การจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ

นายนวคุณ พิมพ์ทิมานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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.

MULTI-COMPARTMENT VESSEL INVENTORY ROUTING PROBLEM

Mr. Navakoon Pimtimanon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ
โดย	นายนวคุณ พิมพ์ทิมานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย โขมพัตราภรณ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นวคุณ พิมพ์ทิมานนท์ : การจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ. (MULTI-COMPARTMENT VESSEL INVENTORY ROUTING PROBLEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.มาโนช โลหเตปานนท์, 109 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังสำหรับเรือแบบหลายช่องบรรจุในการขนส่งสินค้าประเภทของเหลว ซึ่งเป็นการนำเอาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินเรือและปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังมาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน และพิจารณาเพิ่มเติมในข้อจำกัดของเรือแบบหลายช่องบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาเส้นทางการเดินทาง เวลาในการขนส่งสินค้า และปริมาณสินค้าที่ขนส่ง ที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการขนส่งและจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้พิจารณาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางในการจำลองปัญหา และทำการหาผลเฉลยโดยการประยุกต์ใช้วิธีแม่นตรงร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งผลที่ได้พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางที่นำเสนอสามารถจำลองรูปแบบของปัญหาได้อย่างใกล้เคียง และวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอสามารถหาผลเฉลยได้ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่น้อยกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5370551621 : MAJOR CIVIL ENGINEERING
KEYWORDS: INVENTORY ROUTING PROBLEM / MULTI-COMPARTMENTS / PATH-BASED FORMULATION MODEL

NAVAKOON PIMTIMANON: MULTI-COMPARTMENT VESSEL INVENTORY ROUTING PROBLEM. ADVISOR: ASST. PROF. MANOJ LOHATEPANONT, Ph.D., 109 pp.

In this paper, we focus on multi-compartments inventory routing problem of liquid bulk products. This problem combines two main problems together, inventory management and routing, with the additional multi-compartments constraint of the vehicle. The objective is to find the way to analyze this problem for the minimization transportation cost. We consider to use mathematical model as path-based formulation to simulate this problem and solve it by combining exact and heuristic algorithm. The result of this paper show that the path-based formulation model that we formulate can represent the problem almost similarly and give the solution almost optimal with less time for this problem.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Civil Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำชี้แนะในการดำเนินการวิจัย และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย โขมพัตราภรณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความกรุณาที่เสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษา พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการทำงานวิจัยและการประกอบอาชีพในอนาคต

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านเสมอมา จนทำให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้ความสามารถและประสบความสำเร็จในการศึกษาในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 5
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.1 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง 6
2.2 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง 11
2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 31
3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 32
3.2 วิธีการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด 38
3.3 วิธีการหาผลเฉลย 42
บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลจากงานวิจัย 53
4.1 รายละเอียดของข้อมูลจริง (Actual Data) 53
4.2 การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง 54
4.3 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ 71
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย 79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 104
5.1 สรุปผลการศึกษา 104
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

รายการอ้างอิง 107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 อันดับคะแนนข้อดีและข้อเสียเมื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่ง 2
ตารางที่ 2 คุณลักษณะและลักษณะที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง 11
ตารางที่ 3 ต้นทุนในการขนส่ง (บาท) 40
ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการเดินทาง (ช่วงเวลา) 40
ตารางที่ 5 เส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดที่ได้จากการจำลองรูปแบบ 41
ตารางที่ 6 รายชื่อท่าเรือผู้ผลิต 53
ตารางที่ 7 รายชื่อท่าเรือผู้บริโภค 54
ตารางที่ 8 จำนวนและขนาดของช่องบรรจุสินค้า 54
ตารางที่ 9 ระยะทางระหว่างท่าเรือ (ไมล์ทะเล) 55
ตารางที่ 10 รายละเอียดชุดข้อมูลที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง 55
ตารางที่ 11 รายละเอียดของชุดข้อมูล A1 56
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A1- ตัวแปร 56
ตารางที่ 13 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A1- สมการเงื่อนไข 57
ตารางที่ 14 รายละเอียดของชุดข้อมูล A2 59
ตารางที่ 15 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A2- ตัวแปร 59
ตารางที่ 16 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A2- สมการเงื่อนไข 60
ตารางที่ 17 รายละเอียดของชุดข้อมูล A3 61
ตารางที่ 18 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A3- ตัวแปร 62
ตารางที่ 19 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A3- สมการเงื่อนไข 62
ตารางที่ 20 รายละเอียดของชุดข้อมูล A4 64
ตารางที่ 21 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A4- ตัวแปร 65
ตารางที่ 22 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A4- สมการเงื่อนไข 65
ตารางที่ 23 รายละเอียดของชุดข้อมูล A5 67
ตารางที่ 24 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A5- ตัวแปร 68
ตารางที่ 25 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A5- สมการเงื่อนไข 68
ตารางที่ 26 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลง 70
ตารางที่ 27 รายละเอียดกลุ่มค่าพารามิเตอร์ 71
ตารางที่ 28 รายละเอียดชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์ 72

หน้า

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B1 73
ตารางที่ 30 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B2 73
ตารางที่ 31 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B3 73
ตารางที่ 32 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B4 73
ตารางที่ 33 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B5 74
ตารางที่ 34 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B6 74
ตารางที่ 35 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B7 74
ตารางที่ 36 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (เปอร์เซ็นต์)..... 76
ตารางที่ 37 อัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (เปอร์เซ็นต์)..... 78
ตารางที่ 38 รายละเอียดชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ 79
ตารางที่ 39 ขนาดปัญหาของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย 80
ตารางที่ 40 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C1 81
ตารางที่ 41 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C1 (ต่อ)..... 81
ตารางที่ 42 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C1 83
ตารางที่ 43 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C2 84
ตารางที่ 44 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C2 (ต่อ)..... 84
ตารางที่ 45 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C2 86
ตารางที่ 46 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C3 87
ตารางที่ 47 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C3 (ต่อ)..... 87
ตารางที่ 48 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C3 89
ตารางที่ 49 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C4 90
ตารางที่ 50 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C4 (ต่อ)..... 91
ตารางที่ 51 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C4 92
ตารางที่ 52 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C5 93
ตารางที่ 53 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C5 (ต่อ)..... 94
ตารางที่ 54 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C5 95
ตารางที่ 55 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C6 96
ตารางที่ 56 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C6 (ต่อ)..... 97
ตารางที่ 57 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C7 98
ตารางที่ 58 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C7 (ต่อ)..... 99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

ตารางที่ 59 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลง 105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 อัตราส่วนต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ปีพ.ศ. 2550-2553 2
รูปที่ 2 อัตราส่วนปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ปีพ.ศ.2550-2553 3
รูปที่ 3 อัตราส่วนปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ปีพ.ศ.2550-2553 3
รูปที่ 4 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต 12
รูปที่ 5 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์ 16
รูปที่ 6 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบ่งปัญหาของแดนซิกข์-วูล์ฟ 18
รูปที่ 7 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน 19
รูปที่ 8 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ 21
รูปที่ 9 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้าม 23
รูปที่ 10 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบละโมบ 25
รูปที่ 11 ส่วนประกอบของผลเฉลยในรูปพันธุกรรม 26
รูปที่ 12 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรม 27
รูปที่ 13 รูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด 41
รูปที่ 14 การจำลองรูปแบบเส้นทางการเดินทาง P1-C1-P1 และเส้นเชื่อมการจอด P1-P1 42
รูปที่ 15 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแยกปัญหา 43
รูปที่ 16 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ 49
รูปที่ 17 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้-อัลกอริทึม 52
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนสินค้า 57
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนสินค้า 58
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง 60
รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง 61
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับความยาวคาบการวางแผน 63
รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับความยาวคาบการวางแผน 63
รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนเรือขนส่งสินค้า 66
รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนเรือขนส่งสินค้า 66
รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค 69

หน้า

รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค 69
รูปที่ 28 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์ 75
รูปที่ 29 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าของชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์ 75
รูปที่ 30 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ 77
รูปที่ 31 อัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ 78
รูปที่ 32 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C1 82
รูปที่ 33 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C1 82
รูปที่ 34 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C2 85
รูปที่ 35 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C2 85
รูปที่ 36 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C3 88
รูปที่ 37 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C3 88
รูปที่ 38 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C4 91
รูปที่ 39 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C4 92
รูปที่ 40 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C5 94
รูปที่ 41 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C5 95
รูปที่ 42 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C6 97
รูปที่ 43 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C6 98
รูปที่ 44 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C7 99
รูปที่ 45 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C7 100
รูปที่ 46 อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ 102
รูปที่ 47 อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยเทียบกับวิธีแยกปัญหาของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ 102
รูปที่ 48 เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ยของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันพบว่า “โลจิสติกส์” เข้ามามีบทบาทในการบริหารจัดการธุรกิจต่างๆ เป็นอย่างมาก เนื่องจากว่าการบริหารจัดการแบบโลจิสติกส์นั้นสามารถช่วยในการลดต้นทุนหรือสร้างผลกำไรที่สูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้สภาพเศรษฐกิจของแต่ละธุรกิจมีการพัฒนาที่ดีขึ้น

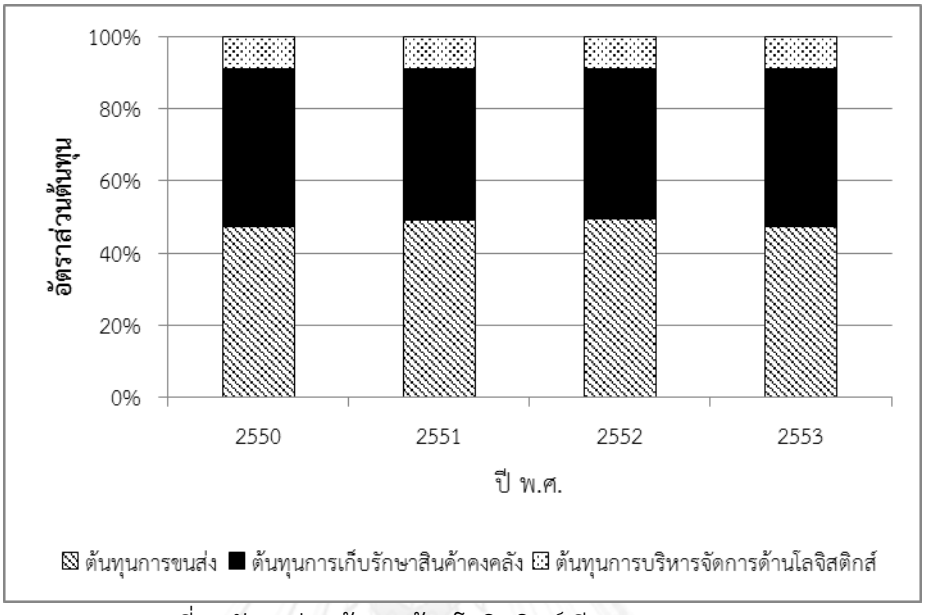
“โลจิสติกส์” คือการบริหารจัดการการขนย้ายและจัดเก็บวัตถุดิบหรือสินค้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างเพียงพอ โลจิสติกส์ประกอบด้วยต้นทุน 3 ส่วนหลักๆ (ธาระรูป, 2552) คือ

- ต้นทุนการขนส่ง เป็นต้นทุนการขนย้ายวัตถุดิบและสินค้า จากแหล่งที่มาของวัตถุดิบหรือแหล่งผลิตไปยังปลายทางจนถึงมือของผู้บริโภค
- ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ต้นทุนในการเก็บรักษาวัตถุดิบหรือสินค้า เกิดจากค่าเสียโอกาสในเงินทุนที่จมไปกับการได้มาซึ่งวัตถุดิบและสินค้าซึ่งไม่ก่อให้เกิดรายได้ในช่วงเวลานั้น และต้นทุนในการบริหารจัดการคลังสินค้า คือต้นทุนที่เกิดจากการบริหารจัดการคลังสินค้า และการจัดเก็บวัตถุดิบหรือสินค้า
- ต้นทุนการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์ คือ ต้นทุนที่เกิดจากการบริหารจัดการระบบการทำงานและการให้บริการต่างๆ ให้มีความสามารถในการให้บริการได้อย่างรวดเร็วและเพียงพอ

จากสถิติอัตราส่วนต้นทุนด้านโลจิสติกส์ที่ผ่านมาพบว่า ต้นทุนการขนส่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์ เนื่องจากมีอัตราส่วนของต้นทุนอยู่ถึงประมาณร้อยละ 48 ของต้นทุนด้านโลจิสติกส์ทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนด้านการเก็บรักษาสินค้าคงคลังและต้นทุนการบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์ ซึ่งมีอัตราส่วนของต้นทุนอยู่ประมาณร้อยละ 43 และ 9 ของต้นทุนด้านโลจิส-ติกส์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1 นอกจากนั้นยังพบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของต้นทุนด้านโลจิสติกส์มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยในส่วนของต้นทุนด้านการขนส่งนั้นยังถือว่าเป็นต้นทุนที่มีความสำคัญที่สุด

โดยรูปแบบการขนส่งสินค้าที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากรูปแบบหนึ่งคือ การขนส่งสินค้าทางน้ำ เนื่องจากการขนส่งสินค้าทางน้ำนั้นมีต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่อหน่วยต่อระยะทางที่ต่ำและมีปริมาณการขนส่งต่อเที่ยวที่สูง แต่ในทางกลับกันก็พบว่าการขนส่งสินค้าทางน้ำนั้นมีข้อด้อยอยู่เช่นกัน ได้แก่ ความเร็วในการขนส่งที่ช้า ความไม่แน่นอนเรื่องเวลาในการขนส่งที่สูงเนื่องจากระยะเวลาในการขนส่งทางน้ำนั้นมีสภาพภูมิอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งค่อนข้างไม่แน่นอนและยากที่จะคาดการณ์ และมีความสามารถในการเข้าถึงที่ต่ำ กล่าวคือ ไม่สามารถที่จะขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้นไปยัง

ปลายทางได้ด้วยตัวเอง ต้องมีการอาศัยรูปแบบการขนส่งอื่นๆ เข้ามาช่วยในการขนส่งสินค้าไปยังปลายทางอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 1 อัตราส่วนต้นทุนด้านโลจิสติกส์ ปีพ.ศ. 2550-2553

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

ตารางที่ 1 อันดับคะแนนข้อดีและข้อเสียเมื่อทำการเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่ง

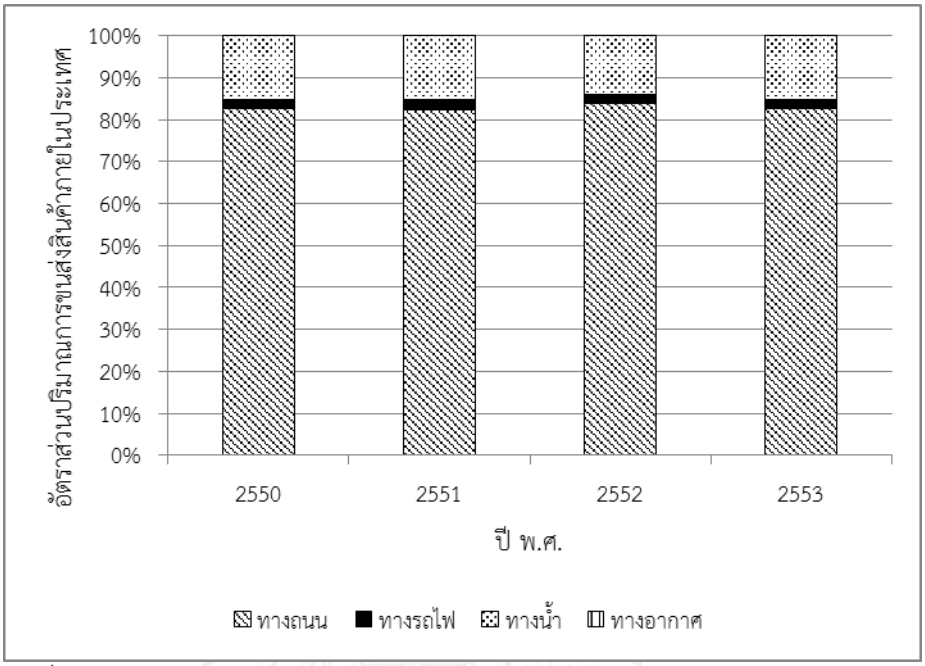
(1: ดีที่สุด, 5: แย่ที่สุด)

รูปแบบการขนส่ง	ความรวดเร็วในการขนส่ง	ความถี่ในการขนส่ง	ความไม่แน่นอนในการขนส่ง	ความสามารถในการบรรทุก	ความสามารถในการเข้าถึง	ต้นทุนในการขนส่งต่อหน่วยต่อระยะทาง
ทางถนน	2	2	2	3	1	4
ทางรถไฟ	3	4	3	2	2	3
ทางน้ำ	4	5	4	1	4	1
ทางอากาศ	1	3	5	4	3	5
ทางท่อ	5	1	1	5	5	2

ที่มา: James L. Heskett, Robert J. Ivie and Nicholas A. Glaskowsky, Business Logistic (New York : Ronald Press) p. 71

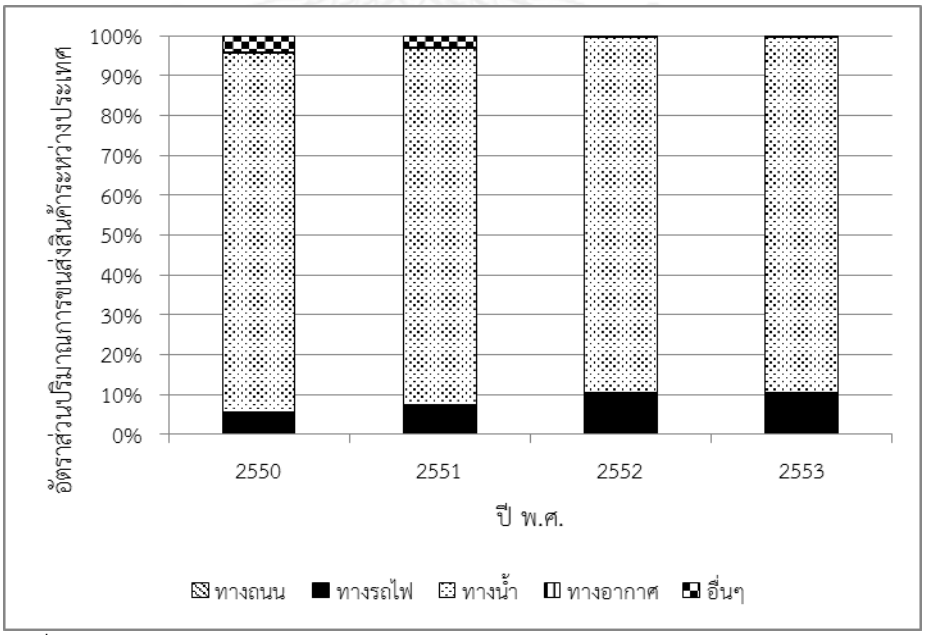
เมื่อพิจารณาปริมาณการขนส่งสินค้าทางน้ำภายในประเทศจะพบว่ามีอัตราส่วนปริมาณการขนส่งทางน้ำเพียงแค่ประมาณร้อยละ 15 ของปริมาณการขนส่งภายในประเทศทั้งหมด แต่หากพิจารณาปริมาณการขนส่งทางน้ำระหว่างประเทศแล้วจะพบว่ามีอัตราส่วนปริมาณการขนส่งที่สูงถึงประมาณร้อยละ 90 ของปริมาณการขนส่งระหว่างประเทศทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวจะพบว่าการขนส่งทางน้ำหรืออาจเรียกว่าการขนส่งทางทะเลนั้นมี

บทบาทสำคัญในการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเป็นอย่างมาก โดยมีสาเหตุมาจากต้นทุนในการขนส่งต่อหน่วยต่อระยะทางที่ต่ำและมีปริมาณการขนส่งต่อครั้งที่สูง



