การใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ร่วมกับวิธีทางพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง

นายศรัณย์ พิพัฒนพงศ์โสภณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A LAGRANGIAN RELAXATION AND GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING INVENTORY ROUTING PROBLEM

Mr. Sarun Pipattanapongsopon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering
Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ร่วมกับวิธีทางพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง
โดย	นายศรัณย์ พิพัฒนพงศ์โสภณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ปฐมศิริ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ศรัณย์ พิพัฒนพงศ์โสภณ : การใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ร่วมกับวิธีทางพันธุกรรมในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง (A LAGRANGIAN RELAXATION AND GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING INVENTORY ROUTING PROBLEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. มาโนช โลหเตปานนท์, 82 หน้า.

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังซึ่งเป็นปัญหาที่นำเอาการตัดสินใจในการเติมเต็มสินค้ามาวิเคราะห์ร่วมกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการเดินทาง เวลาในการขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ขนส่ง ให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าและก่อให้เกิดต้นทุนรวมในการขนส่งสินค้าและจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด โดยผู้วิจัยจะจำลองปัญหาให้อยู่ในรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม พร้อมทั้งเสนอวิธีการในการพัฒนาผลเฉลยปัญหาดังกล่าว โดยวิธีการในการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอนั้น สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกเสนอใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตของปัญหา ส่วนที่สองจะประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้น โดยที่แบบจำลองที่นำเสนอมานั้นจะถูกนำมาทดสอบกับชุดปัญหาตัวอย่างที่กำหนด สำหรับประสิทธิภาพของวิธีการในการหาผลเฉลยทั้งสองจะถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์กับวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรง (กำหนดระยะเวลาในการแก้ไขปัญหาคือหนึ่งชั่วโมง) ผลที่ได้พบว่าขอบเขตของปัญหาที่หาได้จากวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์มีความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงเฉลี่ยอยู่ที่ 24.32 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นพบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถพัฒนาคุณภาพผลเฉลยเบื้องต้นได้ในทุกปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ที่สุดพบว่าประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอนั้นดีกว่าวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงอย่างชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5670392421 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: INVENTORY ROUTING PROBLEM / MIXED INTEGER PROGRAMMING / LAGRANGIAN RELAXATION / GENETIC ALGORITHM

SARUN PIPATTANAPONGSOPON: A LAGRANGIAN RELAXATION AND GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING INVENTORY ROUTING PROBLEM. ADVISOR: ASST. PROF. MANOJ LOHATEPANONT, 82 pp.

In this research, we study about Inventory Routing Problem (IRP). IRP is a problem that integrated the inventory replenishment decision to analyze with Vehicle Routing Problem (VRP). The objective is to find the routes, dates and quantities of deliveries, in order to meet the demand of customers which causes the lowest transportation and inventory holding cost. By using Mixed Integer Programming (MIP), this paper presents two approaches for solving the Inventory Routing Problem. First, we present a Lagrangian Relaxation to find a lower bound of the problem. Second, we use a Genetic Algorithm to develop an incumbent solution from Branch and Bound. The proposed approaches were tested with the given examples and the efficiency of proposed approaches were compared and analyzed with exact solution approach. Results show that the average difference of the Lagrangian Relaxation bound from the best bound is 24.34 percent. On the other hand, results also show that Genetic Algorithm can be used to improve the quality of incumbent solutions in every example. Moreover, from the biggest example, it was observed that Genetic Algorithm clearly performs better than exact solution approach

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Civil Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและเอาใจใส่เป็นอย่างดีจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการแก้ปัญหา และดำเนินงานวิจัย ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องของงานวิจัยให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เกษม ชูจารุกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปฐมศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่มีกรุณาและเสียสละเวลาอันมีค่ามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณนวคุณ ชวิน ลภน ธนัท พุธิตา และเพื่อน ๆ พี่ ๆ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทุกคนที่คอยช่วยเหลือข้าพเจ้าตลอดมา และขอขอบคุณธุรการภาควิชาที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ สำหรับขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และน้องชาย ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 6

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง 8

2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง 10

2.2 วิธีในการแก้ปัญหา 15

2.2.1 วิธีแม่นตรง 16

2.2.2 วิธีฮิวริสติกส์ 20

บทที่ 3 วิธีในการศึกษา 28

3.1 ขั้นตอนการศึกษา 28

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3 แบบจำลองวิธีการพัฒนาหาผลเฉลย 34
3.3.1 แบบจำลองวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ 34
3.3.2 แบบจำลองวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม 41
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผล 44
4.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง 44
4.2 การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง 48
4.3 การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง 56
4.4 การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ 59
4.5 การทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม 68
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย 74
5.1 สรุปผลการศึกษา 74
5.2 ข้อเสนอแนะ 77
รายการอ้างอิง 79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 แสดงถึงรายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญในปัญหาตัวอย่างที่พิจารณา 47

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนตัวแปรของปัญหาตัวอย่าง 49

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจำนวนเงื่อนไขของปัญหาตัวอย่าง 49

ตารางที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมของแบบจำลองจากปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไป 55

ตารางที่ 4.5 แสดงผลเฉลยจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรง 57

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง 61

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการใช้วิธีปรุงปรุงตัวคูณลากรางจ์ดั้งเดิมและวิธีเฮ็ลแอนด์คาร์พ 65

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการใช้วิธีปรุงปรุงตัวคูณลากรางจ์กับวิธีการผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้นและขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง 66

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาในการแก้ไขปัญหาที่กำหนดสำหรับการหาผลเฉลยเบื้องต้น 69

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลเฉลยเบื้องต้นกับผลเฉลยจากวิธีที่นำเสนอ 70

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลเฉลยเบื้องต้น ผลเฉลยจากวิธีที่นำเสนอ และผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ปี พ.ศ. 2551-2555 2
รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการรวมเส้นทาง 21
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครโมโซมคำตอบตัวอย่างแบบลำดับ 22
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์ 23
รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมโดยใช้วิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมแบบลำดับ 24
รูปที่ 2.5 ภาพจำลองการแลกเปลี่ยนยีนภาพในโครโมโซม โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนโครโมโซมแบบสลับ 25
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ 40
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม 43
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนตัวแปร 52
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนเงื่อนไข 52
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนตัวแปร 54
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนเงื่อนไข 54
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง 60
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 1 63
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 2 64

Chulalongkorn University

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของ
ปัญหาตัวอย่างที่ 3..... 64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีแนวโน้มของการเติบโตทางธุรกิจและอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดการแข่งขันของธุรกิจมากมาย โดยเฉพาะในด้านราคาและบริการที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้บริษัทต่าง ๆ เกิดความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพการปฏิบัติงานขององค์กรให้ดียิ่งขึ้น หนึ่งในกิจกรรมที่สำคัญของการปฏิบัติงานคือการจัดการโลจิสติกส์

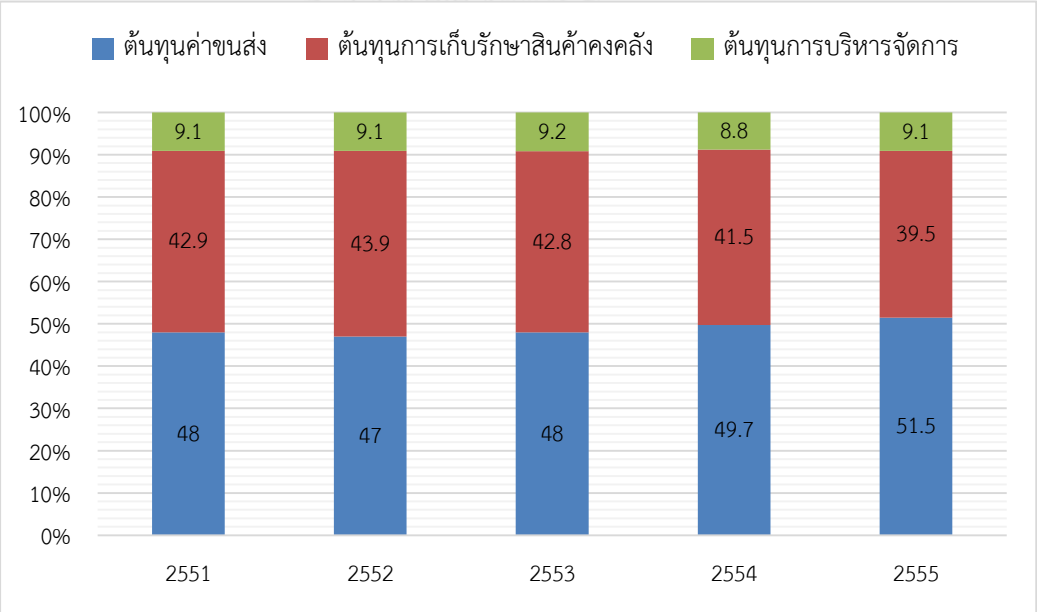
การจัดการโลจิสติกส์ คือ *''กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน ดำเนินการ และควบคุมการทำงานขององค์กร ตั้งแต่การวางแผน ดำเนินการ เคลื่อนย้าย ควบคุม รวมทั้งการจัดการข้อมูลและธุรกรรมการเงินที่เกี่ยวข้อง ซึ่งก่อให้เกิดการกระจาย เคลื่อนย้าย จัดเก็บ รวบรวมสินค้าและวัตถุดิบ ให้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผลสูงสุด โดยคำนึงถึงความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญ''* (ที่มา : Council of Logistics Management (1998))

แต่ทั้งนี้ภายใต้การจัดการด้านโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพ บริษัทควรมีการพิจารณาถึงต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ร่วมด้วย การพิจารณาต้นทุนนี้ถือเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนการจัดการโลจิสติกส์ ซึ่งต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ (Logistics Cost) สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วนคือ ต้นทุนการขนส่งสินค้า (Transportation Cost) ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง (Inventory Cost) และต้นทุนการบริหารจัดการ (Administration Cost)

1) ต้นทุนการขนส่งสินค้า (Transportation Cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสินค้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิเช่น จำนวนสินค้า น้ำหนักสินค้า ระยะทางการขนส่ง วิธีการขนส่ง และรูปแบบการขนส่งที่เลือกใช้ เป็นต้น
2) ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง (Inventory Cost) นั้นประกอบด้วย ต้นทุนการถือครองสินค้า (Inventory Carrying Cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บสินค้าคงคลังไว้ซึ่งแปรผันตามระยะเวลาที่เก็บสินค้าไว้ อาทิเช่น ดอกเบี้ย และต้นทุนการจัดการคลังสินค้า (Warehousing Cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมในการจัดการคลังสินค้า อาทิเช่น ค่าเช่า ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าแรงงาน เป็นต้น

3) ต้นทุนการบริหารจัดการ (Administration Cost) คือต้นทุนที่เกิดขึ้นในการบริหารกิจกรรมต่าง ๆ ด้านโลจิสติกส์ อาทิเช่น ต้นทุนการดำเนินการสั่งซื้อ ต้นทุนการจัดการวัตถุดิบ ต้นทุนการให้บริการลูกค้า เป็นต้น

จากสถิติข้อมูลของ สำนักงานพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทย (Logistics Cost Structure) ในช่วงปี 2551-2555 พบว่าต้นทุนการขนส่งสินค้ามีเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนในส่วนอื่น โดยมีสัดส่วนเฉลี่ย ร้อยละ 48.8 ของต้นทุนโลจิสติกส์รวม รองลงมาคือต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลังมีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 42.1 ของต้นทุนโลจิสติกส์รวม ต้นทุนการบริหารจัดการมีสัดส่วนเฉลี่ยร้อยละ 9.1 ของต้นทุนโลจิสติกส์รวม จะเห็นได้ว่าเกือบทั้งหมดของต้นทุนโลจิสติกส์ที่เกิดขึ้นนั้นมาจากต้นทุนการขนส่งสินค้าและต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง โดยมีสัดส่วนรวมอยู่ที่ร้อยละ 90.9 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด



รูปที่ 1.1 แผนภูมิแสดงอัตราส่วนต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ปี พ.ศ. 2551-2555
(ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2556))

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจศึกษาปัญหาที่มีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนทั้งสองส่วนร่วมกัน คือ ต้นทุนค่าขนส่ง และต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง เพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์และ

เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและได้ดียิ่งขึ้น สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่นำความเกี่ยวข้องกับต้นทุนในสองส่วนมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกันนั้นถูกเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Federgruen and Zipkin (1984) ซึ่งได้นำปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) มาประยุกต์โดยมีการคำนึงถึงต้นทุนในการจัดเก็บและขาดแคลนสินค้าคงคลัง (Inventory and Shortage Cost) ซึ่งภายหลังได้มีการเรียกปัญหารูปแบบดังกล่าวว่า ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง (Inventory Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง (Inventory Routing Problem) เป็นปัญหาที่มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการหา เส้นทางในการขนส่งสินค้า เวลาในการขนส่งสินค้า และปริมาณสินค้าที่เติมเต็มให้กับลูกค้า เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยก่อให้เกิดต้นทุนรวมคือ ต้นทุนของการจัดเส้นทางเดินรถและต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด

โดยปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังนั้นมักจะถูกหยิบยกขึ้นมาใช้ในบริบทของการบริหารแบบระบบ (Vendor Management Inventory) ซึ่งเป็นรูปแบบกรณีที่ผู้ผลิต หรือในบางครั้งอาจเป็นผู้ค้าส่งหรือผู้แทนได้ทำการตกลงกับลูกค้า โดยผู้ผลิตสามารถทราบถึงยอดขาย และระดับสินค้าคงคลังของลูกค้า เพื่อที่จะได้สามารถตัดสินใจในการเติมเต็มสินค้า (Stock) ให้กับลูกค้าได้ ซึ่งประโยชน์ของการบริหารนโยบายรูปแบบนี้คือสามารถช่วยลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าของผู้ผลิตและลูกค้า เพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขนส่ง แต่ทั้งนี้ในทางปฏิบัตินั้น กรณีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อทั้งสองฝ่ายได้รับผลประโยชน์ร่วมกัน

การหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง เป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้นในช่วงหลัง เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังที่กล่าวมานั้นเป็นปัญหาที่มีซับซ้อนในการหาผลเฉลยจัดอยู่ในประเภทเอ็นพี-ฮาร์ด (Non-deterministic Polynomial Hard) กล่าวลักษณะของปัญหานี้อย่างง่ายคือ เป็นปัญหาที่ยากและคอมพิวเตอร์ต้องแรงหรือทรัพยากรอย่างมากในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างงานวิจัย ดังนี้

งานวิจัยของ ณัฐกาญจน์ (2552) ได้ใช้นำวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน เพื่อหาผลเฉลยปัญหาการจัดการเส้นทางและสินค้าคงคลังของบริษัท ขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน (จำนวน

บริษัท) จากนั้นนำผลเฉลยที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกส์ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้าเมื่อเทียบกับรูปแบบเดิม แต่ใช้ระยะเวลาในการหาผลเฉลย (ปัญหาตัวอย่างที่ใหญ่ที่สุด) มากกว่า 12 ชั่วโมง

งานวิจัยของ Hanczar (2012) ได้ใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาโครงข่ายการขนส่งน้ำมันในโปแลนด์ของรถขนส่งน้ำมันในโปแลนด์ โดยลักษณะอัลกอริทึมซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการจัดกลุ่มของลูกค้าและจัดเส้นทาง (Cluster First, Route Second)

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นจะพบว่า การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง เมื่อจำนวนหรือขนาดของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์มีขนาดใหญ่ขึ้น จะส่งผลให้ระยะเวลาในการคำนวณเพื่อหาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้นอย่างมาก จึงได้มีความพยายามศึกษาวิธีการหาผลเฉลยรูปแบบต่าง ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย คือช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลย พร้อมทั้งได้คุณภาพคำตอบของผลเฉลยที่ดี จากปัญหาดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาและจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยรูปแบบใหม่เพื่อช่วยในการแก้ปัญหา โดยหวังว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สามารถพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีที่นำเสนอกับวิธีแม่นตรง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยการจำลองปัญหาดังกล่าวด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาผลเฉลย พร้อมกับพัฒนาวิธีการหาผลเฉลย โดยปัญหาที่งานวิจัยนี้พิจารณานั้นจะมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทาง ปริมาณ และช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า เพื่อให้มีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดและเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าภายในกรอบ

ระยะเวลาที่กำหนด ทั้งนี้สำหรับสมมติฐานที่ใช้การพิจารณา จะกำหนดให้ปัญหาที่ศึกษามีผู้ผลิตเพียงรายเดียวต่อผู้บริโภคหลายราย โดยผู้บริโภคแต่ละรายสามารถรับสินค้าได้เพียงหนึ่งครั้งต่อหนึ่งช่วงเวลา กำหนดนโยบายระดับสินค้าคงคลังแบบคงที่ และมีชนิดสินค้าที่ทำการพิจารณาชนิดเดียว ขณะที่ลักษณะการขนส่งจะเป็นการขนส่งแบบหลายรายคือในหนึ่งเส้นทางสามารถขนส่งสินค้าให้กับผู้บริโภคหลายราย และมียานพาหนะในการขนส่งเพียงคันเดียว

สำหรับวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอของผู้วิจัยนั้นจะเป็นวิธีการพัฒนาผลเฉลยรูปแบบใหม่ โดยการประยุกต์ใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ร่วมกับวิธีทางพันธุกรรม เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลเฉลยที่ได้จากการแก้ไขด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตโดยเฉพาะ โดยวิธีพัฒนาผลเฉลยที่ได้นำเสนอนั้นสามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตของปัญหา ส่วนที่สองจะประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้น (Incumbent Solution) ซึ่งได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต สำหรับประสิทธิภาพของวิธีการในการหาผลเฉลยทั้งสองจะถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์กับวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรง (ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการแก้ไขปัญหา)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถใช้วิธีการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอเข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตได้ดียิ่งขึ้น โดยหวังว่าวิธีการที่นำเสนอจะสามารถเพิ่มคุณภาพของผลเฉลยและขอบเขตของปัญหา คือสามารถลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งของปัญหาได้ พร้อมทั้งสามารถแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง (Inventory Routing Problem) นั้นเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในช่วงหลัง โดยจากการศึกษาพบว่า ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังในแต่ละงานวิจัยนั้น มีความแตกต่างกันทั้งด้านคุณลักษณะ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รูปแบบและวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา และคุณภาพผลเฉลยที่ได้ของปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยจะมีหัวข้อหลัก ๆ ในการนำเสนอคือ

1) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2) วิธีในการแก้ปัญหา

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังนั้นเป็นการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ร่วมกับการจัดการสินค้าคงคลัง ดังนั้นผู้วิจัยจะทำการแบ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องออกเป็น 3 ส่วน คือ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) คือการจัดรูปแบบเส้นทางการเดินรถในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อต้องการหาต้นทุนหรือระยะทางในการขนส่งที่น้อยที่สุด สามารถอธิบายความสัมพันธ์ด้วยกราฟ $G = (V, A)$ โดย V คือเซตของจุดยอด (Vertices) และ A คือเซตของเส้นเชื่อม (Arcs) Ghiani et al. (2013) ได้แบ่งรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นเดินรถ ออกเป็น 2 รูปแบบคือ ปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมจุด (Node Routing Problem) และปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมเส้นเชื่อม (Arc Routing Problem) สำหรับเงื่อนไขโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีดังนี้

- เงื่อนไขจำนวนและปริมาณความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง
- เงื่อนไขจำกัดระยะเวลาหรือระยะทางรวมที่ใช้ในการเดินรถ
- เงื่อนไขช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า
- เงื่อนไขลักษณะของการขนส่ง อาทิเช่น ขนส่งตรง ขนส่งร่วม

- ปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมจุด (Node Routing Problem) เป็นปัญหาที่สนใจเฉพาะจุดยอดที่เดินทางผ่าน (Vertices) โดยลักษณะการเดินทางลักษณะนี้จะต้องมีการผ่านทุกจุดยอดที่ต้องการ (Required Vertices) สามารถแบ่งรูปแบบของปัญหาในเบื้องต้นได้ ดังนี้
    - ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งในรูปแบบพื้นฐาน ลักษณะเงื่อนไขของปัญหาประเภทนี้คือ การใช้ยานพาหนะคันเดียวในการใช้เดินทางผ่านทุกจุดยอดที่สนใจ โดยที่สามารถเดินทางผ่านจุดยอดแต่ละจุดได้เพียงครั้งเดียวและกลับมายังจุดเริ่มต้น
    - ปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมจุดโดยมีข้อจำกัดทางด้านความจุและระยะทางในการเดินรถของยานพาหนะ (Node Routing Problem with Capacity and Length Constraints) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งโดยคำนึงถึง ความจุ และระยะทางในการเดินทางของรถ โดยลักษณะเงื่อนไขของปัญหาประเภทนี้นั้นสามารถมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางได้หลายคัน แต่ยานพาหนะมีความจุและระยะทางในการขนส่งที่จำกัด
    - ปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมจุดโดยมีข้อจำกัดทางด้านระยะเวลา (Node Routing and Scheduling with Time Windows) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งโดยคำนึงถึง ลำดับและช่วงเวลาในการดำเนินการขนแต่ละจุดยอด โดยลักษณะเงื่อนไขของปัญหาประเภทนี้นั้นสามารถมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางได้หลายคัน มีการคำนึงถึงช่วงเวลาที่สามารถให้บริการของแต่ละจุดยอด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ปัญหาการจัดเส้นทางแบบครอบคลุมเส้นเชื่อม (Arc Routing Problem) เป็นปัญหาที่สนใจเฉพาะเส้นเชื่อมที่เดินทางผ่าน (Arcs) คือลักษณะการเดินรถประเภทนี้จะต้องมีการผ่านทุกเส้นเชื่อมที่ต้องการ (Required Arcs) สามารถแบ่งประเด็นของปัญหาได้ ดังนี้
    - ปัญหาบุรุษไปรษณีย์จีน (Chinese Postman Problem) เป็นปัญหารูปแบบการจัดเส้นทางขนส่งที่ต้องการเดินทางผ่านทุกเส้นเชื่อม โดยลักษณะเงื่อนไขของปัญหานี้คือจะต้องเดินทางผ่านทุกเส้นเชื่อมอย่างน้อยหนึ่งครั้ง และต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น
    - ปัญหาบุรุษไปรษณีย์ชนบท (Rural Postman Problem) เป็นปัญหารูปแบบการจัดเส้นทางขนส่งที่ต้องการเดินทางผ่านเส้นเชื่อมที่ต้องการ โดยลักษณะเงื่อนไขของปัญหานี้คือจะต้องเดินทางผ่านเส้นเชื่อมที่ต้องการอย่างน้อยหนึ่งครั้ง

2.1.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง

การจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) นั้นมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมปริมาณสินค้าให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อประโยชน์ทั้งในด้านต้นทุนและการให้บริการ สำหรับปัญหาของการจัดการสินค้าคงคลังโดยทั่วไปจะวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบของปัญหาอยู่ 2 สิ่งคือ ปริมาณสินค้าที่ต้องการสั่ง และจุดเวลาในการสั่งสินค้า ซึ่งสามารถเรียกว่า การเติมเต็มสินค้าคงคลัง (Inventory Replenishment) สำหรับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจในการเติมเต็มสินค้าคงคลังนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ อุปสงค์ (Demand) การเติมสินค้า (Resupply) และนโยบายในการสั่งซื้อ (Policy)

- อุปสงค์ Gupta (2007) ได้จำแนกประเภทอุปสงค์ในการจัดการสินค้าคงคลังออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้
    - การจัดการสินค้าคงคลังแบบอุปสงค์แน่นอน (Deterministic Demand) หมายถึงการจัดการสินค้าคงคลังที่มีความต้องการสินค้าที่มีค่าแน่นอน ระบุได้ชัดเจน ความผันผวนของอุปสงค์น้อยมาก

- การจัดการสินค้าคงคลังแบบอุปสงค์ไม่แน่นอน (Stochastic Demand) หมายถึงการจัดการสินค้าคงคลังที่มีความต้องการสินค้าที่มีความผันผวน ไม่แน่นอน และมีลักษณะการแจกแจงตามสถิติ ทำให้การตอบสนองในการให้บริการยากขึ้น จึงต้องมีการคาดคะเนอุปสงค์ของลูกค้า โดยทั่วไประดับสินค้าคงคลังในประเภทนี้จะต้องมีระดับสินค้าสำรอง (Safety Stock) เพื่อเข้ามาช่วยรองรับความแปรปรวนของอุปสงค์ต่อช่วงเวลานำ (Lead Time)

- การเติมสินค้า Ghiani et al. (2013) ได้จำแนกรูปแบบการเติมสินค้าออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้
  - การเติมสินค้าแบบไม่ทันทีทันใด (Non-Instant Resupply) เป็นรูปแบบการเติมสินค้าที่มีระยะเวลาในการเติมสินค้า
  - การเติมสินค้าแบบทันทีทันใด (Instant Resupply) เป็นรูปแบบการเติมสินค้าที่จะที่ไม่มีระยะเวลาในการเติมสินค้า
- นโยบายในการสั่งซื้อ Ghiani et al. (2013) ได้จำแนกนโยบายที่ใช้ในการสั่งซื้อสินค้าออกเป็น 2 วิธี คือ
  - นโยบายสั่งซื้อปริมาณคงที่ (Reorder Point Policy) เป็นรูปแบบการเติมเต็มสินค้าที่มีการกำหนดปริมาณสั่งซื้อที่แน่นอนและคงที่ แต่กรอบระยะเวลาที่ใช้ในการสั่งสินค้าอาจเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการสั่งซื้อรูปแบบนี้จะมีการกำหนดจุดสั่งซื้อโดยอิงระดับสินค้าคงคลังที่มีอยู่ เมื่อระดับสินค้าคงคลังลดลงถึงจุดที่กำหนดก็จะทำการสั่งซื้อสินค้า
  - นโยบายกรอบเวลาสั่งซื้อคงที่ (Reorder Fixed Policy) เป็นรูปแบบการเติมเต็มสินค้าที่มีการกำหนดระยะเวลาในการสั่งซื้อที่ชัดเจนแน่นอน แต่ปริมาณการสั่งซื้อสามารถเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปริมาณการสั่งซื้อรูปแบบนี้จะต้องมีปริมาณมากพอที่จะครอบคลุมความปริมาณความต้องการและความไม่แน่นอนของอุปสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง

ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง (Inventory Routing Problem) เป็นการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในช่วงเวลาที่กำหนด มีจุดประสงค์เพื่อหาต้นทุนรวมของการจัดเส้นทางเดินรถและการจัดการสินค้าคงคลังให้ต่ำที่สุดในช่วงเวลา (Time Horizon) ที่กำหนด สามารถอธิบายความสัมพันธ์ด้วยกราฟ $G' = (V', A')$ กำหนดให้ V' คือเซตของจุดยอดที่ต้องการ (Required Vertices) และ A' คือเซตของเส้นเชื่อมที่ต้องการ (Required Arcs) โดย V' ประกอบด้วย U คือเซตของลูกค้า (Customers) และ {0} คือเซตสถานี (Depot) สำหรับข้อจำกัดหรือเงื่อนไขโดยทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังมีดังนี้

- เงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า
- เงื่อนไขจัดเส้นทางเดินรถ
- เงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าคงคลัง
- เงื่อนไขควบคุมปริมาณการขนส่ง

โดยปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังนั้นสามารถกำหนดให้อยู่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) ดังตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำหนดให้

เซต

T คือ เซตของกรอบเวลาที่สนใจ มี t เป็นดัชนี

K คือ เซตของจำนวนยานพาหนะ มี k เป็นดัชนี

V' คือ เซตของจุดยอดที่ต้องการ มี i, j เป็นดัชนี

A' คือ เซตของเส้นเชื่อมหรือทางที่ต้องการ i, j เป็นดัชนี

U คือ เซตของลูกค้า i, j เป็นดัชนี

พารามิเตอร์

Q คือความจุของยานพาหนะ

c_{ij} คือต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากลูกค้า *i* ไป *j*

q_i^t คืออัตราการบริโภคสินค้าของลูกค้าในช่วงเวลา *t*

$L_0,\ L_i$ คือความจุของคลังสินค้าของสถานีและลูกค้าตามลำดับ

$h_0,\ h_i$ คือต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บสินค้าของสถานีและลูกค้าตามลำดับ

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ik}^t เป็นตัวแปรปริมาณสินค้าที่ขนส่งไปยังลูกค้า *i* โดยยานพาหนะ *k* ในช่วงเวลา t

y_{ijk}^t เป็นตัวแปรที่บอกถึงจำนวนครั้งที่ยานพาหนะ *k* วิ่งผ่าน เส้นทาง *(i,j)* ในช่วงเวลา *t*

z_{ik}^t คือตัวแปรไบนารี โดยจะมีค่าเป็น 1 เมื่อ ยานพาหนะ *k* วิ่งผ่านโหนด *i* ในช่วงเวลา ละมีค่าเป็น 0 สำหรับกรณีอื่น ๆ

$I_0^t,\ I_i^t$ คือตัวแปรแสดงระดับสินค้าคงคลังของสถานีและลูกค้า *i* ตามลำดับ ของช่วงเวลา *t*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Minimize

$$z = \sum_{i\epsilon V'} \sum_{t\epsilon T} h_i I_i^t + \sum_{t\epsilon T} \sum_{k\in K} \sum_{(i,j)\in A'} c_{ij} y_{ijk}^t \tag{2.1}$$

Subject to

$$I_0^t = I_0^{t-1} + p^{t-1} - \sum_{i\in U} \sum_{k\in K} x_{ik}^{t-1}, t \in T \tag{2.2}$$

$$I_i^t = I_i^{t-1} + \sum_{k\in K} x_{ik}^{t-1} - q_i^{t-1}, i \in U, t \in T \tag{2.3}$$

$$I_0^t \geq \sum_{i\in U} \sum_{k\in K} x_{ik}^t, t \in T \tag{2.4}$$

$$\sum_{k\in K} x_{ik}^{t} \le L_i - I_i^t, i \in U, t \in T \quad (2.5)$$

$$x_{ik}^{t} \le L_i z_{ik}^{t}, i \in U, k \in K, t \in T \quad (2.6)$$

$$\sum_{k\in K} x_{ik}^{t} \le Q, k \in K, t \in T \quad (2.7)$$

$$\sum_{i\in V':(i,j)\in A'} y_{ijk}^{t} + \sum_{i\in V':(j,i)\in A'} y_{ijk}^{t} = 2z_{ik}^{t} \quad (2.8)$$
$$, j \in V', k \in K, t \in T$$

$$\sum_{(i,j)\in A':i\in S, j\notin S} y_{ijk}^{t} + \sum_{(j,i)\in A':i\in S, j\notin S} y_{jik}^{t} = 2z_{ik}^{t} \quad (2.9)$$
$$, S \subset V', 2 \le s \le \left[\frac{V'}{2}\right], k \in K, t \in T$$

$$I_i^t \ge 0, i \in U, t \in T \quad (2.10)$$

$$x_{ik}^{t} \ge 0, i \in U, k \in K \ t \in T \quad (2.11)$$

$$y_{ijk}^{t} \in \{0,1\}, (i,j) \in A', k \in K, t \in T \quad (2.12)$$

$$y_{0ik}^{t} \in \{0,1,2\}, (0,i) \in A', k \in K, t \in T \quad (2.13)$$

$$z_{ik}^{t} \in \{0,1\}, j \in V', k \in K, t \in T \quad (2.14)$$

สมการ (2.1) คือสมการวัตถุประสงค์ สมการจะประกอบไปด้วยต้นทุนในการขนส่งและต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง สมการ (2.2) เป็นเงื่อนไขเพื่อคำนวณระดับสินค้าคงคลังของผู้ผลิต ณ สิ้นช่วงเวลา สมการ (2.3) เป็นเงื่อนไขเพื่อคำนวณระดับสินค้าคงคลังของลูกค้า ณ สิ้นช่วงเวลา อสมการ (2.4) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ผู้ผลิตมีปริมาณสินค้าเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าเสมอ อสมการ (2.5) และ (2.6) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ปริมาณสินค้าที่ขนส่งให้ลูกค้าจะต้องไม่เกินความจุของคลังสินค้า อสมการ (2.7) เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ปริมาณสินค้าที่ขนส่งจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ สมการ (2.8) และ (2.9) เป็นเงื่อนไขพื้นฐานของการจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อให้แน่ใจว่าจำนวนเส้นทางที่ออกจากจุดแต่ละจุดของยานพาหนะที่จะต้องเป็นเลขคู่ และไม่มีการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) และสมการ (2.10) ถึง (2.14) เป็นเงื่อนไขที่ระบุถึงลักษณะของตัวแปรตัดสินใจ

สำหรับการจำแนกรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังนั้น Anderson et al. (2010) ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จัดรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยมีการจำแนกรูปแบบปัญหาออกเป็น 7 คุณลักษณะ ดังนี้

- ระยะเวลา (Time) คือกรอบเวลาหรือช่วงระยะเวลาที่ใช้ในการพิจารณาปัญหา ซึ่งการเลือกใช้กรอบระยะเวลานั้นขึ้นอยู่กับระดับปัญหาที่สนใจ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ
  - กรอบเวลาทันที (Instant) คือกรอบระยะเวลาที่ทำการพิจารณาปัญหาสั้นมาก โดยมีการเติมสินค้าไม่เกินหนึ่งครั้งในกรอบระยะเวลาที่พิจารณา
  - กรอบเวลาแน่นอน (Finite) มีลักษณะระยะเวลาในการพิจารณาปัญหาเป็นช่วงที่ระบุชัดเจน เช่น หนึ่งสัปดาห์ หรือหนึ่งเดือน ซึ่งในกรอบเวลานี้จะมีการเติมเต็มสินค้ามากกว่าหนึ่งครั้งในช่วงพิจารณา
  - กรอบเวลาอนันต์ (Infinite) มีลักษณะกรอบระยะเวลาในการพิจารณาปัญหาที่มาก โดยลักษณะนี้จะเหมาะกับปัญหาที่มีต้องการวิเคราะห์ในภาพรวม เช่นการมองปัญหาในระดับกลยุทธ์
- อุปสงค์ (Demand) คือลักษณะความต้องการสินค้าในการเติมเต็มสินค้า แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ
  - อุปสงค์แบบแน่นอน (Deterministic) ลักษณะนี้จะมีปริมาณความต้องการสินค้าที่แน่นอน
  - อุปสงค์แบบไม่แน่นอน (Stochastic) ลักษณะนี้จะมีความผันแปรของอุปสงค์ ซึ่งทำให้ไม่สามารถทราบปริมาณความต้องการที่แน่นอน ซึ่งการวิเคราะห์อุปสงค์ลักษณะนี้อาจต้องใช้การวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อใช้ในการคาดการณ์ปริมาณสินค้าที่จะต้องเติมเต็มในแต่ละครั้ง
- รูปแบบของโครงข่าย (Topology) หมายถึงรูปแบบของระบบโครงข่ายการขนส่งสินค้า ซึ่งรูปแบบของโครงข่ายนั้นจะจำแนกออกเป็นสองส่วนคือส่วนของต้นทาง และส่วนของปลายทาง ซึ่งส่วนของต้นทางนั้นอาจจะเป็นโรงงานหรือศูนย์การกระจายสินค้า และส่วนของปลายทางอาจเป็นศูนย์กระจายสินค้าย่อยหรือลูกค้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้สนใจต่อปัญหา โดยรูปแบบของโครงข่ายแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ
  - หนึ่งต้นทางต่อหนึ่งปลายทาง (One to One) ลักษณะนี้จะมีรูปแบบโครงข่ายเป็นหนึ่งต้นทางต่อหนึ่งปลายทาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- หนึ่งต้นทางต่อหลายปลายทาง (One to Many) ลักษณะนี้จะมีรูปแบบโครงข่ายเป็นหนึ่งต้นทางต่อหลายปลายทาง
- หลายต้นทางต่อหลายปลายทาง (Many to Many) ลักษณะนี้จะมีรูปแบบโครงข่ายเป็นหลายต้นทางต่อหลายปลายทาง

- การเดินรถ (Routing) หมายถึงลักษณะของการเดินรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้า แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ
  - ขนส่งตรง (Direct) ลักษณะนี้จะมีการขนส่งโดยวิ่งจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางเพียงจุดเดียว และวิ่งกลับมายังจุดต้นทาง
  - ขนส่งหลายราย (Multiple) ลักษณะนี้จะมีการขนส่งโดยวิ่งจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางซึ่งอาจมากกว่าหนึ่งจุด และจึงค่อยวิ่งกลับมายังจุดต้นทาง
  - ขนส่งแบบต่อเนื่อง (Continuous) ลักษณะนี้จะมีการขนส่งโดยวิ่งจากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางซึ่งอาจมากกว่าหนึ่งจุด แต่ลักษณะนี้จะไม่จำเป็นต้องวิ่งกลับมาที่จุดต้นทาง
- ระดับสินค้าคงคลัง (Inventory) หมายถึงรูปแบบของการจัดการสินค้าคงคลัง แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ
  - สินค้าคงคลังแบบคงที่ (Fixed) ระดับสินค้าคงคลังประเภทนี้จะมีการตอบสนองที่เพียงพอ โดยจะกำหนดให้ระดับสินค้าคงคลังไม่ต่ำกว่าระดับคงที่ ที่กำหนดไว้
  - สินค้าคงคลังแบบขาด (Stock out) การกำหนดยอมให้มีปริมาณสินค้าคงคลังที่ไม่เพียงพอต่ออุปสงค์
  - สินค้าคงคลังแบบเร่งด่วน (Lost Sale) การกำหนดยอมให้มีปริมาณสินค้าคงคลังที่ไม่เพียงพอต่ออุปสงค์ แต่จะต้องทำการขนส่งปริมาณสินค้าที่ในส่วนที่ไม่เพียงพออย่างเร่งด่วน
  - สินค้าคงคลังแบบค้างส่ง (Back Order) การกำหนดยอมให้มีปริมาณสินค้าคงคลังที่ไม่เพียงพอต่ออุปสงค์ แต่จะต้องทำการขนส่งปริมาณสินค้าที่ในส่วนที่ไม่เพียงพอ
- ประเภทยานพาหนะ (Fleet Composition) หมายถึงประเภทของยานพาหนะที่ใช้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ยานพาหนะประเภทเดียว (Homogeneous) เป็นลักษณะปัญหาที่มีการใช้ยานพาหนะในการขนส่งประเภทเดียว คือมีความเหมือนกันทุกคุณลักษณะ เช่น ต้นทุน ความเร็ว ปริมาณสินค้าที่บรรทุก ระยะเวลาในการทำงาน เป็นต้น
- ยานพาหนะหลายประเภท (Heterogeneous) เป็นลักษณะปัญหาที่มีการใช้ยานพาหนะในการขนส่งหลายประเภท คือยานพาหนะที่ใช้มีความแตกต่างกันของคุณลักษณะ

- จำนวนยานพาหนะ (Fleet Size) หมายถึงจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ในปัญหา แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ
  - ยานพาหนะคันเดียว (Single) เป็นลักษณะปัญหาที่มีการใช้ยานพาหนะในการขนส่งเพียงคันเดียว
  - ยานพาหนะหลายคัน (Multiple) เป็นลักษณะปัญหาที่ใช้ยานพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในการขนส่ง แต่มีจำนวนยานพาหนะในการใช้ที่จำกัด
  - ยานพาหนะไม่จำกัด (Unconstrained) เป็นลักษณะปัญหาที่ใช้ยานพาหนะมากกว่าหนึ่งคันในการขนส่ง และมีจำนวนยานพาหนะในการใช้ที่ไม่จำกัด

โดยรูปแบบปัญหาของงานวิจัยชิ้นนี้นั้นเป็นการพิจารณาการขนส่งจากหนึ่งผู้ผลิตไปยังหลายผู้บริโภค (Topology : One to Many) โดยมีกรอบระยะเวลาในการพิจารณาปัญหาที่แน่นอน (Time : Finite) ผู้บริโภคนั้นมีอุปสงค์แบบแน่นอนซึ่งทราบได้แน่ชัด (Demand : Deterministic) มีการกำหนดให้ปริมาณสินค้าขั้นต่ำเพื่อให้ปริมาณสินค้าพอต่อเพียงกับอุปสงค์ของผู้บริโภคในแต่ละช่วงเวลา (Inventory : Fixed) โดยยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งนั้นมีคันเดียว (Fleet Size : Single) มียานพาหนะเพียงประเภทเดียว (Fleet Composition : Homogeneous) และมีการขนส่งแบบหลายราย (Routing : Multiple)

2.2 วิธีในการแก้ปัญหา

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น สามารถสรุปวิธีในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

2.2.1 วิธีแม่นตรง

วิธีแม่นตรง (Exact Solution Approach) เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยของปัญหา ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถหาผลเฉลยโดยที่ดีที่สุดได้ แต่วิธีการนี้จะใช้ระยะเวลาและหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลที่มาก เหมาะกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปวิธีการหลัก ๆ ได้ดังนี้

2.2.1.1 วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต

วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) นั้นเป็นวิธีมาตรฐานที่นิยมใช้อย่างมากในการหาผลเฉลยที่มีค่าดีที่สุด หรือผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีการที่จำลองขึ้น ซึ่งมักนำมาช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ต้องการตัวแปรบางส่วนที่มีค่าเป็นจำนวนเต็ม โดยมีขั้นตอนในการทำงานมีดังนี้

1) ผ่อนคลายปัญหาที่สนใจ ขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาปัญหาที่สนใจให้อยู่ในสมการกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)
2) หาขอบเขตค่าที่ดีที่สุด ขั้นตอนนี้จะทำการแก้ปัญหาที่ได้จากการผ่อนคลายในขั้นตอนที่ 1 เพื่อนำมาใช้เป็นค่าที่ดีที่สุดของปัญหา
3) กำหนดผลเฉลยเบื้องต้น ขั้นตอนนี้ทำการกำหนดผลเฉลยในเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการแตกกิ่งเพื่อใช้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพผลเฉลยที่ได้กับผลเฉลยเบื้องต้นในแต่ละขั้นของการแตกกิ่ง
4) แตกกิ่งปัญหา ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ในส่วนของตัวแปรที่ต้องการค่าจำนวนเต็มแต่มีลักษณะผลเฉลยที่ได้เป็นจำนวนจริง และทำการพิจารณาปัญหาออกเป็นสองปัญหาโดยการลดค่าและเพิ่มค่าให้เขาสู่จำนวนเต็มทั้งสองที่ใกล้เคียงคำตอบ
5) ตรวจสอบเงื่อนไขการยกเลิกการแตกกิ่ง ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบผลเฉลยที่ได้มาจากการแตกกิ่งของปัญหา โดยมีเงื่อนไขการยกเลิกการแตกกิ่งก็ต่อเมื่อ
    ก) ผลเฉลยในส่วนที่ต้องการให้เป็นจำนวนเต็มทั้งหมดเป็นจำนวนเต็ม
    ข) คุณภาพของผลเฉลยใหม่ที่ได้จะต้องไม่แย่กว่าผลเฉลยเดิมที่มีอยู่
6) ทำการวนซ้ำขั้นตอนที่ 4 และ 5

7) เปรียบเทียบคุณภาพผลเฉลย ขั้นตอนนี้จะทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่หามาได้กับผลพื้นฐานที่มีอยู่ ถ้าผลเฉลยที่หามาได้มีค่าที่ดีกว่าผลเฉลยพื้นฐาน ก็จะทำการกำหนดให้ผลเฉลยผลเฉลยที่หามาได้เป็นผลเฉลยพื้นฐานใหม่ ถ้าไม่ให้เก็บผลเฉลยเดิมไว้ โดยจะหยุดเมื่อผลเฉลยที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตที่ดีที่สุด หรือเงื่อนไขอื่น ๆ

งานวิจัยของ ณัฐกาญจน์ (2552) และ Hanczar (2012) ได้ใช้นำวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเข้ามาช่วยในการหาผลเฉลยปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง ณัฐกาญจน์ (2552) ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วน เพื่อหาผลเฉลยปัญหาการจัดการเส้นทางและสินค้าคงคลังของบริษัทขนส่งชิ้นส่วน ที่ขนส่งสินค้าจากโรงงาน (1 โรงงาน) ไปยังบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน (6 ถึง 10 ราย) โดยทำการทดลองทั้งหมด 10 กลุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำผลเฉลยที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอผลลัพธ์ที่ได้พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้าได้ 8.7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับรูปแบบเดิม แต่ใช้ระยะเวลาในการหาผลเฉลยที่นานมาก โดยสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (บริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน 10 ราย) ใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาถึง 12 ชั่วโมง Hanczar (2012) ได้ใช้แตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาโครงข่ายการขนส่งน้ำมันในโปแลนด์ของรถขนส่งน้ำมันในโปแลนด์ โดยที่ลักษณะอัลกอริทึมซึ่งมีลักษณะการทำงานคล้ายกับการจัดกลุ่มของลูกค้าและจัดเส้นทาง (Cluster First, Route Second) ซึ่งสำหรับผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีการหาผลเฉลยมีประสิทธิภาพที่ดี โดยสามารถลดระยะทางในการขนส่งได้ 11 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลาในการหาผลเฉลยไม่ถึง 25 วินาที

2.2.1.2 วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์

วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ (Lagrangian Relaxation) เป็นวิธีการที่มีแนวคิดคือเนื่องจากปัญหาทางคณิตศาสตร์นั้น จะประกอบไปด้วยเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนน้อย และเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนมาก วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์เป็นวิธีที่ทำการปลดเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนออกจากการพิจารณาและนำไปหักออกจากสมการจุดประสงค์ เพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าขอบเขตที่ดีที่สุดได้ง่ายขึ้น โดยสามารถยกตัวอย่างขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

1) กำหนดให้สมการจุดประสงค์คือ สมการที่ (2.15) และเงื่อนไขคือ อสมการ (2.16) ถึง (2.18)

Minimize

$$z = \mathrm{C}x \tag{2.15}$$

Subject to

$$\mathrm{A}x \leq \mathrm{b} \tag{2.16}$$

$$\mathrm{D}x \geq \mathrm{d} \tag{2.17}$$

$$x \in \{0, 1\} \tag{2.18}$$

โดยที่ $\mathrm{A}, \mathrm{C}, \mathrm{D}, \mathrm{b}$ และ d เป็นจำนวนเต็ม

2) เปลี่ยนปัญหาให้เป็นรูปแบบวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ (Lagrangian Relaxation Problem) ทำการปลดสมการที่มีความซับซ้อนออก โดยสมมติให้อสมการ (2.16) เป็นเงื่อนไขที่มีความซับซ้อน จากนั้นนำมาหักจากสมการวัตถุประสงค์ (2.15) ซึ่งจะได้สมการวัตถุประสงค์ใหม่ดังสมการ (2.19)

Minimize

$$L(\lambda) = \mathrm{C}x + \lambda(\mathrm{A}x - \mathrm{b}) \tag{2.19}$$

Subject to

$$\mathrm{D}x \geq \mathrm{d} \tag{2.20}$$

$$x \in \{0, 1\} \tag{2.21}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทั้งนี้ลักษณะเครื่องหมายเงื่อนไขที่ทำผ่อนคลาย ก็จะมีผลต่อการเขียนรูปแบบสมการวัตถุประสงค์ใหม่เช่นกัน โดยหากเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายมีเครื่องหมายเป็นมากกว่าเท่ากับ $(\mathrm{A}x \geq \mathrm{b})$ จะได้สมการวัตถุประสงค์ใหม่ดังสมการ (2.22) และหากเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายมีเครื่องหมายเป็นเท่ากับ $(\mathrm{A}x = \mathrm{b})$ จะได้สมการวัตถุประสงค์ใหม่ดังสมการ (2.23)

Minimize

$$L(\lambda) = \mathrm{C}x - \lambda(\mathrm{A}x - \mathrm{b}) \tag{2.22}$$

Minimize

$$L(\lambda) = \mathrm{C}x + \lambda(\mathrm{A}x - \mathrm{b}) \tag{2.23}$$

3) แก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์ (Lagrangian Multiplier Problem) โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวคูณลากรางจ์ (Lagrangian Multiplier : λ) เพื่อหาค่าที่สูงที่สุดจากฟังก์ชันลากรางจ์ดังสมการ (2.24)

$$L^* = \max\{L(\lambda) : \lambda \geq 0\} \quad (2.24)$$

ทั้งนี้ลักษณะเครื่องหมายเงื่อนไขที่ทำผ่อนคลาย ก็จะมีผลต่อการกำหนดทิศทางของเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์เช่นกัน โดยหากเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายมีเครื่องหมายเป็นมากกว่าเท่ากับ $(\mathrm{A}x \geq \mathrm{b})$ ก็จะกำหนดเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์ให้มากกว่าเท่ากับศูนย์ $(\lambda \geq 0)$ แต่หากเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายมีเครื่องหมายเป็นเท่ากับ $(\mathrm{A}x = \mathrm{b})$ ก็จะกำหนดเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์ให้ให้มีค่าเป็นทิศทางใดก็ได้ $(\lambda\ unsigned)$ โดยสำหรับการหาค่าตัวคูณลากรางจ์ที่เหมาะสมนั้น วิธีที่นิยมใช้ในการช่วยแก้ปัญหาคือ วิธีซับเกรเดียน (Subgradient) โดยมีหลักการคือทำการกำหนดค่าเริ่มต้นจากกำหนดค่าตัวคูณลากรางจ์ จากนั้นทำการปรับปรุงค่าของตัวคูณลากรางจ์ในแต่ละรอบที่ทำการพิจารณา ดังสมการ (2.25)

$$\lambda^{k+1} = \lambda^k - \theta_k(\mathrm{A}x - \mathrm{b}) \quad (2.25)$$

สำหรับเทคนิคในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ (step size) หรือ θ_k นั้นวิธีที่นิยมใช้ในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์จะมีอยู่สองเทคนิค คือ เทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิม (Traditional Step-size) และเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ (Held and Karp Step-size) ซึ่งถูกคิดค้นโดย Held and Karp (1970)

- แบบดั้งเดิม

  $\theta_k = 1/k$

  โดยที่ k คือ จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

- แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ

  $\theta_k = \frac{2(A - L(\lambda^k))}{\sum_1^n (\mathrm{A}x^k - \mathrm{b})^2}$

โดยที่ A คือ ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด , n คือ จำนวนของสมการที่ทำการผ่อนคลายออก และ k คือ จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

สำหรับวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ที่กล่าวไปในข้างต้นเป็นวิธีที่ใช้เพื่อช่วยในการหาขอบเขตของคำตอบออกมาเท่านั้น ไม่สามารถรับรองว่าผลเฉลยที่ออกมานั้นจะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ โดย Taarit and Hadj-Alounae (2010) ได้ใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการช่วยหาขอบเขตและสร้างผลเฉลยที่เป็นไปได้ของปัญหา โดยผู้วิจัยได้ทำการผ่อนคลายสมการข้อกำหนดที่มีการผูกกันของตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับระดับสินค้าคงคลังและการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งหลักจากปลดสมการข้อจำกัดออกไปนั้นทำให้สามารถแบ่งปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังออกมาได้เป็นปัญหาย่อย 2 ปัญหาคือ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ และปัญหาการเติมเต็มสินค้า จากนั้นทำการเพิ่มเงื่อนไขเพิ่มเติมลงไปในปัญหาย่อยที่ได้ทำการผ่อนคลายออกมาเพื่อสร้างผลเฉลยที่เป็นไปได้ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถหาผลเฉลยได้ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดมาก โดยใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหา (ปัญหามี 1 ผู้ผลิต 20 ผู้บริโภค และยานพาหนะ 6 คัน) ประมาณ 2 ชั่วโมง

