200 รายให้ค่า p-value เท่ากับ 0.870 ซึ่งทุกค่ามีค่า p-value > 0.05 ดังนั้นแสดงว่าทุกปัญหาไม่ว่าจะเป็นปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ คำตอบที่ได้มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าอัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาได้

5.1.2 สรุปผลการแก้ปัญหากรณีศึกษา

การแก้ปัญหากรณีศึกษา พบว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นโปรแกรม Lingo V.13 ไม่สามารถแก้ปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรมากหรือมีความซับซ้อนของปัญหาได้ ดังนั้นวิธีการ GA-ALNS จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว เพื่อให้ได้ต้นทุนต่ำที่สุด ผลจากการศึกษาพบว่าสถานที่ตั้งตลาดเครือข่ายที่จะเปิดได้มีทั้งหมด 8 แห่งประกอบด้วย (1) ตลาดกลางยางพาราสงขลา มีเส้นทางทั้งหมด 45 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 45 คัน (2) ตลาดกลางยางพารายะลา มีเส้นทางทั้งหมด 82 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 81 คันและรถบรรทุก 10 ล้อจำนวน 1 คัน (3) ตลาดเครือข่าย ตำบลนาโยงเหนือ อำเภอนาโยง จังหวัดตรัง มีเส้นทางทั้งหมด 9 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 6 ล้อจำนวน 1 คันรถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 8 คัน (4) ตลาดเครือข่าย ต.บ้านนา อ.ปะเหลียน จ.ตรัง มีเส้นทางทั้งหมด 8 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อจำนวน 1 คัน รถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 7 คัน (5) ตลาดเครือข่าย ตำบลนาโตะหมิง อำเภอยะยง จ.ตรัง มีเส้นทางทั้งหมด 8 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 8 คัน (6) ตลาดเครือข่ายตำบลเขาขาว อำเภอยะยง จ.ตรัง มีเส้นทางทั้งหมด 8 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อจำนวน 3 คัน รถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 5 คัน (7) ตลาดเครือข่าย ตำบลคูหาสวรรค์

อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง มีเส้นทางทั้งหมด 8 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 1 คัน รถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 7 คัน (8) ตลาดเครือข่าย ตำบลท่าแพ อำเภอท่าแพ จังหวัดสตูล มีเส้นทางทั้งหมด 8 เส้นทาง ขนาดรถบรรทุกที่ใช้เป็นรถบรรทุก 10 ล้อจำนวน 1 คัน รถบรรทุก 10 ล้อลากพ่วงจำนวน 7 คัน รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการเลือกสถานที่ตั้งตลาดเครือข่าย และจัดเส้นทางการขนส่งมีค่าเท่ากับ 322,050.58 บาท/วัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาอัลกอริทึมของวิธีการ GA-ALNS เป็นการทดลองกับปัญหากรณีศึกษาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม ภายในระยะเวลาอันรวดเร็วควรพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย เช่นประเภทของถนนสำหรับเส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง ความยากง่ายในการเข้าถึงผู้ขายยางพารา และควรพิจารณาในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective function) เพื่อให้สามารถใช้ค่าระยะทางและปริมาณการผลิตของผู้ขายที่มีความไม่แน่นอนในการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งยางพารา นอกจากนี้ตลาดเครือข่ายที่ทำการเลือกจะต้องพิจารณาดำเนินที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการรับซื้อยางพาราเพื่อทำการผลิตและแปรรูปยางพาราในลำดับถัดไปเพื่อให้ครอบคลุมของกระบวนการทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- ธรีณี มณีศรี. รายงานวิจัยการประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม, 2552
- ธารชุตตา พันธุ์นิกุล. วิธีฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีทั้งการรับและการส่งในจุดเดียวกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.
- นัทธพงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. “วิธีค้นหาเบอร์ดุชันแปรสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งแบบหลายขั้นตอนและหลายเงื่อนไข”, ใน การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. น. 420. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.
- สมศักดิ์ แก้วพลอย. วิธีการหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางรถขนส่งของตลาดกลางยางพารา. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2559.
- สุพรรณ สุตสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. “การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์”, ใน การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. น. 101. กรุงเทพฯ: โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 2549.
- สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. “ความสำคัญของยางพาราต่อเศรษฐกิจและสังคม”, **คลังข้อมูลสารสนเทศระดับภูมิภาค (ภาคใต้)**. <http://www.arda.or.th>. 19 เมษายน, 2560.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. “ข้อมูลการผลิตสินค้าการเกษตร”, **เอกสารเผยแพร่**. <http://www.oae.go.th>. 19 เมษายน, 2560.
- Abdelhalim, H. and et al. “A genetic algorithm approach for location-inventory problem with perishable products”, **Journal of Manufacturing System**. 42(1): 93-103; January; 2017.
- Ahmad, S. S. and et al. “An improved genetic algorithm for optimizing total supply chain cost in inventory location routing problem”, **Ain Shams Engineering Journal**. 10(1): 63-76; March, 2019.
- Albareda, S. M., Diaz, J. A. and Fernandez, E. “A Compact Model and Tight Bounds for a Combined Location-Routing Problem”, **Computers and Operation Research**. 32(3): 407-428; March, 2005.
- Averbakh, I. and Berman, O. “Minmax p-Traveling Salesmen Location Problems on a Tree”, **Annals of Operations Research**. 110(1): 55-68; February, 2002.
- Barreto, A. P., Fenille, M. C. and Hartmann, L. “Inverse Mapping Theorem and Local Forms of Continuous Mappings”, **Topology and its Applications**. 197(1): 10-20; January, 2016.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Behmardi, B. “Dynamic Multi-commodity Capacitated Facility Location Problem in Supply Chain”, In **Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference**. p. 1914-1919. Georgia: Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE), 2018.
- Billionnet, A., Elloumi, S. and Djerbi, L. G. “Designing Radio-Mobile Access Networks Based on Synchronous Digital Hierarchy Rings”, **Computers & Operator Research**. 32(2): 379-394; December, 2005.
- Chen, S. and et al. “An adaptive large neighborhood search heuristic for dynamic vehicle routing problems”, **Computers and Electrical Engineering**. 67(12): 569-607; Springer, 2018.
- Coco, A. A., Santos, A. C. and Noronha, T. F. “Formulation and algorithm for the robust maximal covering location problem”, **Electronic Notes in Discrete Mathematics**. 64(1): 145-154; February, 2018.
- Dantzig, G. B. and Ramser, J .H. “The Truck Dispatching problem”, **Management Science**. 6(1): 80-91; January, 1959.
- Dinler, D. and Kemal T. M. “A minisum location problem with regional demand considering farthest Euclidean distances”, **Optimization Methods and Software**. 31(3): 446-470; May, 2016.
- Drazen, P. and et al. “Variable Neighborhood Search heuristic for the Inventory Routing Problem in fuel delivery”, **Expert systems with applications**. 39(18): 13390-13398; August, 2012.
- Drezner, Z. “The P-Cover Problem”, **European Journal of Operational Research**. 26(2): 312-313; August, 1982.
- Drezner, Z. and Wesolowsky, G. “A Maximin Location Problem with Maximum Distance Constraints”, **Journal A I I E Transactions**. 12(3): 249-252; June, 1980.
- Emrah, D. and et al. “An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution routing problem”, **European Journal of Operation Research**. 223(2): 346-359; July, 2013.
- Escudero, L. F. and et al. “On efficient matheuristic algorithms for multi-period stochastic facility location-assignment problem”, **Computational Optimization and Application**. 70(201): 1-24; March, 2018.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Fathali, J. “A Genetic Algorithm for the P-Median Problem with Pos/Neg Weights”, **Applied Mathematics and Computation**. 183(2): 1071-1083; December, 2006.
- Ghannadpour, S. F. and Ghoseiri, K. “Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm”, **Applied Soft Computing**. 10(4): 1096-1107; September, 2010.
- Ghiani, G., Laporte, G. and Manni, E. “Model-Based Automatic Neighborhood Design by Unsupervised Learning”, **Computer & Operation Research**. 54(1): 108-116; January, 1999.
- Goldberg, D. and Lingle, R. “Alleles, Loci and the Traveling Salesman Problem”, **Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications**. p. 154-159. Los Angeles: Psychology Press, 1985.
- Hakimi, S. “Optimum Location of Switching Centers and Absolute Centers and Medians of a Graph”, **Operations Research**. 12(3): 450-459; June, 1964.
- Heechul, B. and Ilkyeong, M. “Multi-depot vehicle routing problem with time windows considering delivery and installation vehicles”, **Applied Mathematical Modelling**. 40(2): 6536-6549; February, 2016.
- Hemmelmayr, V. “Sequential and Parallel Large Neighborhood Search Algorithms for the Periodic Location Routing Problem”, **European Journal of Operational Research**. 243(1): 52-60; June, 2017.
- Honda, D. and et al. “An Iterated Local Search for Solving a Location Routing Problem”, **Electronic Notes in Discrete Mathematics**. 36(1): 875-882; June, 2010.
- Hossein, A. and Samsung, L. “Adaptation of simulated annealing to an integrated municipal solid waste location-routing problem”, **International Journal of Logistics Systems and Management**. 28(2): 127-143; January, 2017.
- Houda, D. and et al. “Genetic algorithm with iterated local search for solving a location-routing problem”, **Expert System With Application**. 39(3): 2865-2871; February, 2012.
- Huang, S. H. “Solving the Multi-Compartment Capacitated Location Routing Problem with Pickup-Delivery Routes and Stochastic Demands”, **Computers and Industrial Engineering**. 87(1): 104-113; January, 2015.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Iqbal, W. S. and et al. "Optimization of Distribution Channel Vehicle Routing Problem with Time Windows using Differential Evolution Algorithm: A Case Study in Newspaper Industry", **International Conference on Industrial Engineering and Operation Management**. p. 3197-3204. Bandung, Indonesia: Hilton Hotel Bandung, 2018.
- Jena, S. D., Cordeau, J. F. and Gendron, B. "Lagrangian heuristic for large-scale dynamic facility location with generalized modular capacities", **INFORMS Journal on Computing**. 29(3): May; 388-404, 2017.
- Jun, Y. and Hao, S. "Battery swap station location-routing problem with capacitated electric vehicles", **Computer & Operations Research**. 55(2015): 217-232; March, 2015.
- Kazakovtsev, L. A. and Antamoshkin, A. N. "Genetic algorithm with Fast Greedy Heuristic for Clustering and Location Problem", **Information**. 38(1): 229-240; April, 2014.
- Keivan, G. and Seyed, G. "Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm", **Applied Soft Computing**. 10: 1096-1107; April, 2010.
- Koç, C. "A unified-adaptive large neighborhood search metaheuristic for periodic location-routing problems", **Transportation Research Part C**. 68(C): 265–284; July, 2016.
- Labbe, M. et al. "Adapting polyhedral properties from facility to hub location problem", **Discrete Applied Mathematics**. 145(1): 104-116; December, 2004.
- Laporte, G. "The Vehicle Routing Problem An Overview of Exact and Approximate Algorithm", **European of Journal Operational Research**. 59(1): 345-358; January, 1992.
- Laporte, G. and et al. "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem", **Annals of Discrete Mathematics**. 31(1): 147-184; January, 1983.
- . "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", **Transportation Science**. 22(3): 161-172; August, 1988.
- Lutz, R. "Adaptive Large Neighborhood Search", **Faculty of Engineering and Computer Science**. Ulm, Germany: Ulm University, 2014.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Queen, J. M. "Some Methods for classification and Analysis of Maltivariate Observations", **Proceedings of 5th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability**. 5(1): 281-297; January, 1967.
- Massan, R. and et al. "An Adaptive Large Neighborhood Search for the Pickup and Delivery Problem with Transfers", **Transportation science**. 47(3): 344-355; August, 2013.
- Mazin, A. M. and et al. "Solving vehicle routing problem by using improved genetic algorithm for optimal solution", **Journal of Computational Science**. 21(1): 255-262; April, 2017.
- Murata, T., Ishibuchi, H. and Tanaka, H. "Genetic Algolithm for Flow Shop Scheduling Problem", **Computer and Industrial Engineering**. 30(4): 1061-1071; September, 1996.
- Mustafa, A. and Mualla, G. A. "A GRASP with iterated local search for the traveling repairman problem with profits", **Computer & industrial Engineering**. 113(1): 323-332; November, 2017.
- Nabila, A. and et al. "An adaptive large neighborhood search for a vehicle routing problem with multiple routes", **Computer and Operations Research**. 41(1): 167-173; January, 2014.
- Nagy, G. and Salhi, S. "Heuristic Algorithms for Single and Multi Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries", **European Journal of Operational Research**. 162(1): 126-141; January, 2007.
- Nanthavannij, S. and et al. "Vehicle Routing Problem with Manual Material Handling: Flexible Delivery Crew Vehicle Assignment", In **Proceedings of the 9th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference (APIEMS 2008)**. p. 2905-2911. Bali, Indonesia: Department of Industrial Engineering Institut Teknologi Bandung, 2008.
- Natthanan, P. and et al. "Adaptive Large Neighborhood Search to Solve Multi-Level Scheduling and Assignment Problems in Broiler Farms", **Journal of Open Innovation**. 5(3): 1-20; June, 2019.
- Novita, H. and et al. "Itinerary Recommendation Generation using Enhanced Simulated Annealing Algorithm", **Procedia Computer Science**. 157(2019): 605-612; September, 2019.
- Perl, J. and Daskin, A. "A warehouse location problem", **Transportation Research Quarterly**. 5(1): 381-396; January, 1985.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Pisinger, D. and Ropke, S. **Large neighborhood search: Handbook of metaheuristics**. Boston: Springer, 2010.
- Pupong, P. and et al. “Applying designed experiments to optimize the performance of genetic algorithms used for scheduling complex products in the capital goods industry”, **Journal of Applied Statistics**. 28(3-4): 441-455; March, 2001.
- Pupong, P., Aphirak K. and Christian H. “Genetic algorithm with a new repair process for solving multi-stage, multi-machine, multi-product scheduling problem”, **Industrial Engineering and Management Systems**. 7(3): 204-213; December, 2008.
- Pupong, P., Warattapop C. and Peeraya T. “Exploration of genetic parameters and operators through travelling salesman problem”, **ScienceAsia**. 33(2): 215-222; June, 2007.
- Ran, L. and et al. “An adaptive large neighborhood search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and synchronized visits”, **Computer and Operations Research**. 101(2019): 250-262; January, 2019.
- Rana, R. and Garg, D. “Algorithm for obnoxious facility location problem”, **International Journal of Advancements in Technology**. 5(2): 96-106; February, 2014.
- Rui, B. L., Carlos, F. and Beatriz, S. “A simple and effective evolutionary algorithm for the capacitated location-routing problem”, **Computers & Operations Research**. 70(1): 155-162; January, 2016.
- Pitakaso, R. and Sethanan, K. “Adaptive large neighborhood search for scheduling sugarcane inbound logistics equipment and machinery under a sharing infield resource system”, **Computer and Electronics in Agriculture**. 158(1): 313-325; March, 2019.
- Sahraeian, R. “Solving Capacitated P-Median Problem by Hybrid K-Mean Clustering and Fixed Neighborhood Search algorithm”, **International Journal of Innovation, Management and Technology**. 1(4): 405-410; October, 2010.
- Ropke, S. and Pisinger, D. “An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows”, **Transportation science**. 40(4): 455-472; November, 2006.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Sacramento, D. and et al. “An adaptive large neighborhood Search metaheuristic for the vehicle routing problem with drones”, **Transportation Reserch Part C**. 102(C): 289-315; March, 2019.
- Salhi, S. and Nagy, G. “Heuristic Algoritms for Single and Multi Depot Vehicle Routing Problems with Pickups and Deliveries”, **European Journal of Operational Research**. 162(1): 126-141; January, 2005.
- Salhi, S. and et al. “Adaptation of Some Vehicle Fleet Max Heuristics”, **Omega**. 20(5-6): 653-660; May-June, 1996.
- Sattrawut, P., Ali Gul, Q. and Eiichi, T. “Evaluation of cost structure and impact of parameters in location- routing problem with time windows”, **Transportation Research**. 12(1): 213-226; June, 2016.
- Shangce, G. and et al. “Ant colony optimization with clustering for solving the dynamic location routing problem”, **Applied Mathematics and Computation**. 285(C): 149-173; July, 2016.
- Shaw, P. “Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problem”, **Fourth International Conference on principle and practice of Constraint programming**. 1520: 417-431; October, 1998.
- Snyder, L. V. “Facility Location under Uncertainty”, **IIE Transaction**. 38(1): 537-554; January, 2006.
- Thangiah, S. R., Potvin, J. Y. and Sun, T. “Heuristic Approaches to Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows”, **Computer Operation Research**. 23(11): 1043-1057; November, 1996.
- Theeraviriya, C. and et al. “Location and Routing Planning Considering Electric Vehicles with Restricted Distance in Agriculture”, **World Electric Vehicle Journal**. 11(4): 61; September, 2020.
- Thibaut, V. and et al. “A hybrid genetic algorithm with adaptive diversity management for a large class of vehicle routing problem with time-windows”, **Computers & Operation Research**. 40(1): 475-489; January, 2013.
- Toth, P. and Vigo, D. **The Vehicle Routing Problem**. Philadelphia, Pennsylvania: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Tsung-Che, C. and Wei-Huai, H. “A knowledge-based evolutionary algorithm for the multiobjective vehicle routing problem with time windows”, **Computer & Operation Research**. 45(1): 25-37; May, 2014.
- Vincent, F. Y. and et al. “A simulated annealing heuristic for the capacitated location routing problem”, **Computer & industrial Engineering**. 58(2): 288-299; March, 2010.
- Vinicius, G. and et al. “Adaptive large neighborhood search applied to the design of electronic circuits”, **Applied Soft Computing Journal**. 73(15): 14-23; August, 2018.
- Warren, L. “A Process Analysis of Global Trade Management: An Inductive Approach”, **Journal of Supply Chain Management**. 46(2): 5-29; February, 2010.
- Wenjuan, G. and et al. “Adaptive large neighborhood Search for commodity constrained split delivery VRP”, **Computer and Operation Research**. 112(1): 1-23; July, 2019.
- Wu, T.H., Low, C. and Bai, J. W. “Heuristic Solution to Multi-Depot Location routing Problems”, **Computers & Operations Research**. 29(10): 1393-1415; September, 2002.
- Yang-Byung, P. and et al. “A genetic algorithm for the vender-managed inventory routing problem with lost sales”, **Expert System With Application**. 53(1): 149-159; July, 2016.
- Yannis, M. and et al. “Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands”, **Applied Soft Computing**. 13(4): 1693-1704; April, 2013.
- Yu, V. F. and Lin, S. Y. “A Simulated Annealing Heuristic for the Open Location-Routing Problem”, **Computers and Operation Research**. 62(1): 184-196; January, 2015.
- Yuan, Q. and Jonathan, F. B. “A GRASP with adaptive large neighborhood search for pickup and delivery problems with transshipment”, **Computers & Operations Research**. 39(10): 2439-2456; October, 2012.
- Yuzhuo, Q. and et al. “A variable neighborhood search heuristic algorithm for production routing problems”, **Applied Soft Computer**. 66(1): 311-318; May, 2018.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Zhixing, L. and et al. “Adaptive large neighborhood search heuristics for the vehicle routing problem with stochastic demands and weight-related cost”,
Transportation Research Part E. 85(E): 69-86; January, 2016.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายชื่อและพิกัดตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา
ในภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและพิกัดตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
1	ตลาดกลางยางพาราสงขลา	100.4968	7.01674	-
2	ตลาดกลางยางพารายะลา	101.2732	6.51497	-
3	ต.กันตัง อ.กันตัง จ.ตรัง	99.51902	7.40963	1,178
4	ต.กันตังใต้ อ.กันตัง จ.ตรัง	99.51497	7.33833	2,045
5	ต. เกาะลิบง อ.กันตัง จ.ตรัง	99.38221	7.30285	1,180
6	ต.คลองชีล้อม อ.กันตัง จ.ตรัง	99.58673	7.4331	1,080
7	ต.คลองลุม อ.กันตัง จ.ตรัง	99.50034	7.47708	2,800
8	ต.ควนธานี อ.กันตัง จ.ตรัง	99.56307	7.51239	572
9	ต.ควนธานี อ.กันตัง จ.ตรัง	99.56307	7.50854	896
10	ต.นาเกลือ อ.กันตัง จ.ตรัง	99.46863	7.32191	1,383
11	ต.บ่อน้ำร้อน อ.กันตัง จ.ตรัง	99.47406	7.42494	2,482
12	ต.บางเป้า อ.กันตัง จ.ตรัง	99.53941	7.41722	1,680
13	ต.บางสีก อ.กันตัง จ.ตรัง	99.4086	7.40431	7,078
14	ต.บางหมาก อ.กันตัง จ.ตรัง	99.57014	7.47327	2,041
15	ต.ย่านซื่อ อ.กันตัง จ.ตรัง	99.53385	7.4701	1,181
16	ต.วังวน อ.กันตัง จ.ตรัง	99.55811	7.35828	1,361
17	ต.โคกสะบ้า อ.นาโยง จ.ตรัง	99.71608	7.49992	4,586
18	ต.ช่อง อ.นาโยง จ.ตรัง	99.78689	7.53944	9,517
19	ต.นาข้าวเสีย อ.นาโยง จ.ตรัง	99.71049	7.53203	4,201
20	ต.นาโยงเหนือ อ.นาโยง จ.ตรัง	99.69925	7.56619	1,076
21	ต.นาหมื่นศรี อ.นาโยง จ.ตรัง	99.69717	7.61083	5,037
22	ต.ละมอ อ.นาโยง จ.ตรัง	99.75258	7.59677	19,190
23	ต.ท่าข้าม อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.68958	7.17143	7,861
24	ต.ท่าพญา อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.67221	7.35351	3,349
25	ต.ทุ่งยาว อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.74474	7.21239	11,955
26	ต.บางด้วน อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.72239	7.33981	26,658
27	ต.บ้านนา อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.65395	7.31508	19,506
28	ต.ปะเหลียน อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.86202	7.28806	8,211
29	ต.ลิพัง อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.81007	7.18428	11,061
30	ต.สุโสะ อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.67302	7.23604	33,689
31	ต.แหลมสอม อ.ปะเหลียน จ.ตรัง	99.76312	7.2974	8,106
32	ต.ควนปริง อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.59894	7.51173	983
33	ต.โคกหล่อ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.61783	7.51767	981
34	ต.นาตาล่วง อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.59648	7.58398	841
35	ต.นาโต๊ะหมิง อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.52729	7.55616	5,176
36	ต.นาท่ามใต้ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.55145	7.63516	3,331
37	ต.นาท่ามเหนือ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.61185	7.64939	8,326
38	ต.นาบิหลา อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.6622	7.5414	1,377