รูปที่ 2 อัตราส่วนปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ปีพ.ศ.2550-2553

ที่มา: กระทรวงคมนาคม



รูปที่ 3 อัตราส่วนปริมาณการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศของแต่ละรูปแบบการขนส่ง ปีพ.ศ.2550-2553

ที่มา: กระทรวงคมนาคม

การขนส่งสินค้าทางทะเลสามารถขนส่งสินค้าได้ทุกประเภท โดยลักษณะของสินค้าที่นิยมขนส่งทางทะเลคือ สินค้าที่มีน้ำหนักหรือปริมาตรที่มาก และมีปริมาณการขนส่งที่สูง ส่วนสินค้าที่ไม่นิยมขนส่งทางทะเลคือ สินค้าที่มีมูลค่าค่อนข้างสูงแต่น้ำหนักเบา และสินค้าที่เน่าเสียได้ง่าย เนื่องจากการขนส่งสินค้าทางทะเลค่อนข้างเน้นไปที่ปริมาณสินค้าในการขนส่งมากกว่ามูลค่าของสินค้าที่ขนส่ง จึงทำให้คุณภาพในการดูแลรักษาสินค้าค่อนข้างต่ำ และการขนส่งสินค้าทางทะเลใช้เวลาค่อนข้างนาน ทำให้การขนส่งทางทะเลไม่เหมาะกับสินค้าที่เน่าเสียง่าย โดยสินค้าที่ขนส่งทางทะเลสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะการขนส่งสินค้า (สุทธิวาทนฤพุฒิ, 2553) ดังนี้

- การขนส่งสินค้าเทกอง (Bulk Cargo) คือการขนส่งสินค้าที่ไม่ต้องมีภาชนะบรรจุ ซึ่งมักจะเป็นสินค้าที่มีลักษณะคล้ายกันและสามารถนำมาเก็บรวมกันได้ โดยสามารถแบ่งสินค้าเทกองออกได้เป็น 2 ประเภทย่อยๆ ได้แก่ สินค้าแห้งและสินค้าเหลว
- การขนส่งสินค้าตู้ (Container Cargo) คือการขนส่งสินค้าที่มีการบรรจุสินค้าอยู่ในตู้สินค้า โดยการขนส่งลักษณะนี้จะช่วยลดความเสียหายของตัวสินค้า ช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสินค้า เนื่องจากว่าตัวตู้มีความแข็งแรงและมีความสะดวกในการเคลื่อนย้าย นอกจากนั้นยังสะดวกในการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางอีกด้วย
- การขนส่งสินค้าทั่วไป (General Cargo) คือการขนส่งสินค้าที่บรรจุอยู่ในรูปแบบอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตู้สินค้า อาทิเช่น ลัง ถุง หรือกล่อง เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะดูแลรักษาสินค้าและใช้พื้นที่ของเรือให้เกิดประโยชน์สูงสุด

สินค้าที่มีการขนส่งทางทะเลของประเทศไทยนั้นประกอบไปด้วยสินค้ามากมายหลากหลายชนิด ทั้งสินค้าในส่วนของสินค้าอุปโภคบริโภค วัสดุก่อสร้าง ผลผลิตทางการเกษตร แร่ธาตุต่างๆ สินค้าเบ็ดเตล็ด และสินค้าอื่นๆ โดยสินค้าที่มีอัตราส่วนการขนส่งทางทะเลที่มากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ซึ่งพบว่ามีอัตราส่วนปริมาณการขนส่งอยู่ประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณการขนส่งทางทะเลทั้งหมด

สินค้ากลุ่มปิโตรเลียมนี้หากจำแนกตามลักษณะการขนส่งสินค้า จะจัดอยู่ในลักษณะการขนส่งสินค้าแบบเทกองประเภทของเหลว สินค้ากลุ่มปิโตรเลียมประกอบไปด้วยสินค้าปิโตรเลียมหลายชนิด ซึ่งสินค้าแต่ละชนิดไม่สามารถที่จะนำมาเก็บรวมกันได้ อาจขนส่งโดยเรือบรรทุกน้ำมันซึ่งมีการแยกพื้นที่ในการจัดเก็บไว้อย่างชัดเจน หรือขนส่งโดยเรือบรรทุกทั่วไป แต่การขนส่งโดยเรือบรรทุกทั่วไปจะต้องมีการบรรจุสินค้าอยู่ในรูปของถัง (Tank) เพื่อที่จะแบ่งแยกชนิดของสินค้าแต่ละชนิดออกจากกัน

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าในปัจจุบันการบริหารจัดการธุรกิจต่างๆ มีเป้าหมายที่จะลดต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นคือต้นทุนด้านการขนส่ง และต้องการให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างเพียงพอ ซึ่งรูปแบบการขนส่งที่มีความสำคัญและมีบทบาทเป็นอย่างมากในการขนส่งสินค้า คือ การขนส่งสินค้าทางทะเล เนื่องจากสามารถที่จะขนส่งสินค้าได้เป็นปริมาณมากและมีต้นทุนค่าขนส่งต่อหน่วยต่อระยะทางที่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินทางของเรือและการบริหารจัดการปริมาณสินค้าคงคลังให้มีความเพียงพอต่อความต้องการในแต่ละช่วงเวลามาพิจารณาร่วมกัน ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อก่อให้เกิดต้นทุนในการขนส่งที่

น้อยที่สุด โดยสินค้าที่ใช้พิจารณาในการจัดเส้นทางเดินเรือคือ สินค้ากลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม เนื่องจากว่าสินค้ากลุ่มผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นสินค้าที่มีอัตราส่วนการขนส่งทางทะเลที่มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ
2) พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ
3) เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองโดยวิธีการแม่นตรงกับวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินเรือขนส่งสินค้าที่มีการแบ่งแยกช่องเก็บสินค้าแต่ละชนิดอย่างชัดเจน (Multi-Compartment Vehicle Routing Problem) ควบคู่ไปกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) โดยสินค้าที่พิจารณาเป็นสินค้าเทกองประเภทของเหลวจำนวนหลายชนิด (Liquid Bulk Commodities) ซึ่งมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ไม่สามารถที่จะนำมาเก็บปะปนกันได้ และทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองปัญหาพร้อมกับพัฒนาวิธีการหาผลเฉลย

โดยงานวิจัยนี้พิจารณาแต่เพียงการพัฒนาการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงการพัฒนาโปรแกรมกราฟฟิกเพื่อใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) เนื่องจากไม่ได้เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจและสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ
2) สามารถพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
3) สามารถหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุที่มีขนาดใหญ่ภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางการเดินทางและการบริหารจัดการสินค้าคงคลังถือเป็นกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดต้นทุนกับบริษัทหรือธุรกิจต่างๆ เป็นอย่างมาก โดยปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางเป็นการจัดลำดับการเดินทางของแต่ละยานพาหนะเพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุด ส่วนปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง คือ การวางแผนการเติมสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้มีปริมาณสินค้าคงคลังที่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ ภายใต้เงื่อนไขการมีปริมาณสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด เพื่อให้มีต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด

โดยหากพิจารณาปัญหาทั้งสองร่วมกันจะพบว่าปัญหาสองปัญหานี้ต่างมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยหากต้องการลดต้นทุนในส่วนของค่าขนส่ง การจัดเส้นทางการเดินทางควรจะจัดให้มีความถี่ในการเดินทางที่ต่ำ แต่จากความถี่ในการเดินทางที่ต่ำจึงทำให้ปริมาณสินค้าที่เติมในแต่ละรอบการเดินทางมีปริมาณที่สูง ซึ่งผลที่ได้คือ ต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำ แต่ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าจะสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณสินค้าที่ทำการเติมในแต่ละช่วงเวลามีปริมาณที่มาก ในทางกลับกันหากต้องการที่จะลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า ปริมาณสินค้าที่จะทำการเติมในแต่ละช่วงเวลาจะต้องมีปริมาณที่น้อย แต่เพื่อให้มีปริมาณสินค้าที่เพียงพอต่อความต้องการจึงต้องทำการเพิ่มความถี่ในการเดินทางให้สูงขึ้น ซึ่งจะพบว่าต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าจะต่ำลง แต่ต้นทุนในการขนส่งสินค้าจะสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณความถี่ในการเดินทางที่มากขึ้น จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหากต้องการที่จะลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากปัญหาทั้งสองนี้ การพิจารณาแต่ละปัญหาแยกออกจากกันอาจไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เนื่องจากไม่สามารถบอกได้ว่าต้นทุนส่วนที่เพิ่มขึ้นมาจะน้อยกว่าต้นทุนส่วนที่ลดลงไปหรือไม่ ดังนั้นจึงบอกได้ว่าหากต้องการที่จะลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากปัญหาทั้งสองนี้ วิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมคือการนำเอาปัญหาทั้งสองมาทำการแก้ปัญหาร่วมกัน

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังถือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการนำเอาเงื่อนไขของทั้งสองปัญหามาทำการพิจารณาร่วมกันจึงทำให้ปัญหาที่พิจารณามีขนาดใหญ่ขึ้นเป็นอย่างมาก ทำให้ยากต่อการแก้ปัญหา ซึ่งในบทนี้จะนำเสนอรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

2.1 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

จากการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง ผู้วิจัยพบว่ารูปแบบของปัญหามีความหลากหลายเป็นอย่างมาก โดยปัญหาแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดภายในที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจากรายละเอียดที่แตกต่างกันนี้เองจึงทำให้รูปแบบของปัญหามีความหลากหลายและซับซ้อนแตกต่างกันไป โดย Andersson, Hoff, Christiansen, Hasle, and

Løkketangen (2010) ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษารูปแบบของปัญหาข้างต้นจากงานวิจัยที่ผ่านมา และได้ทำการจำแนกรูปแบบของปัญหาออกตามคุณลักษณะต่างๆ ดังนี้

1. ระยะเวลา (Time) คือ ช่วงความยาวของเวลาที่พิจารณาในปัญหา ซึ่งคุณลักษณะนี้เป็นคุณลักษณะที่ใช้ในการบ่งบอกถึงระดับการวางแผนของปัญหา โดยการวางแผนในระดับปฏิบัติการจะพิจารณาในช่วงความยาวของเวลาที่สั้น แต่สำหรับระดับกลยุทธ์จะพิจารณาในช่วงความยาวของเวลาที่ยาวมากๆ ซึ่งคุณลักษณะนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่
    - ระยะเวลาสั้น (Instant) เป็นลักษณะช่วงความยาวของเวลาที่สั้นมากๆ ซึ่งจะพิจารณาใช้กับปัญหาที่มีการเลือกเติมสินค้าได้ไม่เกิน 1 ครั้งต่อสถานที่ต่อระยะเวลาที่พิจารณา โดยไม่คำนึงถึงความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการสินค้าว่าเพียงพอหรือไม่ หรืออาจจะพิจารณาอยู่ในรูปของต้นทุนค่าเสียโอกาส
    - ระยะเวลาจำกัด (Finite) เป็นลักษณะช่วงเวลาที่ทราบความยาวที่แน่นอน โดยจะพิจารณาใช้กับปัญหาที่มีการเลือกเติมสินค้ามากกว่า 1 ครั้งต่อสถานที่ต่อช่วงเวลาที่พิจารณา ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้จะสามารถทำการแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะย่อยตามการพิจารณาช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง กล่าวคือ หากวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้โดยพิจารณาช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องร่วมกับช่วงเวลาที่พิจารณาจริง จะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะช่วงเวลาแบบกลิ้ง (Rolling Horizon) ในอีกลักษณะหนึ่งหากไม่พิจารณาช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องร่วมกับช่วงเวลาที่พิจารณาจริง จะถือเป็นปัญหาที่มีลักษณะช่วงเวลาแบบคงที่ (Fixed Horizon)
    - ระยะเวลาไม่จำกัด (Infinite) เป็นลักษณะช่วงเวลาที่ไม่ทราบความยาวที่แน่นอน เนื่องจากมีความยาวของช่วงเวลาที่มาก ซึ่งจะนิยมใช้กับปัญหาที่มองถึงภาพรวมขนาดใหญ่ในระดับการวางกลยุทธ์ในการทำงาน ไม่เหมาะกับปัญหาที่มองแค่เพียงการวางแผนการทำงานทั่วไป โดยการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะนี้จะไม่พิจารณาต้นทุนหรือผลกำไรรวมทั้งหมดของช่วงเวลาที่พิจารณา แต่จะพิจารณาแค่เพียงช่วงเวลาที่สนใจเท่านั้น
2. ปริมาณความต้องการสินค้า (Demand) คือ ลักษณะความแปรปรวนของปริมาณความต้องการสินค้า ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้
    - ปริมาณความต้องการสินค้าแปรปรวน (Stochastic) คือ ลักษณะปริมาณความต้องการสินค้าที่มีความไม่แน่นอนและไม่ทราบปริมาณที่ชัดเจน โดยปัญหาในลักษณะนี้จะสามารถแสดงถึงรูปแบบของปัญหาได้เป็นอย่างดี แต่จะทำให้ปัญหาที่พิจารณามีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ปัญหาเพิ่มเติมในด้านของปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่ทราบแน่ชัด ซึ่งเหมาะสมกับปัญหาที่ให้ความสนใจในด้านความไม่แน่นอนของปริมาณความต้องการสินค้า

- ปริมาณความต้องการสินค้าแน่นอน (Deterministic) คือ ลักษณะปริมาณความต้องการสินค้าที่มีปริมาณคงที่และทราบปริมาณอย่างแน่นอน ซึ่งนิยมใช้กับปัญหาที่ให้ความสนใจในด้านเทคนิควิธีการแก้ปัญหา

3. รูปแบบการเชื่อมต่อ (Topology) คือ ปริมาณความสามารถในการเดินทางระหว่างจุดต้นทางและจุดปลายทางที่พิจารณา โดยในที่นี้จุดต้นทาง ได้แก่ โรงงานผลิตหรือศูนย์กระจายสินค้าที่ทำหน้าที่ในการกระจายสินค้าไปยังจุดปลายทาง ได้แก่ ลูกค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าด้วยกันเอง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ
    - หนึ่งจุดต้นทาง-หนึ่งจุดปลายทาง (One-to-one) คือ ลักษณะปัญหาที่ต้องการขนส่งสินค้าจากหนึ่งจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางแค่เพียงจุดเดียวเท่านั้น
    - หนึ่งจุดต้นทาง-หลายจุดปลายทาง (One-to-many) เป็นลักษณะปัญหาการขนส่งสินค้าที่มีแค่เพียงหนึ่งจุดต้นทางไปยังจุดปลายทางหลายๆจุด ซึ่งพบว่าปัญหาในลักษณะนี้จะมีลักษณะคล้ายกับรูปแบบหนึ่งของปัญหาการขนส่งทางถนน กล่าวคือ มีจุดต้นทางเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเส้นทางการเดินทางของยานพาหนะ และทำหน้าที่ในการกระจายสินค้าไปยังจุดปลายทาง
    - หลายจุดต้นทาง-หลายจุดปลายทาง (Many-to-many) เป็นลักษณะปัญหาในการขนส่งสินค้าจากหลายๆจุดต้นทางไปยังหลายจุดปลายทาง โดยจุดต้นทางและจุดปลายทางเหล่านี้สามารถที่จะเป็นได้ทั้งจุดต้นทางและจุดปลายทางภายในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ ทุกๆ จุดสามารถที่จะกระจายและรับสินค้าได้และสามารถเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของเส้นทางการเดินทางได้เช่นกัน ซึ่งลักษณะปัญหารูปแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาการขนส่งทางน้ำที่สามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงที่จุดไหนก็ได้

4. เส้นทางการเดินทาง (Routing) คือ รูปแบบในการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยพิจารณาจากลักษณะการเดินทางของยานพาหนะ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่
    - เส้นทางการเดินทางแบบตรง (Direct) เป็นลักษณะของปัญหาที่พิจารณาให้มีการรับสินค้าจากจุดต้นทางและทำการขนส่งสินค้าไปยังจุดปลายทางแค่เพียงจุดเดียว แล้วทำการจบเส้นทางการเดินทางที่จุดต้นทางในทันที
    - เส้นทางการเดินทางแบบหลายจุดปลายทาง (Multiple) เป็นลักษณะของปัญหาที่มีการรับสินค้าจากจุดต้นทางไปส่งยังจุดปลายทางที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งจุด แล้วกลับไปจบเส้นทางที่จุดต้นทาง
    - เส้นทางการเดินทางแบบต่อเนื่อง (Continuous) คือ ลักษณะการเดินทางที่ไม่มีจุดต้นทางและจุดปลายทาง กล่าวคือ สามารถขนส่งสินค้าขึ้นและลงได้ในทุกๆ จุด โดยไม่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด

5. ปริมาณสินค้าคงคลัง (Inventory) คือ รูปแบบในการบริหารจัดการปริมาณสินค้าคงคลัง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะ ดังนี้
    - ปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำคงที่ (Fixed) คือ การบริหารจัดการสินค้าคงคลังให้สามารถตอบสนองต่อปริมาณความต้องการสินค้าได้อย่างเพียงพอและมีปริมาณสินค้าคงคลังไม่ต่ำกว่าปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำที่ได้กำหนดไว้
    - ปริมาณสินค้าคงคลังขาด (Stock-out) คือ การบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่ยอมให้มีปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับการตอบสนอง
    - ปริมาณสินค้าคงคลังเร่งด่วน (Lost sale) คือ การบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่ยอมให้มีปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับการตอบสนอง แต่จะต้องทำการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการสินค้านี้อย่างเร่งด่วน
    - ปริมาณสินค้าคงคลังย้อนหลัง (Back-order) คือ การบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่ยอมให้มีปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับการตอบสนอง แต่จะทำการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการสินค้านี้ในภายหลัง ซึ่งจะมีลักษณะต่างกับลักษณะปริมาณสินค้าคงคลังเร่งด่วนในด้านความเร็วในการตอบสนองต่อปริมาณความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับการตอบสนองในเบื้องต้น โดยลักษณะสินค้าคงคลังแบบเร่งด่วนจะมีการตอบสนองที่เร็วกว่าลักษณะปริมาณสินค้าคงคลังย้อนหลัง
6. ลักษณะยานพาหนะ (Fleet composition) คือ รูปแบบของยานพาหนะ ซึ่งจะจำแนกจากส่วนประกอบและขนาดของยานพาหนะ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่
    - ยานพาหนะรูปแบบเดียว (Homogeneous) เป็นลักษณะปัญหาที่มีการใช้ยานพาหนะที่มีลักษณะเหมือนกันทั้งหมด อาทิเช่น ความเร็ว ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน หรือขนาดของยานพาหนะ เป็นต้น
    - ยานพาหนะหลายรูปแบบ (Heterogeneous) เป็นลักษณะปัญหาที่มีการใช้ยานพาหนะที่มีลักษณะแตกต่างกันตั้งแต่ 2 รูปแบบขึ้นไป โดยอาจจะแตกต่างกันในทุกๆส่วน หรือแค่เพียงบางส่วนก็ถือว่ามีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้จะซับซ้อนกว่าปัญหาในลักษณะยานพาหนะรูปแบบเดียว เนื่องจากยานพาหนะแต่ละยานพาหนะที่แตกต่างกันจะไม่สามารถที่จะใช้สลับกันได้
7. ปริมาณยานพาหนะ (Fleet size) คือ ปริมาณยานพาหนะที่ใช้พิจารณาในปัญหา โดยจะแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้
    - ยานพาหนะเดียว (Single) เป็นลักษณะของปัญหาที่มีการพิจารณาใช้ปริมาณยานพาหนะแค่เพียงยานพาหนะเดียว