2.2.2 วิธีฮิวริสติกส์

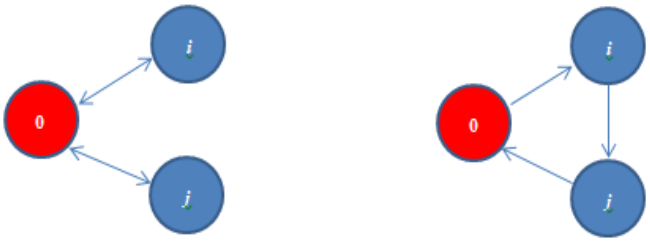
วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Approach) เป็นวิธีการหาผลเฉลยด้วยการใช้หลักการทางความคิดเพื่อประมาณหาผลเฉลยที่มีคุณภาพและสามารถยอมรับได้ ซึ่งประสิทธิภาพของผลเฉลยนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการคิด และผลเฉลยที่ได้และอาจไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.2.2.1 วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ถูกคิดค้นโดย Clarke and Wright (1964) เป็นวิธีการฮิวริสติกส์ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากเนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และใช้ระยะเวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่นาน หลักการของอัลกอริทึมแบบประหยัดนั้นจะทำการพิจารณาเส้นทางจากเส้นทางที่มีระยะทางประหยัด (Saving) มากที่สุดก่อน จากนั้นก็จะทำการเชื่อมต่อลูกค้าที่มีเส้นทางที่ประหยัดรองลงมา โดยทำการเชื่อมไปเรื่อย ๆ จนเต็มความจุของยานพาหนะที่ขนส่ง โดยจะมีกระบวนการทำงานดังนี้

1) ทำการคำนวณระยะทางที่ประหยัดที่เกิดขึ้น จาก $S_{ij} = C_{0i} - C_{ij} - C_{j0}$ โดยกำหนดให้ 0 คือสถานี ซึ่ง S_{ij} หมายถึงระยะทางประหยัดที่เกิดจากการรวม และลูกค้า i และ j เข้าไปอยู่ในเส้นทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการขนส่งตรง และ C_{ij} หมายถึงระยะทางหรือต้นทุนในการเดินทางจากลูกค้า i และ j โดยสามารถแสดงภาพของการรวมเส้นทาง ได้ดังรูปที่ 2.1



(ก่อนรวมเส้นทาง) (หลังรวมเส้นทาง)

รูปที่ 2.1 ภาพแสดงการรวมเส้นทาง

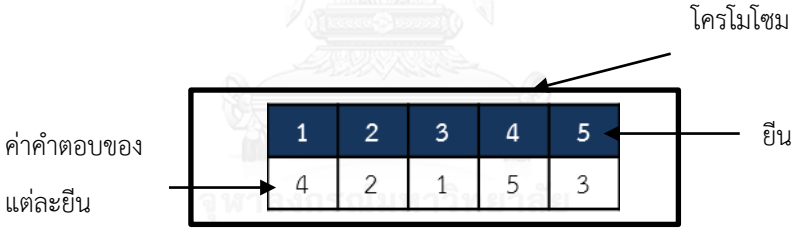
2) จัดลำดับระยะทางประหยัดจากมากไปน้อย
3) ทำการเพิ่มเชื่อมต่อเส้นทาง โดยทำการเพิ่มลูกค้าลงไปในเส้นทางจนกว่าจะเกินความจุของยานพาหนะ หรือเงื่อนไขอื่น ๆ
4) ทำการเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง
5) วนซ้ำขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนลูกค้าทุกคนอยู่ในเส้นทาง

งานวิจัยของ Baker and Ayechew (2003) และ อุบลรัตน์ (2551) นั้นได้นำวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดมาใช้ในการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Incumbent Solution) ก่อนที่จะนำผลเฉลยที่ได้มาพัฒนาต่อโดยวิธีการทางพันธุกรรม Taarit and Hadj-Alounae (2010) ได้ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเพื่อหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ หลังจากที่ได้แยกปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังออกเป็นสองส่วน จากทั้งสามงานวิจัยพบว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดนั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยยู่พอสมควร โดยผลเฉลยที่ได้มานั้นมีคุณภาพที่ดี (ห่างจากผลเฉลยที่ดีที่สุดประมาณ 15-30 เปอร์เซ็นต์) และใช้ระยะเวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยมาก

2.2.2.2 วิธีการทางพันธุกรรม

วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยจำลองการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีและไม่ดี โดย ระพีพันธ์ (2554) ได้จำแนกองค์ประกอบหลักของการถ่ายทอดพันธุกรรมมี 4 องค์ประกอบคือ การออกแบบโครโมโซมคำตอบ ประชากรเริ่มต้น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และวิธีการถ่ายทอดสายพันธุ์

1) การออกแบบโครโมโซมคำตอบ เป็นขั้นตอนที่ต้องการออกแบบเพื่อแทนผลเฉลยของคำตอบที่ต้องการ โดยในแต่ละโครโมโซมนั้นจะประกอบไปด้วยยีนหลาย ๆ ยีน ซึ่งเป็นตัวแทนของคำตอบย่อยในแต่ละผลเฉลย สำหรับลักษณะค่าคำตอบของโครโมโซมสามารถแบ่งค่าออกได้เป็นสามประเภทคือ โครโมโซมแบบไบนารี (Binary Encoding) โครโมโซมแบบลำดับ (Permutation Encoding) และโครโมโซมแบบใช้ค่า (Value Encoding) ซึ่งการออกแบบโครโมโซมที่เหมาะสมจะช่วยทำให้หาผลเฉลยได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

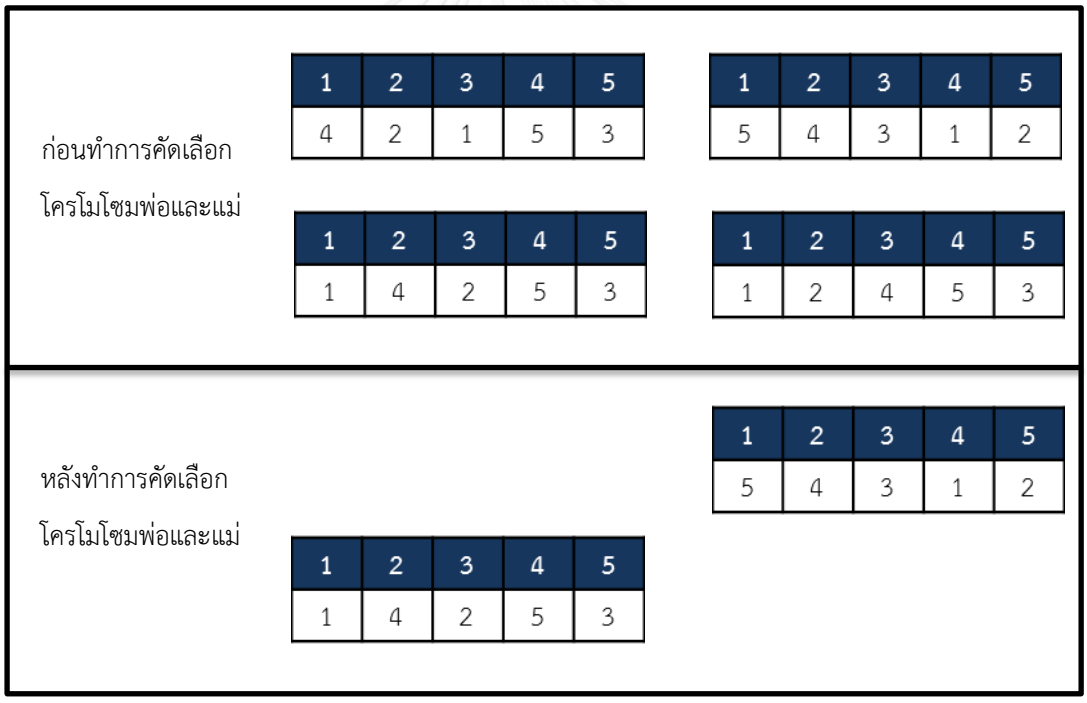


รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครโมโซมคำตอบตัวอย่างแบบลำดับ

2) การสร้างประชากรเริ่มต้น เป็นการสร้างประชากรเริ่มต้นเป็นกระบวนการที่มีขึ้นเพื่อสร้างผลเฉลยต้นแบบขึ้นมาก่อนเข้าสู่กระบวนการวิวัฒนาการ ซึ่งวิธีการสร้างประชากรต้นแบบอาจใช้วิธีเดียว หรือหลากหลายวิธีก็ได้
3) สมการแทนคำตอบ (Fitness Function) เป็นการประเมินค่าความเหมาะสมของผลเฉลย โดยอาจพิจารณาค่าความเหมาะสมของผลเฉลยจากสมการวัตถุประสงค์ หรือสมการอื่น ๆ ก็ได้ โดยนำมาใช้ในการสืบทอดสายพันธุ์ (Reproduction) ในการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่

4) วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดการคัดเลือก และพัฒนาของผลเฉลยโดยมีการบวนการคือ การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) และการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutation)

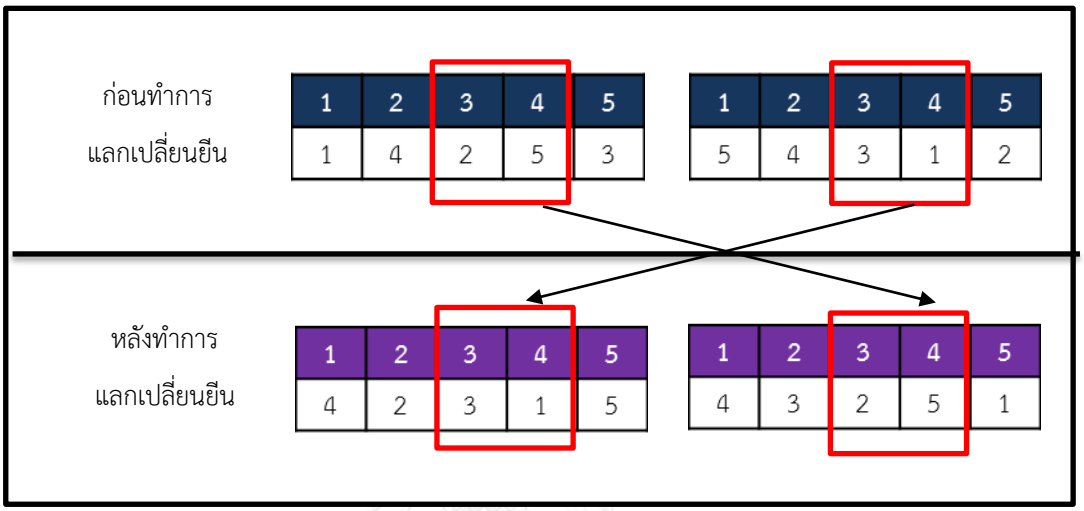
ก) การคัดเลือกสายพันธุ์ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเลือกโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ ซึ่งแต่ละโครโมโซมจะได้รับการประเมินโดยสมการแทนคำตอบ จากนั้นจะทำการคัดเลือกโครโมโซมจากวิธีการต่าง ๆ ที่เรากำหนด เช่น วิธีวงกลมรูเล็ท (Roulette Wheel Selection) วิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ (Tournament Selection) และวิธีการคัดเลือกแบบจัดลำดับ (Elitism Selection) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองกระบวนการคัดเลือกสายพันธุ์

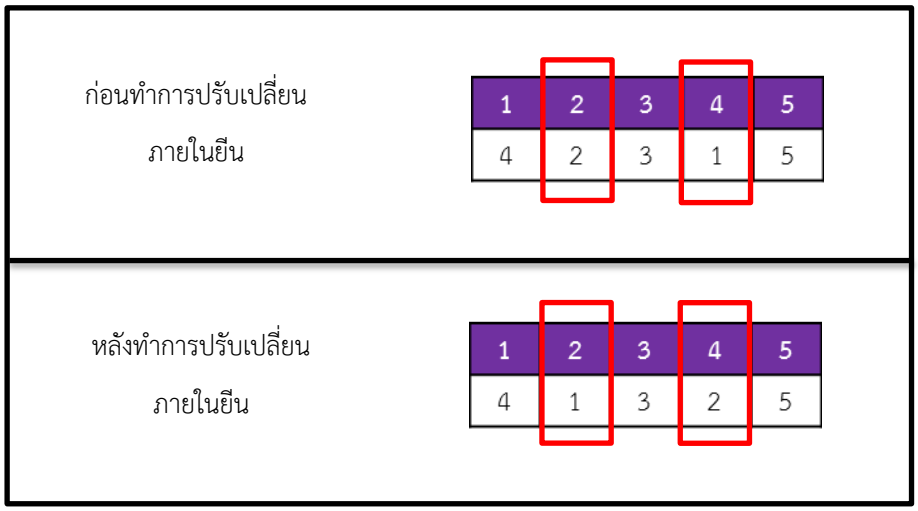
ข) การแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม เป็นกระบวนการซึ่งเกิดจากการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ เพื่อที่จะออกมาเป็นโครโมโซมลูก โดยอาจกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการแลกเปลี่ยน ซึ่งรูปแบบมีหลากหลายวิธีในการ

แลกเปลี่ยนเช่น การแลกเปลี่ยนภายในโครโมโซมหนึ่งจุด (Single Point Crossover) การแลกเปลี่ยนภายในโครโมโซมสองจุด (Two Points Crossover) และการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมแบบลำดับ (Order Crossover) เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้วิจัยในการคัดเลือกรูปแบบการแลกเปลี่ยนให้เหมาะสมกับปัญหา



รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมโดยใช้วิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมแบบลำดับ

ค) การปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม เป็นกระบวนการที่โครโมโซมลูกปรับเปลี่ยนยีนภายในตัวโครโมโซมเอง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นที่กำหนด โดยมีหลากหลายวิธีในการปรับเปลี่ยน เช่น การปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบอินเวอร์ส (Inversion Mutation) การปรับเปลี่ยนโครโมโซมแบบสลับ (Swap Mutation)



รูปที่ 2.5 ภาพจำลองการแลกเปลี่ยนยีนภาพในโครโมโซม โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนโครโมโซมแบบสลับ

จากกระบวนการข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนในการทำงานได้ดังนี้

1) สร้างประชากรเริ่มต้นด้วยวิธีต่าง ๆ เป็นจำนวน *N* คำตอบหรือโครโมโซมที่ต้องการ
2) คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชันเพื่อใช้ประเมินคำตอบ
3) สร้างโครโมโซมลูกจนกว่าจะได้เท่ากับจำนวน *N* โครโมโซมที่ต้องการ
   ก) ทำการคัดเลือกสายพันธุ์ โดยเลือกโครโมโซมต้นแบบ 2 โครโมโซม จาก *N* โครโมโซม โดยใช้การพิจารณาการเลือกจากฟิตเนสฟังก์ชัน
   ข) ทำการแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมระหว่างโครโมโซมต้นแบบ
   ค) ทำการปรับเปลี่ยนภายในยีนโครโมโซมลูก
4) แทนที่โครโมโซมต้นแบบด้วยโครโมโซมลูก
5) ทดสอบการแทนที่ด้วยคำตอบใหม่ที่ดีที่สุด โดยถ้าโครโมโซมต้นแบบมีค่าฟิตเนสฟังก์ชันที่ดีกว่าโครโมโซมลูกให้เก็บโครโมโซมต้นแบบไว้ และทำการวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ประชากรชุดใหม่ครบ หรือครบเงื่อนไขอื่น ๆ

งานวิจัยของ อุบลรัตน์ (2551) ได้นำวิธีการทางพันธุกรรมมาช่วยในการปรับปรุงผลเฉลยสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจำนวนผู้ผลิตหลายราย โดยในขั้นตอนแรกนั้นจะทำการจัดกลุ่มลูกค้าจากระยะทางระหว่างลูกค้ากับโรงงาน จากนั้นได้ใช้วิธีอัลกอรึทึมแบบประหยัดเข้ามาจัดเส้นทางของลูกค้าในกลุ่มที่ได้จากการแบ่ง และในขั้นตอนสุดท้ายนำผลเฉลยที่ได้จากทั้งสองขั้นตอน

แรกมาทำการปรับปรุงด้วยวิธีทางพันธุกรรม โดยทำการแบ่งยีนภายในโครโมโซมแต่ละตัวแทนลูกค้า โดยลักษณะของโครโมโซมที่ออกแบบจะมีตัวเลขที่บอกถึงผลเฉลยสามส่วน คือหมายเลขโรงงานที่รับสินค้า ลำดับในการรับสินค้า และเส้นทางในการรับสินค้า ต่อมาทำการเพิ่มความหลากหลายของประชากรโดยการนำผลเฉลยที่ได้เริ่มต้นมาทำการสลับ (Swap) คำตอบภายในจากนั้นก็เข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรมคือ คำนวณค่าฟิตเนสฟังก์ชันเพื่อใช้ประเมินคำตอบ สร้างโครโมโซมลูกแทนที่โครโมโซมต้นแบบด้วยโครโมโซม และทดสอบการแทนที่ด้วยคำตอบใหม่ที่ดีที่สุด ผลเฉลยที่ได้การใช้วิธีการทางพันธุกรรมนั้นมีคุณภาพที่ดีมาก และใช้ระยะเวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่นาน และสำหรับวิธีทางพันธุกรรมได้ได้ศึกษานั้นจะพบอีกว่าวิธีดังกล่าวนั้นมีความยืดหยุ่นที่ค่อนข้างสูงและสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอัลกอีทึมหรือโจทย์ปัญหาลักษณะอื่น ๆ ได้ง่าย

2.2.2.3 วิธีฝูงมด

วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization) เป็นวิธีการที่ได้รับแรงบันดาลใจมาจากวิธีการปฏิบัติการในการหาแหล่งอาหารของฝูงมด ซึ่งเป็นระบบการปฏิบัติงานที่น่าสนใจเนื่องจากมดสามารถที่จะแยกย้ายหาอาหารและหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปสู่แหล่งอาหาร โดยหลักการทำงานนี้จะเกิดขึ้นจากการที่มดปล่อยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เพื่อกระตุ้นหรือดึงดูดให้มดตัวอื่นเกิดความสนใจ โดยถ้าเส้นทางใดมีระยะทางที่สั้นมดเดินทางผ่านเป็นจำนวนมาก ก็จะทำให้ฟีโรโมนมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้น ทำให้มดตัวต่อไปจะมีโอกาสที่จะเลือกเดินทางในเส้นทางที่สั้นมากยิ่งขึ้น โดยการเลือกเดินเส้นทางในการเดินทางของฝูงมดนั้น จะเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าฟีโรโมนของทุกเส้นทางให้มีลักษณะที่ต่ำ โดยมีมดแต่ละตัวจะแทนผลเฉลยของคำตอบ จากนั้นทำการหาเส้นทางการเดินทางของซึ่งคือผลเฉลยของฝูงมดที่กำหนดไว้ จากการกำหนดความน่าสนใจ (Attractiveness) ซึ่งมาจากผลคูณของค่าฟีโรโมนและระยะทางแต่ละเส้นทาง และเมื่อมดทุกตัวทำการสร้างผลเฉลยสมบูรณ์แล้วก็ทำการปรับปรุงและเพิ่มค่าฟีโรโมนให้กับเส้นทางต่าง ๆ ที่มดได้เดินทางผ่าน จากนั้นก็จะทำการวนรอบการทำงานซ้ำจนกว่าจะมีการวนซ้ำครบตามจำนวนรอบที่กำหนด หรือได้คำตอบที่พึงพอใจ

งานวิจัยของ ณัฐกาญจน์ (2552) ได้เสนอวิธีฝูงมดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังของบริษัทขนส่งชิ้นส่วน โดยเสนอวิธีหลักการมิลค์รันในการเก็บสินค้าจากโรงงานไปยังบริษัทผู้จัดส่งชิ้นส่วน ทำการทดลองทั้งหมด 12 กลุ่มตัวอย่าง ตัวอย่างละ 6 ถึง 10 บริษัทขนส่ง ผลที่ได้พบว่าคุณภาพของผลเฉลยมีความแตกต่างกับวิธีแม่นตรงน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่ามีคุณภาพที่ดีมาก

อีกทั้งใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่น้อยกว่ามาก แต่ข้อเสียของวิธีการดังกล่าวคือมีความซับซ้อนของอัลกอริทึมและการทำงานที่มาก ทำให้นำประประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีอื่นได้ค่อนข้างยาก

สำหรับในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยขอเสนอการประยุกต์วิธีการพัฒนาผลเฉลยในรูปแบบใหม่ คือ การใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ ร่วมกับวิธีการทางพันธุกรรม เข้ามาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยคาดหวังว่าการประยุกต์ใช้สองวิธีดังกล่าวนั้นจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังได้ดียิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีในการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีในการศึกษาและดำเนินการวิจัยเพื่อใช้ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยวิธีการพัฒนาหาผลเฉลยที่ผู้วิจัยนำเสนอนั้นจะเป็นวิธีการที่สร้างขึ้นเพื่อต้องการที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตโดยเฉพาะ สามารถแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตที่ดีที่สุด (Best Bound) ของปัญหา ส่วนที่ของจะประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้น (Incumbent Solution) ซึ่งได้มาจากการแตกกิ่ง (Branch) ในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยสำหรับวิธีการศึกษานี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ

1) ขั้นตอนการทำงาน
2) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3) แบบจำลองวิธีพัฒนาหาผลเฉลย

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

สำหรับรายละเอียดของขั้นตอนการศึกษาสามารถแสดงได้ดังนี้

1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับรูปแบบ และข้อมูลที่จะใช้ในการวิจัย เพื่อที่จะทำการสร้างแบบจำลองให้สอดคล้องกับลักษณะของปัญหา
3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) เพื่อใช้ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง
4) สร้างและพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย โดยในส่วนนี้ผู้จัยจะทำการแบ่งวิธีการพัฒนาหาผลเฉลยของแบบจำลองออกเป็น

Chulalongkorn University

สองส่วน คือส่วนของพัฒนาวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ และส่วนของพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ก) พัฒนาวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ ผู้วิจัยจะใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ (Lagrangian Relaxation) ในการเข้ามาช่วยหาขอบเขตที่ดีที่สุดของปัญหา

ข) พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม ผู้วิจัยจะใช้วิธีทางพันธุกรรมในการช่วยพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้จากการหาผลลัพธ์แบบแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound)

5) ทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลอง โดยการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะและความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปร และจำนวนเงื่อนไขของแบบจำลอง ต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัย

6) ทดสอบประสิทธิภาพของแบบวิธีหาผลเฉลยที่พัฒนา โดยผู้จัยจะทำการแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ และส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ก) การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ โดยมีทดสอบอยู่สองขั้นตอน ในขึ้นแรกจะทำการพิจารณาเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผ่อนคลายก่อน หลังจากนั้นจะทำการทดสอบเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์เพิ่มเติม โดยใช้วิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์สองวิธีคือ วิธีปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิม และแบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ และนำมาทดสอบกับปัญหาตัวอย่างที่มีขนาดปัญหาที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อจำนวนสมการเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงไป

ข) การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยที่พัฒนา และนำมาทดสอบกับปัญหาที่มีคุณลักษณะแตกต่างกันคือ มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภค และความยาวของกรอบเวลาในการพิจารณา และต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของวิธีที่นำเสนอทั้งสอง โดยการเปรียบเทียบกับวิธีแม่นตรง (ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการหาผลเฉลยหนึ่งชั่วโมง) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอในด้านของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย และคุณภาพของผลเฉลยที่ได้
8) สรุปผลงานวิจัย

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เป็นการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังให้อยู่ในรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นนี้ผู้วิจัยจะนำแบบจำลองดังกล่าวไปทำการทดสอบในการหาผลเฉลยของปัญหาด้วยวิธีแม่นตรง และการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์

ข้อสมมติ

- ระยะทางระหว่างจุดมีลักษณะที่สมมาตร
- ผู้ผลิตมีเพียงแค่รายเดียว ผู้บริโภคหลายราย และแต่ละจุดไม่สามารถเป็นได้ทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค
- ความสามารถในการเก็บสินค้าของผู้ผลิตไม่ถูกนำมาพิจารณา โดยถือว่าผู้ผลิตมีความสามารถในการเก็บสินค้าที่ไม่จำกัด แต่ความสามารถในการจัดเก็บสินค้าของผู้บริโภคมีจำกัด
- ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า คำนวณจากระดับสินค้าคงคลัง ณ สิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา
- ต้นทุนในการขนส่งคำนวณจากระยะทางในการเดินทาง
- ยานพาหนะสามารถขนถ่ายสินค้าให้กับผู้บริโภคแต่ละรายได้เพียงหนึ่งครั้งต่อรายต่อช่วงเวลา
- ชนิดสินค้าที่พิจารณามีเพียงชนิดเดียว และไม่มีการเสียเวลาในการเติมเต็มสินค้า
- ยานพาหนะที่ใช้มีเพียงคันเดียว

ข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลของปัญหาที่ศึกษานั้นบางส่วนมาจากงานวิจัยของ Coelho and Laporte (2012) และนำมาดัดแปลงเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่ผู้วิจัยพิจารณา โดยมีลักษณะของข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

- พิกัดที่ตั้งของผู้ผลิต และผู้บริโภค
- ระยะทางจากจุดถึงจุด
- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บสินค้าของผู้ผลิตและผู้บริโภค
- ความจุของยานพาหนะ
- ความจุคลังสินค้าของผู้ผลิตและผู้บริโภค
- ปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของผู้บริโภค
- ปริมาณการผลิตสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของผู้ผลิต
- ช่วงเวลาในการพิจารณา

นิยามปัญหา

เป็นปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทาง วันที่ และปริมาณสินค้าในการขนส่ง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคภายในกรอบระยะเวลาที่กำหนด โดยก่อให้เกิดต้นทุนของการจัดการเดินรถและต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลังให้น้อยที่สุด

นิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์

เซต

T คือเซตของกรอบเวลาในการพิจารณา มี t เป็นดัชนี

U คือเซตของผู้ผลิต/ผู้บริโภค มี i, j เป็นดัชนี โดยกำหนดให้ 0 เป็นดัชนีแทนผู้ผลิต

พารามิเตอร์

C_{ij} คือต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการขนส่งจากผู้ผลิต/ ผู้บริโภค i ไปยังผู้ผลิต/ ผู้บริโภค j (บาท)

H_j คือต้นทุนในการเก็บสินค้าของผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *j* (บาท/ หน่วย)

U_j คือระดับสินค้าคงคลังสูงสุดของผู้บริโภค *j* (หน่วย)

P_0^t คือความสามารถในการผลิตของผู้ผลิตในช่วงเวลา *t* (หน่วย)

R_j^t คือความต้องการสินค้าของผู้บริโภคในช่วงเวลา *t* (หน่วย)

Q คือความจุของยานพาหนะ (หน่วย)

ตัวแปรตัดสินใจ

x_j^t คือจำนวนสินค้าที่ขนส่งไปยังผู้บริโภค *j* ในช่วงเวลา *t* (หน่วย)

y_{ij}^t คือตัวแปรการตัดสินใจของยานพาหนะในการขนส่ง โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมียานพาหนะมีการเดินทางในการขนส่งจากผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *i* ไปยังผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *j* ในช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

z_{ij}^t คือปริมาณสินค้าที่อยู่บนยนาพาหนะขณะเดินทางขนส่งจากผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *i* ไปยังผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *j* ในช่วงเวลา *t* (หน่วย)

inv_j^t คือระดับสินค้าคงคลังของผู้ผลิต/ ผู้บริโภค *j* ณ เวลาที่ *t* (หน่วย)

Chulalongkorn University

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Minimize

$$z = \sum_{t\in T}\sum_{j\in U}\sum_{i\in U}(C_{ij}z_{ij}^t) + \sum_{t\in T}\sum_{j\in U} H_j\, inv_j^t \qquad (3.1)$$

Subject to

$$inv_0^t = \sum_{a=1}^{t} P_0^s - \sum_{\substack{j\in U\\ j\neq 0}}\sum_{a=1}^{t} x_j^a + I_0^0\,, \forall t \in T \qquad (3.2)$$

$$inv_j^t = \sum_{a=1}^{t} x_j^a - \sum_{a=1}^{t} R_j^a + I_j^0, \forall t \in T, \forall j \in U, j \neq 0 \quad (3.3)$$

$$\sum_{a=1}^{t} x_j^a \leq U_j + \sum_{a=1}^{t} R_j^a - I_j^0, \forall t \in T, \forall j \in U, j \neq 0 \quad (3.4)$$

$$\sum_{\substack{i \in U \\ i \neq 0}} z_{0i}^t - \sum_{\substack{i \in U \\ i \neq 0}} z_{i0}^t = -\sum_{\substack{i \in U \\ i \neq 0}} x_i^t, \forall t \in T \quad (3.5)$$

$$\sum_{\substack{i \in U \\ i \neq 0}} z_{ij}^t - \sum_{i \in U} z_{ji}^t = x_j^t, \forall t \in T, \forall j \in U, j \neq 0 \quad (3.6)$$

$$\sum_{\substack{j \in U \\ j \neq 0}} y_{0j}^t \leq 1, \forall t \in T \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in U} y_{ij}^t - \sum_{i \in U} y_{ji}^t = 0, \forall t \in T, \forall j \in U \quad (3.8)$$

$$z_{ij}^t \leq Q.y_{ij}^t, \forall i, j \in U, \forall t \in T \quad (3.9)$$

$$x_j^t \geq 0, \forall j \in U, \forall t \in T \quad (3.10)$$

$$y_{ij}^t \in \{0,1\}, \forall i, j \in U, \forall t \in T \quad (3.11)$$

$$z_{ij}^t \geq 0, \forall i, j \in U, \forall t \in T \quad (3.12)$$

$$inv_j^t \geq 0, j \in U, \forall t \in T \quad (3.13)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการ (3.1) คือสมการวัตถุประสงค์ ต้องการหาต้นทุนรวมของการขนส่ง และการจัดการสินค้าคงคลังให้ต่ำที่สุด โดยสมการจะประกอบไปด้วยสองพจน์คือ พจน์แรกจะเป็นต้นทุนในการขนส่ง และพจน์หลังเป็นต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง สมการ (3.2) และ (3.3) คือเงื่อนไขแสดงความสัมพันธ์ของระดับสินค้าคงคลังและจำนวนสินค้าที่ขนส่งของผู้ผลิตและผู้บริโภคตามลำดับ อสมการที่ (3.4) เป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังสูงสุดของผู้บริโภค ณ สิ้นช่วงเวลา สมการ (3.5) และ (3.6) เป็นเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหลของสินค้า ของผู้ผลิตและผู้บริโภคตามลำดับ อสมการ (3.7) และสมการ (3.8) เป็นเงื่อนไขกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยอสมการ (3.7) เป็นเงื่อนไขกำหนดจุดเริ่มต้นการเดินรถ โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นการเดินรถต้องออกจากผู้ผลิตเพียงเท่านั้น (3.8) เป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดความต่อเนื่องของเส้นทางการขนส่งเพื่อไม่ให้รถมีการหยุดวิ่งระหว่างเส้นทางและวิ่งกลับมาที่ผู้ผลิตเมื่อสิ้นช่วงเวลา อสมการ (3.9) เป็นเงื่อนไขที่ควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งไม่ให้

เกินความจุของยานพาหนะ และอสมการ (3.10), (3.11), (3.12) และ (3.13) เป็นเงื่อนไขที่ระบุถึงลักษณะของตัวแปรตัดสินใจ

3.3 แบบจำลองวิธีการพัฒนาหาผลเฉลย

สำหรับวิธีการที่นำมาใช้ในการพัฒนาผลเฉลยนั้น ผู้วิจัยขอเสนอการใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ ร่วมกับวิธีการทางพันธุกรรม โดยวิธีดังกล่าวจะเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตโดยเฉพาะ ซึ่งการวิธีพัฒนาที่นำเสนอนั้นสามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็นสองส่วน โดยในส่วนแรกผู้วิจัยจะใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการช่วยหาขอบเขตที่ดีที่สุด เพราะเนื่องจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นจะสามารถหยุดการพิจารณาหรือการทำงานได้ก็ต่อเมื่อความแตกต่างผลเฉลยที่ดีที่สุดที่พบกับขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบ (Optimality Gap) มีค่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นเราจึงคาดหวังว่าจะใช้วิธีดังกล่าวเข้ามาช่วยหาขอบเขตที่ดีที่สุดของปัญหาเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการหาขอบเขตที่ดีที่สุดและเพิ่มประสิทธิภาพของขอบเขต ของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตได้ดียิ่งขึ้น ในส่วนที่สองผู้วิจัยจะเสนอให้ใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้ซึ่งได้มาจากการแตกกิ่ง ในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ โดยคาดหวังว่าวิธีดังกล่าวสามารถพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้ให้มีคุณภาพของผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นเช่นกัน

3.3.1 แบบจำลองวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์

สำหรับส่วนแรก วิธีการที่นำมาใช้ในการพัฒนาผลเฉลยนั้นผู้วิจัยขอเสนอการใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์มาใช้ในการหาขอบเขตผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยหลักการทำงานสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกระบวนการหลัก ๆ สำหรับกระบวนการแรกจะทำการพิจารณาว่าชุดเงื่อนไขใดมีความเหมาะสมที่จะทำการผ่อนคลายก่อน จากนั้นจะทำการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขที่พิจารณา ทั้งนี้ผู้วิจัยจะกำหนดให้เลือกเงื่อนไขที่จะทำการผ่อนคลายเพียงเงื่อนไขเดียว (จากหลายชุดเงื่อนไข) เพื่อไม่ให้มีการผ่อนคลายของปัญหาที่มากเกินไป จากนั้นจะทำการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขที่พิจารณาและแก้ไขปัญหาตัวคูณลากรางจ์ โดยการแทนค่าตัวคูณลากรางจ์ด้วยวิธีซับเกรเดียนและปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์โดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิมจนกว่าจะครบจำนวนรอบการทำงานที่ต้องการ ส่วนที่สองหลังจากที่เราได้ชุดเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะทำการผ่อนคลาย (ผ่อนคลายเฉพาะ

ชุดเงื่อนไขซึ่งประเมินว่ามีความเหมาะสมที่สุดในการผ่อนคลาย) แล้วเราจะทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงพฤติกรรมของเทคนิคตัวคูณลากรางจ์ โดยศึกษาว่าเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์จะส่งผลกระทบต่อการหาขอบเขตอย่างไร จะทดสอบโดยการใช้เทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์สองวิธีคือการปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิมและวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ สำหรับขั้นตอนการทำงานสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) พิจารณาเงื่อนไขในการผ่อนคลาย ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการปลดเงื่อนไขที่มีสำคัญหรือความซับซ้อนของแบบจำลองออก (กำหนดให้เลือกผ่อนคลายจำนวนหนึ่งชุดเงื่อนไข) เพื่อให้การหาผลเฉลยของปัญหาการจัดการเส้นทางและสินค้าคงคลังให้ง่ายขึ้น โดยทั้งนี้จากการพิจารณาเงื่อนไขของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะพบว่ามีเงื่อนไขของแบบจำลองที่เข้าข่ายเงื่อนไขในการพิจารณาเพื่อผ่อนคลายอยู่สองชุด คือชุดของเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าคือเงื่อนไขที่ (3.5) และ (3.6) และชุดของเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งคือเงื่อนไขที่ (3.9) โดยสาเหตุที่พิจารณาผ่อนคลายเงื่อนไขทั้งสองชุดนั้น เนื่องจากเงื่อนไขทั้งสองมีการผูกกันระหว่างสองชุดตัวแปร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เงื่อนไขทั้งสองนั้นมีการผูกกับตัวแปร y_{ij}^t ซึ่งคือตัวแปรการตัดสินใจในส่วนของการจัดเส้นทางเดินรถ ดังนั้นหากปลดเงื่อนไขทั้งสองชุด จะสามารถช่วยทำให้ปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินรถสามารถแยกการพิจารณาออกจากแบบจำลองตั้งต้นได้จึงทำให้ช่วยลดความซับซ้อนของแบบจำลองได้เป็นอย่างมาก โดยสำหรับชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า จะเป็นเงื่อนไขที่มีการผูกกันระหว่าง z_{ij}^t และ x_j^t ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง และการเติมเต็มสินค้าตามลำดับ ขณะที่ชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งมีการผูกกันระหว่างตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^t ซึ่งเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเดินรถ และปริมาณสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะตามลำดับ

2) ผ่อนคลายปัญหาแบบลากรางจ์ ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการปลดเงื่อนไขที่มีสำคัญหรือความซับซ้อนที่ได้ทำการคัดเลือกออก ซึ่งหลังจากการปลดเงื่อนไขจะได้สมการจุดประสงค์ใหม่ของการผ่อนคลายชุดของเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าคือ (3.14) โดยที่มีตัวคูณลากรางจ์ของเงื่อนไขดังกล่าวคือ $\lambda_j^t, \forall t \in T, \forall j \in U$

และสมการจุดประสงค์ใหม่ของการผ่อนคลายเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าคือ (3.15) โดยมีตัวคูณลากรางจ์คือ $\lambda_{ij}^{t}, \forall t \in T\ , \forall i,j \in U$

- สมการจุดประสงค์ใหม่หลังผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า

  Minimize

$$L(\lambda_j^t) = \sum_{t\epsilon T}\sum_{j\epsilon U}\sum_{i\epsilon U}(C_{ij} - \lambda_j^t + \lambda_i^t)z_{ij}^t + \sum_{t\epsilon T}\sum_{j\epsilon U} H_j\, inv_j^t + \sum_{t\epsilon T}\sum_{j\epsilon U}\lambda_j^t\, x_j^t - \sum_{t\epsilon T}\lambda_0^t \sum_{j\epsilon U} x_j^t \quad (3.14)$$

  Subject to

  (3.2) - (3.4), (3.7) - (3.13)

- สมการจุดประสงค์ใหม่หลังผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง

  Mininize

$$L(\lambda_{ij}^t) = \sum_{t\epsilon T}\sum_{j\epsilon U}\sum_{i\epsilon U}(C_{ij} - \lambda_{ij}^t Q)y_{ij}^t + \sum_{t\epsilon T}\sum_{j\epsilon U} H_j\, I_j^t + \lambda_{ij}^t z_{ij}^t \quad (3.15)$$

  Subject to

  (3.2) - (3.8), (3.10) - (3.13)

3) แก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวคูณลากรางจ์ เพื่อหาค่าที่สูงที่สุดจากฟังก์ชันลากรางจ์ โดยสำหรับปัญหาตัวคูณลากรางจ์ที่ทำการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า จะหาฟังก์ชันสูงสุดดังสมการ (3.16) ถึง (3.18) และสำหรับปัญหาตัวคูณลากรางจ์ที่ทำการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าขนส่งจะหาฟังก์ชันสูงสุดดังสมการ (3.19) และ (3.20)

- แก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์ของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลสินค้า

$$L^* = max\{L(\lambda_j^t) : \lambda_j^t = unsigned \\ , \forall t \in T \, , \forall j \in U\} \tag{3.16}$$

Subject to

ในกรณีที่เป็นเงื่อนไขที่ (3.5)

$$(\lambda_j^t)^{k+1} = (\lambda_j^t)^k + \theta_k(\sum_{\substack{j \in U \\ j \neq 0}} (z_{0j}^t)^k - \sum_{\substack{j \in U \\ j \neq 0}} (z_{j0}^t)^k + \sum_{\substack{j \in U \\ j \neq 0}} (x_j^t)^k) \tag{3.17}$$

ในกรณีที่เป็นเงื่อนไขที่ (3.6)

$$(\lambda_j^t)^{k+1} = (\lambda_j^t)^k + \theta_k(\sum_{i \in U} (z_{ij}^t)^k - \sum_{i \in U} (z_{ji}^t)^k - (x_j^t)^k) \tag{3.18}$$

- แก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์ของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้า

$$L^* = max\{L(\lambda_{ij}^t) : \lambda_{ij}^t \geq 0 \, , \forall t \in T \, , \forall i,j \in U\} \tag{3.19}$$

Subject to

$$(\lambda_{ij}^t)^{k+1} = (\lambda_{ij}^t)^k + \theta_k((z_{ij}^t)^k - (Qy_{ij}^t)^k) \tag{3.20}$$

จากที่กล่าวมาในข้างต้น ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขใดจะมีความเหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพในการหาขอบเขตที่ดีที่สุด โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิม

- วิธีการปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สำหรับวิธีในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้น การปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ของการผ่อนคลายทั้งสองเงื่อนไขจะเหมือนกันคือ กำหนดให้

θ_k หาได้จาก 1 / k

โดยที่ k โดยที่จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

4) ตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาคือครบจำนวนรอบการทำงานหรือวนซ้ำตามที่กำหนด ซึ่งกำหนดให้เป็น 10,000 รอบการทำงานหรือการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์
5) เลือกเงื่อนไขในการผ่อนคลาย จากที่กล่าวมาในข้างต้นกระบวนการนี้ของผู้วิจัยจะกำหนดให้ใช้เทคนิคในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมในการคัดเลือกเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผ่อนคลายก่อน (เลือกระหว่างการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า และ เงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าขนส่ง) โดยผู้วิจัยจะนำผลของขอบเขตที่ได้ในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ของการผ่อนคลายทั้งสองเงื่อนไขมาเปรียบเทียบกันและคัดเลือกเพียงเงื่อนไขเดียว ว่าเงื่อนไขใดจะมีความเหมาะสมในการผ่อนคลายมากที่สุด
6) ทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ คือเมื่อทำการคัดเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผ่อนคลายได้แล้ว จะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์เพิ่มเติม โดยทำการทดสอบเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ 2 วิธี คือเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิม และเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ เพื่อศึกษาพฤติกรรมว่าเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์รูปแบบใด จะให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีกว่ากัน

- วิธีการปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิม

  สำหรับวิธีในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้น การปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ของทั้งสองเงื่อนไขจะเหมือนกันคือ กำหนดให้

  θ_k หาได้จาก 1 / k

  โดยที่ k โดยที่จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

- วิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ
  - การปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลสินค้าของสินค้า

    ในกรณีที่เป็นเงื่อนไขที่ (3.5)

    $$\theta_k = \frac{2(A - L(\lambda_j^t))}{\sum_1^n(\sum_{j\in U}\left(z_{0j}^t\right)^k - \sum_{j\in U}\left(z_{j0}^t\right)^k + \sum_{j\in U}\left(x_j^t\right)^k)}$$

    ในกรณีที่เป็นเงื่อนไขที่ (3.6)

    $$\theta_k = \frac{2(A - L(\lambda_j^t))}{\sum_1^n(\sum_{i\in U}\left(z_{ij}^t\right)^k - \sum_{i\in U}\left(z_{ji}^t\right)^k - \left(x_j^t\right)^k)}$$

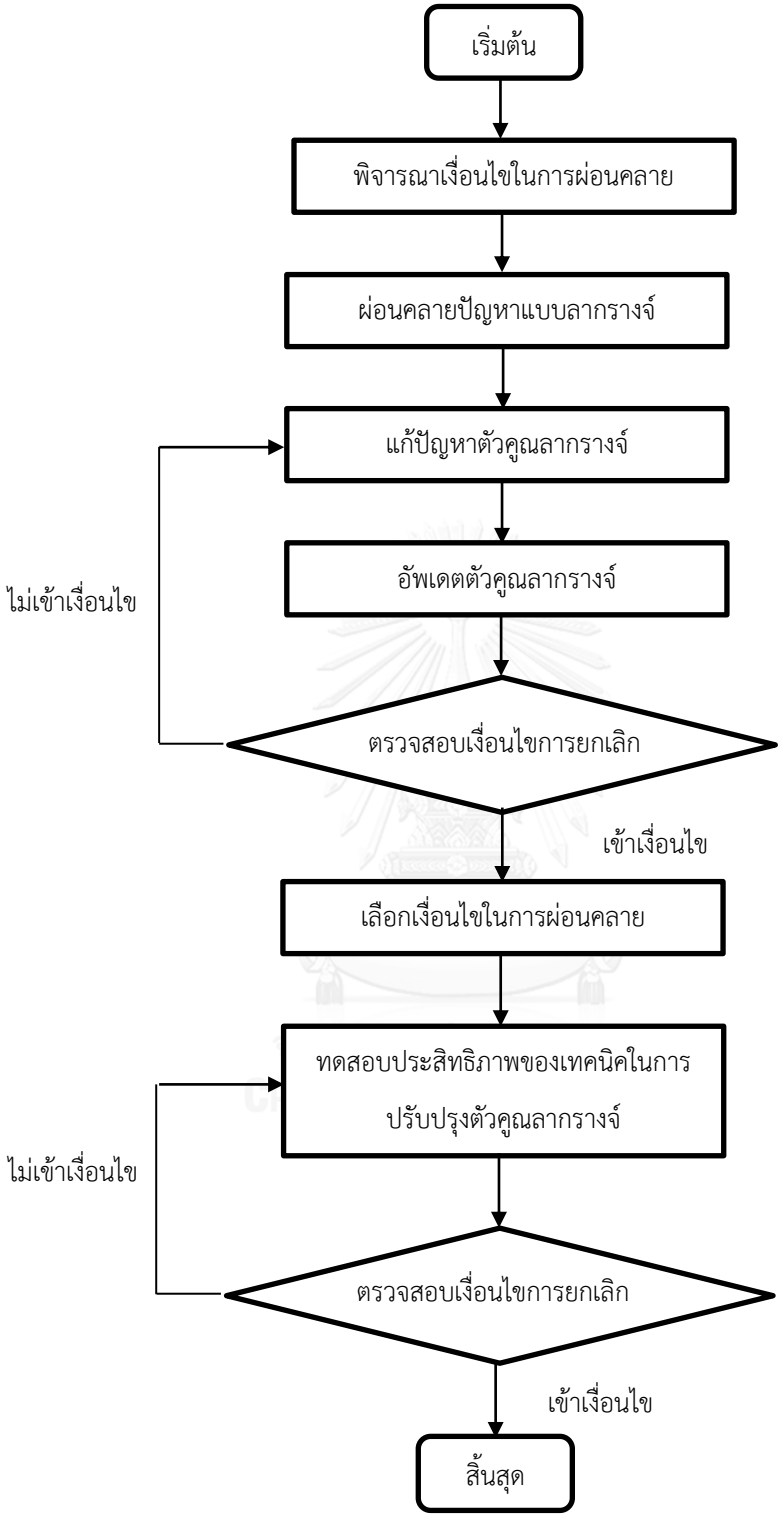
    กำหนดให้ A ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด และ n คือจำนวนของสมการที่ทำการผ่อนคลายออก k โดยที่จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์
  - การปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าขนส่ง

    $$\theta_k = \frac{2(A - L(\lambda_{ij}^t))}{\sum_1^n((z_{ij}^t)^k - (Qy_{ij}^t)^k)}$$

    กำหนดให้ A ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด และ n คือจำนวนของสมการที่ทำการผ่อนคลายออก k โดยที่จำนวนรอบในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

7) ตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาคือครบจำนวนรอบการทำงานหรือวนซ้ำตามที่กำหนด ซึ่งกำหนดให้เป็น 10,000 รอบการทำงานหรือการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์

จากขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการพัฒนาหาผลเฉลยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนผังการดำเนินการได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการหาขอบเขตของผลเฉลย
ด้วยวิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์

3.3.2 แบบจำลองวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ในส่วนนี้ที่สองผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางการเดินรถ ของผลเฉลยเบื้องต้นซึ่งได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตและกำหนดระยะเวลาในการแก้ไขปัญหา จากนั้นจะนำผลเฉลยเบื้องต้นเฉพาะในส่วนของตัวแปร x_j^t ซึ่งบอกถึงปริมาณสินค้าที่ส่งให้กับลูกค้าในช่วงเวลา มาทำการจัดเส้นทางการเดินรถโดยวิธีการทางพันธุกรรม โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

1) หาผลเฉลยเบื้องต้น แก้ปัญหาตัวอย่างที่สนใจด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต ตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนดเพื่อหาผลเฉลยเบื้องต้น
2) ออกแบบโครโมโซมคำตอบ ทำการกำหนดลักษณะของโครโมโซมโดยกำหนดให้มีโครโมโซมแบบลำดับ โดยมีความยาวของโครโมโซมเท่ากับจำนวนเมือง และยีนแต่ละตัวแสดงถึงลำดับที่ลูกค้าได้รับสินค้า
3) กำหนดสมการแทนค่าคำตอบ ทำการกำหนดเพื่อใช้วัดความเหมาะสมของ โดยกำหนดสมการแทนค่าคำตอบคือ ดังสมการที่ (3.21)

$$F(w) = 1 - \frac{T_w}{10{,}000} \tag{3.21}$$

โดยที่ $F(w)$ คือค่าฟิตเนสฟังก์ชัน, T_w คือต้นทุนของผลเฉลยที่ได้
และ w แทนโครโมโซมที่ทำการพิจารณา

4) สร้างประชากรเริ่มต้น ทำการสร้างประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการวิวัฒนาการของผลเฉลย โดยกำหนดให้มีจำนวนประชากรเริ่มต้นเท่ากับ 10 เท่าของจำนวนเมืองที่ทำการพิจารณา จากนั้นใช้วิธีโดยใช้วิธีสุ่มและสลับตำแหน่งเข้ามาช่วยในการเพิ่มความหลากหลายของประชากร
5) ประเมินค่าฟิตเนสของโครโมโซมพ่อและแม่ ทำการประเมินคุณภาพของโครโมโซมต้นแบบทั้งหมดก่อนเข้ากระบวนการถ่ายทอดพันธุกรรม
6) การถ่ายทอดทางพันธุกรรม เป็นการดำเนินการเพื่อถ่ายทอดประชากรจากโครโมโซมต้นแบบหรือโครโมโซมพ่อและแม่ที่ได้จากประชากรเริ่มต้น ไปสู่โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จาก

การถ่ายทอดประชากร โดยผ่านกระบวนการ คัดเลือกสายพันธุ์ แลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม และการผ่าเหล่า

ก) คัดเลือกสายพันธุ์ กำหนดให้ใช้วิธีการคัดเลือกแบบจัดลำดับในการคัดเลือกโครโมโซมพ่อและแม่ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถทำให้สามารถรักษาโครโมโซมที่ดีในแต่ละเจเนเรชั่นไว้ได้ และวิธีดังกล่าวยังใช้ระยะเวลาในการทำงานที่รวดเร็ว

ข) แลกเปลี่ยนยีน กำหนดให้ใช้วิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซมแบบลำดับ ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากสำหรับโครโมโซมแบบลำดับ เนื่องจากทำการแลกเปลี่ยนได้รวดเร็ว และไม่ก่อให้เกิดการซ้ำกันภายในยีนหลังจากการแลกเปลี่ยน โดยที่กำหนดความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนเท่ากับ 0.9