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
39	ต.นาพละ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.66464	7.60016	1,700
40	ต.นาโยงใต้ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.6726	7.56608	1,604
41	ต.น้ำผุด อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.7202	7.66333	5,587
42	ต.บางรัก อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.57701	7.55781	573
43	ต.บ้านควน อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.63788	7.53158	875
44	ต.บ้านโพธิ์ อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.64166	7.59945	564
45	ต.หนองตรุด อ.เมืองตรัง จ.ตรัง	99.5216	7.60373	21,863
46	ต.เกาะเปียง อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.69908	7.45523	3,063
47	ต.ทุ่งกระบือ อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.6288	7.39063	9,947
48	ต.ทุ่งค่าย อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.65139	7.47263	4,527
49	ต.นาชุมเห็ด อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.79351	7.46996	10,120
50	ต.ในควน อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.74659	7.37861	8,412
51	ต.โพรงจระเข้ อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.83035	7.40658	9,005
52	ต.ย่านตาขาว อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.67365	7.40577	5,829
53	ต.หนองบ่อ อ.ย่านตาขาว จ.ตรัง	99.71807	7.41615	11,308
54	ต.เขาไพร อ.รัษฎา จ.ตรัง	99.69128	7.94845	821
55	ต.คลองปาง อ.รัษฎา จ.ตรัง	99.63761	7.98557	2,292
56	ต.ควนเมา อ.รัษฎา จ.ตรัง	99.6029	7.9446	2,545
57	ต.หนองบัว อ.รัษฎา จ.ตรัง	99.70406	7.98122	421
58	ต.หนองปรือ อ.รัษฎา จ.ตรัง	99.66949	7.90012	10,958
59	ต.เขาวิเศษ อ.วังวิเศษ จ.ตรัง	99.4594	7.65139	5,744
60	ต.ท่าสะบ้า อ.วังวิเศษ จ.ตรัง	99.52291	7.69002	1,510
61	ต.วังมะปราง อ.วังวิเศษ จ.ตรัง	99.39857	7.66183	16,262
62	ต.วังมะปรางเหนือ อ.วังวิเศษ จ.ตรัง	99.3923	7.74304	12,732
63	ต.อ่าวตง อ.วังวิเศษ จ.ตรัง	99.37087	7.85663	4,386
64	ต.กะลาเส อ.สิเกา จ.ตรัง	99.32583	7.74377	24,652
65	ต.เขาไม้แก้ว อ.สิเกา จ.ตรัง	99.30646	7.64477	21,109
66	ต.นาเมืองเพชร อ.สิเกา จ.ตรัง	99.45306	7.55374	27,701
67	ต.บ่อหิน อ.สิเกา จ.ตรัง	99.34429	7.58782	27,225
68	ต.ไม้ฝาด อ.สิเกา จ.ตรัง	99.36843	7.50541	26,481
69	ต.เขากอบ อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.55806	7.8011	13,424
70	ต.เขาขาว อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.61777	7.81097	894
71	ต.เขาปูน อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.70007	7.7929	8,397
72	ต.ท่าจิว อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.66654	7.84149	7,643
73	ต.ทุ่งต้อ อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.5754	7.75939	7,945
74	ต.นาวง อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.51105	7.73982	7,534

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
75	ต.โนเตา อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.72661	7.86011	2,542
76	ต.บางกุ้ง อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.45341	7.76845	10,356
77	ต.บางดี อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.49444	7.84097	14,931
78	ต.ปากคม อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.60711	7.73243	4,739
79	ต.ปากแจ่ม อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.72052	7.72231	4,616
80	ต.ลำภูรา อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.58345	7.69772	6,139
81	ต.วังคีรี อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.46364	7.80046	5,657
82	ต.หนองช้างแล่น อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.59394	7.85083	9,493
83	ต.ห้วยนาง อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.57499	7.89138	16,827
84	ต.ห้วยยอด อ.ห้วยยอด จ.ตรัง	99.63234	7.77575	1,775
85	ต.ตะเสะ อ.หาดสำราญ จ.ตรัง	99.59438	7.17922	1,460
86	ต.บ้าหวี อ.หาดสำราญ จ.ตรัง	99.60237	7.27565	7,073
87	ต.หาดสำราญ อ.หาดสำราญ จ.ตรัง	99.55673	7.25319	18,641
88	ต.จะแนะ อ.จะแนะ จ.นราธิวาส	101.69259	6.0767	25,252
89	ต.ช้างเผือก อ.จะแนะ จ.นราธิวาส	101.57331	5.99657	31,028
90	ต.ดุซงญอ อ.จะแนะ จ.นราธิวาส	101.64247	6.1313	29,666
91	ต.ผดุงมาตร อ.จะแนะ จ.นราธิวาส	101.72999	6.12646	11,043
92	ต.จวบ อ.เจาะไอร้อง จ.นราธิวาส	101.81239	6.25257	10,040
93	ต.บุกิต อ.เจาะไอร้อง จ.นราธิวาส	101.82825	6.18236	14,672
94	ต.มะรือโบออก อ.เจาะไอร้อง จ.นราธิวาส	101.8767	6.25222	10,489
95	ต.เกาะสะท้อน อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.05942	6.22011	115
96	ต.โฆษิต อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.05167	6.17518	127
97	ต.เจ๊ะเห อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.05416	6.25218	15.80
98	ต.นาค อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.06992	6.1425	437.62
99	ต.บางขุนทอง อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	101.9668	6.23413	798.74
100	ต.พร่อน อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.01435	6.20212	34.83
101	ต.ไพรวัน อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	101.94563	6.30557	2,211
102	ต.ไพรวัน อ.ตากใบ จ.นราธิวาส	102.00776	6.28247	415
103	ต.กาเยาะมาตี อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.62856	6.54711	2,478
104	ต.บาเจาะ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.63646	6.51383	1,698
105	ต.บาเร๊ะใต้ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.6934	6.53889	1,251
106	ต.บาเร๊ะเหนือ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.63578	6.57662	2,574
107	ต.ปะลุภาสามะ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.6086	6.60756	4,904
108	ต.ลูโปะสาวอ อ.บาเจาะ จ.นราธิวาส	101.66985	6.48877	1,486
109	ต.กะลุวอ อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.8738	6.34183	4,617