- หลายยานพาหนะ (Multiple) คือ ลักษณะของปัญหาที่พิจารณาใช้ปริมาณยานพาหนะมากกว่าหนึ่งยานพาหนะ ซึ่งอาจจะมีลักษณะของยานพาหนะที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันก็ได้
- ยานพาหนะไม่จำกัด (Unconstrained) เป็นลักษณะของปัญหาที่มีปริมาณยานพาหนะไม่จำกัด กล่าวคือ สามารถที่จะซื้อปริมาณยานพาหนะเพิ่มเติมระหว่างช่วงเวลาที่พิจารณาได้ ซึ่งนิยมใช้ในปัญหาที่มีลักษณะระยะเวลาที่สั้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณยานพาหนะที่เหมาะสมในระยะเวลานั้นๆ

จากการศึกษาของผู้วิจัย ผู้วิจัยได้ทำการจำแนกคุณลักษณะของปัญหาเพิ่มเติมขึ้นอีก 2 คุณลักษณะ เพื่อให้มีความชัดเจนในรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังมากยิ่งขึ้น ดังนี้

1. จำนวนสินค้า (Commodity) คือ จำนวนชนิดสินค้าที่สนใจพิจารณาในปัญหา ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ
    - สินค้าชนิดเดียว (Single) คือ ปัญหาที่มีการพิจารณาสินค้าแค่เพียงหนึ่งชนิดเท่านั้น
    - สินค้าหลายชนิด (Multiple) คือ ปัญหาที่มีการพิจารณาสินค้าตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าปัญหาที่พิจารณาสินค้าชนิดเดียว เนื่องจากปัญหาจะมีขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นตามปริมาณของสินค้าที่พิจารณา จึงทำให้ยากยิ่งขึ้นสำหรับการแก้ปัญหา
2. จำนวนช่องบรรจุสินค้า (Compartment) คือ จำนวนของช่องบรรจุสินค้าบนยานพาหนะ ซึ่งคุณลักษณะนี้นั้นมักจะพิจารณาใช้ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะของสินค้า โดยมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่
    - ช่องบรรจุสินค้าเดียว (Single) คือ รูปแบบยานพาหนะที่มีแค่เพียงหนึ่งช่องบรรจุสินค้า ซึ่งจะใช้กับปัญหาที่มีสินค้าแค่หนึ่งชนิดหรือสินค้าหลายชนิดที่สามารถเก็บปะปนกัน
    - ช่องบรรจุสินค้าหลายช่องบรรจุ (Multiple) คือ รูปแบบยานพาหนะที่มีจำนวนช่องบรรจุมากกว่าหนึ่งช่องบรรจุ โดยแต่ละช่องบรรจุจะมีขนาดที่แตกต่างกันหรือเท่ากันก็ได้ ซึ่งนิยมใช้กับปัญหาที่พิจารณาสินค้าหลายชนิดที่ไม่สามารถเก็บปะปนกันได้

จากการจำแนกรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังตามลักษณะต่างๆ ที่พิจารณาในปัญหา จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะและลักษณะที่ใช้ในการจำแนกรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

Characteristic	Alternatives			
Time	Instant	Finite	Infinite	
Demand	Stochastic	Deterministic		
Topology	One-to-one	One-to-many	Many-to-many	
Routing	Direct	Multiple	Continuous	
Inventory	Fixed	Stock-out	Lost sale	Back-order
Fleet composition	Homogeneous	Heterogeneous		
Fleet size	Single	Multiple	Unconstrained	
Commodity	Single	Multiple		
Compartment	Single	Multiple		

โดยรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นการพิจารณาการขนส่งสินค้าทางทะเลจากท่าเรือผู้ผลิตหลายๆท่าเรือไปยังท่าเรือผู้บริโภคจำนวนหนึ่ง (Topology- Many-to-many) ซึ่งสินค้าที่ทำการขนส่ง คือ สินค้าประเภทของเหลวจำนวนหลายชนิดที่มีลักษณะแตกต่างกัน (Commodity- Multiple) โดยมีการใช้งานอยู่ในแต่ละท่าเรือผู้บริโภคในอัตราที่คงที่และทราบอย่างแน่ชัด (Demand- Deterministic) เพื่อให้มีปริมาณสินค้าเพียงพอต่อปริมาณความต้องการสินค้าของแต่ละท่าเรือผู้บริโภคในแต่ละช่วงเวลา และเพื่อบริหารจัดการปริมาณสินค้าคงคลังให้มีปริมาณสินค้าไม่ต่ำกว่าปริมาณสินค้าคงคลังขั้นต่ำที่ได้กำหนดไว้ (Inventory- Fixed) โดยการขนส่งสินค้าจะใช้เรือบรรทุกของเหลว (Tanker) ที่มีจำนวนหลายช่องบรรจุ (Compartment- Multiple) เนื่องจากสินค้าแต่ละชนิดมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันออกไปและไม่สามารถที่จะนำมาเก็บปะปนกันได้ ซึ่งจำนวนเรือบรรทุกของเหลวที่พิจารณาใช้ในปัญหาจะมีจำนวนที่คงที่และมากกว่าหนึ่งลำ (Fleet Size- Multiple) โดยมีลักษณะที่เหมือนกันหรือแตกต่างกันออกไป (Fleet Composition- Heterogeneous) ซึ่งสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้น-ลงได้มากกว่าหนึ่งครั้ง (Routing- Continuous) ในระหว่างช่วงเวลาที่พิจารณา โดยช่วงเวลาที่ทำการพิจารณานั้นจะพิจารณาเป็นลักษณะแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) และมีความยาวของช่วงเวลาที่จำกัด (Time- Finite)

2.2 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

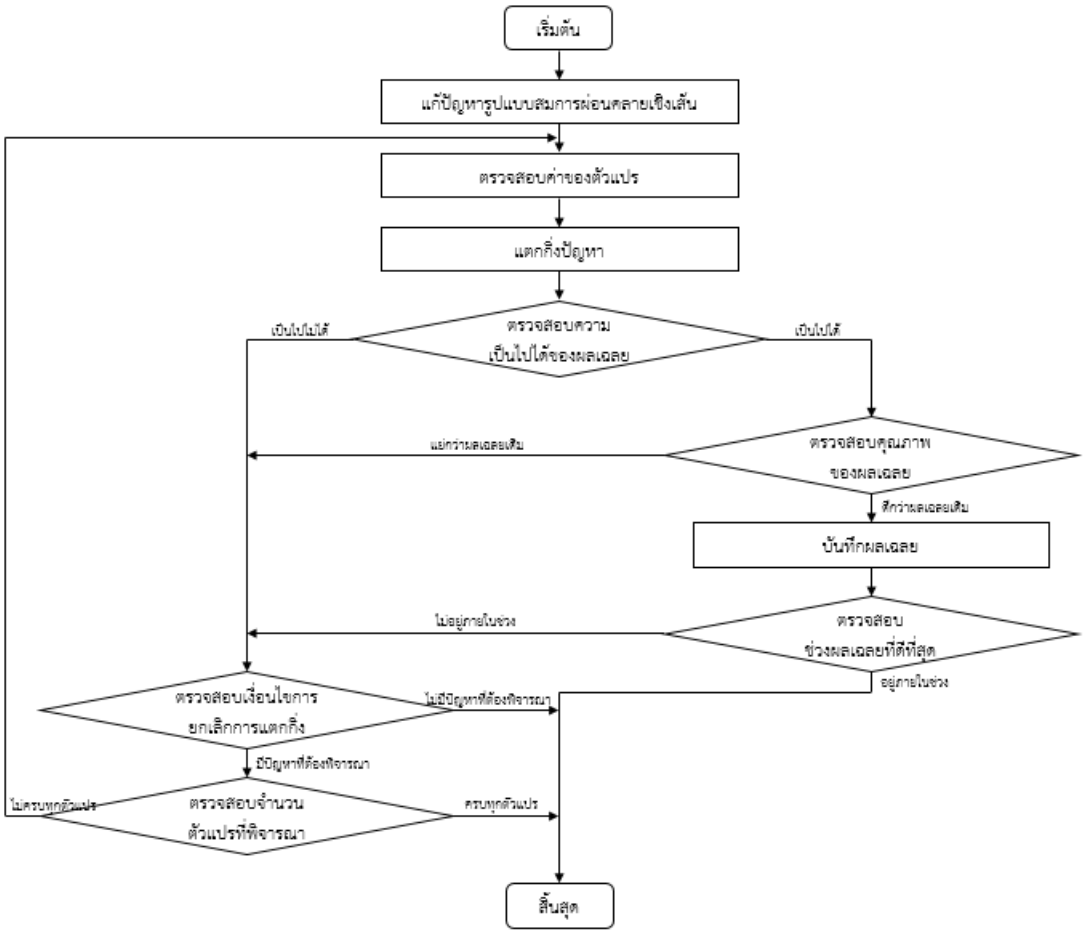
จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะสามารถจำแนกวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังออกตามลักษณะของผลเฉลยได้ 2 วิธี ได้แก่ วิธีแม่นตรงและวิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 วิธีแม่นตรง (Exact Method)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่พบว่ามีข้อด้อยในด้านเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย ซึ่งใช้เวลาในการหาผลเฉลยเป็นอย่างมาก โดยไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่จนเกินไปได้ วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับปัญหาที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนักและต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่ามีวิธีการหาผลเฉลยหลักๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหาดังนี้

2.2.1.1 วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch-and-Bound)

วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเป็นวิธีพื้นฐานที่ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ซึ่งคือปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนเต็มเป็นส่วนประกอบ โดยมีขั้นตอนในการหาผลเฉลยดังรูปที่ 4 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต

ก. แก้ปัญหารูปแบบสมการผ่อนคลายเชิงเส้น (LP Relaxation) เป็นขั้นตอนการหาผลเฉลยของปัญหา โดยการพิจารณาปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มในรูปของปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) ซึ่งคือปัญหาที่มีแต่ตัวแปรแบบต่อเนื่องเป็นส่วนประกอบเท่านั้น

ข. ตรวจสอบค่าของตัวแปร คือขั้นตอนการตรวจสอบค่าของตัวแปรจำนวนเต็มในปัญหาที่ได้จากการแก้ปัญหารูปแบบสมการผ่อนคลายเชิงเส้นหรือปัญหาจากขั้นตอนการแตกกิ่งปัญหา โดยการสุ่มเลือกตัวแปรจำนวนเต็มที่จะทำการพิจารณา ซึ่งหากพบว่าค่าของตัวแปรดังกล่าวเป็นจำนวนเต็มก็จะทำการสุ่มพิจารณาใหม่

ค. แตกกิ่งปัญหา เป็นขั้นตอนการจำลองแต่ละปัญหาที่ทำการพิจารณาออกเป็นสองปัญหา จากนั้นจะทำการเพิ่มสมการเงื่อนไขในการกำหนดให้ตัวแปรที่พิจารณาในขั้นตอนการตรวจสอบค่าของตัวแปรเป็นจำนวนเต็มโดยการทอนค่าขึ้นและลงตามลำดับ และทำการแก้ปัญหา

ง. ตรวจสอบความเป็นไปได้ของผลเฉลย เป็นการตรวจสอบผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการแตกกิ่งปัญหาว่าเป็นผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มหรือไม่

จ. ตรวจสอบคุณภาพของผลเฉลย เป็นขั้นตอนในการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการแตกกิ่งปัญหากับผลเฉลยของกำหนดการเชิงจำนวนเต็มเดิมที่มีอยู่ ซึ่งหากผลเฉลยใหม่มีคุณภาพที่ดีกว่าผลเฉลยเดิมก็จะทำการใช้ผลเฉลยใหม่แทนผลเฉลยเดิม

ฉ. ตรวจสอบช่วงผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimality Gap) เป็นการเปรียบเทียบผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่มีอยู่กับผลเฉลยของปัญหารูปแบบสมการผ่อนคลายเชิงเส้น หากพบว่าผลเฉลยทั้งสองมีผลต่างอยู่ในช่วงที่กำหนดก็จะทำการหยุดแก้ปัญหาทันที โดยช่วงดังกล่าว เรียกว่า ช่วงผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งถือว่าผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา แต่หากผลเฉลยไม่อยู่ภายในช่วงผลเฉลยที่ดีที่สุดก็จะต้องทำการพิจารณาตัวแปรอื่นๆ และแตกกิ่งปัญหาต่อไป

ช. ตรวจสอบเงื่อนไขการยกเลิกการแตกกิ่ง คือขั้นตอนการตรวจสอบผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการแตกกิ่งปัญหา เพื่อพิจารณายกเลิกการแตกกิ่งของปัญหานั้นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาดังนี้

- ผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม
- คุณภาพของผลเฉลยใหม่ที่ได้จะต้องไม่แย่กว่าผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มเดิมที่มีอยู่
- ปัญหามีผลเฉลยที่เป็นไปได้

ซึ่งหากไม่มีปัญหาที่จะทำการพิจารณาเหลืออยู่ก็จะทำการหยุดแก้ปัญหา โดยถือว่าผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มในขณะนั้นคือผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่กำลังทำการหาผลเฉลย แต่ถ้ามีปัญหาที่

ต้องทำการพิจารณาเหลืออยู่ก็จะทำการพิจารณาตัวแปรอื่นๆ และแตกกิ่งปัญหาต่อไป

ซ. ตรวจสอบจำนวนตัวแปรที่พิจารณา เป็นการตรวจสอบปริมาณของตัวแปรจำนวนเต็มที่ได้ถูกพิจารณาในขั้นตอนการตรวจสอบค่าของตัวแปร ซึ่งหากพิจารณาตัวแปรครบทุกตัวแล้วก็จะทำการหยุดแก้ปัญหา แต่ถ้าหากยังไม่ครบก็จะต้องทำการตรวจสอบค่าของตัวแปรอื่นๆ และแตกกิ่งปัญหาต่อไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมา Savelsbergh and Song (2008) และ Hanczar (2012) ได้พิจารณาใช้วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของสินค้าหนึ่งชนิด ซึ่งทำการขนส่งโดยกลุ่มของยานพาหนะที่มีลักษณะเดียวกัน โดยพบว่าปัญหาดังกล่าวมีขนาดที่ใหญ่มาก ดังนั้น Savelsbergh จึงได้พิจารณาใช้เทคนิคเพื่อทำการลดขนาดของปัญหาที่พิจารณาลง ได้แก่ การกำหนดช่วงเวลาในการเติมสินค้า กฎแอลฟ่า-เบต้า และการดัดแปลงปัญหาสมการจำนวนเต็ม โดยเทคนิคการกำหนดช่วงเวลาในการเติมสินค้าเป็นเทคนิคที่ช่วยลดปริมาณของตัวแปรของปัญหาในด้านการเติมสินค้า โดยการกำจัดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเติมสินค้านอกเหนือช่วงเวลาที่กำหนดออก ส่วนกฎแอลฟ่า-เบต้าเป็นกฎที่ใช้ในการกำหนดความสามารถในการเชื่อมต่อระหว่างโรงงานผลิตกับลูกค้า ซึ่งใช้ในการลดปริมาณตัวแปรในด้านเส้นทางการขนส่งสินค้า สุดท้ายเทคนิคการดัดแปลงสมการจำนวนเต็มจะช่วยในการลดตัวแปรที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในขณะที่ทำการแก้ปัญหา ซึ่งจะทำการกำจัดตัวแปรเหล่านั้นออกโดยการพิจารณาเพิ่มสมการเงื่อนไขเข้าไปในปัญหาเพื่อหลีกเลี่ยงการเลือกตัวแปรที่เป็นไปไม่ได้ดังกล่าว โดยสมการเงื่อนไขที่ทำการเพิ่มเติมเข้าไปนั้นจะต้องไม่ส่งผลต่อตัวแปรตัวอื่นๆ แต่ผลที่ได้พบว่าเทคนิคการลดขนาดของปัญหานั้นสามารถช่วยลดขนาดลงได้ในระดับหนึ่งเท่านั้นซึ่งส่งผลเพียงเล็กน้อยในการแก้ปัญหา ดังนั้นจึงได้พิจารณาใช้เทคนิคอื่นๆ เข้ามาช่วยในรายละเอียดการแก้ปัญหา ได้แก่ วิธีฮิวริส-ติกส์การหาส่วนประกอบ และเทคนิคพิเศษการแตกกิ่ง โดยวิธีฮิวริสติกส์การหาส่วนประกอบจะใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหารูปแบบสมการผ่อนคลายเชิงเส้น เพื่อหาผลเฉลยเริ่มต้นก่อนทำการแตกกิ่ง หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคพิเศษการแตกกิ่งในการหาผลเฉลยของปัญหารูปแบบจำนวนเต็มต่อไป ซึ่งเทคนิคพิเศษการแตกกิ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเลือกกิ่งการเดินทางของการหาผลเฉลยโดยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยหากเลือกเส้นทางการเดินทางได้เหมาะสมจะทำให้สามารถหาผลเฉลยได้เร็วยิ่งขึ้น ซึ่งผลที่ได้พบว่าการหาผลเฉลยโดยวิธีที่ได้นำเสนอนั้นยังสามารถใช้ได้แค่กับปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น แต่ไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ได้เนื่องจากข้อจำกัดในด้านเวลาที่นานจนเกินไป ดังนั้น Savelsbergh จึงได้แนะนำให้ใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาข้างต้น ส่วน Hanczar ได้พิจารณาใช้เทคนิคการลดขนาดของปัญหาลงเช่นกัน โดยการกำหนดความสามารถในการเชื่อมต่อระหว่างการขนส่ง และทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปัญหาการจัดกลุ่มและปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งเริ่มต้นจะทำการจัดกลุ่มของลูกค้าที่จะทำการขนส่งโดยการแก้ปัญหาสมการรูปแบบการแบ่งเซต (Set Partitioning) เพื่อให้ลูกค้าแต่ละรายที่ต้องการสินค้าได้รับการขนส่งสินค้า หลังจากนั้นจะนำกลุ่มของลูกค้าที่ได้มาทำการหาเส้นทางการเดินทางที่ก่อให้เกิดต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยการแก้ปัญหาสมการต้นทุนส่วนเพิ่มที่เกิดจากการเพิ่มลูกค้าเข้าไปในลำดับต่างๆ เพื่อหาลำดับในการ

เดินทางหรือคือเส้นทางการเดินทางนั่นเอง ซึ่งผลที่ได้พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก

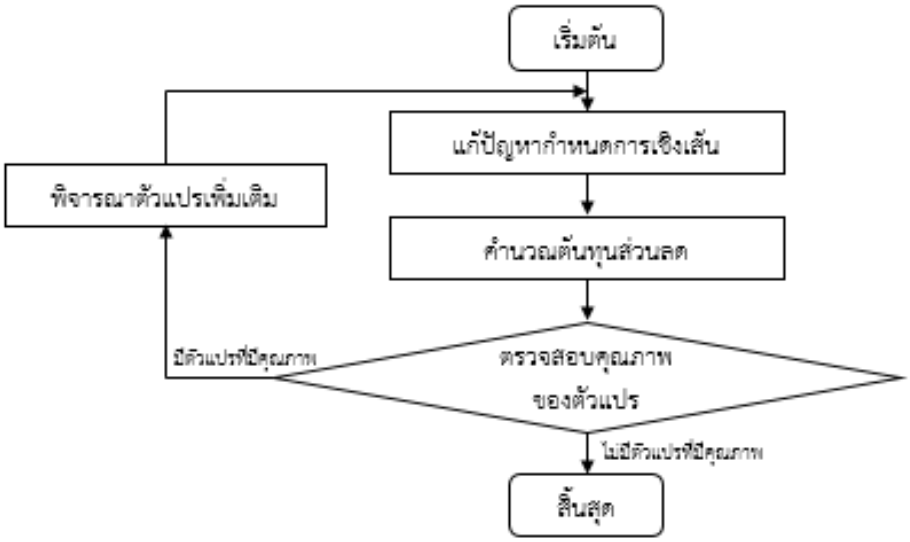
นอกจากนั้น Qu, Bookbinder, and Iyogun (1999) ซึ่งศึกษาปัญหาการรับวัตถุดิบจำนวนหลายชนิดจากผู้ผลิตมายังคลังสินค้า ก็ได้ทำการแก้ปัญหาโดยการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งทำหน้าที่ในการวิเคราะห์ปริมาณสินค้าที่จะทำการขนส่งในแต่ละรอบของการขนส่งและช่วงเวลาของรอบในการขนส่งของสินค้าแต่ละชนิด และปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง จะทำหน้าที่ในการจัดเส้นทางการเดินทางในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งขั้นตอนการแก้ปัญหาจะพิจารณาปัญหาทั้งสองในลักษณะวนรอบ กล่าวคือ ปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจะทำการนำต้นทุนในการขนส่งและบริหารจัดการสินค้าคงคลังมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อทำการพิจารณาขยายช่วงเวลาของรอบในการขนส่งให้มีความถี่ในการขนส่งน้อยลง และจะนำรอบการขนส่งที่ได้มาทำการหาเส้นทางการเดินทางของแต่ละช่วงเวลาในปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งการจัดเส้นทางการเดินทางจะพิจารณาใช้วิธีการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) และทำการคำนวณต้นทุนในการขนส่งที่ได้จากเส้นทางการเดินทางใหม่และนำต้นทุนที่ได้มานี้ไปทำการพิจารณาในปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังอีกครั้ง โดยจะทำการแก้ปัญหาไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพบว่าสินค้าแต่ละชนิดไม่สามารถขยายช่วงเวลาของรอบในการขนส่งได้อีก หลังจากนั้นจะนำผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพกับขอบเขตขั้นต่ำ (Lower Bound) ของปัญหา ซึ่งผลที่ได้พบว่าผลเฉลยมีคุณภาพที่ดี สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับปัญหาจริงที่มีขนาดใหญ่

จากการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาและงานวิจัยข้างต้นจะพบว่าการหาผลเฉลยโดยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับการกำหนดช่วงผลเฉลยที่ดีที่สุด ลำดับการพิจารณาตัวแปรจำนวนเต็ม และจำนวนตัวแปรจำนวนเต็มของปัญหา ซึ่งหากกำหนดช่วงผลเฉลยที่ดีที่สุดกว้างอาจทำให้สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้เร็วมากขึ้น แต่ก็อาจส่งผลให้คุณภาพของผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้มานั้นแย่กว่าที่ควรจะเป็น ส่วนลำดับการพิจารณาตัวแปรนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เทคนิคพิเศษในการแตกกิ่งเข้ามาช่วยคัดเลือกตัวแปรที่เหมาะสมในการแตกกิ่ง ซึ่งสามารถช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลย และหากจำนวนตัวแปรจำนวนเต็มของปัญหามีจำนวนที่มากก็จะยิ่งทำให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากยิ่งขึ้น เนื่องจากจะมีปริมาณปัญหาที่ต้องทำการหาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของตัวแปรจำนวนเต็มที่พิจารณา ซึ่งการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตแค่เพียงวิธีเดียวนั้นไม่สามารถที่จะทำการหาผลเฉลยของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในด้านของเวลาในการหาผลเฉลย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้วิธีการหรือเทคนิคในการหาผลเฉลยอื่นๆ เข้ามาช่วยในการหาผลเฉลย

2.2.1.2 วิธีการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหากำหนดการเชิงเส้น โดยการเลือกใช้ตัวแปรทีละส่วนในการแก้ปัญหา เพื่อลดขนาดของปัญหาที่พิจารณาลง ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการหาผลเฉลยจะถูกพิจารณา

เพิ่มเติมเข้าไปในปัญหาทีละส่วนตามคุณภาพของตัวแปรที่สามารถช่วยในการพัฒนาผลเฉลยได้ โดย รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาและมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์

ก. แก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น เป็นการแก้ปัญหาที่ทำการพิจารณาด้วยตัวแปรจำนวนหนึ่งจากทั้งหมด โดยตัวแปรที่พิจารณาจะต้องสามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ ซึ่งการแก้ปัญหามีวัตถุประสงค์ 2 อย่าง ได้แก่ หาผลเฉลยของปัญหาและราคาเงา (Shadow Price) ซึ่งราคาเงาคือต้นทุนส่วนเพิ่มของสมการเงื่อนไขแต่ละสมการ

ข. คำนวณต้นทุนส่วนลด (Reduced Cost) คือขั้นตอนการคำนวณต้นทุนส่วนลดของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งต้นทุนส่วนลดเป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของตัวแปรเหล่านั้นว่าสามารถที่จะช่วยพัฒนาผลเฉลยเดิมได้หรือไม่ โดยสามารถคำนวณได้จากต้นทุนของตัวแปรกับราคาเงาที่ได้ในขั้นตอนการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น

ค. ตรวจสอบคุณภาพของตัวแปร เป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อทำการพิจารณาเพิ่มตัวแปรที่มีคุณภาพเข้าไปยังปัญหา โดยจะทำการตรวจสอบจากต้นทุนส่วนลดของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งหากพบว่ามีตัวแปรที่มีคุณภาพเหลืออยู่ก็จะทำการพิจารณาเพิ่มเติมเข้าไปในปัญหาและทำการแก้ปัญหาใหม่ แต่หากพบว่าไม่มีตัวแปรที่มีคุณภาพเหลืออยู่เลยก็จะทำการหยุดการแก้ปัญหาโดยทันที โดยถือว่าผลเฉลยที่ได้จากปัญหากำหนดการเชิงเส้นในขณะนั้นคือผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา

ง. พิจารณาตัวแปรเพิ่มเติม เป็นการเพิ่มเติมตัวแปรที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเข้าไปพิจารณาในปัญหา

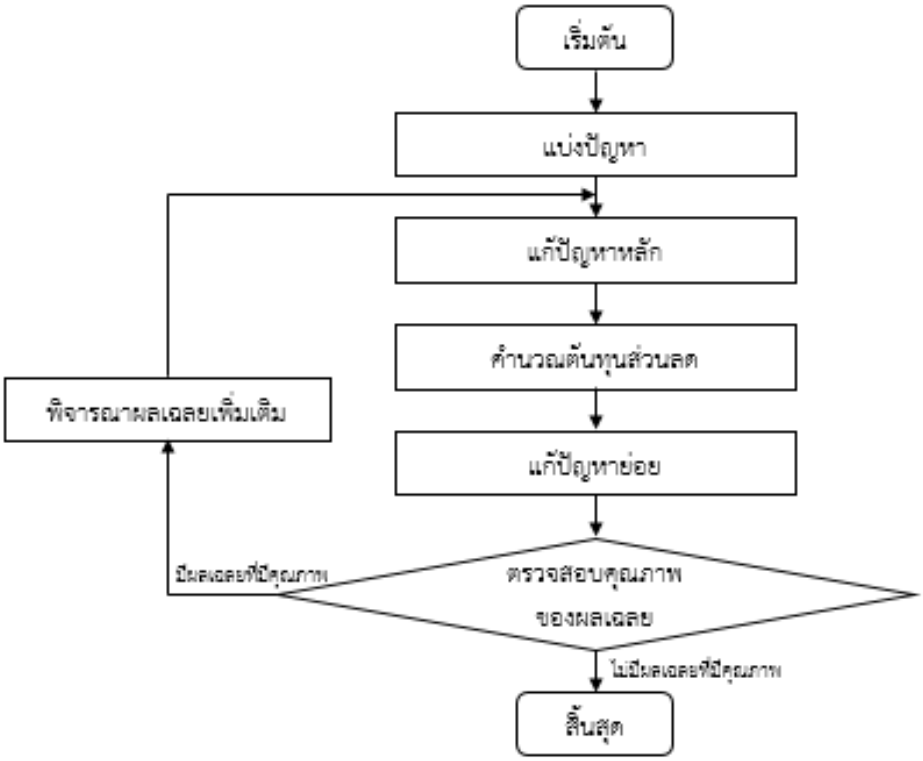
จากวิธีการกำเนิดสดมภ์ที่พิจารณาตัวแปรทีละส่วนจะเห็นว่า ปัญหาที่ทำการพิจารณามีขนาดเล็กลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากไม่ได้พิจารณาตัวแปรที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์เข้าไปในปัญหา ดังนั้นวิธีการหาผลเฉลยวิธีนี้จึงเหมาะสมกับการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ โดย Aghezzaf, Raa, and Landeghem (2006) และ Christiansen and Nygreen (1998) ได้ใช้วิธีการกำเนิดสดมภ์ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของสินค้าชนิดหนึ่ง โดย Aghezzaf ได้พิจารณาปัญหาที่ทำการขนส่งสินค้าด้วยกลุ่มของยานพาหนะที่มีขนาดเดียวกันด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยแบบประหยัด (Savings Heuristic) ในการสร้างเส้นทางการขนส่งสินค้าเข้าไปพิจารณาในปัญหา ส่วน Christiansen ได้ศึกษาปัญหาดังกล่าวโดยการขนส่งสินค้าด้วยเรือที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยการสร้างปัญหาย่อยของเรือและท่าเรือเพื่อใช้ในการสร้างตัวแปรที่มีคุณภาพเข้าไปพิจารณาในปัญหา ซึ่งปัญหาย่อยของเรือจะทำหน้าที่ในการสร้างตัวแปรการเลือกเส้นทางการเดินทางของเรือแต่ละลำ และปัญหาย่อยของท่าเรือจะสร้างตัวแปรช่วงเวลาและปริมาณสินค้าที่ทำการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงที่แต่ละท่าเรือ ผลที่ได้พบว่าวิธีการกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก นอกจากนั้น Persson and Göthe-Lundgren (2005) ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของสินค้าจำนวนหลายชนิด โดยการขนส่งสินค้าด้วยกลุ่มของเรือที่มีหลายช่องบรรจุและมีขนาดแตกต่างกัน ซึ่งได้พิจารณาเพิ่มสมการเงื่อนไขเข้าไปในปัญหาเพื่อช่วยให้แบบจำลองที่จำลองปัญหามีความรัดกุมมากยิ่งขึ้น จากความรัดกุมที่มากยิ่งขึ้นจะช่วยเพิ่มคุณภาพของตัวแปรที่มีจำนวนเต็มเป็นส่วนประกอบที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อพิจารณาในปัญหา ทำให้ผลเฉลยของปัญหาที่ได้จากวิธีการกำเนิดสดมภ์มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังได้ใช้เทคนิคพิเศษในการแตกกิ่งโดยการกำหนดขอบเขตของการแตกกิ่งเข้ามาช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลย ผลที่ได้พบว่าการเพิ่มสมการเงื่อนไขเพื่อช่วยเพิ่มความรัดกุมของแบบจำลองนั้นสามารถช่วยพัฒนาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มได้ แต่ก็ใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน ส่วนการใช้เทคนิคพิเศษในการแตกกิ่งนั้นสามารถช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก

จากการศึกษาวิธีการกำเนิดสดมภ์และงานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่า วิธีการกำเนิดสดมภ์เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่สามารถช่วยลดขนาดของปัญหาและระยะเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากพิจารณาตัวแปรแค่เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยสามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดกับปัญหากำหนดการเชิงเส้น แต่กับปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มนั้นไม่สามารถบอกได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือไม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความรัดกุมของแบบจำลองที่จำลองปัญหา หากแบบจำลองมีความรัดกุมมากจะทำให้ผลเฉลยที่ได้มีคุณภาพที่ดี

2.2.1.3 วิธีการแบ่งปัญหาของแดนซิกซ์-วูล์ฟ (Dantzig-Wolfe Decomposition)

เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีการกำเนิดสดมภ์ ซึ่งจะแบ่งปัญหาที่ทำการพิจารณาออกเป็นส่วนๆ และทำการหาผลเฉลยของแต่ละส่วนแยกออกจากกัน แล้วจึงนำผลเฉลยที่ได้จากแต่ละส่วนมาพิจารณาร่วมกัน โดยจะแบ่งปัญหาออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ปัญหาย่อย (Subproblems) และปัญหาหลัก (Master Problem) ซึ่งปัญหาย่อยจะทำหน้าที่ในการแก้ปัญหาที่ประกอบด้วยตัวแปรและ

สมการเงื่อนไขกลุ่มหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กัน เพื่อทำการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในกรณีที่พิจารณาแค่เพียงตัวแปรและสมการเงื่อนไขกลุ่มนั้น ส่วนปัญหาหลักจะทำการเชื่อมโยงปัญหาย่อยทั้งหมดเข้าด้วยกัน กล่าวคือจะนำผลเฉลยของตัวแปรแต่ละกลุ่มที่ได้จากปัญหาย่อยมาพิจารณาร่วมกัน โดยการผูกกันด้วยสมการเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรแต่ละกลุ่ม ซึ่งรูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการแก้ปัญหา โดยมีรายละเอียดในการหาผลเฉลยดังนี้



รูปที่ 6 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบ่งปัญหาของแดนซิกข์-วูล์ฟ

ก. แบ่งปัญหา เป็นขั้นตอนการแบ่งปัญหาออกเป็นหลายๆ ส่วน โดยปัญหาย่อยแต่ละส่วนจะประกอบไปด้วยตัวแปรหนึ่งกลุ่มและสมการเงื่อนไขของตัวแปรกลุ่มนั้นซึ่งไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรกลุ่มอื่น และปัญหาหลักจะประกอบไปด้วยตัวแปรของผลเฉลยของปัญหาย่อยแต่ละปัญหาและสมการเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรแต่ละกลุ่ม

ข. แก้ปัญหาหลัก เป็นการหาผลเฉลยของปัญหาหลัก ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรของผลเฉลยที่สามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ของปัญหาเริ่มแรกได้ และสมการเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรแต่ละกลุ่ม โดยจะทำการหาผลเฉลยของปัญหาและราคาเงาของแต่ละสมการเงื่อนไข เพื่อใช้ในการปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

ค. คำนวณต้นทุนส่วนลด เป็นการนำราคาเงาที่ได้มาทำการคำนวณค่าต้นทุนส่วนลดของตัวแปรแต่ละตัวในปัญหาย่อยแต่ละปัญหา

ง. แก้ปัญหาย่อย คือขั้นตอนการหาผลเฉลยของปัญหาย่อยแต่ละปัญหาด้วยค่าต้นทุนส่วนลดของตัวแปร

จ. ตรวจสอบคุณภาพของผลเฉลย เป็นการนำผลเฉลยของแต่ละปัญหาย่อยมาทำการตรวจสอบคุณภาพว่าสามารถช่วยพัฒนาผลเฉลยได้หรือไม่ หากสามารถช่วยพัฒนาผลเฉลยได้จะทำการเพิ่มผลเฉลยดังกล่าวเข้าไปยังปัญหาหลัก เพื่อทำการพิจารณาต่อไป โดยหากพบว่าไม่มีผลเฉลยในปัญหาย่อยใดเลยที่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ก็จะทำการหยุดแก้ปัญหา และถือว่าผลเฉลยของปัญหาหลักในขณะนั้นคือผลเฉลยของปัญหาเริ่มต้น

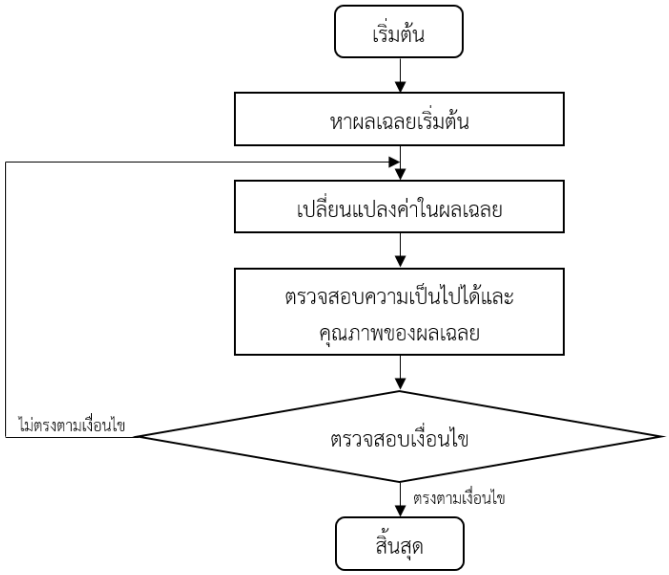
ฉ. พิจารณาผลเฉลยเพิ่มเติม คือการนำผลเฉลยของปัญหาย่อยที่สามารถพัฒนาผลเฉลยของปัญหาหลักเพิ่มเข้าไปพิจารณาในปัญหาหลัก

2.2.2 วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ให้ผลเฉลยที่ดีในระดับที่ยอมรับได้และใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่นานมากนัก จึงมีความเหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีแม่นตรงในการหาผลเฉลยได้ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้วิธีการหาผลเฉลย ดังนี้

2..2.2.1 วิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน (Local Search, LS)

เป็นวิธีฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการพัฒนาผลเฉลย ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิธีฮิวริสติกส์อื่นๆ โดยมีหลักการหาผลเฉลยโดยการเปลี่ยนแปลงค่าบางค่าในผลเฉลยเพื่อทำการหาผลเฉลยใหม่ ซึ่งอาจเป็นผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลยเดิมที่มีอยู่หรืออาจจะไม่ก็ได้ โดยรูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 7 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน

ก. การหาผลเฉลยเริ่มต้น เป็นขั้นตอนในการหาผลเฉลยเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาหาผลเฉลยใหม่ ซึ่งผลเฉลยที่หามานั้นต้องเป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้ โดยหากผลเฉลยมีคุณภาพที่ดีจะสามารถช่วยลดเวลาในการแก้ปัญหาและให้ผลเฉลยที่ดีหลังจากพัฒนาผลเฉลย

ข. การเปลี่ยนแปลงค่าในผลเฉลย เป็นขั้นตอนการเลือกปรับเปลี่ยนค่าบางตัวในผลเฉลยเพื่อทำการหาผลเฉลยใหม่

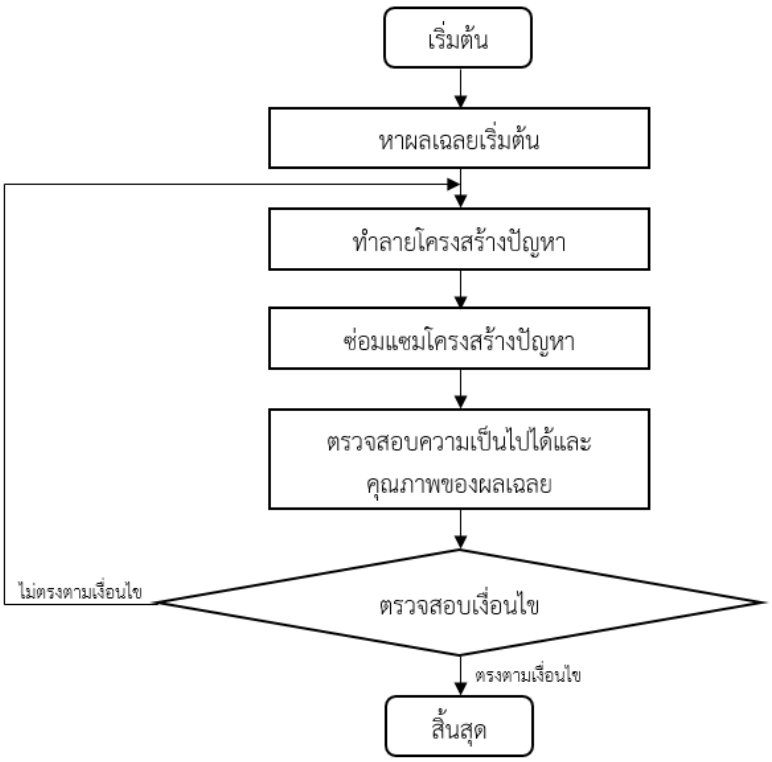
ค. การตรวจสอบความเป็นไปได้และคุณภาพของผลเฉลย เป็นขั้นตอนการนำเอาผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบความเป็นไปได้กับปัญหาที่พิจารณา โดยหากพบว่าไม่เป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะไม่พิจารณาผลเฉลยนั้น แต่ถ้าเป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะนำมาทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับผลเฉลยเริ่มต้น ซึ่งถ้ามีคุณภาพที่ดีกว่าก็จะนำเอาผลเฉลยที่ได้มานี้มาทำการพัฒนาต่อแทนผลเฉลยเดิม