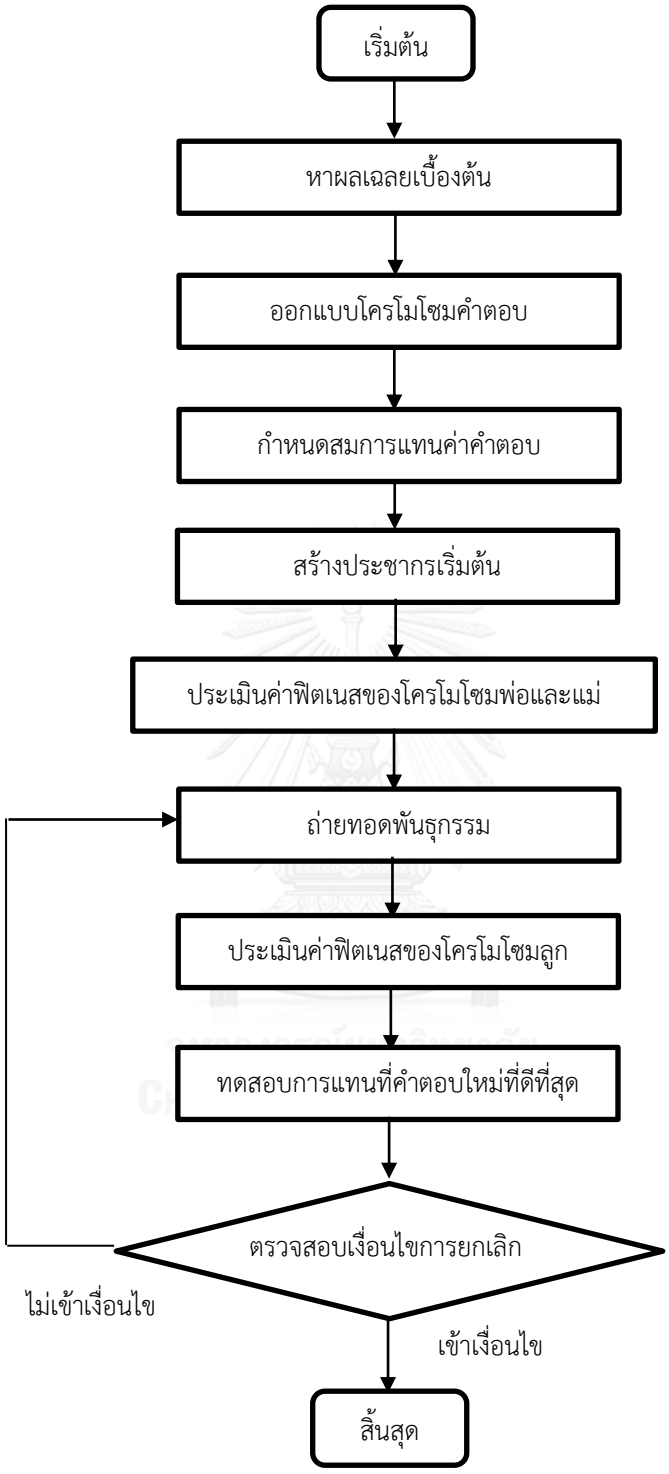
ค) การผ่าเหล่า กำหนดให้ใช้การวิธีปรับเปลี่ยนภายในโครโมโซมแบบสลับตำแหน่ง ซึ่งวิธีดังกล่าวเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากสำหรับโครโมโซมแบบลำดับ เนื่องจากวิธีนี้ใช้ระยะเวลาในการทำงานที่รวดเร็ว และกำหนดความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่าเท่ากับ 0.1

7) ประเมินค่าฟิตเนสฟังก์ชันของโครโมโซมลูก ทำการประเมินคุณภาพของโครโมโซมลูกทั้งหมดก่อนเข้ากระบวนการแทนที่คำตอบใหม่ที่ดีที่สุด

8) ทดสอบการแทนที่คำตอบใหม่ที่ดีที่สุด ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้ในจากโครโมโซมรุ่นลูกกับผลเฉลยรุ่นพ่อแม่ โดยถ้าคำตอบในรุ่นลูกมีค่าฟิตเนสฟังก์ชันที่ดีกว่า ให้บันทึกค่าที่ดีที่สุดไว้ แต่ถ้าไม่ให้เก็บโครโมโซมเดิมไว้ และทำการทดสอบอัลกอริทึมจนกว่าครบจำนวนรอบวนซ้ำ หรือเงื่อนไขอื่น ๆ ที่กำหนด

9) ตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการแก้ปัญหา โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาคือครบจำนวนรอบที่กำหนด ซึ่งเท่ากับ 10 เท่าของจำนวนเมืองที่ทำการพิจารณา

จากขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการพัฒนาหาผลเฉลยที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปเป็นแผนผังการดำเนินการได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีทางพันธุกรรม

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลของแบบจำลองเชิงทางคณิตศาสตร์ และวิธีการพัฒนาหาผลเฉลยที่นำเสนอ ซึ่งทำการทดสอบกับชุดปัญหาตัวอย่างที่กำหนด โดยชุดปัญหาตัวอย่างแต่ละชุดจะมีความแตกต่างกันทางด้านความซับซ้อนและขนาดของปัญหา ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะข้อมูลของปัญหา สำหรับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้ผู้วิจัยจะทำการแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ

1) การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์
2) การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง
3) การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์
4) การทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม

โดยการทดสอบผลเฉลยนั้นผู้วิจัยทำการทดสอบบนโน๊ตบุ้คที่มีหน่วยประมวลผล Intel Core i5 ความเร็ว 2.50 GHz หน่วยความจำ 8 GB และใช้ซอฟแวร์ Microsoft Visual Studio 2010 ในการสร้าง เรียกใช้ และจัดเก็บข้อมูลของแบบจำลอง และสำหรับการหาผลเฉลยนั้นจะเรียกใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX V.12.1 ในการคำนวณผลหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด (optimization)

4.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง

ก่อนที่จะเข้าสู่การวิเคราะห์ผลการศึกษา ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงลักษณะปัญหาที่สนใจและรายละเอียดของข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยก่อน โดยสำหรับปัญหาที่งานวิจัยนี้สนใจนั้นคือปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทาง ปริมาณ และช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า เพื่อให้มีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยที่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้สำหรับสมมติฐานที่ใช้จะกำหนดให้ปัญหามีลักษณะการขนส่งแบบผู้ผลิตมีเพียงแค่รายเดียวต่อผู้บริโภคหลายราย โดยที่ผู้บริโภคแต่ละรายสามารถรับสินค้าได้เพียงหนึ่งครั้งต่อช่วงเวลา และกำหนดนโยบายระดับสินค้าคงคลังแบบคงที่โดยต้องไม่ต่ำกว่าศูนย์ ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าคำนวณจากระดับสินค้าคงคลัง ณ สิ้นสุดแต่ละช่วงเวลา และต้นทุนในการขนส่งคำนวณจากระยะทางในการเดินทาง มีสินค้าที่พิจารณาเพียงชนิดเดียว และกำหนดให้มียานพาหนะในการขนส่งเพียงแค่คันเดียว ซึ่งสามารถขนส่งได้เพียง

หนึ่งครั้งต่อช่วงเวลา (วัน) โดยที่ข้อมูลของปัญหาที่ศึกษานั้นบางส่วนมาจากงานวิจัยของ Coelho and Laporte (2012) และนำมาดัดแปลงบางส่วนเพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่ผู้วิจัยพิจารณา โดยปัญหาตัวอย่างที่นำมาพิจารณานั้นมีทั้งหมด 12 ปัญหาตัวอย่าง โดยแต่ละตัวอย่างนั้นมีรายละเอียดของข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยรายละเอียดของข้อมูลมีดังนี้

- พิกัดที่ตั้งของผู้ผลิต และผู้บริโภค สำหรับที่ตั้งของผู้ผลิตและผู้บริโภคนั้น โดยข้อมูลของที่ตั้งของผู้ผลิตและผู้บริโภคนั้นจะใช้ในการคำนวนเพื่อหาระยะทางในการเดินทางขนส่ง โดยลักษณะของพิกัดที่ตั้งของข้อมูลเป็นแบบคาร์ทีเซียนสองมิติ (ระนาบ xy) โดยผู้ผลิตและผู้บริโภคนั้นจะทำการสุ่มขึ้นตำแหน่ง โดยทำการสุ่มให้พิกัดของ x และ y อยู่ภายในช่วงจำนวนเต็ม 0 ถึง 500
- จำนวนผู้บริโภค สำหรับจำนวนของผู้บริโภคที่งานวิจัยชิ้นนี้ทำการศึกษานั้นจะมีอยู่ 3 รูปแบบ (มีจำนวนผู้ผลิตเท่ากันคือ 1 ราย) คือ มีจำนวนผู้บริโภค 20 ราย 30 ราย และ 50 ราย
- ระยะทางจากจุดถึงจุด เป็นข้อมูลที่แสดงถึงระยะทางที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนในการเดินทางของยานพาหนะ โดยมีการคำนวณจากระยะกระจัดจากจุดถึงจุด โดยคำนวณจากสมการที่ (4.1)

$$C_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{4.1}$$

- ต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บสินค้าของผู้ผลิตและผู้บริโภค สำหรับต้นทุนต่อหน่วยในการเก็บสินค้านั้นจะเป็นต้นทุนที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการเก็บสินค้าในแต่ละช่วงเวลา (วัน) ซึ่งต้นทุนต่อหน่วยดังกล่าวจะนำมาคำนวนโดยคูณกับระดับสินค้าคงคลังของผู้ผลิตและผู้บริโภคในแต่ละวันเพื่อคำนวณหาต้นทุนการเก็บสินค้า โดยสำหรับปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจนั้นจะมีต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บสินค้าอยู่สองรูปแบบคือ ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าต่อหน่วยแบบสูง และต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าแบบต่ำ โดยปัญหาตัวอย่างที่มีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าแบบสูง จะกำหนดให้ผู้ผลิตมีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าเท่ากับ 0.3 บาทต่อหน่วยต่อวัน และผู้บริโภคนั้นจะสุ่มให้มีต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บสินค้าในแต่ละวันอยู่ภายในช่วง 0.1 ถึง 0.5 บาทต่อหน่วยต่อวัน และปัญหาตัวอย่างที่มีต้นทุนใน

การจัดเก็บสินค้าแบบต่ำ จะกำหนดให้ผู้ผลิตมีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าเท่ากับ 0.03 บาทต่อหน่วยต่อวัน และผู้บริโภคนั้นจะสุ่มให้มีต้นทุนต่อหน่วยในการจัดเก็บสินค้าในแต่ละวันอยู่ภายในช่วง 0.01 ถึง 0.05 บาทต่อหน่วยต่อวัน

- กรอบเวลาที่สนใจ คือช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการพิจารณาปัญหา (วัน) สำหรับปัญหาที่สนใจจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ มีกรอบระยะเวลาที่สนใจคือ 3 วัน และ 6 วัน ซึ่งกรอบระยะเวลาที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลต่อความยากง่ายในการแก้ปัญหา
- ความจุของยานพาหนะ สำหรับความจุของยานพาหนะนั้นจะเป็นปริมาณสินค้าสูงสุดที่ยาพาหนะสามารถบรรทุกได้ โดยกำหนดให้ปริมาณความจุของยานพาหนะเท่ากับ 1.5 เท่าของปริมาณต้องการรวมของผู้บริโภคทุกราย (ในแต่ละปัญหาตัวอย่างนั้น ผู้บริโภคมีปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละวันที่เท่ากัน)
- ปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของผู้บริโภค สำหรับปริมาณความต้องการสินค้าของผู้บริโภคนั้น จะเป็นความต้องการสินค้าของผู้บริโภคในแต่ละวัน โดยสุ่มให้ความต้องการสินค้าของผู้บริโภคแต่ละรายอยู่ในช่วงจำนวนเต็ม 10 ถึง 100 หน่วยต่อวัน และต้องการสินค้าของผู้บริโภคแต่ละรายเท่ากันในทุกช่วงเวลา (วัน)
- ปริมาณการผลิตสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของผู้ผลิต สำหรับปริมาณการผลิตสินค้าของผู้ผลิตนั้น จะเป็นปริมาณการผลิตสินค้าของผู้ผลิตในแต่ละวัน โดยกำหนดให้ปริมาณการผลิตสินค้าของผู้ผลิตในแต่ละวันเท่ากับผลรวมของความต้องการสินค้าในแต่ละวันของผู้บริโภคทุกราย
- ความจุคลังสินค้าของผู้บริโภค สำหรับความจุคลังสินค้าของผู้นั้นเป็นข้อมูลที่แสดงถึงระดับสินค้าคงคลังขั้นสูงสุดของผู้บริโภคแต่ละราย โดยสุ่มให้ความจุคลังสินค้าของผู้บริโภคแต่ละรายมีค่าเท่ากับ 2 ถึง 3 เท่าของปริมาณความต้องการสินค้าของผู้บริโภครายนั้น ๆ ในแต่ละวัน

สำหรับปัญหาตัวอย่างที่ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยชิ้นนี้นั้นจะมีทั้งหมด 12 ปัญหาที่แตกต่างกัน ซึ่งจะนำมาศึกษาและทดสอบว่าเมื่อขนาดของปัญหาหรือรายละเอียดของข้อมูลเปลี่ยนไปจะส่งผลกระทบต่อแบบจำลองและวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่ได้สร้างขึ้นอย่างไรบ้าง โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญในการเปลี่ยนแปลงไปแต่ละปัญหา ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จะเป็นการแสดงถึงรายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญในปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา โดยมีรายละเอียดของข้อมูลคือ ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าของผู้ผลิตและผู้บริโภค กรอบเวลาที่สนใจ และจำนวนผู้บริโภค

ตารางที่ 4.1 แสดงถึงรายละเอียดของข้อมูลที่สำคัญในปัญหาตัวอย่างที่พิจารณา

ปัญหาตัวอย่าง	ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า	กรอบเวลาที่สนใจ	จำนวนผู้บริโภค
1	0.1 – 0.5	3	20
2	0.1 – 0.5	3	30
3	0.1 – 0.5	3	50
4	0.1 – 0.5	6	20
5	0.1 – 0.5	6	30
6	0.1 – 0.5	6	50
7	0.01 – 0.05	3	20
8	0.01 – 0.05	3	30
9	0.01 – 0.05	3	50
10	0.01 – 0.05	6	20
11	0.01 – 0.05	6	30
12	0.01 – 0.05	6	50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าปัญหาตัวอย่างที่ 1 ถึง 6 นั้นจะมีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่เท่ากันคือ 0.1 ถึง 0.5 (ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าสูง) และปัญหาตัวอย่างที่ 7 ถึง 12 มีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่เท่ากันคือ 0.01 ถึง 0.05 (ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าต่ำ) ส่วนของต้นทุนในการขนส่งนั้นทุกปัญหามีต้นทุนในการขนส่งที่เท่ากันคือระยะทางระหว่างจุดถึงจุด ส่วนของกรอบเวลาที่สนใจนั้น ปัญหาตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 และ 7 ถึง 9 มีกรอบเวลาที่สนใจคือ 3 วัน ส่วนปัญหาตัวอย่างที่ 4 ถึง 6 และ 10 ถึง 12 มีกรอบเวลาที่สนใจคือ 6 วัน สำหรับจำนวนผู้บริโภคนั้น ปัญหาตัวอย่างที่ 1, 4, 7 และ 10 มีจำนวนผู้บริโภคที่เท่ากันคือ 20 ราย ปัญหาตัวอย่างที่ 2, 5, 8 และ 11 มีจำนวนผู้บริโภคที่เท่ากันคือ 30 ราย และปัญหาตัวอย่างที่ 3, 6, 9 และ 12 มีจำนวนผู้บริโภคที่เท่ากันคือ 50 ราย

สำหรับการทดสอบแบบจำลองนั้นจะสามารถแบ่งการทดสอบออกได้เป็น 4 การทดสอบคือ การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ และการทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม โดยที่ในการทดสอบการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง และการทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรมจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมดคือ 12 ปัญหา และการทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์นั้นจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่าง 3 ปัญหาคือ ปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3

4.2 การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

ในส่วนแรกของการทดสอบของแบบจำลองของงานวิจัยนี้ คือการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยจะทำการศึกษาว่าการเปลี่ยนแปลงไปของรายละเอียดที่สำคัญของปัญหา คือ กรอบเวลาที่สนใจ และจำนวนผู้บริโภคนั้นจะส่งผลต่อจำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไขในลักษณะที่มีความสัมพันธ์เป็นอย่างไร เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาให้ดียิ่งขึ้น (การเปลี่ยนแปลงไปของต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าไม่ส่งผลต่อขนาดของจำนวนตัวแปร และจำนวนเงื่อนไข) ซึ่งการในส่วนของศึกษาพฤติกรรมของปัญหาตัวอย่างนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบโดยการหาจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขของทั้ง 12 ปัญหาตัวอย่างก่อน จากนั้นจะค่อยยกตัวอย่างและอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของรายละเอียดของข้อมูลทั้งสอง ว่าจะส่งผลต่อจำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไขในลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นแบบใด โดยผลการทดสอบในส่วนแรกคือ จำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไขของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 จะเป็นการแสดงจำนวนตัวแปร x_j^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t และ inv_j^t ของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา โดย x_j^t คือตัวแปรที่แสดงถึงจำนวนสินค้าที่ขนส่งไปยังผู้บริโภค j ในช่วงเวลา t (หน่วย) มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์, y_{ij}^t คือตัวแปรไบนารีตัดสินใจในการเลือกยานพาหนะในการขนส่ง โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีการขนส่งจากผู้ผลิต/ ผู้บริโภค i ไปยังผู้ผลิต/ ผู้บริโภค j โดยยานพาหนะ ในช่วงเวลา t และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ, z_{ij}^t คือ ตัวแปรแสดงปริมาณสินค้าที่ขนส่งจากผู้ผลิต/ ผู้บริโภค i ไปยังผู้ผลิต/ ผู้บริโภค j โดยยานพาหนะ ในช่วงเวลา t (หน่วย) มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ และ inv_j^t คือตัวแปรแสดงระดับสินค้าคงคลังของผู้ผลิต/ ผู้บริโภค j ณ เวลาที่ t (หน่วย) มีค่ามากกว่าเท่ากับศูนย์ และตารางที่ 4.3 จะเป็นการแสดงจำนวนเงื่อนไขที่ (3.2) ถึง (3.9)

ของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา โดยสมการ (3.2) และ (3.3) คือเงื่อนไขแสดงความสัมพันธ์ของระดับสินค้าคงคลังและจำนวนสินค้าที่ขนส่งของผู้ผลิตและผู้บริโภคตามลำดับ อสมการที่ (3.4) เป็นเงื่อนไขกำหนดระดับสินค้าคงคลังสูงสุดของผู้บริโภค ณ สิ้นช่วงเวลา สมการ (3.5) และ (3.6) เป็นเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า ของผู้ผลิตและผู้บริโภคตามลำดับ อสมการ (3.7) และสมการ (3.8) เป็นเงื่อนไขกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยอสมการ (3.7) เป็นเงื่อนไขกำหนดจุดเริ่มต้นการเดินรถ โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นการเดินรถต้องออกจากผู้ผลิตเพียงเท่านั้น (3.8) เป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดความต่อเนื่องของเส้นทางการขนส่งเพื่อไม่ให้รถมีการหยุดวิ่งระหว่างเส้นทาง และวิ่งกลับมาที่ผู้ผลิตเมื่อสิ้นช่วงเวลา อสมการ (3.9) เป็นเงื่อนไขที่ควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งไม่ให้เกินความจุของยานพาหนะ

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจำนวนตัวแปรของปัญหาตัวอย่าง

ปัญหาตัวอย่าง	จำนวนตัวแปร (ตัว)				
	x_j^t	y_{ij}^t	z_{ij}^t	inv_j^t	รวม
1	60	1,260	1,260	63	2,643
2	90	2,790	2,790	93	5,763
3	150	7,650	7,650	153	15,603
4	120	2,520	2,520	126	5,286
5	180	5,580	5,580	186	11,526
6	300	15,300	15,300	306	31,206
7	60	1,260	1,260	63	2,643
8	90	2,790	2,790	93	5,763
9	150	7,650	7,650	153	15,603
10	120	2,520	2,520	126	5,286
11	180	5,580	5,580	186	11,526
12	300	15,300	15,300	306	31,206

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจำนวนเงื่อนไขของปัญหาตัวอย่าง

ปัญหาตัวอย่าง	จำนวนเงื่อนไข (สมการ)								
	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	รวม
1	3	60	60	3	60	3	63	1,260	1,512
2	3	90	90	3	90	3	93	2,790	3,162

ปัญหาตัวอย่าง	จำนวนเงื่อนไข (สมการ)								
	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	รวม
3	3	150	150	3	150	3	153	7,650	8,262
4	6	120	120	6	120	6	126	2,520	3,024
5	6	180	180	6	180	6	186	5,580	6,324
6	6	300	300	6	300	6	306	15,300	16,524
7	3	60	60	3	60	3	63	1,260	1,512
8	3	90	90	3	90	3	93	2,790	3,162
9	3	150	150	3	150	3	153	7,650	8,262
10	6	120	120	6	120	6	126	2,520	3,024
11	6	180	180	6	180	6	186	5,580	6,324
12	6	300	300	6	300	6	306	15,300	16,524

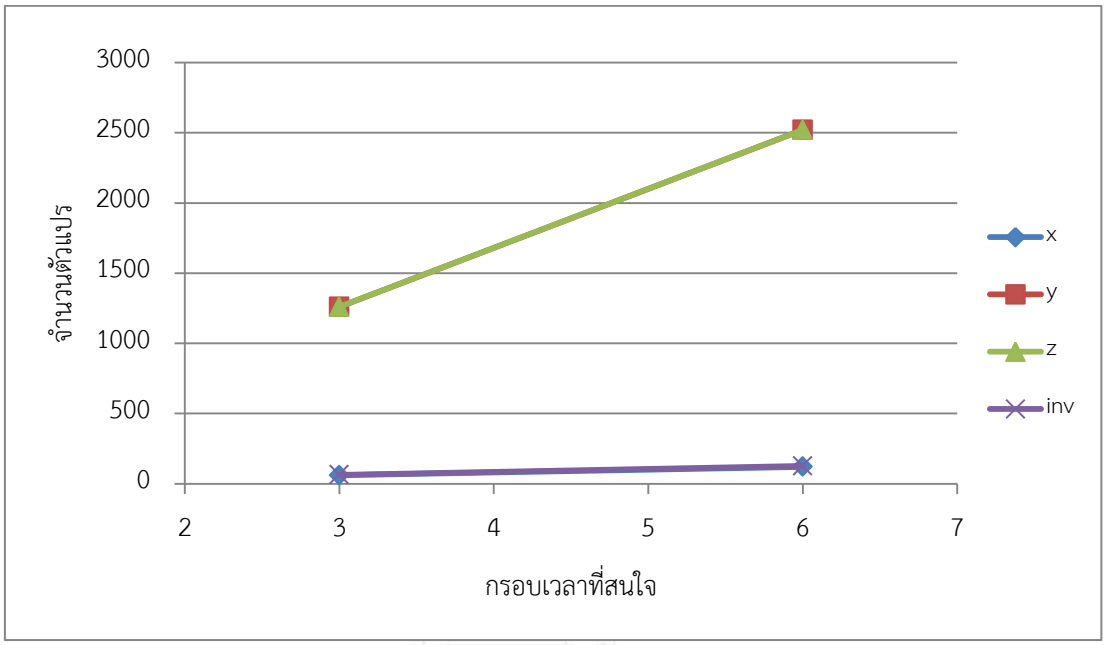
จากตารางที่ 4.2 นั้นซึ่งแสดงถึงจำนวนตัวแปร x_j^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t และ inv_j^t ของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหาจะเห็นได้ว่า สำหรับจำนวนตัวแปร x_j^t กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนตัวแปรอยู่ที่ 60, 90, 150, 120, 180 และ 300 ตัวแปร ตามลำดับ โดยจำนวนตัวแปร x_j^t นั้นขึ้นอยู่กับ กรอบเวลาที่สนใจ (*t*) และจำนวนผู้บริโภค (*j*) ของในแต่ละปัญหา สำหรับจำนวนตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^t กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนตัวแปร อยู่ที่ 1,260, 2,790, 7,650, 2,520, 5,580 และ 15,300 ตัวแปร ตามลำดับ โดยจำนวนตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^t นั้นขึ้นอยู่กับ กรอบเวลาที่สนใจ *(t)* และจำนวนผู้ผลิต/ผู้บริโภค (*i*) และ ผู้ผลิต/ ผู้บริโภค (*j*) สำหรับจำนวนตัวแปร inv_j^t กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนตัวแปรอยู่ที่ 63, 93, 153, 126, 186 และ 306 ตัวแปร ตามลำดับ โดยจำนวนตัวแปร inv_j^t นั้นขึ้นอยู่กับ กรอบเวลาที่สนใจ (*t*) และจำนวนของผู้ผลิตและผู้บริโภค (*j*)

ตารางที่ 4.3 นั้นจะแสดงถึงจำนวนเงื่อนไข (3.2) ถึง (3.9) ของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา โดยจากตารางแสดงให้เห็นว่า สำหรับจำนวนเงื่อนไขที่ (3.2), (3.5) และ (3.7) กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 ถึง 3 และ 7 ถึง 9 นั้นมีจำนวนเงื่อนไขคือ 3 เงื่อนไข และกับปัญหาตัวอย่างที่ 4 ถึง 6 และ 10 ถึง 12 มีจำนวนเงื่อนไขคือ 6 เงื่อนไข โดยจำนวนเงื่อนไขดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับกรอบเวลาที่สนใจ (*t*) สำหรับจำนวนเงื่อนไขที่ (3.3), (3.4) และ (3.6) กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนเงื่อนไขอยู่ที่ 60, 90, 150, 120, 180 และ 300 เงื่อนไข ตามลำดับ โดยจำนวนเงื่อนไขดังกล่าวขึ้นอยู่กับกรอบเวลาที่สนใจ (*t*) และจำนวนผู้บริโภค (*j*) ของในแต่ละปัญหา สำหรับจำนวนเงื่อนไขที่ (3.8) นั้นกับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนตัวแปรอยู่ที่ 63, 93, 153, 126, 186 และ 306 เงื่อนไข ตามลำดับ โดยจำนวนเงื่อนไขดังกล่าวขึ้นอยู่กับกรอบเวลาที่สนใจ (*t*) และจำนวนผลิต/ ผู้บริโภค (*j*) ของในแต่ละปัญหา สำหรับจำนวนเงื่อนไขที่ (3.9) กับปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 7, ปัญหาตัวอย่างที่ 2 และ 8, ปัญหาตัวอย่างที่ 3 และ 9, ปัญหาตัวอย่างที่ 4 และ 10, ปัญหาตัวอย่างที่ 5 และ 11 และกับปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 นั้นจะมีจำนวนตัวแปรอยู่ที่ 1,260, 2,790, 7,650, 2,520, 5,580 และ 15,300 เงื่อนไข ตามลำดับ โดยจำนวนเงื่อนไขดังกล่าวขึ้นอยู่กับกรอบเวลาที่สนใจ (*t*) และจำนวนผลิต/ ผู้บริโภค (*i*) และจำนวนผลิต/ ผู้บริโภค (*j*) ของในแต่ละปัญหา