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
110	ต.กะลวอเหนือ อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.86225	6.40354	814
111	ต.โคกเคียน อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.75773	6.49153	2,352
112	ต.บางปอ อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.80958	6.32786	4,985
113	ต.มะนังตายอ อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.76279	6.36201	3,918
114	ต.ลำภู อ.เมืองนราธิวาส จ.นราธิวาส	101.80332	6.39021	5,720
115	ต.จอบาเข อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.65957	6.3818	9,161
116	ต.ตะปอเยาะ อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.69218	6.46107	2,173
117	ต.ยี่งอ อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.70304	6.38162	8,043
118	ต.ละหาร อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.74521	6.39639	8,078
119	ต.ลุโบายะ อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.66287	6.42191	3,318
120	ต.ลุโบาย้อ อ.ยี่งอ จ.นราธิวาส	101.72541	6.42987	2,969
121	ต.กาเลีย อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.65681	6.22444	8,545
122	ต.เฉลิม อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.72383	6.3114	6,563
123	ต.ตันหยงมัส อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.77492	6.28274	7,827
124	ต.ตันหยงลิมอ อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.75272	6.17165	14,176
125	ต.บองอ อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.69102	6.17165	14,770
126	ต.บาโงสะโต อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.69102	6.27688	4,415
127	ต.มะรือโปกก อ.ระแงง จ.นราธิวาส	101.63438	6.33448	11,718
128	ต.โคกสะตอ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.44915	6.28238	9,552
129	ต.บาตง อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.44517	6.33649	10,739
130	ต.รือเสาะ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.50821	6.36646	26,017
131	ต.รือเสาะนอก อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.55351	6.39366	32,280
132	ต.เรียง อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.44315	6.39693	5,594
133	ต.ลาโละ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.58661	6.34949	9,572
134	ต.สามัคคี อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.58657	6.42254	6,550
135	ต.สาวอ อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.50276	6.43825	9,988
136	ต.สุวารี อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส	101.58846	6.4632	6,978
137	ต.กายูคละ อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.91114	5.97354	1,243
138	ต.ขอเลาะ อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.9106	5.90351	1,233
139	ต.แม่ตง อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.84329	5.89619	1,323
140	ต.โละจูด อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.85261	5.83607	849
141	ต.แว้ง อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.85282	5.93846	682
142	ต.เอราวัน อ.แว้ง จ.นราธิวาส	101.84169	5.97309	2,050
143	ต.กาหลง อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.4145	6.2126	3,483
144	ต.เชิงคีรี อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.57137	6.27202	10,425

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
145	ต.ซากอ อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.54696	6.22177	3,182
146	ต.ตะมะยูง อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.51455	6.28221	8,443
147	ต.ศรีบรรพต อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.57385	6.15178	15,983
148	ต.ศรีสาคร อ.ศรีสาคร จ.นราธิวาส	101.48269	6.14823	32,881
149	ต.เกียร์ อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	101.77903	5.98344	5,311
150	ต.ภูเขาทอง อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	101.73988	5.80548	5,131
151	ต.มาโมง อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	101.73289	5.88087	6,263
152	ต.ร่มไทร อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	101.75354	6.04429	6,535
153	ต.สุคีริน อ.สุคีริน จ.นราธิวาส	101.70331	5.94458	2,144
154	ต.ป่าเสม็ด อ.สุไหงโกลก จ.นราธิวาส	101.97461	6.05425	3,843
155	ต.บูโยะ อ.สุไหงโกลก จ.นราธิวาส	102.00022	6.10995	1,744
156	ต.มูโนะ อ.สุไหงโกลก จ.นราธิวาส	102.04241	6.1008	880
157	ต.ภาวะ อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.89388	6.01845	4,249
158	ต.โต๊ะเต็ง อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.84893	6.1157	6,336
159	ต.ปะลูลู อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.90509	6.07349	9,626
160	ต.รีโก้ อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.84531	6.05735	4,266
161	ต.ซากอ อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.83631	6.00905	7,491
162	ต.สุไหงปาดี อ.สุไหงปาดี จ.นราธิวาส	101.93094	6.16052	7,484
163	ต.กะรุปี อ.กะพ้อ จ.นราธิวาส	101.55319	6.57143	4,079
164	ต.ตะโละตือรามัน อ.กะพ้อ จ.นราธิวาส	101.56732	6.60219	3,141
165	ต.ปล่องหอย อ.กะพ้อ จ.นราธิวาส	101.51942	6.63271	9,670
166	ต.ควนโนรี อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.18273	6.70629	1,848
167	ต.โคกโพธิ์ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.05800	6.73494	2,670
168	ต.ช้างให้ตก อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.07363	6.68797	2,222
169	ต.ทรายขาว อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.09827	6.66199	6,164
170	ต.ท่าเรือ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.07427	6.77777	7,349
171	ต.ทุ่งปลา อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.15393	6.63996	573
172	ต.นาเกตุ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.15453	6.74403	1,259
173	ต.นาประดู่ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.14144	6.6865	5,460
174	ต.บางโกระ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.09372	6.75424	797
175	ต.ปากล่อ อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.18969	6.61611	4,727
176	ต.ป่าบอน อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.10431	6.70724	490
177	ต.มะกรูด อ.โคกโพธิ์ จ.ปัตตานี	101.11902	6.73800	2,615
178	ต.ตะโละมะนา อ.ทุ่งยางแดง จ.ปัตตานี	101.4013	6.60146	4,117
179	ต.น้ำคำ อ.ทุ่งยางแดง จ.ปัตตานี	101.44487	6.60574	1,415
180	ต.ปาฏ อ.ทุ่งยางแดง จ.ปัตตานี	101.47800	6.62929	2,020
181	ต.พิเทน อ.ทุ่งยางแดง จ.ปัตตานี	101.46673	6.67947	4,652

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
182	ต.ควน อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.49492	6.75775	456
183	ต.คอกกระบือ อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.52221	6.80215	295
184	ต.ดอน อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.48232	6.78567	20
185	ต.ท่าข้าม อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.47902	6.8371	22
186	ต.ท่าน้ำ อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.51529	6.77065	504
187	ต.บ้านกลาง อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.51291	6.83665	244
188	ต.บ้านนอก อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.47949	6.81174	41
189	ต.บ้านน้ำบ่อ อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.5605	6.8174	111
190	ต.พ้อมิ่ง อ.ปานาเระ จ.นราธิวาส	101.55121	6.79095	316
191	ต.กระเสาะ อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.3855	6.74953	1,205
192	ต.กระหวะ อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.44172	6.76228	133
193	ต.เกาะจัน อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.38208	6.72343	1,743
194	ต.ตรัง อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.37384	6.70015	1,715
195	ต.ถนน อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.42611	6.7399	814
196	ต.ปะโค อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.35844	6.67936	772
197	ต.พานัน อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.33363	6.7212	476
198	ต.มายอ อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.41897	6.7144	905
199	ต.ลางา อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.47704	6.73663	2,259
200	ต.ลุโบะยิไร อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.3988	6.65336	11,695
201	ต.สะก่า อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.45228	6.73247	2,122
202	ต.สาโคใต้ อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.35715	6.74862	226
203	ต.สาโคบน อ.มายอ จ.นราธิวาส	101.34523	6.75176	281
204	ต.กะมียอ อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.31397	6.84951	20
205	ต.คลองมานิง อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.30015	6.85155	25
206	ต.ตะลุโบะ อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.26774	6.85182	16
207	ต.บาราเฮาะ อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.26696	6.82911	22
208	ต.ปะกาฮะรัง อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.23367	6.83192	71
209	ต.ปยุต อ.เมืองปัตตานี จ.ปัตตานี	101.26826	6.81053	21
210	ต.ป่าไร่ อ.แม่ลาน จ.ปัตตานี	101.2136	6.68467	5,458
211	ต.ม่วงเตี้ย อ.แม่ลาน จ.ปัตตานี	101.26378	6.68136	4,292
212	ต.แม่ลาน อ.แม่ลาน จ.ปัตตานี	101.23065	6.64656	4,508
213	ต.ไพรทอง อ.ไม้แก่น จ.ปัตตานี	101.67288	6.60442	1,856
214	ต.ไม้แก่น อ.ไม้แก่น จ.ปัตตานี	101.65886	6.64988	3,121
215	ต.กระโด อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.2988	6.71786	303
216	ต.กอลำ อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.329	6.67273	785
217	ต.เขาตูม อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.33421	6.59959	14,036
218	ต.คลองใหม่ อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.26376	6.73255	246