ง. การตรวจสอบเงื่อนไข เป็นขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการพัฒนาผลเฉลย ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการยกเลิกการพัฒนาผลเฉลยโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ จำนวนรอบในการหาผลเฉลย จำนวนรอบสูงสุดในการหาผลเฉลยที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน และช่วงคุณภาพของผลเฉลย

โดย Stålhane et al. (2012) ได้ทำการศึกษาปัญหาในการวางแผนการขนส่งแก๊สธรรมชาติจำนวน 2 ชนิด จากโรงงานผลิตโรงงานหนึ่งไปยังลูกค้าแต่ละรายด้วยเรือขนส่งที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไป เพื่อตอบสนองต่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าที่อยู่ในรูปของสัญญาการขนส่งเป็นรายปีได้อย่างครบถ้วนภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด และนอกจากนั้นยังพิจารณาการจำหน่ายแก๊สธรรมชาติที่เหลือจากการขนส่งอีกด้วย ซึ่ง Stalhane ได้พิจารณาประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานร่วมกับเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในการหาผลเฉลย ที่เรียกว่า เทคนิคการสร้างและพัฒนาผลเฉลย (Construction and Improvement Heuristics, CIH) โดยการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การสร้างและการพัฒนาผลเฉลย ซึ่งเริ่มต้นจะทำการสร้างผลเฉลยที่เป็นไปได้เบื้องต้นโดยวิธีฮิวริสติกส์ และนำผลเฉลยที่ได้มาทำการพัฒนาโดยการใช้เทคนิคการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานและ/หรือเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต หลังจากนั้นจะนำผลเฉลยที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกันระหว่างการพัฒนาผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติกส์กับการพัฒนาผลเฉลยด้วยวิธีแม่นตรง และการพัฒนาผลเฉลยโดยการนำวิธีฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้กับวิธีแม่นตรง ซึ่งผลที่ได้นั้นพบว่าการพัฒนาผลเฉลยโดยการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ร่วมกับวิธีแม่นตรงนั้นให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ก็ใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่มากที่สุดเช่นกัน ซึ่งใช้เวลาใกล้เคียงกับการพัฒนาผลเฉลยด้วยวิธีแม่นตรง

2.2.2.2 วิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search, LNS)

เป็นฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการพัฒนาผลเฉลย โดยประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ อยู่ 2 ส่วน ได้แก่ ขั้นตอนการทำลายและซ่อมแซมโครงสร้างของปัญหา โดยมีขั้นตอนในการหาผลเฉลยดังรูปที่ 8 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 8 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่

ก. การหาผลเฉลยเริ่มต้น เป็นขั้นตอนในการหาผลเฉลยเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาหาผลเฉลยใหม่ ซึ่งผลเฉลยที่หามานั้นต้องเป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้ โดยหากผลเฉลยมีคุณภาพที่ดีจะสามารถช่วยลดเวลาในการแก้ปัญหาและให้ผลเฉลยที่ดีหลังจากพัฒนาผลเฉลย

ข. การทำลายโครงสร้างปัญหา เป็นขั้นตอนการเลือกพิจารณาปัญหาในบางส่วน และทำการหาผลเฉลยเฉพาะในส่วนที่เลือกพิจารณา ซึ่งในขั้นตอนนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยวิธีใดวิธีหนึ่งเข้ามาช่วยเลือกพิจารณาปัญหาและหาผลเฉลย

ค. การซ่อมแซมโครงสร้างปัญหา เป็นขั้นตอนการนำเอาปัญหาในส่วนที่ไม่ได้ถูกพิจารณาในขั้นตอนก่อนหน้ากลับมาทำการพิจารณาหาผลเฉลยร่วมกับผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการทำลายโครงสร้างปัญหา โดยวิธีการหาผลเฉลยนั้นจะเลือกประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยวิธีใดวิธีหนึ่งเข้ามาช่วย

ง. การตรวจสอบความเป็นไปได้และคุณภาพของผลเฉลย เป็นขั้นตอนการนำเอาผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบความเป็นไปได้กับปัญหาที่พิจารณา โดยหากพบว่าไม่เป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะไม่พิจารณาผลเฉลยนั้น แต่ถ้าเป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะนำมาทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับผลเฉลยเริ่มต้น ซึ่งถ้ามีคุณภาพที่ดีกว่าก็จะนำเอาผลเฉลยที่ได้มานี้มาทำการพัฒนาต่อแทนผลเฉลยเดิม

จ. การตรวจสอบเงื่อนไข เป็นขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการพัฒนาผลเฉลย ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการยกเลิกการพัฒนาผลเฉลยโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ จำนวน

รอบในการหาผลเฉลย จำนวนรอบสูงสุดในการหาผลเฉลยที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน และช่วงคุณภาพของผลเฉลย

Song and Furman (2013) ได้ทำการวิจัยปัญหาการขนส่งสินค้าทางทะเลของสินค้าเทกองชนิดหนึ่งจากท่าเรือผู้ผลิตไปยังท่าเรือผู้บริโภคด้วยเรือขนส่งที่มีลักษณะต่างกัน โดยได้จำลองปัญหาอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น และใช้วิธีการแตกกิ่งและตัดระนาบร่วมกับวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ในการหาผลเฉลย โดยจากขนาดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากจึงทำให้ต้องมีการอาศัยเทคนิคเบื้องต้นในการลดขนาดของปัญหาลง ได้แก่ การกำจัดตัวแปรที่เป็นไปไม่ได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยสามารถทำได้โดยการตั้งเงื่อนไขเพื่อกำจัดตัวแปรเหล่านั้นออกก่อนที่จะมีการพิจารณาแก้ปัญหา แล้วจึงนำตัวแปรส่วนที่เหลือไปทำการแก้ปัญหาต่อด้วยวิธีการแตกกิ่งและตัดระนาบเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้เบื้องต้นจากแบบจำลอง หลังจากนั้นจะนำวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่มาทำการพัฒนาผลเฉลยที่ได้และย้อนกลับไปแก้ปัญหาจากแบบจำลองต่อไปซึ่งจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะไม่ได้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิม ผลที่ได้พบว่า การกำจัดตัวแปรออกก่อนทำการแก้ปัญหาและการใช้วิธีการแตกกิ่งและตัดระนาบในการแก้ปัญหานั้นสามารถช่วยลดขนาดของปัญหาลงได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งยังใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่นาน แต่หากนำเทคนิคทั้งสองมาใช้ร่วมกันจะสามารถลดขนาดของปัญหาและเวลาที่ใช้แก้ปัญหาได้เป็นอย่างมาก และถ้านำวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่มาช่วยด้วยแล้วนั้น จะยิ่งทำให้เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นยิ่งน้อยลงอีกเป็นอย่างมาก ซึ่งเมื่อนำวิธีที่ผู้วิจัยได้นำเสนอไปเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาโดยวิธีแม่นตรงทั่วไปแล้วพบว่า วิธีแม่นตรงทั่วไปใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่นานมาก โดยไม่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ต่างกับวิธีที่ผู้วิจัยได้นำเสนอซึ่งสามารถหาผลเฉลยได้ดีกว่าภายในระยะเวลาอันสั้น

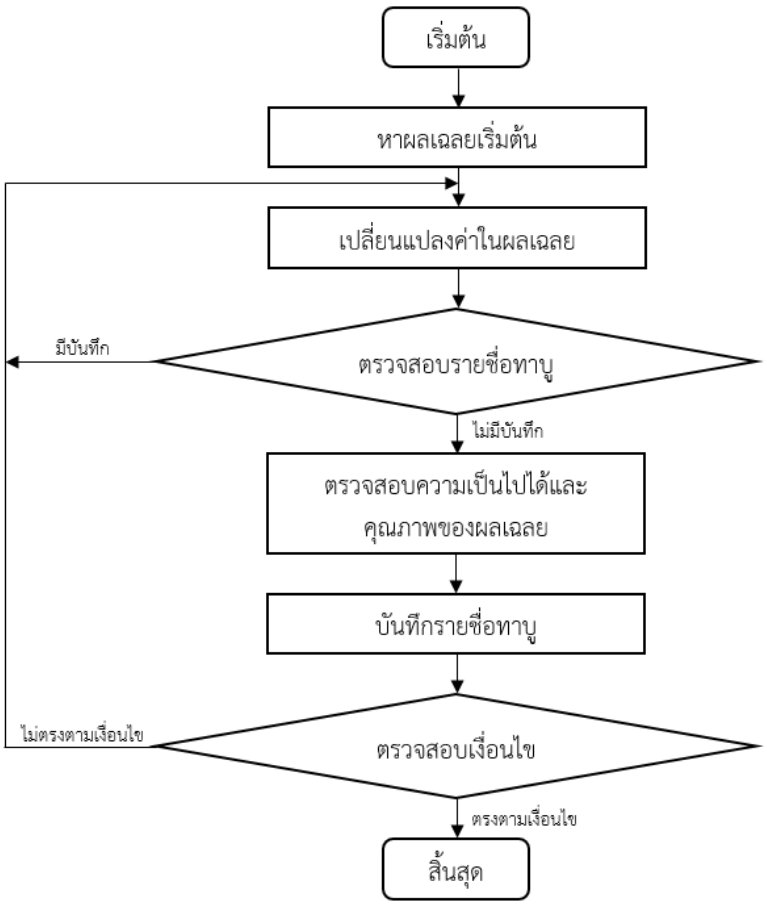
จากวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ที่ได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยอื่นๆในการหาผลเฉลยในขั้นตอนการทำลายและซ่อมแซมโครงสร้างปัญหาเพียงขั้นตอนละหนึ่งวิธี พบว่าภายหลังได้มีการนำวิธีการหาผลเฉลยนี้มาทำการพัฒนาโดยการเพิ่มวิธีการหาผลเฉลยที่พิจารณาใช้ในขั้นตอนการทำลายและซ่อมแซมโครงสร้างปัญหา ซึ่งจะทำการเลือกใช้วิธีการหาผลเฉลยที่เหมาะสมกับการพัฒนาผลเฉลยในแต่ละรอบในขั้นตอนดังกล่าว โดยการเลือกใช้วิธีการหาผลเฉลยนั้นจะทำการสุ่มเลือกจากวิธีการหาผลเฉลยทั้งหมดที่พิจารณา ซึ่งแต่ละวิธีจะมีโอกาสในการถูกสุ่มใช้ที่แตกต่างกันโดยจะพิจารณาจากคุณภาพในการพัฒนาผลเฉลยในรอบก่อนหน้า ถ้าหากวิธีใดให้ผลเฉลยที่ดีก็จะมีโอกาสในการถูกสุ่มใช้มากกว่าวิธีที่แย่กว่า โดยวิธีดังกล่าวมีชื่อว่า วิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกดัดแปลง (Adaptive Large Neighborhood Search, ALNS)

โดย Coelho, Cordeau, and Laporte (2012) ได้ทำการศึกษาการขนส่งสินค้าในรูปแบบการขนส่งที่สามารถทำการขนส่งระหว่างผู้ผลิตกับลูกค้าหรือลูกค้ากับลูกค้าด้วยกันเองได้ ซึ่งพบว่าในงานวิจัยที่ผ่านมาล้วนแต่ไม่พิจารณาการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้ากับลูกค้า โดย Coelho ได้ทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองปัญหาดังกล่าวพร้อมกับเสนอวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกดัดแปลง เนื่องจากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมานั้นสามารถใช้แก้ปัญหาด้วยวิธีแม่นตรงได้แค่เพียงปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ดังนั้นจึงได้นำเสนอวิธีการ

ดังกล่าวเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ โดยวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกดัดแปลง นั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมกับปัญหาทั่วๆ ไปเพราะเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหาที่สูง ซึ่งผลที่ได้พบว่าวิธีการค้นหาผลเฉลยใกล้เคียงที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกดัดแปลง สามารถหาผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการหาผลเฉลยด้วยวิธีแม่นตรง เนื่องจากผลเฉลยที่ได้จากวิธีแม่นตรงนั้นยังไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดแต่เป็นแค่เพียงผลเฉลยที่เป็นไปได้ภายใต้เวลาในการหาผลเฉลยที่กำหนดของปัญหาเท่านั้น และใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่าเป็นอย่างมาก นอกจากนั้นยังพบว่าวิธีการพิจารณาปัญหาในลักษณะที่มีการขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้ากับลูกค้าสามารถช่วยพัฒนาผลเฉลยของปัญหาที่ไม่พิจารณาลักษณะการขนส่งดังกล่าวได้

2.2.2.3 วิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้าม (Tabu Search, TS)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่พัฒนามาจากวิธีการหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน โดยการเพิ่มขั้นตอนการจดจำลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ได้มาซึ่งผลเฉลยจากวิธีการหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานในแต่ละรอบไว้ในรายชื่อทาบู (Tabu List) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ได้มาซึ่งผลเฉลยที่ไม่ดีพอหรือผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยของปัญหา เพื่อใช้ในการป้องกันการวนกลับมาหาผลเฉลยนั้นอีก โดยรูปที่ 9 แสดงขั้นตอนในการแก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 9 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้าม

ก. การหาผลเฉลยเริ่มต้น เป็นขั้นตอนในการหาผลเฉลยเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาหาผลเฉลยใหม่ ซึ่งผลเฉลยที่หามานั้นต้องเป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้

ข. การเปลี่ยนแปลงค่าในผลเฉลย เป็นขั้นตอนการเลือกปรับเปลี่ยนค่าบางตัวในผลเฉลย เพื่อทำการหาผลเฉลยใหม่ โดยสามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลในรายชื่อทาบูมาช่วยสร้างเงื่อนไขในการหาผลเฉลยใหม่ที่ดีกว่าเดิม ซึ่งสามารถช่วยหาผลเฉลยใหม่ที่ดีขึ้นได้เป็นอย่างมาก

ค. การตรวจสอบรายชื่อทาบู เป็นขั้นตอนการตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าในผลเฉลยของขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งหากพบว่ารายชื่อทาบูได้มีการบันทึกลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไว้แล้ว ก็จะทำการเปลี่ยนลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าในผลเฉลยใหม่ แต่หากไม่มีบันทึกก็จะนำผลเฉลยใหม่ที่ได้ไปทำการตรวจสอบต่อไป

ง. การตรวจสอบความเป็นไปได้และคุณภาพของผลเฉลย เป็นขั้นตอนการนำเอาผลเฉลยที่ได้มาทำการตรวจสอบความเป็นไปได้กับปัญหาที่พิจารณา โดยหากพบว่าไม่เป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะไม่พิจารณาผลเฉลยนั้น แต่ถ้าเป็นผลเฉลยของปัญหาก็จะนำมาทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับผลเฉลยเริ่มต้น ซึ่งถ้ามีคุณภาพที่ดีกว่าก็จะนำเอาผลเฉลยที่ได้มานี้มาทำการพัฒนาต่อแทนผลเฉลยเดิม

จ. การบันทึกรายชื่อทาบู คือขั้นตอนการบันทึกลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ให้ผลเฉลยที่ไม่ดีพอหรือเป็นไปไม่ได้ โดยหากผลเฉลยใหม่ที่ได้มีคุณภาพที่ดีกว่าผลเฉลยเดิมก็จะทำการบันทึกลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ได้มาซึ่งผลเฉลยเดิมลงในรายชื่อทาบู ในทางกลับกันหากผลเฉลยใหม่มีคุณภาพแย่กว่าผลเฉลยเดิมก็จะทำการบันทึกในส่วนของผลเฉลยใหม่ลงไปในรายชื่อทาบูแทน

ฉ. การตรวจสอบเงื่อนไข เป็นขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อพิจารณายกเลิกการพัฒนาผลเฉลย ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการยกเลิกการพัฒนาผลเฉลยโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ จำนวนสูงสุดของรายชื่อทาบู ซึ่งจะตรงตามเงื่อนไขเมื่อรายชื่อทาบูได้ใช้ทำการบันทึกจนเต็มจำนวนสูงสุดที่กำหนดไว้ จำนวนรอบสูงสุดในการหาผลเฉลยที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน และช่วงคุณภาพของผลเฉลย

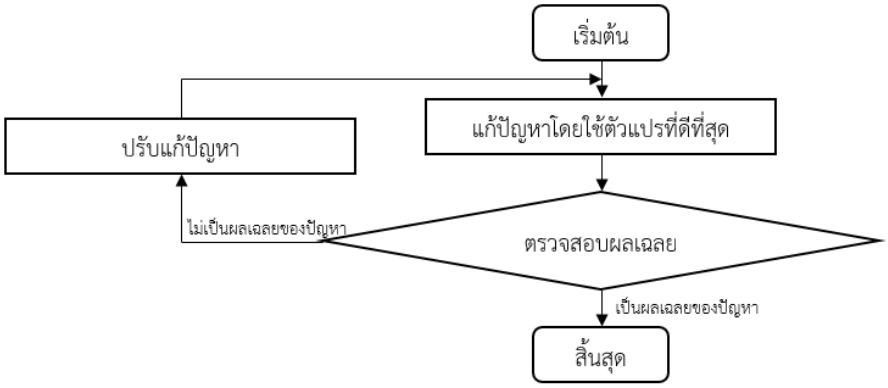
โดย Archetti, Bertazzi, Hertz, and Speranza (2012) ได้ทำการศึกษาปัญหาการขนส่งสินค้าจากโรงงานผลิตไปยังลูกค้าแต่ละราย โดยได้เสนอวิธีการหาผลเฉลยที่ประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้ามร่วมกับวิธีแม่นตรง ซึ่งได้นำวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาผลเฉลยของวิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้าม โดยมีขั้นตอนการหาผลเฉลย ดังนี้ เริ่มต้นจะทำการสร้างผลเฉลยและพัฒนาผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยภายใต้ข้อห้าม และนำผลเฉลยที่ได้มาพัฒนาด้วยการพิจารณาลดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ไม่จำเป็นด้วยการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีแม่นตรง และสุดท้ายจะทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการขนส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละรายเพื่อพัฒนาผลเฉลย ซึ่งจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่พบผลเฉลยที่ดีกว่าเดิม โดยผลที่ได้พบว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีที่นำเสนอนั้นมีค่าใกล้เคียงผลเฉลยที่ดีที่สุดเป็นอย่างมาก

Chulalongkorn University

โดยสามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดในบางตัวอย่าง และนอกจากนั้นยังใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่าวิธีแม่นตรงเป็นอย่างมาก

2.2.2.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบละโมบ (Greedy Algorithm)

เป็นวิธีฮิวริสติกส์การหาผลเฉลยที่จะทำการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรทีละตัว โดยการพิจารณาเลือกใช้นั้นจะพิจารณาจากตัวแปรที่มีคุณภาพดีที่สุดไปยังแย่ที่สุด ซึ่งรูปที่ 10 แสดงขั้นตอนการหาผลเฉลยของวิธีการแก้ปัญหาแบบละโมบ โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 10 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบละโมบ

ก. การแก้ปัญหาโดยใช้ตัวแปรที่ดีที่สุด เป็นขั้นตอนการหาผลเฉลยโดยการเลือกใช้ตัวแปรที่มีคุณภาพดีที่สุดในการแก้ปัญหา

ข. การตรวจสอบผลเฉลย เป็นขั้นตอนการตรวจสอบผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาข้างต้น ซึ่งหากพบว่าผลเฉลยข้างต้นเป็นผลเฉลยของปัญหาที่พิจารณาก็จะทำการหยุดพิจารณาต่อโดยทันที แต่หากพบว่ายังไม่ใช่ผลเฉลยของปัญหาก็จะทำการพิจารณาตัวแปรที่มีคุณภาพรองลงมาต่อไป

ค. การปรับแก้ปัญหา คือขั้นตอนการปรับแก้ปัญหาที่ทำการพิจารณา โดยปัญหาใหม่ที่ได้คือปัญหาเดิมที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากได้มีการพิจารณาเลือกใช้ตัวแปรที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา