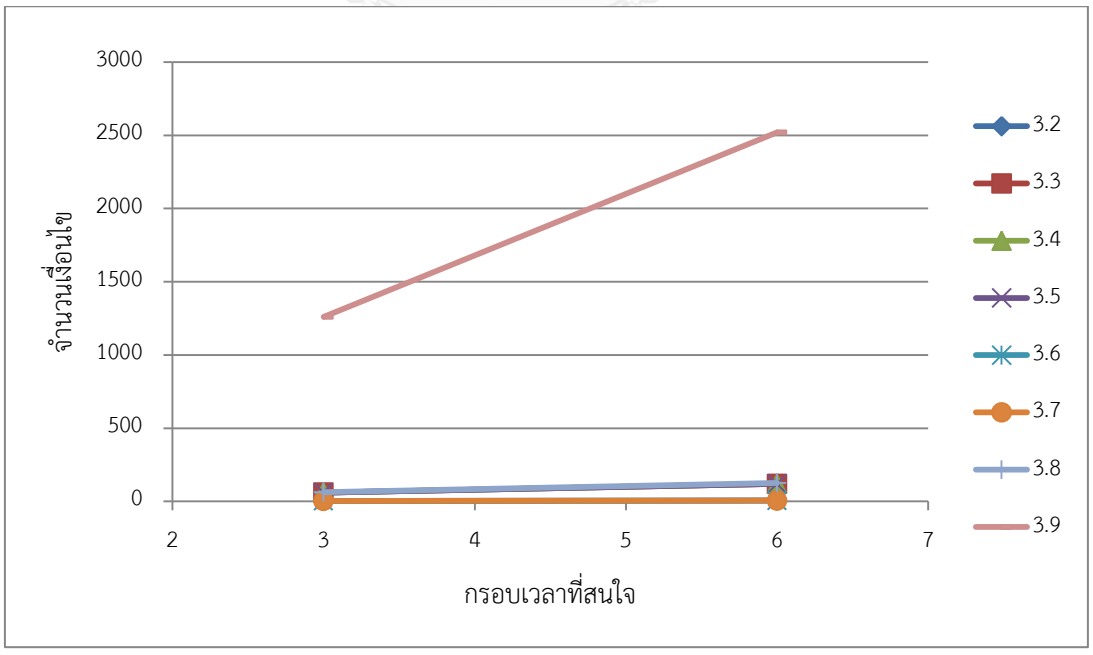
จากนั้นหลังจากที่เราได้ทราบถึงจำนวนตัวแปร และจำนวนเงื่อนไขของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหาแล้ว ส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของจำนวนช่วงเวลาที่สนใจ และจำนวนผู้บริโภคที่สนใจที่เปลี่ยนแปลงไปว่ามีลักษณะความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นอย่างไร โดยความสัมพันธ์แรกที่จะทำการพิจารณานั้น ผู้วิจัยจะอธิบายในส่วนของความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงไปของจำนวนช่วงเวลาที่สนใจกับจำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไขก่อน โดยผู้วิจัยจะทำการยกตัวอย่างปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 4 ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ซึ่งปัญหาตัวอย่างทั้งสองนั้น เป็นปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงไปของกรอบเวลาในการพิจารณา (3 และ 6 วัน) และมีจำนวนลูกค้าที่เท่ากัน โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ต่อจำนวนตัวแปร และเงื่อนไขต่าง ๆ ได้ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.1 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนตัวแปร x_j^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t และ inv_j^t และรูปที่ 4.2 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนเงื่อนไข (3.2) ถึง (3.9)



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนตัวแปร

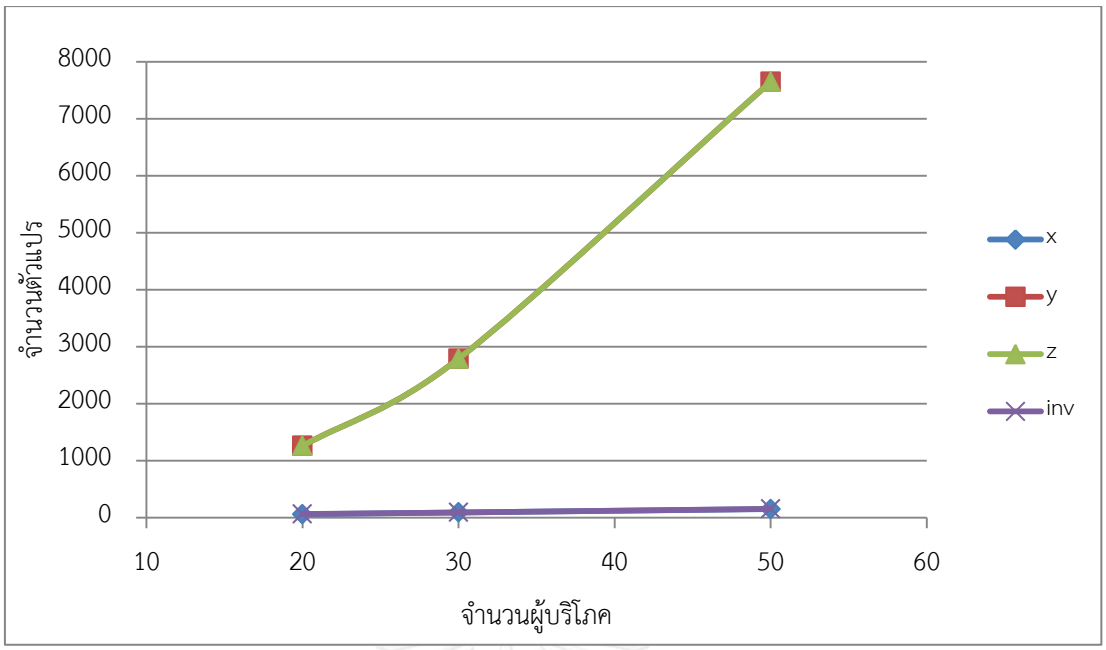


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจและจำนวนเงื่อนไข

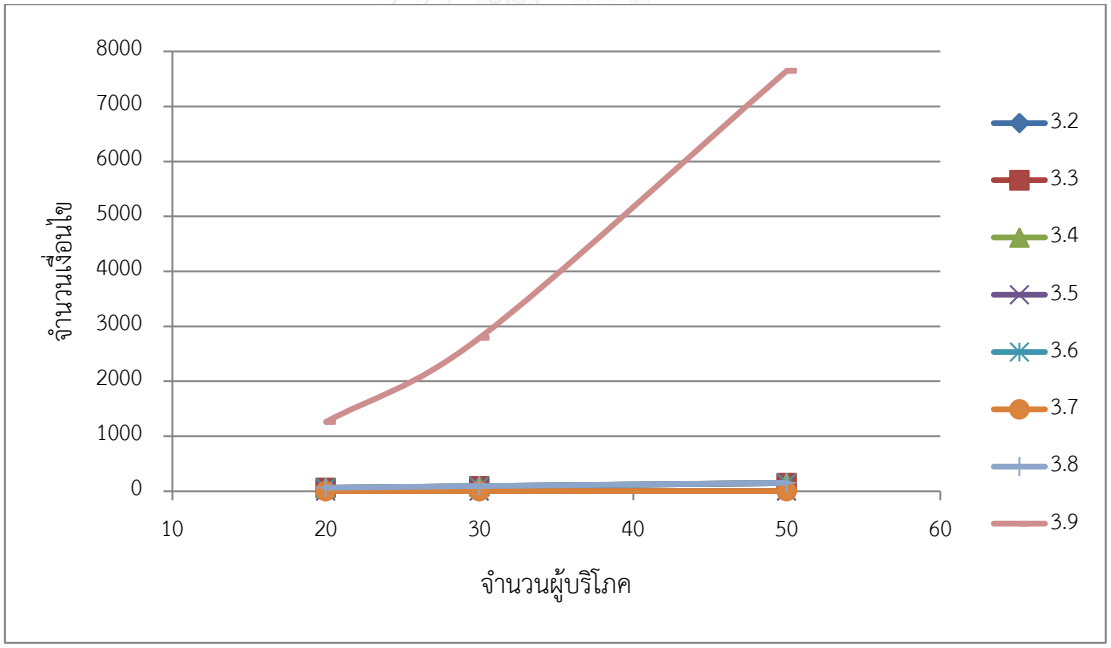
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 นั้นจะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกรอบเวลาที่สนใจ กับ จำนวนตัวแปรทุกตัว และจำนวนเงื่อนไขทุกเงื่อนไขนั้น มีลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นตรง กล่าวคือการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกรอบเวลาที่สนใจนั้น จะส่งผลต่อจำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไขทุก ๆ ตัว และทุก ๆ เงื่อนไขในลักษณะที่เป็นเส้นตรง ซึ่งหากจะทำการวิเคราะห์ในเชิงลึกเพิ่มเติมนั้น สามารถอธิบายลักษณะความสัมพันธ์ได้จากดัชนี (index) ของตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าว โดยจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของกรอบเวลาที่สนใจนั้นจะส่งผลต่อ เซต T ซึ่งมี t เป็นดัชนี และหากสังเกตเพิ่มเติมจะพบว่าทุกตัวแปรและเงื่อนไขนั้นจะมี t เป็นดัชนี และเป็นดัชนีตัวเดียวที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาที่สนใจ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นและลดลงนั้นของกรอบเวลาที่สนใจนั้นจึงมีผลต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขในลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นตรงนั่นเอง

หลังจากที่เราได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของกรอบเวลาที่สนใจกับจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ แล้ว ผู้วิจัยจะพิจารณาถึงความสัมพันธ์ในส่วนรายละเอียดต่อมา คือความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงไป กับจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ ว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะที่เป็นแบบใด โดยผู้วิจัยจะทำการยกตัวอย่าง ปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ ซึ่งปัญหาทั้งสามนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปของจำนวนผู้บริโภคในการพิจารณา (20 , 30 และ 50 จำนวนผู้บริโภค) และมีจำนวนกรอบเวลาที่สนใจที่เท่ากัน โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าว ได้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

รูปที่ 4.3 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนตัวแปร x_j^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t และ inv_j^t และรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนเงื่อนไข (3.2) ถึง (3.9)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนตัวแปร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคและจำนวนเงื่อนไข

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 นั้นจะพบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้บริโภคกับ จำนวนตัวแปรและเงื่อนไขสามรูปแบบ ในรูปแบบแรกคือ ความสัมพันธ์แบบคงที่หมายความว่าการเปลี่ยนแปลง

จำนวนผู้บริโภคนั้นไม่ส่งผลต่อจำนวนหรือขนาดของตัวแปรและจำนวนเงื่อนไข โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ (3.2), (3.5) และ (3.7) ซึ่งหากทำการวิเคราะห์ในเชิงลึกเพิ่มเติมนั้นจะพบว่าจำนวนเงื่อนไขดังกล่าวไม่มีดัชนีซึ่งเกี่ยวข้องกับจำนวนผู้บริโภคอยู่เลย การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของจำนวนผู้บริโภคจึงไม่มีผลต่อจำนวนเงื่อนไขทำให้มีลักษณะความสัมพันธ์แบบคงที่ ต่อมารูปแบบที่สองคือความสัมพันธ์แบบเส้นตรง หมายความว่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภคนั้นส่งผลต่อจำนวนหรือขนาดของตัวแปรและเงื่อนไขในลักษณะที่เป็นเส้นตรง โดยเกิดขึ้นในตัวแปร x_j^t และ inv_j^t และเงื่อนไขที่ (3.3), (3.4), (3.6), และ (3.8) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ในเชิงลึกเพิ่มเติม โดยอธิบายความสัมพันธ์จากดัชนีของตัวแปรและเงื่อนไขของดังกล่าว โดยจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้บริโภคนั้นจะส่งผลต่อ เซต U ซึ่งมี j เป็นดัชนี และหากสังเกตเพิ่มเติมจะพบว่า ทุกตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าวนั้นจะมี j เป็นดัชนี และเป็นดัชนีตัวเดียวที่ได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภค ดังนั้นการเพิ่มขึ้นและลดลงนั้นของจำนวนผู้บริโภคนั้นจึงมีผลต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าวจึงมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง สุดท้ายรูปแบบที่สามคือมีความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียล หมายความว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้บริโภคนั้นส่งผลต่อขนาดของจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขที่แบบโพลิโนเมียล โดยเกิดขึ้นในตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^tและเงื่อนไขที่ (3.9) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ในเชิงลึกเพิ่มเติม โดยอธิบายลักษณะความสัมพันธ์จากดัชนีของตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าว โดยจะพบว่าการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้บริโภคนั้นจะส่งผลต่อ ดัชนีสองตัวคือ ดัชนี i ซึ่งมีเซตคือ U และดัชนี j ซึ่งมีเซตเป็น $U - 1$ (เนื่องจากกำหนดให้ $i \neq j$) และทุกตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าวนั้นจะมี i, j เป็นดัชนี ดังนั้นการเพิ่มขึ้นและลดลงนั้นของจำนวนผู้บริโภคนั้นจึงมีผลต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าวจะมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบโพลิโนเมียล โดยมีความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขดังกล่าวเท่ากับ $x^2 - x$ โดยที่ x คือจำนวนของผู้บริโภค

จากการศึกษาพฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงไปของกรอบเวลาที่สนใจ และจำนวนผู้บริโภคต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่างๆนั้น ผู้วิจัยสามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงพฤติกรรมของแบบจำลองจากปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไป

ตัวแปร/เงื่อนไข	ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลง	
	กรอบเวลาที่สนใจ	จำนวนผู้บริโภค
x_j^t	เส้นตรง	เส้นตรง
y_{ij}^t	เส้นตรง	โพลิโนเมียล

ตัวแปร/เงื่อนไข	ปัจจัยที่เปลี่ยนแปลง	
	กรอบเวลาที่สนใจ	จำนวนผู้บริโภค
z_{ij}^t	เส้นตรง	โพลิโนเมียล
inv_j^t	เส้นตรง	เส้นตรง
3.2	เส้นตรง	คงที่
3.3	เส้นตรง	เส้นตรง
3.4	เส้นตรง	เส้นตรง
3.5	เส้นตรง	คงที่
3.6	เส้นตรง	เส้นตรง
3.7	เส้นตรง	คงที่
3.8	เส้นตรง	เส้นตรง
3.9	เส้นตรง	โพลิโนเมียล

จากที่กล่าวมาในข้างต้นในส่วนของการทดสอบนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ โดยการเปลี่ยนแปลงไปของปัจจัย (ซึ่งคือจำนวนสมาชิกภายในเซต T และ U) เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาให้ดียิ่งขึ้น โดยจากการทดสอบพบว่า การเปลี่ยนแปลงไปของกรอบเวลาในการพิจารณานั้นจะส่งผลต่อโครงสร้าง(ขนาด) ของแบบจำลองซึ่งคือจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ ในลักษณะความสัมพันธ์ที่เป็นแบบเส้นตรง ในทุกจำนวนตัวแปรและจำนวนเงื่อนไข ขณะที่การเปลี่ยนแปลงไปของจำนวนผู้บริโภคต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยลักษณะแรกคือความสัมพันธ์แบบคงที่เกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ (3.2), (3.5) และ (3.7) ต่อมาลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เกิดขึ้นในตัวแปร x_j^t และ inv_j^t และเงื่อนไขที่ (3.3), (3.4), (3.6), และ (3.8) และสุดท้ายความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลเกิดขึ้นในตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^t และเงื่อนไขที่ (3.9)

4.3 การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง

ในส่วนของการทดสอบที่สองนี้เป็นการทดสอบแบบจำลอง โดยจะทำการแก้ปัญหาที่สนใจด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต ซึ่งกำหนดระยะเวลาในการแก้ปัญหาคือหนึ่งชั่วโมง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบของวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอ โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ปัญหา พร้อมทั้งทำการศึกษาและอภิปรายถึงผลการทดสอบที่ได้ โดยผลการทดสอบในส่วนนี้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 นั้นจะเป็นการแสดงผลการทดสอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยในตารางนี้ผู้วิจัยจะแสดงผลที่ได้สามส่วนคือ ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง และความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงเมื่อเทียบกับขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลเฉลยจากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรง

ปัญหาตัวอย่าง	รายละเอียด				
	ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง			ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)
	ผลเฉลยในส่วนการจัดเก็บสินค้า	ผลเฉลยในส่วนการขนส่ง	ต้นทุนรวม		
1*	3,825.33	1,762.11	5,587.44	5,587.44	0
2*	7,042.95	2,477.43	9,520.38	9,520.38	0
3	8,744.3	2,902.5	11,646.8	11,373.08	2.41
4	7,697.9	4,232.23	11,930.13	11,667.08	2.25
5	13,807.05	5,278.02	19,085.07	18,559.17	2.83
6	18,682.73	40,288.91	58,971.64	24,106.22	144.63
7*	379.29	1,762.11	2,141.4	2,141.4	0
8*	705.3	2,470.25	3,175.55	3,175.55	0
9	870.91	2,883.93	3,754.84	3,581.88	4.83
10	774.51	4,200.07	4,974.58	4,700.83	5.82
11	1,382.32	5,476.55	6,858.87	6,090.57	12.61
12	1,858.09	40,288.91	42,147	6,896.61	511.12

* สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด

ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด = 100 * (ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง – ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง)/ ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

จากตารางที่ 4.5 นั้นพบว่า ในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2, 7 และ 8 นั้น วิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาผลเฉลยเฉลยที่ดีที่สุดได้ (Optimality Solution) ภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาเท่ากับ 5.63, 85.43, 3.62 และ 60.7 วินาที ตามลำดับ ในส่วนของปัญหาตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 และ 12 นั้นไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยมีจากความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 2.41, 2.25, 2.83, 114.63, 4.83, 5.82, 12.61 และ 511.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้การเปรียบเทียบถึงลักษณะของประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยนั้น สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยแม่นตรงได้สองส่วนคือ ประสิทธิภาพของผลเฉลยในส่วนของระยะเวลาแก้ปัญหา และประสิทธิภาพของผลเฉลยในส่วนของคุณภาพของผลเฉลย

ส่วนแรกคือประสิทธิภาพของผลเฉลยในส่วนของระยะเวลาแก้ปัญหาของแบบจำลองนั้น สามารถสรุปผลที่ได้เป็นสองลักษณะคือ จำนวนผู้บริโภคต่อระยะเวลาในการแก้ปัญหา และกรอบเวลาในการพิจารณาต่อระยะเวลาในการแก้ปัญหา สำหรับจำนวนผู้บริโภคต่อระยะเวลาในการแก้ปัญหาผู้วิจัยจะยกตัวอย่าง ปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ในการอธิบาย ซึ่งปัญหาตัวอย่างทั้งสามนั้นมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภคแต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาในการพิจารณา โดยปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหา (ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดเท่ากับศูนย์) คือ 5.63, 85.43 และมากกว่า 3,600 วินาทีในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการแก้ปัญหาตัวอย่างเมื่อจำนวนผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้นนั้นมีการใช้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นมากและชัดเจน สำหรับกรอบเวลาที่พิจารณาต่อระยะเวลาในการแก้ปัญหาผู้วิจัยจะขอยกตัวอย่าง ปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 4 ในการอธิบาย ซึ่งปัญหาตัวอย่างทั้งสองนั้นมีการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาในการพิจารณาแต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภค โดยปัญหาตัวอย่างที่ 1 และ 4 ใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาคือ 5.63 และมากกว่า 3,600 วินาทีในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาในการแก้ปัญหาเมื่อกรอบเวลาที่พิจารณาเพิ่มขึ้นนั้น ก็ลักษณะของการใช้ระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นอย่างมากและชัดเจนเช่นกัน

ส่วนที่สองคือประสิทธิภาพของผลเฉลยในส่วนของคุณภาพของผลเฉลยของแบบจำลองนั้น สามารถสรุปผลที่ได้เป็นสองลักษณะเช่นกันคือ จำนวนผู้บริโภคต่อคุณภาพของผลเฉลย และกรอบเวลาในการพิจารณาต่อคุณภาพของผลเฉลย สำหรับจำนวนผู้บริโภคต่อคุณภาพของผลเฉลยนั้นผู้วิจัยจะยกตัวอย่าง ปัญหาตัวอย่างที่ 10, 11 และ 12 ในการอธิบาย ซึ่งปัญหาตัวอย่างทั้งสามนั้นมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภคแต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาในการพิจารณา โดยปัญหาตัวอย่างที่ 10, 11 และ 12 มีคุณภาพผลเฉลยที่หาได้ (ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด) คือ 5.82, 12.61 และ 511.12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าคุณภาพของผลเฉลยนั้นแย่ลง เมื่อจำนวนของผู้บริโภคเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 11 และ 12 นั้นจะพบว่ามีการโดดขึ้นของความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอย่างชัดเจนโดยมากกว่า

40.52 เท่า ขณะที่การโดดขึ้นของปัญหาตัวอย่างที่ 10 และ 11 คือ 2.16 เท่า ต่อมาสำหรับกรอบเวลาในการพิจารณาต่อคุณภาพผลเฉลยที่หาได้ ผู้วิจัยจะยกตัวอย่างปัญหาตัวอย่างที่ 9 และ 12 ในการอธิบาย ซึ่งปัญหาตัวอย่างทั้งสองนั้นมีการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาในการพิจารณาแต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนผู้บริโภค โดยปัญหาตัวอย่างดังกล่าวมีคุณภาพผลเฉลยที่หาได้ คือ 4.83 และ 511.12 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของกรอบเวลาในการพิจารณานั้นก็ส่งผลต่อคุณภาพของผลเฉลยอย่างมากเช่นกัน โดยมีการเพิ่มขึ้นของความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดถึง 105.82 เท่า

หากเปรียบเทียบเพิ่มเติมในส่วนของต้นทุนในการเก็บสินค้าที่เปลี่ยนแปลงไปต่อคุณภาพของผลเฉลยที่ได้นั้น โดยเปรียบเทียบปัญหาตัวอย่างที่ 1 ถึง 6 ต่อ ปัญหาตัวอย่างที่ 7 ถึง 12 นั้นจะพบว่าผลเฉลยที่ได้นั้นมีแนวโน้มที่แย่ลงเมื่อต้นทุนในการเก็บสินค้านั้นต่ำลง ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากสัดส่วนของต้นทุนในการเก็บสินค้าที่ลดลงนั่นเอง จึงทำให้ตัวหารในการคำนวณความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดซึ่งคือขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงนั้นลดลง เลยทำให้ดูเหมือนว่าความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดนั้นเพิ่มขึ้น แต่ถ้าหากลองวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบในส่วนของต้นทุนการขนส่งของปัญหาตัวอย่างที่ 1 ถึง 6 ต่อ ปัญหาตัวอย่างที่ 7 ถึง 12 นั้นก็จะพบว่ามีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

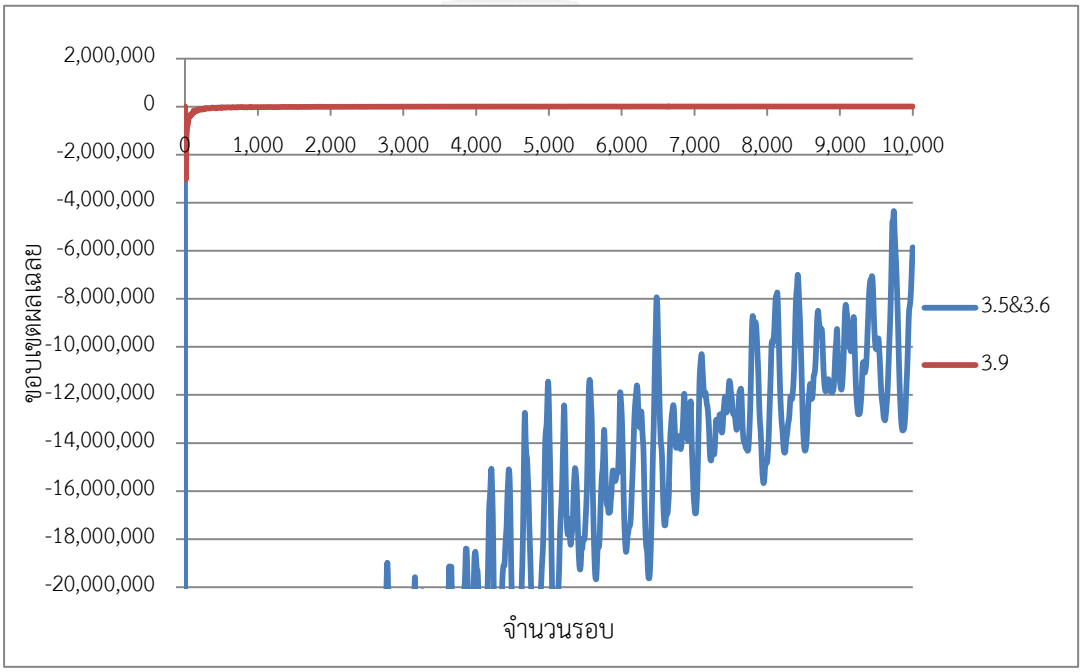
4.4 การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์