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
219	ต.ประจัน อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.28805	6.79708	122
220	ต.ปิตุมุเต อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.28309	6.74543	184
221	ต.เมะมาวี อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.30276	6.66968	444
222	ต.ยะรัง อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.28752	6.76948	205
223	ต.ระแว้ง อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.32529	6.75474	36
224	ต.วัด อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.30788	6.73508	230
225	ต.เสดวา อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.31083	6.82089	52
226	ต.สนอ อ.ยะรัง จ.ปัตตานี	101.32271	6.78897	108
227	ต.จะรัง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.44914	6.84639	143
228	ต.ตอหลัง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.45051	6.8021	218
229	ต.ตะโละ อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.35083	6.78274	608
230	ต.ตะโละกาโปร์ อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.41039	6.87863	16
231	ต.ตันหยงจิงงา อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.45836	6.78661	7
232	ต.ตันหยงดาส อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.42322	6.80771	2,285
233	ต.ตาเกาะ อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.33615	6.84448	142
234	ต.ตาลีอัยร์ อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.38897	6.7893	321
235	ต.บาโลย อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.43827	6.78066	62
236	ต.ปียามูมั่ง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.37682	6.8244	2,053
237	ต.ปูลากง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.3888	6.76816	271
238	ต.มะนังยง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.40243	6.81338	410
239	ต.ยามู อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.37000	6.86127	17
240	ต.ราตาปันยัง อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	6.86127	6.82403	772
241	ต.สาบัน อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.43839	6.82168	282
242	ต.หนองแรต อ.ยะหริ่ง จ.ปัตตานี	101.4029	6.84924	208
243	ต.กะดุนง อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.55361	6.64603	142
244	ต.ตะบิง อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.58895	6.68087	169
245	ต.เตราะบอน อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.54275	6.68764	760
246	ต.ทุ่งคล้า อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.51754	6.71899	68
247	ต.บางเก่า อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.59122	6.76373	20
248	ต.บือระ อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.57116	6.71112	92
249	ต.ปะเสยะวอ อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.60399	6.72948	141
250	ต.แป้น อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.55293	6.74696	74
251	ต.มะนังดาลำ อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.59893	6.64862	86
252	ต.ละหาร อ.สายบุรี จ.ปัตตานี	101.62741	6.6591	78
253	ต.เกาะเปาะ อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.2005	6.81468	287
254	ต.คลองตันหยง อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.22173	6.74371	1,232
255	ต.ดอนรัก อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.20858	6.8417	57

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
256	ต.ดาโต๊ะ อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.24367	6.71691	1,304
257	ต.ท่ากำชำ อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.07048	6.82687	1,479
258	ต.บ่อทอง อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.14307	6.79016	986
259	ต.บางเขา อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.13025	6.83351	904
260	ต.บุโละบูโย อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.19432	6.78016	945
261	ต.ยาบี อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.24632	6.78187	986
262	ต.ลิปะสะโง อ.หนองจิก จ.ปัตตานี	101.22456	6.79658	821
263	ต.กงหรา อ.กงหรา จ.พัทลุง	99.91134	7.47388	5,887
264	ต.คลองเฉลิม อ.กงหรา จ.พัทลุง	99.96381	7.37357	15,312
265	ต.คลองทรายขาว อ.กงหรา จ.พัทลุง	99.92501	7.42504	6,957
266	ต.ชะรัด อ.กงหรา จ.พัทลุง	99.98887	7.4732	4,860
267	ต.สมหวัง อ.กงหรา จ.พัทลุง	99.99021	7.50884	3,131
268	ต.เขาชัยสน อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง	100.10573	7.43124	12,960
269	ต.ควนขนุน อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง	100.09516	7.49083	8,286
270	ต.โคกม่วง อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง	100.04569	7.41257	15,289
271	ต.ถนน อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง	100.19393	7.48857	1,178
272	ต.หานโพธิ์ อ.เขาชัยสน จ.พัทลุง	100.18338	7.52628	8,342
273	ต.ควนขนุน อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.00969	7.75541	878
274	ต.ชะมวง อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	99.95633	7.76471	10,283
275	ต.ดอนทราย อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	99.96317	7.72051	1,374
276	ต.โตนดด้วน อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.01923	7.71491	2,467
277	ต.ทะเลน้อย อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.14505	7.82423	322
278	ต.นาขยาด อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	99.94941	7.68663	2,116
279	ต.ปันแต อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.02818	7.79258	2,394
280	ต.พนมวังค์ อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.02655	7.68052	1,600
281	ต.พนางตุง อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.13968	7.75863	704
282	ต.แพรกหา อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.00582	7.65325	866
283	ต.มะกอกเหนือ อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.05767	7.73937	240
284	ต.แหลมโตนด อ.ควนขนุน จ.พัทลุง	100.03423	7.83171	1,230
285	ต.คลองใหญ่ อ.ตะโหมด จ.พัทลุง	100.07392	7.26019	10,125
286	ต.ตะโหมด อ.ตะโหมด จ.พัทลุง	100.00454	7.28114	18,492
287	ต.แม่ขีรี อ.ตะโหมด จ.พัทลุง	100.09582	7.33611	13,997
288	ต.โคกสัก อ.บางแก้ว จ.พัทลุง	100.14527	7.38987	8,612
289	ต.ท่ามะเดื่อ อ.บางแก้ว จ.พัทลุง	100.15345	7.43586	3,942
290	ต.นาปะขอ อ.บางแก้ว จ.พัทลุง	100.22258	7.44303	4,215
291	ต.เกาะนางคำ อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.3893	7.34216	1,198
292	ต.เกาะหมาก อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.33315	7.44675	6,034
293	ต.ดอนทราย อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.30612	7.24654	569

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
294	ต.ดอนประดู่ อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.31802	7.2786	1,885
295	ต.ปากพะยูน อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.33593	7.32957	1,185
296	ต.ฝาละมี อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.26062	7.37108	8,672
297	ต.หารเทา อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง	100.26627	7.28491	7,787
298	ต.โคกทราย อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	100.22890	7.22315	6,284
299	ต.ทุ่งนารี อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	100.12956	7.19054	26,525
300	ต.ป่าบอน อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	100.17106	7.33692	8,318
301	ต.วังใหม่ อ.ป่าบอน จ.พัทลุง	100.20675	7.30121	13,099
302	ต.หนองธง อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง	100.0559	7.19914	21,130
303	ต.เกาะเต่า อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง	99.84127	7.79609	30,976
304	ต.บ้านพร้าว อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง	99.94822	7.81773	4,978
305	ต.ป่าพะยอม อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง	99.94732	7.85995	3,992
306	ต.ลานข่อย อ.ป่าพะยอม จ.พัทลุง	99.83076	7.85117	15,285
307	ต.เขาเจ็ยก อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.03855	7.6245	347
308	ต.ควนมะพร้าว อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.11895	7.59039	705
309	ต.คูหาสวรรค์ อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.07535	7.61808	30
310	ต.โคกชะงาย อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.00288	7.61517	846
311	ต.ชัยบุรี อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.09346	7.69705	796
312	ต.ตำนาน อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.08303	7.57191	2,865
313	ต.ท่าแค อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.04668	7.54374	2,202
314	ต.ท่ามิหรำ อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.04961	7.58877	325
315	ต.นาท่อม อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.0038	7.58548	1,285
316	ต.นาโหนด อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.03932	7.48424	3,816
317	ต.ปรางหมุ่ อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.06847	7.64687	876
318	ต.พญาขัน อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.10529	7.65010	128
319	ต.ร่มเมือง อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	100.17734	7.64900	1,901
320	ต.ลำปำ อ.เมืองพัทลุง จ.พัทลุง	99.94847	7.64900	44
321	ต.ชุมพล อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง	99.94847	7.60828	8,810
322	ต.บ้านนา อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง	99.86838	7.55899	6,966
323	ต.ลำสินธุ์ อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง	99.91553	7.51850	4,374
324	ต.อ่างทอง อ.ศรีนครินทร์ จ.พัทลุง	99.97143	7.55378	2,848
325	ต.เขาปู่ อ.ศรีบรรพต จ.พัทลุง	99.83188	7.70460	10,900
326	ต.เขาย่า อ.ศรีบรรพต จ.พัทลุง	99.89193	7.73994	8,239
327	ต.ตะพาน อ.ศรีบรรพต จ.พัทลุง	99.87817	7.64468	11,855
328	ต.กรงปินัง อ.กรงปินัง จ.ยะลา	101.2855	6.42281	95,438
329	ต.บุโอง อ.กรงปินัง จ.ยะลา	101.23227	6.44439	36,833
330	ต.สะเอะ อ.กรงปินัง จ.ยะลา	101.22379	6.39399	75,424
331	ต.ห้วยกระทิง อ.กรงปินัง จ.ยะลา	101.24989	6.33965	86,867