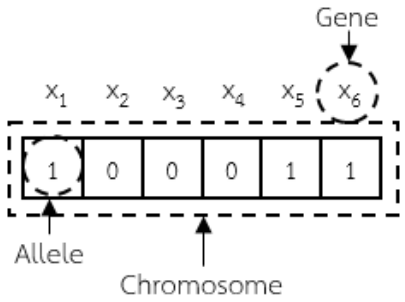
จากวิธีการแก้ปัญหาข้างต้นจะพบว่า การแก้ปัญหาด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบบละโมบนี้เป็นการแก้ปัญหาที่จะทำการเลือกใช้ตัวแปรที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการแก้ปัญหา โดยไม่ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรระหว่างรอบที่ทำการแก้ปัญหา จึงทำให้ตัวแปรที่ถูกเลือกใช้ถูกจำกัดด้วยคุณภาพโดยไม่คำนึงถึงความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ตัวแปร

โดย Siswanto, Essam, and Sarker (2011) ได้ทำการศึกษาการขนส่งสินค้าทางทะเลในการขนส่งสินค้าประเภทเทกองหลายชนิดซึ่งไม่สามารถที่จะเก็บปะปนกันได้ โดยการใช้เรือขนส่งที่มีปริมาณหลายช่องบรรจุขนาดต่างๆ กันไปในการขนส่งสินค้า ซึ่งพบว่าการแก้ปัญหาแบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ด้วยวิธีแม่นตรงของปัญหาลักษณะนี้ไม่สามารถที่จะแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการแก้ปัญหาแบบละโมบในการแก้ปัญหานี้ โดยการพิจารณาปัญหาออกเป็น 4 ปัญหาย่อย ได้แก่ ปัญหาย่อยในการเลือกท่าเรือที่จะขนส่ง ปัญหาย่อยในการเลือกเรือที่ใช้ในการขนส่ง ปัญหาย่อยของกิจกรรมการขนถ่ายสินค้าขึ้นเรือ และปัญหาย่อยของกิจกรรมการขนถ่ายสินค้าลงจากเรือ ซึ่งในแต่ละปัญหาย่อยจะประกอบไปด้วยรูปแบบที่พิจารณาใช้ในการหาผลเฉลย โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์วิธีการแก้ปัญหาออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ วิธีการพิจารณาปัญหาย่อยทีละขั้นตอน ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ปัญหาทีละปัญหาย่อยเพื่อทำการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาย่อยนั้นและกำหนดรูปแบบของปัญหาย่อยอื่นๆต่อไป และวิธีการพิจารณาหลายปัญหาย่อย คือการกำหนดรูปแบบของปัญหาย่อยทั้งหมดก่อนที่จะทำการหาผลเฉลย โดยผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากเทคนิคที่ได้นำเสนอกับผลเฉลยที่ได้จากการแก้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในปัญหาที่มีขนาดเล็ก ซึ่งพบว่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีที่นำเสนอนั้นให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยจากการแก้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างมากและใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่น้อยกว่ามากเช่นกัน และนอกจากนั้นยังพบว่าไม่มีรูปแบบของปัญหาย่อยใดที่ให้ผลเฉลยได้ดีที่สุดเสมอ จึงอาจกล่าวได้ว่าลักษณะของปัญหาในการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอาจจำเป็นจะต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบที่แตกต่างกันเช่นกัน

2.2.2.5 วิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm, GA)

วิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมเป็นวิธีฮิวริสติกส์การพัฒนาผลเฉลยที่ประยุกต์ใช้หลักแนวคิดทางด้านชีววิทยา โดยการพิจารณาผลเฉลยของปัญหาในรูปของโครโมโซม (Chromosomes) ตัวแปรอยู่ในรูปของยีนส์ (Genes) และค่าของตัวแปรคือ อัลลีล (Alleles) ดังรูปที่ 11



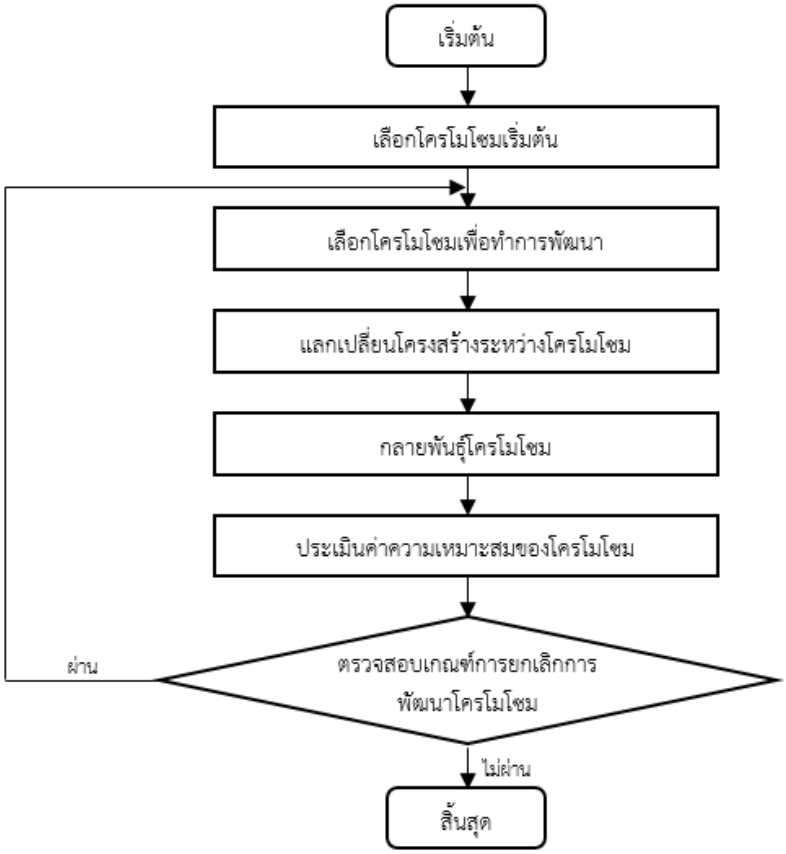
รูปที่ 11 ส่วนประกอบของผลเฉลยในรูปพันธุกรรม

โดยมีขั้นตอนการพัฒนาผลเฉลยดังรูปที่ 12 และมีรายละเอียดดังนี้

ก. การเลือกโครโมโซมเริ่มต้น (Initialization) คือขั้นตอนการสุ่มเลือกผลเฉลยจากผลเฉลยทั้งหมดเพื่อนำมาพิจารณาใช้ในการพัฒนาผลเฉลย

ข. การเลือกโครโมโซมเพื่อทำการพัฒนา (Selection Methods) เป็นขั้นตอนการเลือกผลเฉลยจากผลเฉลยที่ได้ทำการสุ่มเลือกในขั้นตอนการเลือกโครโมโซมเริ่มต้นมาทำการพัฒนาหาผลเฉลยใหม่ โดยวิธีการเลือกโครโมโซมมีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

- วิธีการเลือกโครโมโซมจากสัดส่วนความเหมาะสม คือวิธีการเลือกผลเฉลยโดยการประยุกต์ใช้หลักการของวงล้อรูเล็ต ซึ่งแต่ละช่องของวงล้อจะมีขนาดความกว้างที่แตกต่างกันตามความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของแต่ละผลเฉลย โดยความน่าจะเป็นในการถูกเลือกจะทำการคำนวณจากค่าของแต่ละผลเฉลยเทียบกับค่าของผลเฉลยรวมทั้งหมด ซึ่งจะทำการเลือกผลเฉลยโดยการหมุนวงล้อรูเล็ตดังกล่าว
- วิธีการเลือกโครโมโซมจากการแข่งขัน เป็นวิธีการเลือกผลเฉลยโดยการสุ่มเลือกผลเฉลยขึ้นมาจำนวนหนึ่งและทำการเปรียบเทียบค่าของผลเฉลยเหล่านั้น โดยจะทำการเลือกผลเฉลยที่มีค่าของผลเฉลยที่ดีที่สุดตามจำนวนที่ต้องการ (โดยส่วนใหญ่จะเลือกใช้ 2 ผลเฉลย)



รูปที่ 12 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรม

ค. การแลกเปลี่ยนโครงสร้างระหว่างโครโมโซม (Crossover Operators) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงยีนส์ภายในโครงสร้างของโครโมโซมโดยการแลกเปลี่ยนยีนส์ระหว่างโครโมโซม หรือคือการแลกเปลี่ยนค่าของตัวแปรระหว่างผลเฉลย ซึ่งมีวิธีในการแลกเปลี่ยนดังนี้

- วิธีการแลกเปลี่ยนแบบช่วง เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนค่าของตัวแปรระหว่างผลเฉลยแบบเป็นช่วง ระหว่างตัวแปรหนึ่งไปยังอีกตัวแปรหนึ่ง
- วิธีการแลกเปลี่ยนแบบสุ่ม เป็นวิธีการพิจารณาแลกเปลี่ยนค่าของตัวแปรทีละตัว โดยการสุ่มเลือกตัวแปรภายในผลเฉลยที่จะทำการแลกเปลี่ยน ซึ่งสามารถทำการแลกเปลี่ยนได้มากกว่าหนึ่งตัวแปร

ง. การกลายพันธุ์ของโครโมโซม (Mutation Operators) เป็นขั้นตอนการสุ่มเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรภายในผลเฉลย เนื่องจากในบางครั้งการแลกเปลี่ยนโครงสร้างระหว่างโครโมโซมไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ เพราะตัวแปรที่พิจารณาแลกเปลี่ยนนั้นมีค่าเดียวกันระหว่างสองผลเฉลย ดังนั้นจึงได้มีขั้นตอนนี้เพื่อช่วยในการพัฒนาผลเฉลยในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ข้างต้น

จ. การประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซม (Evaluation) คือขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพของผลเฉลยที่พัฒนาขึ้นมาจากค่าของผลเฉลย

ฉ. การตรวจสอบเกณฑ์การยกเลิกการพัฒนาโครโมโซม (Termination Criteria) เป็นขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไขเพื่อยกเลิกการพัฒนาผลเฉลย โดยเงื่อนไขที่นิยมพิจารณาคือ จำนวนรอบในการพัฒนาผลเฉลยหรือจำนวนผลเฉลยที่ทำการพัฒนา ซึ่งหากผ่านเกณฑ์ดังกล่าวก็จะต้องกลับไปทำการพัฒนาผลเฉลยต่อในขั้นตอนการเลือกโครโมโซมเพื่อทำการพัฒนา แต่หากพบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ก็จะทำการหยุดพัฒนาทันที โดยถือว่าผลเฉลยที่มีคุณภาพดีที่สุดในขณะนั้นคือผลเฉลยของปัญหา

Christiansen et al. (2011) ได้นำเอาวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมไปเป็นส่วนหนึ่งของวิธีฮิวริสติกส์การสร้างผลเฉลยที่ได้คิดค้นขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของปูนซีเมนต์จำนวนหลายชนิด ซึ่งปูนซีเมนต์แต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการจัดเก็บและขนส่งสินค้าจึงจำเป็นที่จะต้องแยกสินค้าแต่ละชนิดออกจากกัน การขนส่งสินค้าจะทำการขนส่งด้วยกลุ่มของเรือบรรทุกสินค้าเทกองที่มีจำนวนหลายช่องบรรจุและมีขนาดแตกต่างกัน โดยวิธีฮิวริสติกส์การสร้างผลเฉลยจะทำหน้าที่ในการสร้างผลเฉลยโดยการพิจารณาสถานีเก็บสินค้าที่มีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนสินค้ามากที่สุด หลังจากนั้นจะทำการเลือกเรือที่จะใช้ในการขนส่งสินค้า ช่วงเวลาที่ทำการขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ทำการขนส่งตามลำดับ แต่หากพบว่ามีรูปแบบการขนส่งที่เป็นไปได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบก็จะทำการพิจารณาเลือกแค่เพียงรูปแบบเดียวด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรม ซึ่งผลที่ได้พบว่าการนำเอาวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมเข้ามาช่วยในการเลือกรูปแบบการขนส่งสามารถช่วยพัฒนาผลเฉลยได้ ส่วน Sadok (2010) ใช้วิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมร่วมกับวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของสินค้าชนิดหนึ่ง โดยขนส่งสินค้าด้วยยานพาหนะที่มีลักษณะเหมือนกันจำนวนหนึ่ง ซึ่ง Sadok ได้ใช้วิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมในการหาผลเฉลย และได้นำเอาวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานมาช่วยพัฒนาผลเฉลยในขั้นตอนการกลายพันธุ์ โดยพบว่าการใช้วิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐานในการช่วยพัฒนาผลเฉลยสามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าการใช้แค่วิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมแค่เพียงอย่างเดียว

จากผลที่ได้พบว่า การหาผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยทางพันธุกรรมสามารถให้ผลเฉลยที่ดีในระดับที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันสั้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ส่วนของขั้นตอนการหาผลเฉลยร่วมกับวิธีการหาผลเฉลยอื่นๆ เพื่อพัฒนาคุณภาพของผลเฉลยได้เป็นอย่างดี

โดยจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมายังพบว่าในบางงานวิจัยได้มีการพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยอื่นๆ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดย Ronen (2002) ได้วิเคราะห์ปัญหาการขนส่งน้ำมันหลายชนิดจากโรงกลั่นไปยังลูกค้าด้วยเรือที่มีจำนวนหลายช่องบรรจุขนาดเดียวกันเพื่อให้ปริมาณน้ำมันของโรงงานลูกค้าไม่ต่ำกว่าปริมาณขั้นต่ำที่กำหนด โดยได้ทำการคิดค้นวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาเพื่อลดระยะเวลาในการหาผลเฉลย ซึ่งเบื้องต้นได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการจำลองปัญหาดังกล่าวและทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต แต่พบว่าวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้เฉพาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก ส่วนปัญหาที่มีขนาดใหญ่นั้นสามารถหาผลเฉลยได้ในระดับหนึ่งแต่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด ดังนั้น Ronen จึงได้ทำการคิดค้นวิธีการหาผลเฉลย ได้แก่ วิธีการดึงและผลัก ซึ่งแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกจะทำการพิจารณาช่วงเวลาที่จะต้องขนส่งสินค้าแต่ละชนิดไปยังลูกค้าแต่ละรายและทำการสร้างการขนส่งสินค้า ส่วนที่สองจะพิจารณาความสามารถในการขนส่งสินค้าของโรงกลั่นในการขนส่งสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาและทำการสร้างการขนส่งสินค้า หลังจากนั้นจะนำการขนส่งสินค้าของทั้งสองส่วนมาทำการพิจารณาร่วมกันเพื่อทำการลดปริมาณการเดินทางโดยการรวมการขนส่งสินค้าที่สามารถรวมกันได้เข้าด้วยกัน ซึ่งผลที่ได้พบว่า วิธีที่นำเสนอนั้นให้ผลเฉลยที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยมาก

ส่วน Yu, Chen, and Chu (2008) และ Kim and Kim (2000) ได้พิจารณาใช้วิธีการผ่อนคลายของลากรานช์เกียน (Lagrangian Relaxation) ในการลดขนาดของปัญหาและหาค่าขอบเขตขั้นต่ำ โดย Yu ได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังให้สามารถใช้งานได้จริงกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ภายใต้ระยะเวลาที่เหมาะสม โดยเบื้องต้นจะทำการลดขนาดของปัญหาโดยการพิจารณาเฉพาะสมการเงื่อนไขหลักที่มีความสำคัญกับปัญหา และทำการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยของปัญหานี้ด้วยวิธีการผ่อนคลายของลากรานช์เกียน ซึ่งจะทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อย ได้แก่ ปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังและปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง แล้วจึงทำการหาผลเฉลย หลังจากนั้นจะนำผลเฉลยที่ได้ไปทำการตรวจสอบกับปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งหากพบว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยของปัญหาขนาดใหญ่เช่นกันก็จะนำผลเฉลยที่ได้ไปทำการพัฒนาด้วยวิธีการค้นหาผลเฉลยขั้นพื้นฐาน และนำผลเฉลยไปตรวจสอบคุณภาพกับขอบเขตขั้นต่ำของปัญหาที่หาจากวิธีการผ่อนคลายของลากรานช์เกียนของปัญหาขนาดใหญ่ แต่หากผลเฉลยที่ได้นั้นไม่ใช่ผลเฉลยของปัญหาขนาดใหญ่ก็จะต้องทำการปรับแก้ผลเฉลยก่อนที่จะนำไปพัฒนาและตรวจสอบคุณภาพต่อไป ซึ่งผลที่ได้พบว่าผลเฉลยมีคุณภาพที่ดีมากและใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่สมเหตุสมผล โดยยิ่งปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะยิ่งทำให้ผลเฉลยแย่ลงแต่เพียงแค่เล็กน้อยเท่านั้น ส่วน Kim ได้ศึกษาปัญหาการกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย โดยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจำลองปัญหาและทำการหาผลเฉลยด้วยวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการผ่อนคลายของลากรานช์เกียน ซึ่งทำการแบ่งปัญหาออกเป็นหลายๆ ปัญหาเพื่อลด

ความซับซ้อนของปัญหาและลดระยะเวลาในการหาผลเฉลย ได้แก่ ปัญหาการจัดตารางเดินเรือและปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง โดยผลเฉลยของปัญหาที่ได้มานั้นอาจจะไม่ใช่ผลเฉลยของปัญหาจริงจึงอาจต้องมีการปรับแก้ผลเฉลยที่ได้มา ซึ่งการปรับแก้นั้นจะพิจารณาใช้วิธีฮิวริสติกส์ที่ได้คิดค้นขึ้นมาซึ่งประกอบไปด้วย 2 เฟส ได้แก่ เฟสการเพิ่มและลดจำนวนเที่ยวการเดินทาง โดยจะทำการเพิ่มและลดจำนวนเที่ยวการเดินทางจนกระทั่งครบรอบการปรับแก้ที่ได้กำหนดไว้ หรือผลเฉลยที่ได้จากการปรับแก้นั้นอยู่ภายในช่วงระยะห่างกับผลเฉลยที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของลากรานช์เกียนที่กำหนด หรือจำนวนรอบของผลเฉลยไม่ได้ถูกพัฒนาติดต่อกันเป็นจำนวนเท่าที่กำหนด ซึ่งผลเฉลยสุดท้ายที่ได้คือผลเฉลยของปัญหา ซึ่งผลเฉลยที่ได้จะนำมาตรวจสอบคุณภาพกับผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหาที่ได้จากวิธีแม่นตรง แต่หากพบปัญหาที่ไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดก็จะทำการเปรียบเทียบผลเฉลยกับขอบเขตขั้นต่ำที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของลากรานช์-เกียน โดยผลที่ได้พบว่าผลเฉลยนั้นมีคุณภาพที่ดีเป็นอย่างมากและใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่ามากเช่นกัน

2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่า ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการนำเอาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางและปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังมาพิจารณาร่วมกัน และจากสาเหตุนี้เองจึงทำให้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางร่วมกับการบริหารจัดการสินค้าคงคลังนั้นมีความหลากหลายในรูปแบบของปัญหา

จากขนาดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่นี้เองจึงทำให้ไม่เหมาะสมที่จะทำการหาผลเฉลยโดยวิธีแม่นตรง เนื่องจากใช้เวลานานในการหาผลเฉลยและอาจไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ ซึ่งจากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามานั้นจะใช้วิธีการแก้ปัญหาใน 2 ลักษณะ ได้แก่ การแยกปัญหาพิจารณาและการใช้วิธีฮิวริสติกส์ โดยการแยกปัญหาพิจารณานั้นจะทำการแยกปัญหาดังกล่าวออกเป็นหลายๆ ส่วน และทำการหาผลเฉลยทีละส่วน เพื่อที่จะลดความซับซ้อนและขนาดของปัญหาลง ซึ่งในการหาผลเฉลยของแต่ละส่วนนั้นสามารถใช้ได้ทั้งวิธีแม่นตรงและวิธีฮิวริสติกส์ ส่วนการใช้วิธีฮิวริสติกส์นั้นสามารถใช้แค่เพียงวิธีฮิวริสติกส์หรือนำเอาวิธีแม่นตรงมาประยุกต์ใช้ร่วมกันก็ได้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการวิจัยที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาของปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณและช่วงเวลาในการเติมสินค้า พร้อมกับจัดเส้นทางการเดินทางของเรือแบบหลายช่องบรรจุให้สอดคล้องกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อก่อให้เกิดต้นทุนรวมในการเดินทางและบริหารจัดการสินค้าคงคลังที่ต่ำที่สุด โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