ในส่วนนี้ของการทดสอบที่สามนั้นจะเป็นการทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ โดยผู้วิจัยเสนอการใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์มาใช้ในการหาขอบเขตผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังจากแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้จำลองไว้ เพื่อต้องการช่วยลดระยะเวลาในการหาขอบเขตที่ดีที่สุดและเพิ่มประสิทธิภาพในการหาขอบเขตของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตให้ดียิ่งขึ้น โดยในขั้นแรกนั้นผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกชุดเงื่อนไขที่จะทำการผ่อนคลายก่อน (ระหว่างผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า และชุดเงื่อนไขและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง) โดยจะทำการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขทั้งสอง และทำการแก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์โดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิม จากนั้นจะทำการสังเกตและวิเคราะห์ผลว่าชุดเงื่อนไขใดมีความเหมาะสมในการผ่อนคลายมากกว่ากัน โดยที่จะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างที่ 1 เพื่อศึกษา ขั้นต่อมาหลังจากที่เราได้ทราบถึงชุดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผ่อนคลายแล้ว ผู้วิจัยจะทำการทดสอบประสิทธิภาพในการหาขอบเขตของเทคนิคในการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์เพิ่มเติม โดยทดสอบด้วยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงตัวคูณลากรางจ์สองวิธีคือ วิธีการปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิม

และวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ จากนั้นจะทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลว่าเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบใดมีประสิทธิภาพและสามารถจัดการกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนเงื่อนไขได้ดีกว่า โดยในส่วนนี้จะทำการทดสอบกับชุดตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 เพื่อสังเกตผล

จากที่กล่าวในข้างต้นในส่วนแรกของการทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ ผู้วิจัยจะทดสอบว่าชุดเงื่อนไขที่ใดมีความเหมาะสมในการผ่อนคลายที่มากกว่ากัน โดยจะทำการผ่อนคลายและแก้ปัญหาตัวคูณลากรางจ์โดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิมของเงื่อนไขทั้งสอง และทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างที่ 1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

รูปที่ 4.5 เป็นการแสดงเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยที่หาได้จากการผ่อนคลายเงื่อนไขทั้งสองชุด โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากขอบเขตในช่วงเริ่มต้นของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลสินค้าโดยใช้วิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้นพบว่า ในช่วงแรกจะมีการติดลบค่อนข้างมากทำให้ส่งผลต่อการแสดงผลลัพธ์ ผู้วิจัยจึงทำการกำหนดช่วงขอบเขตในการแสดงผล สำหรับการแสดงผลค่าสำคัญต่าง ๆ ของการหาขอบเขตของการผ่อนคลายของทั้งสองผู้วิจัยจะแสดงผลในตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง

จากรูปที่ 4.5 นั้นพบว่าการผ่อนคลายเงื่อนไขชุดอนุรักษ์การไหลสินค้านั้นจะพบว่า ในช่วงแรกขอบเขตผลเฉลยที่พบจะมีค่าที่ติดลบอย่างมาก จากนั้นจะมีการพัฒนาขอบเขตของผลเฉลยขึ้นมาเรื่อยๆ โดยมีการแกว่งตัวอย่างมาก ขณะที่การผ่อนคลายเงื่อนไขชุดอนุรักษ์การไหลของสินค้า นั้นมีการพัฒนาและลู่เข้าของขอบเขตผลเฉลยเร็วกว่า และมีการแกว่งตัวที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน โดยสำหรับการสรุปผลและค่าสำคัญของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขของทั้งสองนั้นจะอธิบายเพิ่มเติมในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 นั้นจะเป็นการสรุปผลถึงค่าสำคัญของขอบเขตที่ได้จากการผ่อนคลายเงื่อนไขทั้งสองชุด คือชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง โดยจะแสดงค่าสำคัญคือ ขอบเขตเริ่มต้นคือขอบเขตที่ได้ก่อนจะทำการเริ่มการทำงาน ขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบคือขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบด้วยวิธีการหลังจากเริ่มกระบวนการ ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบคือขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบด้วยวิธีการหลังจากเริ่มกระบวนการ ระยะเวลาเฉลี่ยในการทำงาน และจำนวนเงื่อนไขที่ปลดในแต่ละปัญหาตัวอย่าง

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง

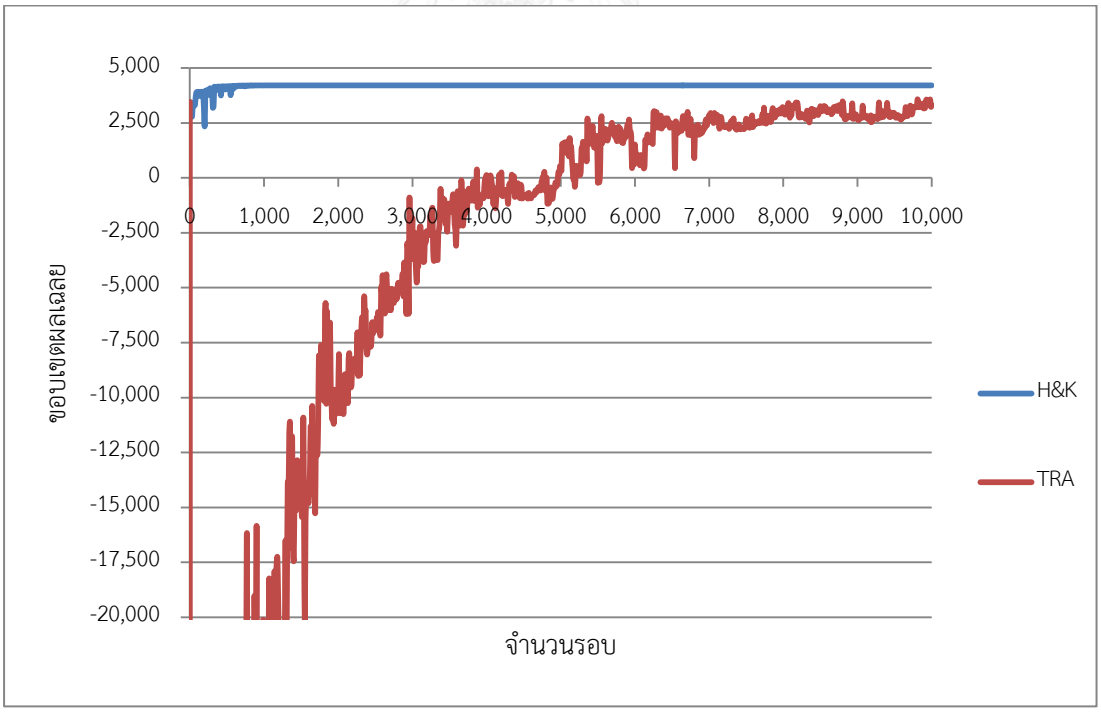
ชุดตัวอย่าง	รายละเอียด	ชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า	ชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง
1	ขอบเขตเริ่มต้น	3,456.98	3,456.98
	ขอบเขตที่ดีที่พบสุด	-4,345,452	3,659.53
	ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบ	-99,189,317	-3,034,031
	ระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบการทำงาน (วินาที)	0.022	0.024
	จำนวนเงื่อนไขที่ปลด	63	1,260

จากตารางที่ 4.6 นั้นสามารถอธิบายและสรุปผลของผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขทั้งสอง เพื่อคัดเลือกว่าชุดเงื่อนไขมีความเหมาะสมที่จะทำการผ่อนคลายมากกว่ากัน ในส่วนของลักษณะพฤติกรรมการพัฒนาและปรับปรุงค่าของขอบเขตนั้นพบว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า ในช่วงแรกขอบเขตผลเฉลยที่พบจะมีค่าที่

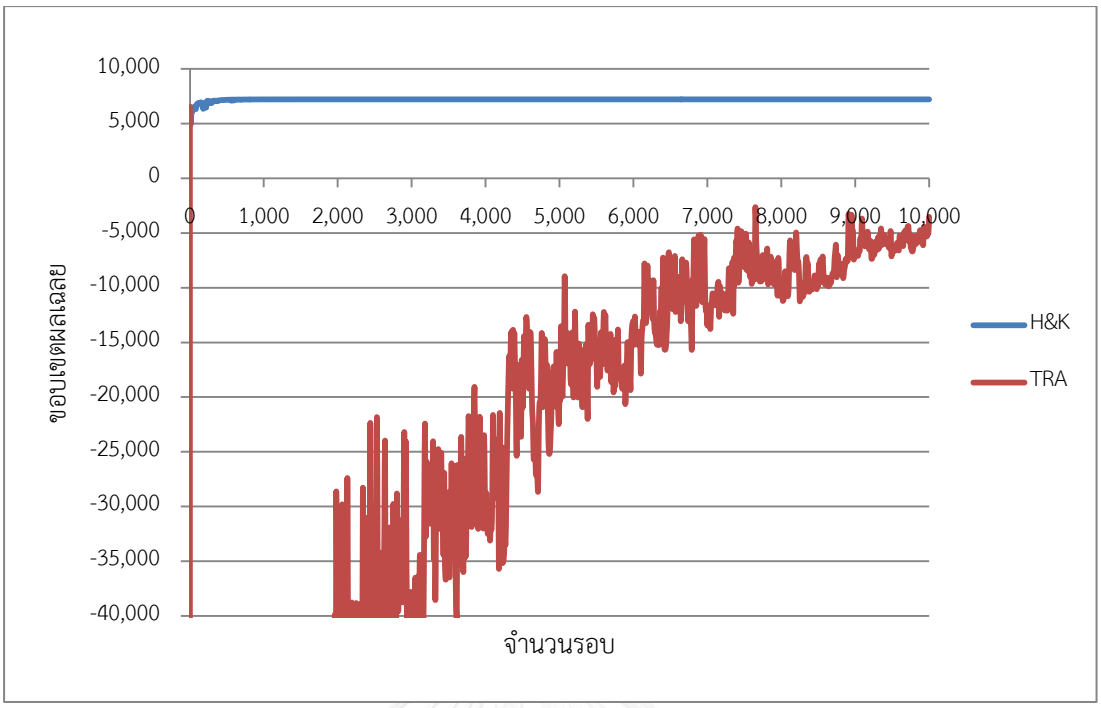
ติดลบอย่างมาก จากนั้นจะพัฒนาขอบเขตของผลเฉลยขึ้นมาเรื่อย ๆ โดยมีการแกว่งตัวอย่างมาก ซึ่งแตกต่างจากการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง ซึ่งจะมีการปรับปรุงและลู่เข้าของขอบเขตได้รวดเร็วกว่า สำหรับในแง่ของคุณภาพของขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบภายในจำนวนรอบที่กำหนดนั้น พบว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งนั้นสามารถหาขอบเขตผลเฉลยที่พบได้ดีกว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า โดยเฉพาะขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบจากการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้านั้น มีคุณภาพของขอบเขตแย่กว่าขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณขนส่งอีกด้วย ทั้งนี้หากจะวิเคราะห์ถึงรายละเอียดในเชิงลึกของคุณภาพและการปรับปรุงขอบเขตที่ได้ของการผ่อนคลายทั้งสองนั้น จะพบว่าสาเหตุที่การผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้านั้นมีการแกว่งตัวที่มากและการปรับปรุงของขอบเขตในแต่ละรอบที่ช้ากว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง มาจากลักษณะเงื่อนไขที่ทำการพิจารณา หากย้อนกลับไปในบทที่สองที่กล่าวถึงการกำหนดทิศทางของเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์จะพบว่า หากเงื่อนไขที่พิจารณาเป็นอสมการ เวกเตอร์ของตัวคูณลากรางจ์จะมีค่าเป็นทิศทางใดทิศทางบวกเพียงเท่านั้น ขณะที่หากเงื่อนไขที่พิจารณาเป็นสมการ เวกเตอร์ของตัวคูณลากรางจ์จะมีค่าเป็นทิศทางใดก็ได้ ดังนั้นเมื่อเวกเตอร์ของตัวคูณลากรางจ์เป็นทิศทางใดก็ได้นั้นจะทำให้ช่วงของการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ทั้งหมดมีมาก อีกทั้งการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์สามารถที่จะขัดแย้งกันเองได้อีกด้วย (ตัวคูณลากรางจ์บางตัวเป็นเวกเตอร์บวก บางตัวเป็นเวกเตอร์ลบ) ดังนั้นจึงทำให้การผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้ามีการแกว่งตัวที่มาก และขอบเขตที่พบมีคุณภาพที่ด้อยกว่านั่นเอง ทั้งนี้หากเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะเวลาในการทำงานแต่ละรอบก็จะพบว่าระยะเวลาในการทำงานเฉลี่ยต่อรอบของการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้านั้นมีความเร็วมากกว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (0.002 วินาทีต่อรอบการทำงาน) ดังนั้นจากที่กล่าวมาในข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งนั้นมีความเหมาะสมในการทำการผ่อนคลายกว่ามากกว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเลือกใช้การผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งไปทดสอบในส่วนของการศึกษาเทคนิคการเปลี่ยนแปลงตัวคูณลากรางจ์ต่อไป

ในส่วนที่สองหลังจากที่เราได้ชุดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผ่อนคลายแล้วซึ่งคือชุดของเงื่อนไขที่ (3.9) หรือชุดเงื่อนไขในการควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง จากนั้นจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของการหาขอบเขตของผลเฉลยด้วยการใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงตัวคูณลากรางจ์สองวิธีคือ การปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิม และวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ ซึ่งโดยจะทำการทดสอบกับชุดตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 เพื่อสังเกตผล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 และตารางที่ 4.7 และ 4.8

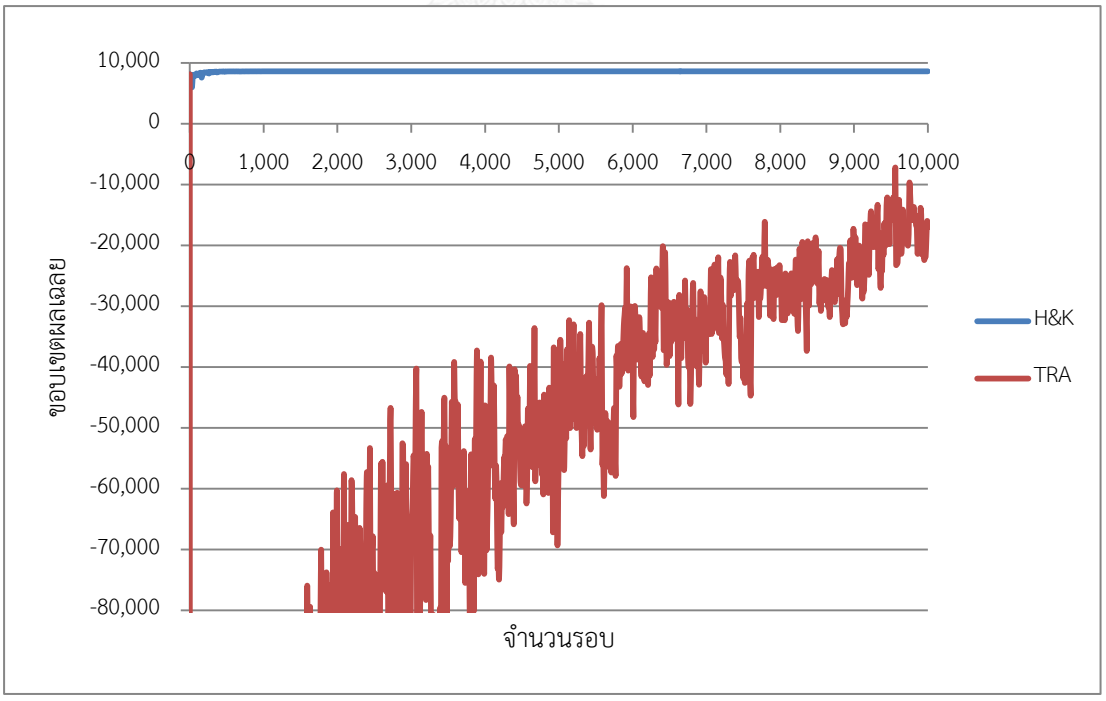
รูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 นั้น เป็นการแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยที่หาได้โดยใช้ทั้งสองเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ทั้งสองในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากขอบเขตในช่วงเริ่มต้นของวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้นในช่วงแรกจะมีการติดลบค่อนข้างมากทำให้ส่งผลต่อการแสดงผลลัพธ์ ผู้วิจัยจึงทำการกำหนดช่วงขอบเขตในการแสดงผล สำหรับการแสดงผลค่าสำคัญต่างๆ ของการหาขอบเขตนั้นนั้นผู้วิจัยจะแสดงผลในตารางที่ 4.7 และ 4.8



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 1



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงของความสัมพันธ์ของจำนวนรอบและขอบเขตของผลเฉลยของปัญหาตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 นั้นพบว่าวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้น ในช่วงแรกขอบเขตผลเฉลยที่พบในทุกปัญหาตัวอย่างนั้นจะมีค่าที่ติดลบอย่างมาก จากนั้นจะพัฒนาขอบเขตของผลเฉลยขึ้นมาเรื่อยๆ โดยมีการแกว่งตัวที่มาก โดยการแกว่งตัวที่มากขึ้นตามลำดับในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งแตกต่างจากวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ ที่มีการพัฒนาและลู่เข้าของขอบเขตผลเฉลยอย่างรวดเร็ว และมีการแกว่งตัวที่น้อยกว่ามาก จากนั้นขอบเขตผลเฉลยจะเริ่มนิ่งหลังจากพัฒนาไปได้ระยะหนึ่ง (ก่อน 1,000 จำนวนรอบทำงาน) สำหรับการสรุปผลและค่าสำคัญเพิ่มเติมของวิธีการทั้งสองนั้นเพิ่มเติมนั้นจะอธิบายในตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 นั้นจะเป็นการสรุปผลถึงค่าสำคัญของขอบเขตที่ได้จากทั้งสองวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ โดยจะมีแสดงค่าสำคัญคือ ขอบเขตเริ่มต้นคือขอบเขตที่ได้ก่อนจะทำการเริ่มการทำงาน ขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบคือขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบด้วยวิธีการหลังจากเริ่มกระบวนการ ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบคือขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบด้วยวิธีการหลังจากเริ่มกระบวนการ ระยะเวลาเฉลี่ยในการทำงานและจำนวนเงื่อนไขที่ปลดในแต่ละปัญหาตัวอย่าง และตารางที่ 4.8 นั้นเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการใช้วิธีปรุงปรุงตัวคูณลากรางจ์ทั้งสอง กับการหาผลเฉลยแบบการผ่อนปรนเชิงเส้นและการหาขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงด้วยวิธีแม่นตรง สำหรับการหาผลเฉลยแบบผ่อนปรนเชิงเส้น (Linear Programming Relaxation) นั้นคือการผ่อนคลายตัวแปรที่เป็นไบนารีให้มีลักษณะเป็นค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และทำการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ได้ขอบเขตที่ต่ำที่สุดของปัญหา (อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่เป็นไปได้) และนิยมใช้หาขอบเขตผลเฉลยเริ่มต้นของวิธีการหาผลเฉลยแบบแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต ซึ่งรายละเอียดในการแสดงผลจะมี ขอบเขตที่พบคือขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบ ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด จำนวนรอบที่พบขอบเขตที่ดีที่สุด และระยะเวลาในการหาขอบเขตที่ดีที่สุด ในแต่ละวิธีการ

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการใช้วิธีปรุงปรุงตัวคูณลากรางจ์ดั้งเดิมและวิธีเฮ็ลแอนด์คาร์พ

ชุดตัวอย่าง	รายละเอียด	แบบดั้งเดิม	แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ
1	ขอบเขตเริ่มต้น	3,456.98	3,456.98
	ขอบเขตที่ดีที่พบสุด	3,659.53	4,206.54
	ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบ	-3,034,031	2,338.98
	ระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบการ	0.024	0.019

ชุดตัวอย่าง	รายละเอียด	แบบดั้งเดิม	แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ
	ทำงาน (วินาที)		
	จำนวนเงื่อนไขที่ปลด	1,260	
2	ขอบเขตเริ่มต้น	6,551.37	6,551.37
	ขอบเขตที่ดีที่พบสุด	-2,631.31	7,216.39
	ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบ	-10,582,818.26	4910
	ระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบการทำงาน (วินาที)	0.041	0.029
	จำนวนเงื่อนไขที่ปลด	2,790	
3	ขอบเขตเริ่มต้น	8,150.78	8,150.78
	ขอบเขตที่ดีที่พบสุด	-7,438.24	8,630.51
	ขอบเขตที่แย่ที่สุดที่พบ	-22,837,115.43	5,998.69
	ระยะเวลาเฉลี่ยต่อรอบการทำงาน (วินาที)	0.564	0.061
	จำนวนเงื่อนไขที่ปลด	7,650	

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของขอบเขตที่ได้จากการใช้วิธีปรุงปรุงตัวคูณลากรางจ์กับวิธีการผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้นและขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

ชุดตัวอย่าง	รายละเอียด	วิธีการ			
		แบบดั้งเดิม	แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ	การผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้น	ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง
1	ขอบเขตที่พบ	3,659.53	4,206.54	4,529.60	5,587.44
	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด	34.50	24.71	-	-
	จำนวนรอบที่พบ	9,815	1,490	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	237.38	22.56	0.256	3,600
2	ขอบเขตที่พบ	-3,521.3	7,216.39	7,411.30	9,520.38
	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด	136.99	24.20	-	-
	จำนวนรอบที่พบ	10,000	2,040	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	411.61	49.43	0.574	3,600

ชุดตัวอย่าง	รายละเอียด	วิธีการ			
		แบบดั้งเดิม	แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ	การผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้น	ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง
3	ขอบเขตที่พบ	-7,438.24	8,630.51	9,110.81	11,373.08
	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด	165.40	24.11	-	-
	จำนวนรอบที่พบ	9,560	1,880	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	5,573.88	113.09	1.86	3,600

ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด = 100 * (ขอบเขตของวิธีการ – ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง)/ ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 นั้นสามารถอธิบายและสรุปผลของผลการทดสอบพฤติกรรมของวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ทั้งสองได้ว่า ในส่วนของลักษณะพฤติกรรมการพัฒนาและปรับปรุงค่าขอบเขตนั้น พบว่าวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบดั้งเดิมนั้น ในช่วงแรกขอบเขตของผลเฉลยที่พบในทุกปัญหาตัวอย่างนั้นจะมีค่าที่ติดลบอย่างมาก จากนั้นจะพัฒนาขอบเขตของผลเฉลยขึ้นมาเรื่อย ๆ โดยมีการแกว่งตัวที่มาก ซึ่งแตกต่างจากวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พที่มีการพัฒนาและลู่เข้าของขอบเขตผลเฉลยอย่างรวดเร็ว และมีการแกว่งตัวที่น้อยกว่ามาก จากนั้นขอบเขตผลเฉลยจะเริ่มนิ่งหลังจากพัฒนาไปได้ระยะหนึ่ง สำหรับในแง่ของคุณภาพของขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบนั้น พบว่าวิธีการเฮ็ลแอนด์คาร์พนั้นสามารถหาขอบเขตผลเฉลยที่พบได้ดีกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมในทุกกรณี โดยมีความแตกต่างของขอบเขตผลเฉลยห่างจากการหาขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงอยู่ที่ 24.71, 24.20 และ 24.11 เปอร์เซ็นต์ ในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ขณะที่วิธีการแบบดั้งเดิมนั้นมีประสิทธิภาพที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดในการหาขอบเขตผลเฉลยเมื่อเมื่อขนาดปัญหาหรือจำนวนเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายมีมากขึ้น โดยความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดที่พบในหนึ่งชั่วโมงคือ 34.50, 136.99 และ 165.40 เปอร์เซ็นต์ ในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ในแง่ของเวลาและจำนวนรอบในการหาขอบเขตของผลเฉลยนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการแบบเฮ็ลแอนด์คาร์พนั้นใช้จำนวนรอบและระยะเวลาในการหาขอบเขตที่ดีที่สุดเร็วกว่าวิธีการแบบดั้งเดิมเช่นกัน โดยในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 วิธีการแบบเฮ็ลแอนด์คาร์พใช้ระยะเวลา 22.56, 49.43 และ 113.09 วินาที และใช้จำนวนรอบ 1,490, 2,040 และ 1,880 รอบ ตามลำดับ ขณะที่วิธีการแบบดั้งเดิมนั้นใช้ระยะเวลา 237.38, 411.61 และ 5,573.88 วินาที ตามลำดับ และใช้จำนวนรอบ 9,815, 10,000

และ 9,560 รอบ ตามลำดับ จากที่กล่าวมาในข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ด้วยวิธีการเฮ็ลแอนด์คารพนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ด้วยวิธีแบบดั้งเดิมอย่างชัดเจน ทั้งในด้านระยะเวลาและคุณภาพขอบเขตผลเฉลย ทั้งนี้เนื่องมาจากวิธีการแบบเฮ็ลแอนด์คารพนั้นจะมีการกำหนดจุดหมายหรือค่าขอบเขตที่ต้องการเข้าหาได้ในทุก ๆ ที่ทำการปรับขอบเขต ขณะที่วิธีแบบดั้งเดิมนั้นใช้วิธีการสุ่มและปรับลดค่าไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ขอบเขตที่ต้องการ สิ่งนี้จึงเป็นข้อแตกต่างที่ทำให้วิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คารพนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่านั่นเอง

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบวิธีการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์โดยใช้เทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ กับการหาผลเฉลยแบบการผ่อนปรนเชิงเส้น จะพบว่าวิธีการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์นั้นมีประสิทธิภาพที่ด้อยกว่า ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าการใช้การผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตผลเฉลยสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งถูกจัดอยู่ในประเภทนอนโพลิโนเมียล-ฮาร์ด อาจไม่ใช่วิธีการทีมี่ประสิทธิภาพมากนักเนื่องจากต้องทำการปลดเงื่อนไขเป็นจำนวนมาก และแต่ละเงื่อนไขก็มีการผูกกันอยู่พอสมควร ส่งผลให้การขยับเข้าของขอบเขตที่ได้อาจไม่เข้าใกล้ขอบเขตที่ต้องการ หรือไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

4.5 การทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ในส่วนของการทดสอบสุดท้ายนี้จะเป็นการทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางการเดินรถ โดยคาดหวังว่าวิธีการนี้จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลเฉลยเบื้องต้นได้ดียิ่งขึ้น สำหรับผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้นั้นจะถูกนำมาจากการแก้ปัญหาแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยที่กำหนดระยะเวลาดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 เป็นการแสดงระยะเวลาที่กำหนดในการแก้ปัญหา เพื่อหาผลเฉลยเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหา ก่อนเข้าสู่การพัฒนาด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ตารางที่ 4.9 ระยะเวลาในการแก้ไขปัญหาที่กำหนดสำหรับการหาผลเฉลยเบื้องต้น