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
332	ต.กาบัง อ.กาบัง จ.ยะลา	101.0036	6.43843	49,526
333	ต.บาละ อ.กาบัง จ.ยะลา	100.97943	6.32308	136, 357
334	ต.คีรีเขต อ.ธารโต จ.ยะลา	101.11638	6.15313	12
335	ต.ธารโต อ.ธารโต จ.ยะลา	101.18803	6.16563	10
336	ต.บ้านแหร อ.ธารโต จ.ยะลา	101.20303	6.10357	55
337	ต.แม่หวาด อ.ธารโต จ.ยะลา	101.29302	6.04721	82
338	ต.เขื่อนบางลาง อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.31049	6.16779	6,146
339	ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.35203	6.27058	8,208
340	ต.ตาเนาะปูเต๊ะ อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.32091	6.35416	5,275
341	ต.ถ้ำทะลุ อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.14952	6.23897	5,033
342	ต.บันนังสตา อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.2327	6.24995	12,461
343	ต.บาเจาะ อ.บันนังสตา จ.ยะลา	101.2906	6.21191	3,744
344	ต.ตาเนาะแมเราะ อ.เบตง จ.ยะลา	101.09885	5.85350	52,895
345	ต.ธารน้ำทิพย์ อ.เบตง จ.ยะลา	101.14036	5.69887	31,288
346	ต.ยะรม อ.เบตง จ.ยะลา	101.20285	5.77120	27,135
347	ต.อัยเยอร์เวง อ.เบตง จ.ยะลา	101.189469	5.94381	2,531
348	ต.ตาเซะ อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.27092	6.63614	26,622
349	ต.ท่าสาป อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.25127	6.54331	11,402
350	ต.บันนังสาเรง อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.25759	6.47990	39,873
351	ต.บุตี อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.30513	6.48736	2,280
352	ต.เปาะเส้ง อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.21189	6.50615	12,283
353	ต.พร่อน อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.22981	6.56206	33,022
354	ต.ยะลา อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.18079	6.52257	24,499
355	ต.ยุโป อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.26675	6.59776	15,378
356	ต.ลำพะยา อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.13946	6.58903	13,326
357	ต.ลำใหม่ อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.20219	6.58045	17,138
358	ต.ลิตล อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.18474	6.54496	28,028
359	ต.สะเตงนอก อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.29701	6.53442	41,112
360	ต.หน้าถ้ำ อ.เมืองยะลา จ.ยะลา	101.22472	6.52525	6,950
361	ต.กาตอง อ.ยะหา จ.ยะลา	101.06262	6.50211	16,690
362	ต.ตาชี อ.ยะหา จ.ยะลา	101.09842	6.56388	2,938
363	ต.บาโงยซีแน อ.ยะหา จ.ยะลา	101.15311	6.52728	3,203
364	ต.บาไร่ อ.ยะหา จ.ยะลา	101.10091	6.44061	11,186
365	ต.ปะแต อ.ยะหา จ.ยะลา	101.1395	6.34446	11,871
366	ต.ยะหา อ.ยะหา จ.ยะลา	101.12467	6.50392	5,293
367	ต.ละแอ อ.ยะหา จ.ยะลา	101.18639	6.46649	5,102
368	ต.กอดตืออือรี อ.รามัน จ.ยะลา	101.38939	6.50007	2,425
369	ต.กาบูบอเกาะ อ.รามัน จ.ยะลา	101.41837	6.4816	6,899

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
370	ต.กาลอ อ.รามัน จ.ยะลา	101.38276	6.37795	8,927
371	ต.กาลูปัง อ.รามัน จ.ยะลา	101.37379	6.46279	1,195
372	ต.เกะรอ อ.รามัน จ.ยะลา	101.53816	6.54374	11,457
373	ต.โกตาบารู อ.รามัน จ.ยะลา	101.34552	6.45184	2,098
374	ต.จะก๊ะ อ.รามัน จ.ยะลา	101.53396	6.50109	7,785
375	ต.ตะเล๊ะหะลอ อ.รามัน จ.ยะลา	101.48516	6.47902	9,658
376	ต.ท่าธง อ.รามัน จ.ยะลา	101.45804	6.56503	8,618
377	ต.เนินงาม อ.รามัน จ.ยะลา	101.34898	6.50376	2,758
378	ต.บาโงย อ.รามัน จ.ยะลา	101.34099	6.47635	2,400
379	ต.บาลอ อ.รามัน จ.ยะลา	101.44498	6.44658	4,695
380	ต.ป้อมมั่ง อ.รามัน จ.ยะลา	101.33534	6.41753	4,092
381	ต.ยะตะ อ.รามัน จ.ยะลา	101.39344	6.42973	5,265
382	ต.วังพญา อ.รามัน จ.ยะลา	101.37991	6.54424	4,724
383	ต.อาซ่อง อ.รามัน จ.ยะลา	101.45074	6.52002	11,485
384	ต.กระแสดินธุ์ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา	100.32619	7.58710	146
385	ต.เกาะใหญ่ อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา	100.27907	7.56244	2,722
386	ต.เชิงแส อ.กระแสดินธุ์ จ.สงขลา	100.31812	7.62536	92
387	ต.คลองหลา อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา	100.31734	6.88669	10,863
388	ต.คลองหอยโข่ง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา	100.31259	6.83036	21,202
389	ต.โคกม่วง อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา	100.40578	6.87532	4,208
390	ต.ทุ่งลาน อ.คลองหอยโข่ง จ.สงขลา	100.43999	6.88528	5,473
391	ต.ควนโส อ.ควนเนียง จ.สงขลา	100.40184	7.22931	2,082
392	ต.บางเหรียง อ.ควนเนียง จ.สงขลา	100.39333	7.13054	9,855
393	ต.รัตภูมิ อ.ควนเนียง จ.สงขลา	100.37049	7.18169	9,411
394	ต.ห้วยลึก อ.ควนเนียง จ.สงขลา	100.36551	7.26729	962
395	ต.ขุนตืดหวาย อ.จะนะ จ.สงขลา	100.69948	6.79181	1,373
396	ต.คลองเปี้ยะ อ.จะนะ จ.สงขลา	100.65289	6.95523	9,534
397	ต.คู อ.จะนะ จ.สงขลา	100.69763	6.84964	5,128
398	ต.แค อ.จะนะ จ.สงขลา	100.6344	6.84091	12,975
399	ต.จะโหนด อ.จะนะ จ.สงขลา	100.66487	7.00430	10,273
400	ต.ตลิ่งชัน อ.จะนะ จ.สงขลา	100.73872	6.96309	1,184
401	ต.ท่าหม่อไทร อ.จะนะ จ.สงขลา	100.75098	6.79403	22,002
402	ต.นาทับ อ.จะนะ จ.สงขลา	100.69875	7.03750	1,009
403	ต.นาหว้า อ.จะนะ จ.สงขลา	100.66006	6.89741	18,193
404	ต.น้ำขาว อ.จะนะ จ.สงขลา	100.62581	6.80325	15,016
405	ต.บ้านนา อ.จะนะ จ.สงขลา	100.76186	6.90287	3,127
406	ต.ป่าชิง อ.จะนะ จ.สงขลา	100.70467	6.92349	4,174
407	ต.สะกอม อ.จะนะ จ.สงขลา	100.79023	6.93801	1,900

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
408	ต.สะพานไม้แก่น อ.จะนะ จ.สงขลา	100.78301	6.82606	10,506
409	ต.เกาะสบบ้า อ.เทพา จ.สงขลา	100.89134	6.86256	18,137
410	ต.ท่าม่วง อ.เทพา จ.สงขลา	101.00067	6.74244	20,754
411	ต.เทพา อ.เทพา จ.สงขลา	100.93947	6.82751	9,002
412	ต.ปากบาง อ.เทพา จ.สงขลา	101.00681	6.83043	7,761
413	ต.ลำไพล อ.เทพา จ.สงขลา	100.90285	6.70674	59,437
414	ต.วังใหญ่ อ.เทพา จ.สงขลา	100.85253	6.76299	56,889
415	ต.สะกอม อ.เทพา จ.สงขลา	100.834	6.89301	19,685
416	ต.คลองกวาง อ.นาทวี จ.สงขลา	100.60976	6.63574	31,232
417	ต.คลองทราย อ.นาทวี จ.สงขลา	100.60272	6.74059	34,389
418	ต.ฉาง อ.นาทวี จ.สงขลา	100.70862	6.76212	5,556
419	ต.ทับช้าง อ.นาทวี จ.สงขลา	100.66124	6.55817	33,238
420	ต.ท่าประดู่ อ.นาทวี จ.สงขลา	100.7105	6.68355	16,103
421	ต.นาทวี อ.นาทวี จ.สงขลา	100.75303	6.70906	59,671
422	ต.นาหมอศรี อ.นาทวี จ.สงขลา	100.65782	6.78324	3,780
423	ต.ประกอบ อ.นาทวี จ.สงขลา	100.6749	6.49643	10,821
424	ต.ปลักหนู อ.นาทวี จ.สงขลา	100.66262	6.67625	9,414
425	ต.สะท้อน อ.นาทวี จ.สงขลา	100.73082	6.60488	19,292
426	ต.คลองหรีง อ.นาหม่อม จ.สงขลา	100.58627	6.92818	6,040
427	ต.ทุ่งขมิ้น อ.นาหม่อม จ.สงขลา	100.54656	6.91565	5,399
428	ต.นาหม่อม อ.นาหม่อม จ.สงขลา	100.54192	6.96534	8,436
429	ต.พิจิตร อ.นาหม่อม จ.สงขลา	100.58723	6.99308	5,400
430	ต.ท่าช้าง อ.บางกล่ำ จ.สงขลา	100.38491	7.04671	14,474
431	ต.บางกล่ำ อ.บางกล่ำ จ.สงขลา	100.43156	7.11484	3,463
432	ต.บ้านหาร อ.บางกล่ำ จ.สงขลา	100.44934	7.07450	321
433	ต.แม่ทอม อ.บางกล่ำ จ.สงขลา	100.45629	7.10035	767
434	ต.เกาะแต้ว อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา	100.63582	7.10964	775
435	ต.เกาะยอ อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา	100.52704	7.17018	152
436	ต.เขารูปช้าง อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา	100.61192	7.15449	785
437	ต.ทุ่งหวัง อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา	100.63545	7.05602	3,958
438	ต.พะวง อ.เมืองสงขลา จ.สงขลา	100.5846	7.10608	867
439	ต.กำแพงเพชร อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	100.28664	7.08683	14,220
440	ต.เขาพระ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	100.14562	7.02143	27,996
441	ต.ควนรู อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	100.31515	7.18086	2,059
442	ต.คูหาใต้ อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	100.26448	7.17478	3,082
443	ต.ท่าชะมวง อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	100.17441	7.1151	25,515
444	ต.เขามียะเกียรติ อ.สะเดา จ.สงขลา	100.52352	6.77448	7,319
445	ต.ท่าโพธิ์ อ.สะเดา จ.สงขลา	100.4162	6.79606	8,798