1) ศึกษารูปแบบของปัญหา และงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้
    ก. ข้อมูลท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน
    ข. ข้อมูลเรือที่ใช้ในการขนส่งสินค้า
    ค. ข้อจำกัดแต่ละด้านของท่าเรือแต่ละแห่ง
    ง. ข้อจำกัดแต่ละด้านของเรือที่ใช้ขนส่งสินค้า
3) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง (Path-Based Formulation) เพื่อจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุภายใต้เงื่อนไขของการดำเนินงานจริง
4) สร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดเพื่อนำไปใช้พิจารณาหาผลเฉลยในแบบจำลองรูปแบบเส้นทางที่ได้สร้างขึ้น
5) พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อช่วยพัฒนาเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหา โดยได้พิจารณาใช้วิธีแยกปัญหา (Decomposition Algorithm) และวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) ที่คิดค้นขึ้นในการหาผลเฉลย
6) ทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลองเพื่อศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแบบจำลองต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของปัญหาที่พิจารณา
7) ทดสอบคุณภาพของวิธีการหาผลเฉลยที่ได้พัฒนาขึ้น โดยจะทำการทดสอบเทียบกับการหาผลเฉลยด้วยวิธีแม่นตรง (Exact Method) เพื่อศึกษาความสามารถในการหาผลเฉลย ระดับคุณภาพของผลเฉลยและเวลาในการหาผลเฉลยที่ได้จากวิธีการหาผลเฉลยที่ได้พัฒนาขึ้น
8) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง เพื่อศึกษาถึงข้อดีและข้อด้อยของแบบจำลองรูปแบบเส้นทางที่ใช้จำลองปัญหาและวิธีการหาผลเฉลยที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา
9) สรุปผลการวิจัย

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ ผู้วิจัยได้พิจารณาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง (Path-Based Formulation) ในการจำลองปัญหา โดยแบบจำลองดังกล่าวจะพิจารณาปัญหาอยู่ในรูปของเส้นทางการเดินทางทั้งเส้นทาง ไม่ได้พิจารณาแยกทีละช่วงของเส้นทาง ซึ่งพบว่าการพิจารณาปัญหาในลักษณะนี้จะสามารถช่วยลดปริมาณสมการเงื่อนไขของปัญหาลงได้เป็นอย่างมาก แต่ก็จะเพิ่มปริมาณของตัวแปรเป็นอย่างมากเช่นกัน เนื่องจากการพิจารณาปัญหาในรูปแบบเส้นทางนั้นจะทำการสร้างเส้นทางที่มีความเป็นไปได้ทั้งหมดก่อนที่จะนำเส้นทางทั้งหมดนี้ไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหา ด้วยขั้นตอนในการสร้างเส้นทางก่อนการหาผลเฉลยนี้เองจึงทำให้สามารถลดสมการเงื่อนไขในการเชื่อมระหว่างการเดินทางในแต่ละช่วงของเส้นทางลงได้ แต่ก็จะเพิ่มตัวแปรจากความเป็นไปได้ของเส้นทางการเดินทางทั้งหมด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง ที่ได้สร้างขึ้นมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 สมมติฐาน

- ระยะทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่งมีลักษณะสมมาตร
- ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือมีค่าคงที่ โดยคำนวณจากระยะทางระหว่างท่าเรือกับอัตราเร็วในการเดินทางของเรือขนส่งสินค้า
- ต้นทุนในการขนส่งขึ้นอยู่กับแค่เพียงระยะทางในการเดินทางเท่านั้น
- ท่าเรือแต่ละแห่งสามารถเป็นได้แค่เพียงท่าเรือผู้ผลิตหรือท่าเรือผู้บริโภคอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น โดยท่าเรือผู้ผลิตจะทำหน้าที่ในการผลิตและขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภคเพื่อตอบสนองต่ออัตราการบริโภคสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภคนั้นๆ ส่วนท่าเรือผู้บริโภคจะมีหน้าที่ในการบริหารจัดการสินค้าคงคลังให้เพียงพอต่ออัตราการบริโภคสินค้า
- ปริมาณความจุและอัตราการผลิตสินค้าที่ท่าเรือผู้ผลิตจะไม่ถูกนำมาพิจารณาในปัญหา โดยถือว่ามีปริมาณความจุมากพอในการจัดเก็บสินค้า และมีอัตราการผลิตที่เพียงพอต่ออัตราการบริโภคสินค้า
- ปริมาณความจุและอัตราการบริโภคสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภคมีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลา
- ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าจะพิจารณาจากระดับสินค้าคงคลังของท่าเรือผู้บริโภคเมื่อจบแต่ละช่วงเวลาเท่านั้น
- สินค้าแต่ละชนิดมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ไม่สามารถที่จะเก็บปะปนกันได้
- เรือขนส่งสินค้าแต่ละลำมีปริมาณและขนาดของช่องบรรจุสินค้าที่คงที่
- ช่องบรรจุสินค้าแต่ละช่องสามารถบรรจุสินค้าได้แค่เพียงชนิดเดียวต่อเส้นทาง เนื่องจากสินค้าแต่ละชนิดมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน และสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงได้แค่เพียงหนึ่งครั้งต่อเส้นทาง
- เรือขนส่งสินค้าสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นหรือลงได้แค่เพียงหนึ่งท่าเรือต่อช่วงเวลา

- เรือขนส่งสินค้าสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นหรือลงได้มากกว่าหนึ่งชนิดต่อช่วงเวลา

3.1.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลของท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค และข้อมูลของเรือขนส่งสินค้า โดยมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค
  - จำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค
  - ระยะทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่ง
  - ความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงต่อช่วงเวลาของแต่ละท่าเรือ
  - ปริมาณความจุสินค้าแต่ละชนิดของแต่ละท่าเรือผู้บริโภค
  - ปริมาณสินค้าเริ่มต้นของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละท่าเรือผู้บริโภค
  - อัตราการบริโภคสินค้าแต่ละชนิดของแต่ละท่าเรือผู้บริโภค
  - ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้าแต่ละชนิดของแต่ละท่าเรือผู้บริโภค
- ข้อมูลเรือขนส่งสินค้า
  - จำนวนเรือขนส่งสินค้า
  - อัตราเร็วในการเดินทางของเรือแต่ละลำ
  - เวลาที่เรือแต่ละลำพร้อมขนส่งสินค้าในช่วงเวลาเริ่มต้น
  - ท่าเรือที่เรือแต่ละลำพร้อมขนส่งสินค้าในช่วงเวลาเริ่มต้น
  - ปริมาณและขนาดของช่องบรรจุสินค้าบนเรือแต่ละลำ

3.1.3 นิยามปัญหา

ปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาต้นทุนรวมในการขนส่งและจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด โดยการพิจารณาหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าและปริมาณสินค้าแต่ละชนิดที่จะทำการเติมในแต่ละช่วงเวลา ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินงานจริง ดังนี้

- ความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงต่อช่วงเวลา
- ปริมาณความจุของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละท่าเรือผู้บริโภคในหน่วยของปริมาตร
- ระดับสินค้าขั้นต่ำของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละท่าเรือผู้บริโภคในหน่วยของปริมาตร
- ปริมาณความจุของเรือขนส่งสินค้าในหน่วยของปริมาตร
- ความสามารถในการใช้ช่องบรรจุสินค้าต่อเส้นทางการเดินทาง

3.1.4 นิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์

ก. เซต

S คือ เซตของท่าเรือผู้ผลิต ซึ่งมี i เป็นดัชนี

D คือ เซตของท่าเรือผู้บริโภค ซึ่งมี j เป็นดัชนี

M^v คือ เซตของช่องบรรจุสินค้าของเรือลำที่ *v* ซึ่งมี *m* เป็นดัชนี

K คือ เซตของสินค้า ซึ่งมี *k* เป็นดัชนี

T คือ เซตของคาบการวางแผน โดยพิจารณาช่วงเวลาเป็นวัน ซึ่งมี *t* เป็นดัชนี

V คือ เซตของเรือแบบหลายช่องบรรจุ ซึ่งมี *v* เป็นดัชนี

P^v คือ เซตของเส้นทางการขนส่งของเรือลำที่ *v* ซึ่งมี *p* เป็นดัชนี

ข. พารามิเตอร์

$\mathrm{C_p}$ คือ ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทาง *p* (บาท)

I_{jk} คือ ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* (บาท/ลิตร/ช่วงเวลา)

CP_{jk} คือ ปริมาณความจุของสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* (ลิตร)

IS_{jk} คือ ปริมาณสินค้าเริ่มต้นในช่วงแรกของช่วงเวลาที่พิจารณาของสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* (ลิตร)

SS_{jk} คือ ระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำของสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* (ลิตร)

CR_{jk} คือ อัตราการบริโภคสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* (ลิตร/ช่วงเวลา)

CM_v คือ จำนวนช่องบรรจุสินค้าของเรือลำที่ *v* (ช่องบรรจุ)

CC_m คือ ปริมาณความจุของช่องบรรจุสินค้า *m* (ลิตร)

T_c คือ ช่วงเวลาที่ทำการตรวจนับการใช้เรือ

AS_n คือ ความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงต่อช่วงเวลาของท่าเรือ *n* (ลำ/ช่วงเวลา)

PV_{vit} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ -1 เมื่อช่วงเวลา *t* เป็นช่วงเวลาก่อนหรือช่วงเวลาเดียวกันกับช่วงเวลาที่เรือลำที่ *v* พร้อมเดินทางที่ท่าเรือผู้ผลิต *i* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

α_{pit} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทาง *p* เดินทางไปยังท่าเรือผู้ผลิต *i* ในช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

ε_{pit} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทาง *p* เดินทางออกจากท่าเรือผู้ผลิต *i* ในช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

μ_{pT_c} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อช่วงเวลา T_c อยู่ระหว่างช่วงเวลาการเดินทางของเส้นทาง *p* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

π_{tT_c} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อช่วงเวลา T_c อยู่ระหว่างช่วงเวลา *t* กับ *t* + 1 และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

γ_{pnt} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อท่าเรือ *n* เป็นท่าเรือผู้ผลิตและเส้นทาง *p* เดินทางออกจากท่าเรือนี้ที่ช่วงเวลา *t* หรือเมื่อท่าเรือ *n* เป็นท่าเรือผู้บริโภคและเส้นทาง *p* เดินทางไปยังท่าเรือนี้ที่ช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

δ_{pjt} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทาง *p* เดินทางไปยังท่าเรือผู้บริโภค *j* ที่ช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

τ_{pmjk} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อช่องบรรจุสินค้า *m* บนเส้นทาง *p* ขนส่งสินค้า *k* ไปยังท่าเรือผู้บริโภค *j* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

ค. ตัวแปรตัดสินใจ

x_p คือ ตัวแปรการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทาง (Shipped Paths) โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางบนเส้นทาง *p* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

g_{vit} คือ ตัวแปรการตัดสินใจเลือกเส้นเชื่อมการจอด (Port Arcs) โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเรือลำที่ *v* เลือกจอดที่ท่าเรือผู้ผลิต *i* ตั้งแต่ช่วงเวลา *t* ถึง *t* + 1

y_{pk} คือ ตัวแปรปริมาณสินค้า *k* ที่ทำการขนส่งด้วยเส้นทาง *p* (ลิตร)

l_{pmk} คือ ตัวแปรการตัดสินใจใช้ช่องบรรจุสินค้า โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกใช้ช่องบรรจุสินค้า *m* บนเส้นทาง *p* ขนส่งสินค้า *k* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

3.1.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$min \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v} C_p x_p + \sum_{t\in T}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\left((|T|-t+1)\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk} - tCR_{jk} + |T|\cdot IS_{jk}\right)I_{jk} \quad (3.1)$$

Subject to:

$$\left(\sum_{p\in P^v}\alpha_{pit}x_p + g_{vi(t-1)}\right) - \left(\sum_{p\in P^v}\varepsilon_{pit}x_p + g_{vit}\right) \geq PV_{vit} \qquad \forall t\in T, \forall i\in S, \forall v\in V \quad (3.2)$$

$$\sum_{p\in P^v}\mu_{pT_c}x_p + \sum_{i\in S}\sum_{t\in T}\pi_{tT_c}g_{vit} \leq 1 \qquad \forall v\in V \quad (3.3)$$

$$\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\gamma_{pnt}x_p \leq AS_n \qquad \forall n\in S\cup D, \forall t\in T \quad (3.4)$$

$$\sum_{t=1}^{a}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk} \leq CP_{jk} - IS_{jk} + (a-1)CR_{jk} \qquad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall a\in T \quad (3.5)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\sum_{t=1}^{a}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk} \geq SS_{jk} - IS_{jk} + aCR_{jk} \qquad \forall k \in K, \forall j \in D, \forall a \in T \qquad (3.6)$$

$$\sum_{m\in M^v}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\tau_{pmjk}l_{pmk} \leq CM_v x_p \qquad \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.7)$$

$$\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\tau_{pmjk}l_{pmk} \leq 1 \qquad \forall m \in M^v, \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.8)$$

$$\sum_{m\in M^v} CC_m\tau_{pmjk}l_{pmk} \geq y_{pk} \qquad \forall k \in K, \forall j \in D, \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.9)$$

$$x_p \in \{0,1\} \qquad \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.10)$$

$$g_{vit} \in \{0,1\} \qquad \forall t \in T, \forall i \in S, \forall v \in V \qquad (3.11)$$

$$y_{pk} \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.12)$$

$$l_{pmk} \in \{0,1\} \qquad \forall k \in K, \forall m \in M^v, \forall p \in P^v, \forall v \in V \qquad (3.13)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่ (3.1) คือสมการต้นทุนรวมในการขนส่งและจัดเก็บสินค้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยพจน์ที่หนึ่งคือ ต้นทุนในการขนส่งสินค้า ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการเลือกเส้นทางการเดินทางของเรือแต่ละลำ และพจน์ที่สองคือ ต้นทุนในการจัดเก็บสินค้า โดยต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าจะพิจารณาจากปริมาณสินค้าคงคลัง ณ สิ้นสุดแต่ละช่วงเวลาของท่าเรือผู้บริโภค ซึ่งมีวิธีในการคำนวณดังนี้

ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ สิ้นสุดช่วงเวลา = ปริมาณสินค้าเริ่มต้น ณ ช่วงเวลา – อัตราการบริโภคสินค้าต่อช่วงเวลา + ปริมาณสินค้าที่เติมเข้ามาในช่วงเวลา

จากสมการข้างต้นจะสามารถสร้างสมการปริมาณสินค้าคงคลัง ณ สิ้นสุดแต่ละช่วงเวลาของสินค้าแต่ละชนิดที่แต่ละท่าเรือผู้บริโภคได้ดังนี้

ปริมาณสินค้าคงคลังสิ้นสุดช่วงเวลาที่ 1 $= IS_{jk} - CR_{jk} + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pj1}y_{pk}$

ปริมาณสินค้าคงคลังสิ้นสุดช่วงเวลาที่ 2 $= IS_{jk} - CR_{jk} + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pj1}y_{pk} - CR_{jk} + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pj2}y_{pk}$

$= IS_{jk} - 2CR_{jk} + \sum_{t=1}^{2}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk}$

ปริมาณสินค้าคงคลังสิ้นสุดช่วงเวลาที่ 3 $= IS_{jk} - 2CR_{jk} + \sum_{t=1}^{2}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk} -$

$CR_{jk} + \sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pj3}y_{pk}$

$= IS_{jk} - 3CR_{jk} + \sum_{t=1}^{3}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk}$

ปริมาณสินค้าคงคลังสิ้นสุดช่วงเวลาที่ b $= IS_{jk} - bCR_{jk} + \sum_{t=1}^{b}\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk}$

ปริมาณสินค้าคงคลังรวมในคาบการวางแผน $= |T|\cdot IS_{jk} - \sum_{b\in T} bCR_{jk} +$

$\sum_{b\in T}(|T| - b + 1)\sum_{v\in V}\sum_{p\in P^v}\delta_{pjt}y_{pk}$

สมการเงื่อนไขที่ (3.2) คือสมการการอนุรักษ์การไหลของเรือแต่ละลำ (Vessel Flow Conservation Constraint) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมจำนวนเรือแต่ละประเภทที่เดินทางเข้าและออกท่าเรือผู้ผลิตในแต่ละช่วงเวลา โดยจะทำการพิจารณาเส้นทางการเดินทางในรูปแบบของเส้นเชื่อมที่มีจุดเริ่มต้นคือท่าเรือผู้ผลิตที่เริ่มต้นการเดินทางและจุดปลายคือท่าเรือผู้ผลิตที่เรือเดินทางกลับมาจากการเดินทาง

สมการเงื่อนไขที่ (3.3) คือสมการการนับจำนวนเรือแต่ละประเภท (Vessel Count Constraint) เป็นสมการที่ทำหน้าที่ป้องกันการใช้เรือเกินกว่าจำนวนที่สามารถใช้ได้ โดยจะทำการสุ่มเลือกช่วงเวลาในการตรวจสอบมาหนึ่งช่วงเวลา ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวจะถือเป็นตัวแทนของคาบการวางแผนทั้งหมดโดยจะต้องมีการใช้เรือแต่ละประเภทไม่เกินจำนวนที่สามารถใช้ได้

ต่อมาสมการเงื่อนไขที่ (3.4) เป็นสมการข้อจำกัดความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงของแต่ละท่าเรือ (Loading/ Unloading Limitation at Port Constraint) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมจำนวนเรือที่จะทำการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงที่แต่ละท่าเรือในแต่ละช่วงเวลาไม่ให้เกินจำนวนที่กำหนด โดยสำหรับท่าเรือผู้ผลิตจะทำการพิจารณาเฉพาะช่วงที่เรือมีการเดินทางออกจากท่าเรือ โดยถือว่าช่วงเวลาดังกล่าวคือช่วงเวลาที่มีการขนถ่ายสินค้าขึ้น ส่วนสำหรับท่าเรือผู้บริโภคนั้นจะทำการพิจารณาในส่วนของช่วงที่เรือมีการเดินทางเข้าไปยังท่าเรือ ซึ่งถือว่าเป็นช่วงเวลาในการขนถ่ายสินค้าลง โดยจะพิจารณาเฉพาะในส่วนของเส้นทางการเดินทางเท่านั้น

สมการเงื่อนไขที่ (3.5) และ (3.6) คือสมการปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและต่ำสุดของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลา (Tank Capacity and Safety Inventory Level Constraints) โดยสมการกลุ่มแรกจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้มีการเติมสินค้าเกินกว่าปริมาณความจุของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละท่าเรือ ซึ่งจะทำการพิจารณาที่ช่วงเวลาเริ่มต้นของแต่ละช่วงเวลา เนื่องจากการเติมสินค้าในแต่ละช่วงเวลานั้นไม่สามารถทราบได้ว่าเป็นช่วงใดของแต่ละช่วงเวลา ดังนั้นจึงพิจารณาที่ช่วงเริ่มต้นของแต่ละช่วงเวลาซึ่งมีปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดที่ต่ำที่สุด และอีกกลุ่มสมการหนึ่งจะมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้ปริมาณสินค้าคงคลังเมื่อจบแต่ละช่วงเวลามีปริมาณต่ำกว่าระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำที่ได้