ปัญหาตัวอย่าง	ระยะเวลา (วินาที)
1	120
2	180
3	300
4	480
5	720
6	1,200
7	120
8	180
9	300
10	480
11	720
12	1,200

จากนั้นจะนำผลเฉลยเบื้องต้นเฉพาะในส่วนของตัวแปร x_j^t ซึ่งแสดงถึงปริมาณและจุดในการขนส่งสินค้าในแต่ละช่วงเวลามาใช้ โดยผู้วิจัยจะใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งสำหรับการทดสอบนี้ผู้วิจัยจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ปัญหา ซึ่งผลการทดสอบในส่วนนี้นั้น ผู้วิจัยต้องการศึกษาว่าการใช้วิธีการทางพันธุกรรมมาพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่ผู้วิจัยได้นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพในการพัฒนาจากผลเฉลยเบื้องต้นเป็นอย่างไร พร้อมทั้งจะนำผลเฉลยจากการพัฒนาที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง โดยผลการทดสอบที่ได้สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.10 นั้นเป็นการสรุปผลที่จากการแก้ปัญหา โดยจะทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้ระหว่างผลเฉลยเบื้องต้น (ก่อนการพัฒนา) และผลเฉลยที่ได้จากการนำเสนอ (หลังพัฒนาด้วยวิธีทางพันธุกรรม) และตารางที่ 4.11 นั้นเป็นการนำเอาผลเฉลยเบื้องต้น และผลเฉลยที่ได้จากการนำเสนอมาเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง รวมทั้งแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาในการแก้ไขปัญหา

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบผลเฉลยเบื้องต้นกับผลเฉลยจากวิธีที่นำเสนอ

ปัญหาตัวอย่าง	ผลเฉลยเบื้องต้น				ผลเฉลยจากวิธีที่นำเสนอ				ความแตกต่างที่สามารถพัฒนาได้ (%)
	ต้นทุนในส่วนการจัดเก็บสินค้า	ต้นทุนในส่วนการขนส่ง	ต้นทุนรวม	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	ต้นทุนในส่วนการจัดเก็บสินค้า	ต้นทุนในส่วนการขนส่ง	ต้นทุนรวม	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	
1*	3,825.33	1,762.11	5,578.44	0	-	-	-	-	-
2*	7,042.95	2,477.43	9,520.38	0	-	-	-	-	-
3	8,558.96	4,064.61	12,623.57	10.10	8,558.96	3,299.46	11,858.42	4.27	6.2
4	7,658.42	4,531.11	12,189.53	4.48	7,658.42	4,521.22	12,179.64	4.39	0.09
5	13,823.36	6,340.21	20,163.57	8.64	13,823.36	5,637.9	19,461.25	4.86	3.78
6	18,682.73	40,288.91	58,971.64	144.63	18,682.73	10,938.55	29,621.28	22.88	121.75
7*	379.29	1,762.11	2,141.4	0	-	-	-	-	-
8*	705.3	2,470.25	3,175.55	0	-	-	-	-	-
9	848.26	4,037.19	4,885.45	36.39	848.26	3,671.9	4,520.16	26.19	10.2
10	771.3	4,669.19	5,435.49	15.63	771.3	4,481.55	5,252.85	11.74	3.89
11	1,347.31	12,814.65	14,161.96	132.52	1,347.31	7,236.82	8,584.13	40.94	91.58
12	1,858.09	40,288.91	42,147	511.13	1,858.09	10,697.85	12,555.94	82.06	429.07

* สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด

ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด = 100 * (ผลเฉลยของวิธีการ – ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง)/ ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

ความแตกต่างที่สามารถพัฒนาได้ = ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดขอบผลเฉลยเบื้องต้น – ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดของผลเฉลยจากวิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบผลเฉลยเบื้องต้น ผลเฉลยจากวิธีที่นำเสนอ และผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

ปัญหาตัวอย่าง	รายละเอียด	วิธีการ			ความแตกต่างของผลเฉลย (%)
		ผลเฉลยเบื้องต้น	ผลเฉลยจากวิธีการนำเสนอ	ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง	
1*	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	0	-	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	5.63	-	-	-
2*	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	0	-	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	85.43	-	-	-
3	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	10.10	4.27	2.41	1.86
	ระยะเวลา (วินาที)	300	370.76 (70.76)	3,600	-
4	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	4.48	4.39	2.25	2.14
	ระยะเวลา (วินาที)	480	503.36 (23.36)	3,600	-
5	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	8.64	4.86	2.83	2.03
	ระยะเวลา (วินาที)	720	755.93 (35.95)	3,600	-
6	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	144.63	22.88	144.63	-121.75
	ระยะเวลา (วินาที)	1,200	1,385.65 (185.65)	3,600	-
7*	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	0	-	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	3.62	-	-	-
8*	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	0	-	-	-
	ระยะเวลา (วินาที)	60.7	-	-	-
9	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	36.39	26.19	4.83	21.36
	ระยะเวลา (วินาที)	300	365.95 (65.95)	3,600	-
10	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	15.63	11.74	5.82	15.92

ปัญหาตัวอย่าง	รายละเอียด	วิธีการ			ความแตกต่างของผลเฉลย (%)
		ผลเฉลยเบื้องต้น	ผลเฉลยจากวิธีการนำเสนอ	ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง	
	ระยะเวลา (วินาที)	480	500.86 (20.86)	3,600	-
11	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	132.52	40.94	12.61	28.33
	ระยะเวลา (วินาที)	720	775.98 (55.98)	3,600	-
12	ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด (%)	511.13	82.06	511.13	-429.07
	ระยะเวลา (วินาที)	1,200	1,363.41 (163.41)	3,600	-

* สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด

() เวลาในที่ใช้เฉพาะในส่วนการพัฒนาผลเฉลย

ความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุด = 100 * (ผลเฉลยของวิธีการ – ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง)/ ขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

ความแตกต่างของผลเฉลย = ผลเฉลยจากวิธีการที่นำเสนอ – ผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง

จากตารางที่ 4.10 และ 4.11 นั้นสามารถอธิบายผลทดสอบการหาผลเฉลยเบื้องต้นซึ่งกำหนดระยะเวลาในการแก้ปัญหาดังตารางที่ 4.9 ได้ว่า ในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2, 7 และ 8 นั้นสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาเท่ากับ 5.63, 85.43, 3.62 และ 60.7 วินาที ตามลำดับ ขณะที่ปัญหาตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 และ 12 นั้นไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยมีจากความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 10.10, 4.48, 8.64, 114.63, 36.39, 15.63, 132.52 และ 511.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำผลเฉลยเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 และ 12 ที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาภายในระยะเวลาที่กำหนดมาทำการพัฒนาในการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีทางพันธุกรรมแล้วนั้นจะพบว่า คุณภาพผลเฉลยที่พัฒนาได้ใหม่นั้นมีจากความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 4.27, 4.39, 4.86, 22.88, 26.19, 11.74, 40.94 และ 82.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยใช้ระยะเวลาในการพัฒนาอยู่ที่ 70.76, 23.36, 35.95, 185.65, 65.95, 20.86, 55.98 และ 163.41 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่ด้วยวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถเพิ่มคุณภาพของผลเฉลยได้ในทุกปัญหาตัวอย่างดังกล่าว โดยทำให้มีการลดลงของความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 6.2, 0.09, 3.78, 121.75, 10.2, 3.89, 91.58 และ 429.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

หากลองนำเปรียบเทียบโดยนำความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดของผลเฉลยเบื้องต้นกับและผลเฉลยที่พัฒนา โดยวิเคราะห์จากความแตกต่างที่สามารถพัฒนาได้นั้นจะพบว่า วิธีการที่นำเสนอนั้นจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเมื่อความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดของผลเฉลยเบื้องต้นมีค่ามาก และประสิทธิภาพของวิธีการพัฒนาผลเฉลยนั้นจะลดลงเมื่อผลเฉลยมีความใกล้เคียงกับขอบเขตที่ดีที่สุดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องเพราะเมื่อค่าของผลเฉลยที่ได้มีค่าใกล้เคียงขอบเขตที่ดีที่สุดมาก แสดงว่าผลเฉลยนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดทำให้วิธีการพัฒนาผลเฉลยซึ่งเป็นวิธีการฮิวริสติกส์นั้นก็จะลดประสิทธิภาพในการพัฒนาผลเฉลยเช่นกัน (ผลเฉลยเบื้องต้นมีคุณภาพที่ดีอยู่แล้ว) แต่ในทางกลับกันหากผลเฉลยมีความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดมาก (ผลเฉลยเบื้องต้นมีคุณภาพไม่ดี) จะทำให้วิธีการพัฒนาผลเฉลยนั้นมีช่วงหรือมีโอกาสในการพัฒนาคุณภาพของผลเฉลยได้มากยิ่งขึ้นนั่นเอง

ทั้งนี้หากสังเกตตารางที่ 4.11 ซึ่งทำการเปรียบเทียบผลเฉลยเบื้องต้น ผลเฉลยที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ และกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงนั้นจะพบว่า ในปัญหาตัวอย่าง 3, 4, 5, 9, 10 และ 11 วิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอนั้นสามารถพัฒนาผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลยเบื้องต้นอย่างชัดเจน แต่ผลเฉลยดังกล่าวยังไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการหาผลเฉลยในหนึ่งชั่วโมงได้ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดในการพัฒนาผลเฉลย เพราะวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอนั้นจะทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะในส่วนเส้นทางในการเดินทางเพียงเท่านั้น โดยไม่ได้พัฒนาผลเฉลยเพิ่มเติมในส่วนของการจัดเก็บสินค้า ทำให้การพัฒนาของผลเฉลยนั้นขึ้นอยู่กับผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้มาด้วยว่ามีคุณภาพที่ดีในการพัฒนาเพียงใด แต่สำหรับในปัญหาตัวอย่าง ที่ 6 และ 12 ซึ่งเป็นปัญหาตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากที่สุดนั้นพบว่า วิธีการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอนั้นสามารถพัฒนาคุณภาพผลเฉลยได้ดีกว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงอย่างชัดเจน โดยสามารถพัฒนาได้ดีขึ้นถึง 121.75 และ 429.07 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระยะเวลาเพิ่มเติมในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นเพียงแค่ 185.65 และ 163.41 วินาที เพียงเท่านั้น

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยในชิ้นนี้เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์และวิธีการในการหาผลเฉลยที่พัฒนาขึ้นจะถูกนำทดสอบชุดปัญหาตัวอย่างที่ได้กำหนด ซึ่งชุดปัญหาตัวอย่างแต่ละชุดจะมีความแตกต่างกันทางด้านความซับซ้อนและขนาดของปัญหา สำหรับประสิทธิภาพของวิธีการในการหาผลเฉลยนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์กับวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงจากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมา

วิธีการพัฒนาหาผลเฉลยที่ได้เสนอขึ้นมานั้น ผู้วิจัยเสนอใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ร่วมกับวิธีทางพันธุกรรม เข้ามาพัฒนาผลเฉลยสำหรับการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอดังกล่าวสามารถแบ่งการศึกษาเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือจะใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการช่วยหาขอบเขตของปัญหา โดยคาดหวังว่าจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาขอบเขตที่ดีที่สุดได้ ส่วนที่สองคือการประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นซึ่งได้จากแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยจำกัดระยะเวลาในการแก้ปัญหา โดยคาดหวังว่าจะสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของผลเฉลยเบื้องต้นที่พบให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้นเช่นกัน

ในการทดสอบแบบจำลองและวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่ผู้วิจัยนำเสนอนั้น สามารถสรุปผลและแบ่งการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้ผู้วิจัยจะทำการแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ คือ การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ และการทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม

1) การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ เป็นการศึกษาพฤติกรรมของปัญหาตัวอย่างโดยการเปลี่ยนแปลง ช่วงเวลาในการพิจารณา และจำนวนลูกค้า ว่าส่งผลต่อจำนวน

ตัวแปรและเงื่อนไขต่างๆ อย่างไรและมีความสัมพันธ์แบบใด เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะโครงสร้างของแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมาให้ดียิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ปัญหา ซึ่งสำหรับลักษณะความสัมพันธ์ของช่วงเวลาในการพิจารณา ต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ นั้นจะพบว่า ทุกจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับช่วงวลาในการพิจารณาเป็นแบบเส้นตรง ส่วนความสัมพันธ์ของจำนวนลูกค้าต่อจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขต่าง ๆ นั้นพบว่า สามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ โดยลักษณะแรกคือความสัมพันธ์แบบคงที่ เกิดขึ้นในเงื่อนไขที่ (3.2), (3.5) และ (3.7) ต่อมาลักษณะความสัมพันธ์แบบเส้นตรง เกิดขึ้นในตัวแปร x_j^t และ inv_j^t และเงื่อนไขที่ (3.3), (3.4), (3.6), และ (3.8) และสุดท้ายความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลเกิดขึ้นในตัวแปร y_{ij}^t และ z_{ij}^t และเงื่อนไขที่ (3.9)

2) การทดสอบแบบจำลองด้วยวิธีแม่นตรง เป็นการนำแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้จำลองขึ้นมาทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต และกำหนดระยะเวลาในการแก้ปัญหาคือหนึ่งชั่วโมง เพื่อใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบกับวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่ได้นำเสนอ โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ปัญหา จากการแก้ปัญหาพบว่า ในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2, 7 และ 8 นั้น วิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงสามารถหาผลเฉลยเฉลยที่ดีที่สุดได้ ภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาเท่ากับ 5.63, 85.43, 3.62 และ 60.7 วินาที ตามลำดับ ในส่วนของปัญหาตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11 และ 12 นั้นไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ โดยมีจากความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 2.41, 2.25, 2.83, 114.63, 4.83, 5.82, 12.61 และ 511.12 ตามลำดับ

3) การทดสอบการหาขอบเขตผลเฉลยด้วยวิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ เป็นการใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตของผลเฉลย โดยการทดสอบประสิทธิภาพของการหาขอบเขตของผลเฉลย สามารถแบ่งการสรุปผลของการทดสอบนี้ตามกระบวนการทำงานได้ออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกจะทำการพิจารณาว่าชุดเงื่อนไขใดมีความเหมาะสมที่จะทำการผ่อนคลายก่อน ซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาจากความสำคัญของชุดเงื่อนไขที่เมื่อทำการผ่อนคลายแล้วจะส่งผลให้การแก้ไขปัญหาของแบบจำลองนั้นง่ายขึ้น โดยมีชุดเงื่อนไขที่เข้าข่ายสองชุด คือชุดของเงื่อนไขอนุรักษ์การไหลของสินค้าและชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่ง และ

จากผลการทดสอบนั้นพบว่าการผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้าที่ขนส่งนั้นได้ขอบเขตที่มีคุณภาพที่ดีกว่า ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าเป็นผลมาจากการกำหนดทิศทางของเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์ของเงื่อนไขที่ทำการพิจารณา โดยหากเงื่อนไขที่ทำการผ่อนคลายเป็นสมการเวกเตอร์ของตัวคูณลากรางจ์จะมีค่าเป็นทิศทางใดก็ได้ เมื่อเวกเตอร์ตัวคูณลากรางจ์เป็นทิศทางใดก็ได้นั้นจะทำให้ช่วงของการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ทั้งหมดมีมากคุณภาพของขอบเขตที่ได้จึงไม่ดี แต่ขณะที่หากเงื่อนไขที่พิจารณาเป็นสมการอสมการเวกเตอร์ของตัวคูณลากรางจ์มีค่าเป็นทิศทางเดียวเท่านั้นการปรับปรุงค่าของเขตเขตในแต่ละรอบจึงดีกว่านั่นเอง สิ่งนี้จึงทำให้การผ่อนคลายชุดเงื่อนไขควบคุมปริมาณสินค้านั้นมีความเหมาะสมมากกว่านั่นเอง ต่อมาส่วนที่สองคือการศึกษาเพิ่มเติมถึงพฤติกรรมของเทคนิคตัวคูณลากรางจ์ โดยทำการศึกษาว่าเทคนิคการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์ว่าส่งผลกระทบต่อการหาขอบเขตอย่างไร โดยทดสอบโดยใช้เทคนิคการเปลี่ยนแปลงตัวคูณลากรางจ์สองวิธีคือ การปรับปรุงตัวคุณลากรางจ์แบบดั้งเดิม และวิธีการปรับปรุงตัวคูณลากรางจ์แบบเฮ็ลแอนด์คาร์พ ผลการทดสอบพบว่าการผ่อนคลายลากรางจ์ในรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงตัวคูณลากรางจ์โดยวิธีเฮ็ลแอนด์คาร์พมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีแบบดั้งเดิมอย่างชัดเจน กล่าวคือขอบเขตของผลเฉลยที่ได้จากวิธีเฮ็ลแอนด์คาร์พ มีค่าใกล้เคียงกับขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงมากกว่าวิธีดั้งเดิม อีกทั้งเมื่อปัญหาตัวอย่างมีขนาดใหญ่ขึ้น (จำนวนเงื่อนไขที่ผ่อนคลายมีมากขึ้น) พบว่าวิธีเฮ็ลแอนด์คาร์พยังสามารถคงประสิทธิภาพในการหาขอบเขตได้อยู่ขณะที่วิธีแบบดั้งเดิมนั้นจะมีประสิทธิภาพที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อขนาดปัญหาใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตามขอบเขตของผลเฉลยที่ได้จากผ่อนคลายลากรางจ์ทั้งสองรูปแบบนั้นยังห่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงอยู่พอสมควร จึงสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้วิธีการผ่อนคลายแบบลากรางจ์เพื่อหาขอบเขตผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลังนั้นอาจไม่ใช่วิธีที่ไม่เหมาะสมนัก

4) การทดสอบการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นด้วยวิธีทางพันธุกรรม เป็นการนำผลเฉลยเบื้องต้น (ซึ่งได้มาจากการแก้ปัญหาโดยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตโดยจำกัดเวลาในการแก้ปัญหา) มาพัฒนาด้วยวิธีทางพันธุกรรม (เฉพาะส่วนของการจัดเส้นทางการเดินรถ) โดยทำการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างทั้งหมด 12 ปัญหา พบว่าในปัญหาตัวอย่างที่ 1, 2 , 7 และ 8 สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ ขณะที่ปัญหาตัวอย่างที่ 3, 4, 5, 6,

9, 10, 11 และ 12 ไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ (นำมาพัฒนาด้วยวิธีทางพันธุกรรมต่อ) โดยจากการพัฒนาพบว่าทุกปัญหาตัวอย่างที่ได้ทำการพัฒนานั้น มีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยเดิมหรือผลเฉลยเบื้องต้นทั้งหมด โดยมีการลดลงของความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดอยู่ที่ 6.2, 0.09, 3.78, 121.75, 10.2, 3.89, 91.58 และ 429.07 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำผลเฉลยที่ได้จากการพัฒนาทางพันธุกรรมไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมง พบว่าในปัญหาตัวอย่างที่ 6 และ 12 ซึ่งเป็นปัญหาขนาดใหญ่ที่สุด วิธีการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นโดยใช้วิธีทางพันธุกรรมมีคุณภาพของผลเฉลยดีกว่าและใช้เวลาในการแก้ปัญหาดังกล่าวน้อยกว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดในหนึ่งชั่วโมงอีกด้วย โดยคุณภาพผลเฉลยดีกว่าอยู่ที่ 121.75 และ 429.07 เปอร์เซ็นต์ และมีระยะเวลาเพิ่มเติมในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นเพียงแค่ 185.65 และ 163.41 วินาที เพียงเท่านั้น จึงสรุปได้ว่าการใช้วิธีทางพันธุกรรมในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นซึ่งได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพโดยสามารถพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นได้ในทุกปัญหาตัวอย่าง อีกทั้งวิธีทางพันธุกรรมนี้จะมีประสิทธิภาพในการทำงานที่มากยิ่งขึ้นเมื่อคุณภาพผลเฉลยที่ได้มีความแตกต่างจากขอบเขตที่ดีที่สุดมาก (มักจะเกิดขึ้นเมื่อปัญหาที่ทำการแก้มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมาก) กล่าวคือการใช้วิธีทางพันธุกรรมในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นที่นำเสนอนี้จะเหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและขนาดใหญ่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอถึงการสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ในการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางและสินค้าคงคลัง พร้อมทั้งพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยสำหรับวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่ได้นำเสนอนั้น เป็นวิธีการที่คิดค้นขึ้นเพื่อพัฒนาการหาผลเฉลยของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตโดยเฉพาะ และจากการศึกษานั้นจะพบว่าการใช้วิธีผ่อนคลายแบบลากรางจ์ในการหาขอบเขตผลเฉลยนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ขณะที่การใช้วิธีทางพันธุกรรมในการพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นนั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในการพัฒนาที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหาที่พิจารณามีความซับซ้อนหรือขนาดที่ใหญ่ขึ้นวิธีดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพในการพัฒนาผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้น สำหรับแนวทางการพัฒนางานวิจัยนี้ในอนาคตนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองแนวทาง ในแนวทางแรกคือ

ความสมจริงของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้จำลองขึ้นมานั้น ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบวิธีการพัฒนาผลเฉลยโดยเฉพาะ ทำให้แบบจำลองยังขาดความสมบูรณ์ในการประยุกต์ใช้กับปัญหาจริงในบางส่วน เช่น ช่วงเวลาในการรับส่งสินค้า (Time Window) และระยะเวลาในการเดินทางของยานพาหนะ (Travel Time) เป็นต้น ดังนั้นหากนำเอาการพิจารณาเหล่านี้เข้ามาวิเคราะห์เพิ่มเติมจะทำให้แบบจำลองมีความสมบูรณ์และสมจริงมากยิ่งขึ้น แนวทางที่สองคือการเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการพัฒนาผลเฉลยที่นำเสนอ สำหรับวิธีการพัฒนาผลเฉลยในส่วนของการใช้วิธีทางพันธุกรรมมาพัฒนาผลเฉลยเบื้องต้นนั้น วิธีที่นำเสนอจะทำการพัฒนาผลเฉลยเฉพาะส่วนของเส้นทางในการเดินทางเท่านั้น โดยไม่ได้พัฒนาผลเฉลยเพิ่มเติมในส่วนของการจัดเก็บสินค้า ซึ่งอาจทำให้เกิดข้อจำกัดในการพัฒนาผลเฉลยอยู่บ้าง ดังนั้นในอนาคตอาจมีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเงื่อนไขอื่น ๆ เพิ่มเติมเข้ามาช่วยในการพัฒนาผลเฉลย เช่น การกำหนดเงื่อนไขให้ไม่ควรส่งสินค้าให้กับผู้บริโภครายเดียวกันในวันที่ติดกัน (ตัวอย่างเช่น ผู้บริโภค ก ไม่ควรได้รับสินค้าในวันที่ 3 และ วันที่ 4 ซึ่งติดกัน เป็นต้น) ซึ่งลักษณะการขนส่งดังกล่าวนั้นทำให้ประสิทธิภาพในการขนส่งลดลง ทั้งนี้อาจแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการควบรวมปริมาณขนส่งสินค้าวันหลังมารวมขนส่งทีเดียวในวันก่อนหน้า เป็นต้น เพื่อที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยได้ดียิ่งขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Anderson, H., Hoff, A., Christainsen, M., Halse, G., & Lokketsngen, A. (2010). Industrial Aspect and Literature Survey: Combine Inventory Management and Routing. *Computers & Operations Research, 37*(9), 1515-1536.

Baker, B. M., & Ayechew, M. A. (2003). A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Computer & Operations Research, 30*, 787-800.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research, 12*, 568-581.

Coelho, L. C., & Laporte, G. (2012). The Exact Solution of Several Classes of Inventory-Routing Problems. *CIRRELT, 22*.

Council of Logistics Management. (1998). Definition of Logistics. from http://www.clm1.org/mission.html

Federgruen, A., & Zipkin, P. H. (1984). A Combined Vehicle Routing and Inventory Allocation Problem. *Operations Research, 32*, 1019-1037.

Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). *Introduction to Logistics System Management*: John Wiley & Sons Ltd.

Gupta, S. (2007). *The production planning and inventory management of finished goods for a pharmaceutical company.* (M. Eng), Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts Institute of Technology.

Hanczar, P. (2012). A Fuel Distribution Problem - Application of New Multi-Item Inventory Routing Formulation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 54*, 726-735.

Held, M., & Karp, R. M. (1970). The Travelling Salesman Problem and Minimum Spanning Trees. *Operation Research., 18*, 1138-1162.

Taarit, N., & Hadj-Alounae, A. (2010). *A Lagrangian Heuristic Method and an Iterative Approach for the Inventory Routing Problem*. Paper presented at the International Conference of Modeling and Simulation, Tunisia.

ณัฐกาญจน์ โพธิสัมฤทธิ์. (2552). วิธีการฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพัสดุคงคลังในโรงงานประกอบเครื่องจักรกลเกษตร. (ปริญญามหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.). กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2556). รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทย ประจำปี 2556. from http://www.nesdb.go.th/Portals/0/tasks/dev_logis/report/data_1212250614.pdf

อุบลรัตน์ เธียรธนาคม. (2551). การใช้วิธีเชิงฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง. (ปริญญามหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายศรัณย์ พิพัฒนพงศ์โสภณ เป็นบุตรของ นายจตุพร พิพัฒนพงศ์โสภณ และนางจุไรรัตน์ พิพัฒนพงศ์โสภณ มีพี่น้อง 2 คน เป็นบุตรชายคนโต เกิดเมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถม และมัธยมจากโรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตในสาขาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2555 จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับมหาบัณฑิต ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University