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
446	ต.ทุ่งหมอ อ.สะเดา จ.สงขลา	100.35601	6.75363	17,046
447	ต.ปริก อ.สะเดา จ.สงขลา	100.48191	6.68876	100, 350
448	ต.ปาดังเบซาร์ อ.สะเดา จ.สงขลา	100.28164	6.72474	10,709
449	ต.พังงา อ.สะเดา จ.สงขลา	100.46442	6.77318	7,219
450	ต.สะเดา อ.สะเดา จ.สงขลา	100.39527	6.64423	8,972
451	ต.สำนักขาม อ.สะเดา จ.สงขลา	100.38636	6.58068	15,632
452	ต.นักแต้ว อ.สะเดา จ.สงขลา	100.51659	6.56861	31,714
453	ต.เขาแดง อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.80138	6.503	30,519
454	ต.คูหา อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.83279	6.61037	11,169
455	ต.จะแหน อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.96242	6.5142	5,666
456	ต.ทุ่งพอ อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.89967	6.54481	7,907
457	ต.ธารคีรี อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	101.03049	6.54263	8,633
458	ต.บ้านโหนด อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	101.05185	6.63621	10,363
459	ต.บาโหย อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.88379	6.39626	20,283
460	ต.เปียน อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	101.0033	6.63354	12,380
461	ต.สะบ้าย้อย อ.สะบ้าย้อย จ.สงขลา	100.95534	6.62428	19,955
462	ต.คลองแห อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.47698	7.05364	1,850
463	ต.คลองอู่ตะเภา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.4464	7.04526	145
464	ต.ควนลัง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.42077	6.97325	6,040
465	ต.คอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.50323	7.00626	2,051
466	ต.คูเต่า อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.48086	7.13266	123
467	ต.ฉลุง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.2863	6.9924	23,984
468	ท่าข้าม อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.57231	7.04577	10,209
469	ทุ่งตำเสา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.28669	6.92851	37,302
470	ทุ่งใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.53718	7.03003	8,568
471	น่าน้อย อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.52978	7.10815	7,720
472	บ้านพรุ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.48645	6.92279	20,161
473	พะตง อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.52916	6.84044	33,377
474	ควนกาหลง อ.ควนกาหลง จ.พัทลุง	100.02999	6.9529	7,546
475	ทุ่งนุ้ย อ.ควนกาหลง จ.พัทลุง	100.13807	6.87713	6,639
476	อูโตเจริญ อ.ควนกาหลง จ.พัทลุง	99.93815	6.90372	11,213
477	ควนโดน อ.ควนโดน จ.พัทลุง	100.05963	6.81372	9,181
478	ควนสตอ อ.ควนโดน จ.พัทลุง	100.10078	6.7636	6,243
479	ย่านซื่อ อ.ควนโดน จ.พัทลุง	100.06542	6.76725	1,072
480	วังประจัน อ.ควนโดน จ.พัทลุง	100.15987	6.75322	4,115
481	ท่าแพ อ.ท่าแพ จ.สตูล	99.96419	6.7912	7,936
482	ท่าเรือ อ.ท่าแพ จ.สตูล	99.91496	6.81102	4,972
483	แปะระ อ.ท่าแพ จ.สตูล	99.92794	6.85699	6,767

ตารางที่ ก.1 รายชื่อและตำแหน่งของเกษตรกรยางพารา (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อตำบลผู้ขายยาง/ตลาดกลาง	ละติจูด	ลองจิจูด	ผลผลิต (กิโลกรัม/วัน)
484	สาคร อ.ท่าแพ จ.สตูล	99.87929	6.77653	6,144
485	ขอนคลาน อ.ทุ่งหว้า จ.สตูล	99.6907	6.9975	25
486	ทุ่งหว้า อ.ทุ่งหว้า จ.สตูล	99.89007	7.12275	6,579
487	นาทอน อ.ทุ่งหว้า จ.สตูล	99.74267	7.03229	5,950
488	ป่าแกบ่อหิน อ.ทุ่งหว้า จ.สตูล	99.81735	7.04672	9,462
489	นิคมพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล	99.92553	6.95204	4,838
490	ปาล์มพัฒนา อ.มะนัง จ.สตูล	99.93394	7.03803	8,627
491	เกตรี อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.10735	6.69629	1,288
492	คลองขุด อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.1205	6.62487	1,668
493	ควนขัน อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.03998	6.62912	4,565
494	ควนโพธิ์ อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.01793	6.76417	7,302
495	เจ๊ะบิลัง อ.เมืองสตูล จ.สตูล	99.96513	6.68734	6,636
496	ฉลุง อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.04102	6.72686	2,087
497	ตันหยงโป อ.เมืองสตูล จ.สตูล	99.94189	6.59218	1,698
498	ตำมะลัง อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.04434	6.55581	1,134
499	บ้านควน อ.เมืองสตูล จ.สตูล	100.05002	6.6897	4,168
500	กำแพง อ.ละงู จ.สตูล	99.77713	6.9332	14,793
501	เขาขาว อ.ละงู จ.สตูล	99.8278	6.93671	18,245
502	น้ำผุด อ.ละงู จ.สตูล	99.85759	6.99322	22,493
503	ปากน้ำ อ.ละงู จ.สตูล	99.72729	6.86862	862
504	ละงู อ.ละงู จ.สตูล	99.82533	6.85057	10,470
505	แหลมสน อ.ละงู จ.สตูล	99.71111	6.94249	1,782

ภาคผนวก ข
เส้นทางการขนส่งแต่ละตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
D1	1	D1 - F416 - D1	113.36
	2	D1 - F469 - D1	67.2
	3	D1 - F452 - D1	130.87
	4	D1 - F414 - D1	131.54
	5	D1 - F414 - D1	131.54
	6	D1 - F417 - D1	90.8
	7	D1 - F421 - D1	135.73
	8	D1 - F421 - D1	135.73
	9	D1 - F447 - D1	84.2
	10	D1 - F447 - D1	84.2
	11	D1 - F447 - D1	84.2
	12	D1 - F447 - D1	84.2
	13	D1 - F443 - D1	101.38
	14	D1 - F473 - D1	54.14
	15	D1 - F440 - D1	116.45
	16	D1 - F419 - D1	166.46
	17	D1 - F451 - F450 - D1	117.19
	18	D1 - F300 - F296 - F292 - F295 - F463 - D1	187.16
	19	D1 - F449 - F447 - F452 - F448 - D1	175.46

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	20	D1 - F396 - F399 - F437 - D1	71.37
	21	D1 - F473 - F444 - F445 - D1	86.08
	22	D1 - F465 - F403 - F406 - D1	87.87
	23	D1 - F462 - F391 - F394 - F294 - F297 - F298 - F442 - D1	136.17
	24	D1 - F417 - F404 - D1	101.94
	25	D1 - F416 - F419 - F424 - D1	161.42
	26	D1 - F432 - F392 - F430 - D1	56.56
	27	D1 - F469 - F387 - D1	77.96
	28	D1 - F471 - F466 - F431 - F301 - F293 - D1	135.44
	29	D1 - F405 - F415 - D1	105.05
	30	D1 - F268 - F272 - F291 - F435 - F438 - D1	210.97
	31	D1 - F428 - F429 - F427 - F390 - D1	68.2
	32	D1 - F436 - F434 - F402 - F400 - F407 - F409 - D1	163.41
	33	D1 - F418 - F421 - F414 - D1	154.72
	34	D1 - F389 - F446 - D1	88.34
	35	D1 - F397 - F420 - F395 - D1	137.9
	36	D1 - F470 - F468 - F426 - D1	52.81
	37	D1 - F433 - F441 - F285 - F299 - F443 - F440 - F464 - D1	189.46
	38	D1 - F299 - D1	118.84

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	39	D1 - F398 - F408 - D1	123.45
	40	D1 - F439 - F393 - D1	90.28
	41	D1 - F388 - D1	77.35
	42	D1 - F401 - D1	115.02
	43	D1 - F425 - F422 - D1	163.84
	44	D1 - F467 - D1	60.26
	45	D1 - F472 - D1	24.71
D2	46	D2 - F413 - D2	132.02
	47	D2 - F413 - D2	132.02
	48	D2 - F332 - D2	89.58
	49	D2 - F330 - D2	43.09
	50	D2 - F330 - D2	43.09
	51	D2 - F330 - D2	43.09
	52	D2 - F350 - D2	12.93
	53	D2 - F353 - D2	20.48
	54	D2 - F345 - D2	273.45
	55	D2 - F90 - D2	174.74
	56	D2 - F130 - D2	80.28
	57	D2 - F331 - D2	57.82

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	58	D2 - F331 - D2	57.82
	59	D2 - F331 - D2	57.82
	60	D2 - F131 - D2	84.92
	61	D2 - F148 - D2	128.56
	62	D2 - F89 - D2	172.14
	63	D2 - F329 - D2	31.41
	64	D2 - F88 - D2	191.64
	65	D2 - F344 - D2	264.26
	66	D2 - F344 - D2	264.26
	67	D2 - F359 - D2	9.23
	68	D2 - F358 - D2	29.96
	69	D2 - F348 - D2	36.52
	70	D2 - F328 - D2	25.99
	71	D2 - F328 - D2	25.99
	72	D2 - F328 - D2	25.99
	73	D2 - F333 - D2	116.26
	74	D2 - F333 - D2	116.26
	75	D2 - F333 - D2	116.26
	76	D2 - F333 - D2	116.26
	77	D2 - F333 - D2	116.26

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางการขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	78	D2 - F346 - D2	256.67
	79	D2 - F453 - D2	145.92
	80	D2 - F136 - F116 - F111 - F105 - F103 - F104 - F108 - F134 - D2	173.93
	81	D2 - F173 - F411 - F412 - F257 - F174 - D2	150.86
	82	D2 - F360 - F357 - D2	32.27
	83	D2 - F349 - F339 - F340 - D2	85.94
	84	D2 - F110 - F101 - F94 - F92 - D2	204.5
	85	D2 - F383 - F376 - F382 - D2	67.4
	86	D2 - F120 - F114 - F118 - F117 - D2	154.66
	87	D2 - F132 - F147 - F145 - D2	149.41
	88	D2 - F200 - F198 - F195 - F201 - F192 - F235 - F238 - F241 - F232 - F228 - F231 - F184 - F188 - F185 - F227 - F242 - F230 - F239 - F233 - F225 - F204 - F205 - F209 - F207 - F206 - F208 - F255 - F253 - F260 - F261 - F262 - F254 - D2	216.3
	89	D2 - F181 - F165 - F243 - F245 - F246 - F248 - F250 - F249 - F247 - F189 - F190 - F187 - F183 - F186 - F182 - F199 - F193 - F194 - F196 - F216 - D2	189.91
	90	D2 - F151 - F150 - F153 - F88 - F91 - D2	268.84
	91	D2 - F130 - F158 - F159 - F154 - F155 - F156 - F98 - F96 - F95 - F100 - F97 - F102 - D2	317.03
	92	D2 - F423 - F453 - F456 - D2	188.83
	93	D2 - F127 - F115 - F119 - D2	128.83
	94	D2 - F157 - F137 - F138 - F140 - F139 - F141 - F142 - F161 - F149 - D2	307.21
	95	D2 - F378 - F377 - F350 - D2	36.41
	96	D2 - F109 - F99 - F162 - F160 - F152 - D2	278.96

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	97	D2 - F113 - F112 - F124 - D2	169.85
	98	D2 - F121 - F125 - D2	181.81
	99	D2 - F329 - F331 - D2	64.29
	100	D2 - F364 - F365 - F330 - D2	88.85
	101	D2 - F178 - F179 - F372 - F374 - D2	99.8
	102	D2 - F175 - F166 - F224 - F197 - F203 - F202 - F191 - F237 - F234 - F236 - F240 - F229 - F226 - F223 - F222 - F219 - F215 - F211 - F212 - F348 - D2	169
	103	D2 - F362 - F461 - F171 - D2	115.97
	104	D2 - F168 - F460 - F458 - D2	98.2
	105	D2 - F355 - F353 - D2	32.18
	106	D2 - F93 - F123 - F371 - D2	182.52
	107	D2 - F351 - F163 - F164 - F107 - F106 - F213 - F214 - F252 - F251 - F244 - F180 - D2	154.92
	108	D2 - F342 - F337 - F338 - F343 - D2	150.09
	109	D2 - F333 - F455 - F169 - D2	162.23
	110	D2 - F369 - F131 - F133 - D2	113.51
	111	D2 - F167 - F410 - F176 - D2	105.35
	112	D2 - F361 - F366 - D2	59.37
	113	D2 - F368 - F128 - F148 - F143 - D2	149.26
	114	D2 - F373 - F89 - F90 - F126 - F122 - D2	209.8
	115	D2 - F380 - F144 - F146 - D2	116.89
	116	D2 - F367 - F341 - F335 - F336 - F347 - F344 - F345 - F346 - F334 - D2	368.92

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	117	D2 - F129 - F370 - F381 - D2	72.04
	118	D2 - F221 - F256 - F210 - F356 - D2	81.41
	119	D2 - F454 - F413 - F177 - D2	156.85
	120	D2 - F352 - F457 - F363 - D2	75.14
	121	D2 - F375 - F135 - F379 - D2	66.93
	122	D2 - F459 - F358 - D2	138.91
	123	D2 - F332 - D2	89.58
	124	D2 - F217 - F220 - F218 - F172 - F258 - F259 - F170 - D2	132.9
	125	D2 - F354 - D2	25.77
	126	D2 - F359 - D2	9.23
	127	D2 - F328 - D2	25.99
D20	128	D20 - F43 - F33 - F32 - F14 - F6 - F47 - F50 - D20	96.35
	129	D20 - F325 - F327 - D20	89.38
	130	D20 - F324 - F313 - F289 - F269 - F267 - D20	151.59
	131	D20 - F17 - F48 - F46 - F49 - D20	63.29
	132	D20 - F21 - F79 - F39 - F37 - F44 - D20	67.37
	133	D20 - F278 - F275 - F274 - F326 - D20	129.76
	134	D20 - F40 - F38 - F19 - F322 - F323 - F263 - D20	108.8
	135	D20 - F22 - F41 - D20	42.52
	136	D20 - F18 - D20	23.87

ตารางที่ ข.1 เส้นทางการขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางการขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
D27	137	D27 - F30 - D27	24.07
	138	D27 - F26 - D27	29.79
	139	D27 - F23 - F486 - F488 - D27	119.92
	140	D27 - F31 - F30 - F86 - D27	66.59
	141	D27 - F25 - F29 - D27	75.27
	142	D27 - F24 - F52 - F53 - D27	40.55
	143	D27 - F87 - F85 - D27	50.84
	144	D27 - F28 - F51 - F26 - D27	87.69
D35	145	D35 - F68 - D35	61.25
	146	D35 - F67 - D35	55.66
	147	D35 - F66 - D35	20.24
	148	D35 - F68 - F65 - F67 - D35	94.72
	149	D35 - F59 - F61 - F66 - D35	60.15
	150	D35 - F45 - D35	23.86
	151	D35 - F8 - F12 - F16 - F4 - F3 - F5 - F13 - F10 - F11 - F15 - F7 - F9 - D35	168.59
	152	D35 - F42 - F34 - F71 - F36 - F63 - F81 - D35	194.78
D70	153	D70 - F72 - F58 - F54 - F57 - F55 - F56 - D70	80.56
	154	D70 - F64 - D70	78.87
	155	D70 - F77 - F82 - D70	41.16
	156	D70 - F306 - F75 - D70	79.86

ตารางที่ ข.1 เส้นทางขนส่งของตลาดเครือข่ายที่ทำการเปิด (ต่อ)

ตลาดเครือข่ายที่เปิด	เส้นทางที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
	157	D70 - F74 - F60 - F80 - F73 - D70	60.41
	158	D70 - F62 - F76 - D70	68.1
	159	D70 - F84 - F78 - F69 - D70	37.28
	160	D70 - F83 - D70	32.55
D309	161	D309 - F303 - D309	81.96
	162	D309 - F264 - F265 - F315 - D309	79.7
	163	D309 - F312 - F302 - D309	122.04
	164	D309 - F308 - F271 - F288 - F287 - D309	96.11
	165	D309 - F307 - F310 - F321 - F282 - F317 - F311 - F281 - F384 - F385 - F386 - F277 - F283 - D309	214.73
	166	D309 - F319 - F286 - F290 - F320 - F318 - D309	140.97
	167	D309 - F303 - F305 - F304 - F284 - F279 - F273 - F276 - F280 - D309	127.54
	168	D309 - F316 - F270 - F266 - F314 - D309	69.98
D481	169	D481 - F490 - F489 - F476 - D481	77.38
	170	D481 - F484 - F501 - D481	73.34
	171	D481 - F494 - F479 - F477 - D481	46.42
	172	D481 - F503 - F505 - F500 - F485 - F487 - D481	160.89
	173	D481 - F496 - F499 - F491 - F492 - F498 - F493 - F497 - F495 - D481	134.73
	174	D481 - F502 - D481	68.64
	175	D481 - F482 - F504 - F483 - D481	54.23
	176	D481 - F474 - F475 - F480 - F478 - D481	110.38

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสุจิตรา แก้วพลอย
วัน/เดือน/ปี เกิด	12 ธันวาคม พ.ศ. 2524
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2547 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ พ.ศ. 2557 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2559 บริษัท ฟินิกส์เอ็นจิเนียริงแอนด์เดเวลอปเมนต์ จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2560-ปัจจุบัน บริษัท เอสพลัส เอ็นจิเนียริง แอนด์ เซอร์วิส จำกัด อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
ตำแหน่ง	กรรมการผู้จัดการ