กำหนดไว้ ซึ่งสามารถคำนวณปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและต่ำสุดของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาได้จากสมการปริมาณสินค้าคงคลังสิ้นสุดในแต่ละช่วงเวลา

สมการเงื่อนไขที่ (3.7) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ (Vessel-Compartment Relation Constraint) เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x_p กับตัวแปร l_{pmk} ซึ่งหากมีการเปิดใช้ช่องบรรจุสินค้าบนเส้นทางใด จะต้องมีการเลือกเดินทางบนเส้นทางนั้น

สมการที่ (3.8) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับชนิดสินค้า (Compartment-Commodity Relation Constraint) โดยช่องบรรจุสินค้าบนแต่ละเส้นทางจะสามารถบรรจุสินค้าได้แค่เพียงหนึ่งชนิดและสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงได้แค่เพียงครั้งเดียวเท่านั้น

สมการเงื่อนไขที่ (3.9) เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับปริมาณการเติมสินค้า (Compartment-Replenishing Amount Relation Constraint) ซึ่งเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร y_{pk} กับตัวแปร l_{pmk} กล่าวคือหากมีการขนส่งสินค้าชนิดใดบนเส้นทางนั้นจะต้องมีการเปิดใช้ช่องบรรจุสินค้าในการขนส่งสินค้าชนิดนั้นบนเส้นทางดังกล่าว และปริมาณสินค้าที่ทำการขนส่งจะต้องไม่เกินขนาดของช่องบรรจุสินค้าที่ใช้ในการขนส่ง

และสมการที่ (3.10)-(3.13) คือสมการแสดงรูปแบบของตัวแปร โดยตัวแปร x_p, g_{vit} และ l_{pmk} เป็นตัวแปรรูปแบบไบนารี และตัวแปร y_{pk} เป็นตัวแปรรูปแบบต่อเนื่อง

3.2 วิธีการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

วิธีการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดจะประกอบไปด้วยเนื้อหา 4 ส่วน ได้แก่ รายละเอียดของเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด ข้อมูล ขั้นตอนและตัวอย่างในการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 รายละเอียดของเส้นทางการเดินทาง (Shipped Path) และเส้นเชื่อมการจอด (Port Arc)

เส้นทางการเดินทาง คือเส้นทางการขนส่งสินค้าของเรือแต่ละลำจากท่าเรือผู้ผลิตไปยังกลุ่มของท่าเรือผู้บริโภค ซึ่งจะคำนวณต้นทุนการขนส่งสินค้าจากระยะทางการเดินทางในเส้นทางนั้นๆ โดยแต่ละเส้นทางการเดินทางจะประกอบด้วยรายละเอียด คือ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า และท่าเรือและช่วงเวลาที่มีการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงในเส้นทาง

เส้นเชื่อมการจอด เป็นเส้นเชื่อมที่แสดงถึงเรือที่ไม่ได้ถูกใช้ขนส่งสินค้าในช่วงเวลาดังกล่าว โดยเรือจะจอดนิ่งอยู่ที่ท่าเรือผู้ผลิตจากช่วงเวลาหนึ่งไปยังช่วงเวลาถัดไป ซึ่งถือว่าไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เกิดขึ้น โดยมีรายละเอียด ได้แก่ ต้นทุนในการจอด (ถือว่าไม่มีต้นทุน) ท่าเรือผู้ผลิตและช่วงเวลาที่เรือจอดอยู่โดยไม่มีการเดินทาง

3.2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

- ปริมาณท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค
- ต้นทุนในการเดินทางหรือระยะทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่ง

- ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่ง
- ความยาวของคาบการวางแผน

3.2.3 ขั้นตอนการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

ขั้นตอนการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การสร้างและจำลองรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.3.1 การสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

เป็นขั้นตอนการสร้างลักษณะเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งการสร้างเส้นทางการเดินทางมีเงื่อนไขดังนี้

- เริ่มต้นและจบเส้นทางที่ท่าเรือผู้ผลิต
- ระยะเวลาในการขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภคจะต้องไม่เกินคาบการวางแผน (ไม่สนใจช่วงเวลาในการจบเส้นทางที่ท่าเรือผู้ผลิต)
- ช่วงเวลาในการจบเส้นทางจะถูกพิจารณาเพิ่มอีกหนึ่งช่วงเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เรือเดินทางโดยไม่มีการหยุดพักระหว่างเส้นทาง กล่าวคือไม่มีเวลาในการตรวจสอบตัวเรือและขนถ่ายสินค้าขึ้นเรือ
- เรือขนส่งสินค้าสามารถขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงได้แค่เพียงท่าเรือเดียวต่อช่วงเวลา
- เรือขนส่งสินค้าไม่สามารถจอดนิ่งอยู่ที่ท่าเรือผู้บริโภค

จากขนาดของปัญหาที่แปรผันตามจำนวนเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด กล่าวคือหากจำนวนเส้นทางและเส้นเชื่อมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติมในการสร้างเส้นทางการเดินทางเพื่อใช้ในการจำกัดจำนวนของเส้นทางที่เป็นไปได้และขนาดของปัญหา ได้แก่ ข้อจำกัดจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง คือ จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดที่สามารถทำการขนถ่ายสินค้าลงได้ต่อเส้นทาง

ส่วนเส้นเชื่อมการจอดมีเงื่อนในการสร้างดังนี้

- เริ่มต้นและจบเส้นเชื่อมที่ท่าเรือผู้ผลิตเดียวกัน
- ระยะเวลาของเส้นเชื่อม คือ หนึ่งช่วงเวลา

3.2.3.2 การจำลองรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

เป็นขั้นตอนการนำเอารูปแบบเส้นทางและเส้นเชื่อมที่สร้างขึ้นจากขั้นตอนการสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดมาทำการจำลองเพิ่มเติม ซึ่งเส้นทางและเส้นเชื่อมที่ได้จำลองขึ้นมานั้นจะมีลักษณะเดียวกันกับรูปแบบต้นแบบ แต่จะแตกต่างกันในด้านของเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดของเส้นทางและเส้นเชื่อม สำหรับเส้นทางการการเดินทางจะทำการจำลองเส้นทางจนกระทั่งช่วงเวลาขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภคสุดท้ายบนเส้นทางนั้นเป็นช่วงเวลาสุดท้ายของคาบการวางแผน ซึ่งจะตรงตามเงื่อนไขในขั้นตอนการสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด ส่วนเส้นเชื่อมการจอดจะทำการจำลองเส้นเชื่อมจนกระทั่งช่วงเวลาเริ่มต้นของเส้นเชื่อมเป็นช่วงเวลา

สุดท้ายของคาบการวางแผน ซึ่งแสดงถึงความต่อเนื่องของตำแหน่งเรือจนกระทั่งจบคาบการวางแผน โดยเส้นทางและเส้นเชื่อมที่ทำการจำลองขึ้นมาจะถูกพิจารณาในปัญหาเหมือนกับเส้นทางและเส้นเชื่อมต้นแบบ

3.2.4 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

ในหัวข้อนี้จะทำการยกตัวอย่างวิธีการสร้างเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดจากปัญหาการขนส่งสินค้าจากท่าเรือผู้ผลิตแห่งหนึ่งไปยังท่าเรือผู้บริโภคสองแห่ง ได้แก่ P1, C1 และ C2 ตามลำดับ ภายในความยาวของคาบการวางแผน 5 ช่วงเวลา โดยมีต้นทุนในการขนส่งและระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ต้นทุนในการขนส่ง (บาท)

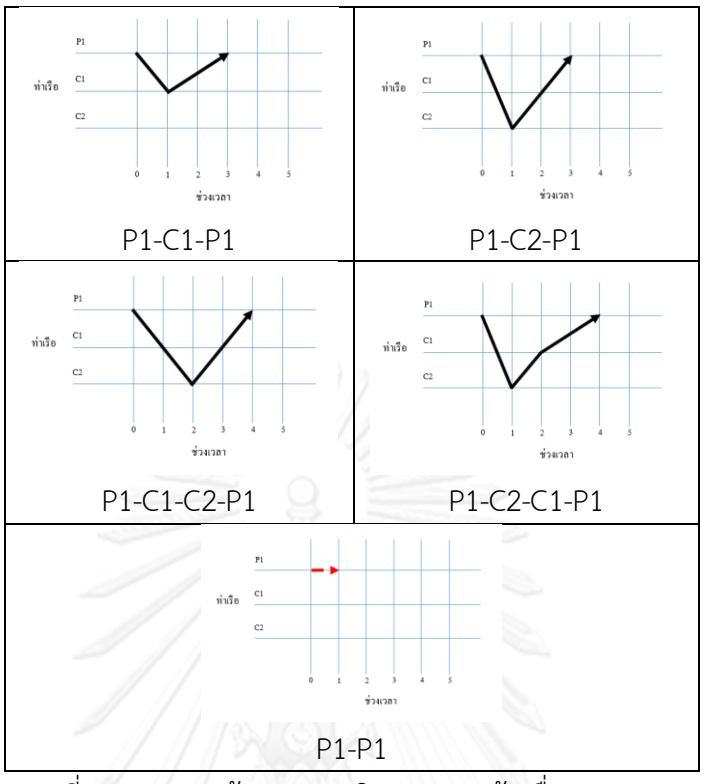
ท่าเรือ	P1	C1	C2
P1		5	4
C1	5		3
C2	4	3	

ตารางที่ 4 ระยะเวลาในการเดินทาง (ช่วงเวลา)

ท่าเรือ	P1	C1	C2
P1		1	1
C1	1		1
C2	1	1	

จากรายละเอียดข้างต้นจะสามารถทำการสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางได้ 4 รูปแบบ ได้แก่ P1-C1-P1, P1-C2-P1, P1-C1-C2-P1 และ P1-C2-C1-P1 โดยมีช่วงเวลาในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงที่แต่ละท่าเรือ ดังนี้ 0-1-3, 0-1-3, 0-1-2-4 และ 0-1-2-4 และต้นทุนในการขนส่งเท่ากับ 10, 8, 12 และ 12 บาท ตามลำดับ ส่วนรูปแบบเส้นเชื่อมการจอดจะสามารถสร้างได้ 1 รูปแบบ คือ P1-P1 โดยมีช่วงเวลาของเส้นเชื่อม คือ 0-1 และไม่มีต้นทุนในการเดินทาง ซึ่งรูปที่ 13 แสดงรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดที่ได้จากขั้นตอนการสร้างรูปแบบ

หลังจากสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดจะทำการจำลองรูปแบบเส้นทางและเส้นเชื่อมแต่ละรูปแบบ ซึ่งจะสามารถทำการจำลองรูปแบบเส้นทางและเส้นเชื่อมได้ดังตารางที่ 5



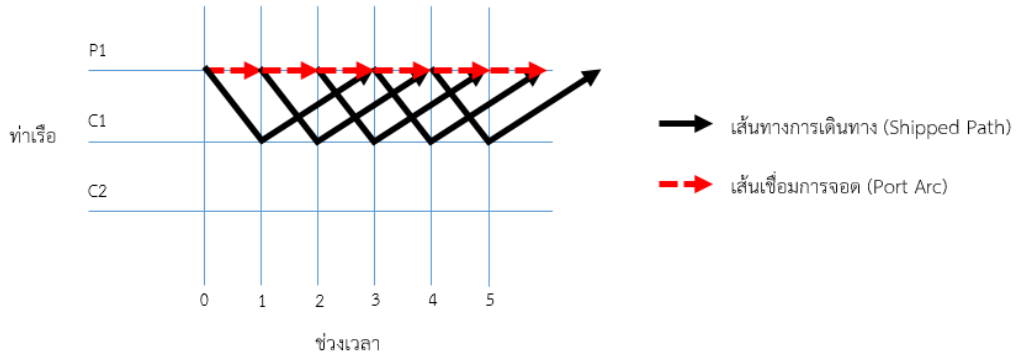
รูปที่ 13 รูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด

ตารางที่ 5 เส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดที่ได้จากการจำลองรูปแบบ

รูปแบบเส้นทาง	**รายละเอียดช่วงเวลา**					
P1-C1-P1	0-1-3	1-2-4	2-3-5	3-4-6	4-5-7	
P1-C2-P1	0-1-3	1-2-4	2-3-5	3-4-6	4-5-7	
P1-C1-C2-P1	0-1-2-4	1-2-3-5	2-3-4-6	3-4-5-7		
P1-C2-C1-P1	0-1-2-4	1-2-3-5	2-3-4-6	3-4-5-7		
P1-P1	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6

จากการสร้างและจำลองรูปแบบเส้นทางและเส้นเชื่อมในปัญหาข้างต้น จะสามารถสร้างเส้นทางการเดินทางได้ทั้งหมด 18 เส้นทาง และเส้นเชื่อมการจอด 6 เส้นเชื่อม ซึ่งรูปที่ 14 แสดงการจำลองรูปแบบเส้นทางการเดินทาง P1-C1-P1 และเส้นเชื่อมการจอด P1-P1

Chulalongkorn University



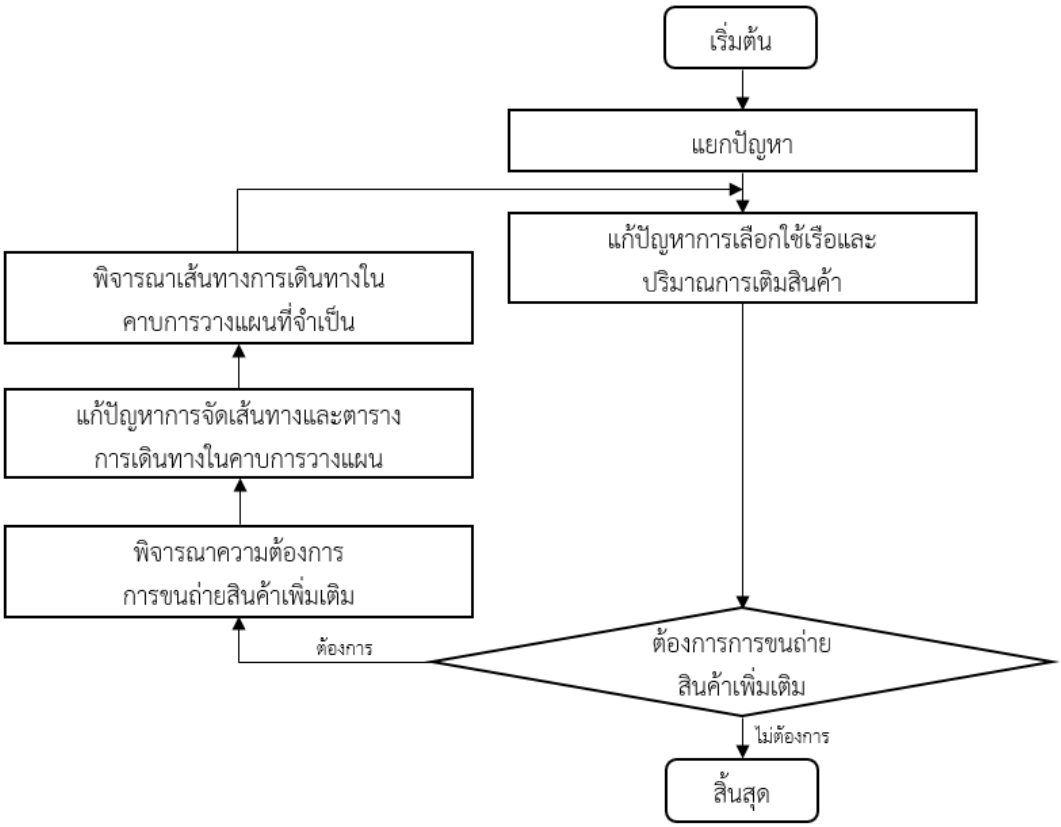
รูปที่ 14 การจำลองรูปแบบเส้นทางการเดินทาง P1-C1-P1 และเส้นเชื่อมการจอด P1-P1

3.3 วิธีการหาผลเฉลย

จากการพิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ ซึ่งเป็นการนำปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางมาพิจารณาร่วมกับปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังจึงทำให้ปัญหามีขนาดที่ใหญ่และมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ทั้งในด้านจำนวนตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และสมการเงื่อนไขที่รวมเอาเงื่อนไขของทั้งสองปัญหามาพิจารณาร่วมกันและเพิ่มเติมด้วยสมการเงื่อนไขที่ทำการเชื่อมทั้งสองปัญหา ทำให้วิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีแม่นตรงอาจไม่สามารถที่จะหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดได้ หรืออาจใช้เวลานานในการหาผลเฉลย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุ โดยวิธีที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมานั้นเป็นการนำเอาวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงมาหาผลเฉลยร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์ ซึ่งสามารถแบ่งวิธีการหาผลเฉลยออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ วิธีการแยกปัญหา (Decomposition Algorithm) และวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ (Vessel Assignment Heuristic using Random Tabu Search)

3.3.1 วิธีการแยกปัญหา (Decomposition Algorithm)

เป็นวิธีการแยกพิจารณาปัญหาออกเป็นส่วนๆ เพื่อทำการลดขนาดของปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือการลดเวลาในการหาผลเฉลย เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มไม่ได้มีการแปรผันตามขนาดของปัญหาในลักษณะเส้นตรงแต่เป็นลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล กล่าวคือยิ่งปัญหามีขนาดใหญ่จะยิ่งทำให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จึงอาจบอกได้ว่าการแก้ปัญหาขนาดเล็กจำนวนมากอาจใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าการแก้ปัญหาขนาดใหญ่แค่เพียงปัญหาเดียว ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาใช้วิธีการแยกปัญหาเข้ามาช่วยในการหาผลเฉลย ซึ่งมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาดังรูปที่ 15 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 15 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแยกปัญหา

ก. การแยกปัญหา เป็นขั้นตอนการแยกปัญหาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (Vessel Tour and Scheduling Problem) และปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (Vessel Assignment and Replenishment Problem) โดยปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผนจะทำหน้าที่ในการจัดเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนเพื่อตอบสนองต่อปริมาณความต้องการการขนถ่ายสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภคในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็น ส่วนปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าจะทำหน้าที่ในการเลือกใช้เรือในการขนส่งสินค้าบนแต่ละเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็น และคำนวณปริมาณสินค้าแต่ละชนิดที่จะทำการเติมในแต่ละช่วงเวลาบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนแต่ละเส้นทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความต้องการการขนถ่ายสินค้าในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละท่าเรือผู้บริโภค

ข. การแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า ในขั้นตอนนี้จะทำการแก้ปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสินค้าที่ไม่เพียงพอต่ออัตราการบริโภคสินค้าในแต่ละช่วงเวลา โดยจะถือว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติมที่ท่าเรือผู้บริโภค

นั้นๆ เพื่อให้มีปริมาณสินค้าเพียงพอกับอัตราการบริโภคสินค้า ซึ่งการแก้ปัญหานี้จะพิจารณาใช้วิธีแม่นตรง

ค. การตรวจสอบความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติม เป็นขั้นตอนการตรวจสอบผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าเพื่อตรวจสอบความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติม โดยหากพบว่าไม่มีความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติมก็จะถือว่าผลเฉลยในขณะนั้นคือผลเฉลยของปัญหา แต่ถ้าพบว่ามีความต้องการเพิ่มเติมก็จะต้องนำความต้องการนั้นกลับไปพิจารณาเพิ่มเติมในปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน เพื่อทำการพิจารณาหาเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็นใหม่

ง. การพิจารณาความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติม คือขั้นตอนการนำเอาความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติมของแต่ละช่วงเวลาในแต่ละท่าเรือผู้บริโภคที่ได้จากการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้ามาทำการพิจารณาเพิ่มเติมในปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน

จ. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน คือขั้นตอนการหาเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็น ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาโดยการใช้วิธีแม่นตรง เนื่องจากปัญหาที่พิจารณามีจำนวนตัวแปรแค่เพียงหนึ่งชนิด และมีจำนวนสมการเงื่อนไขที่น้อย

ฉ. การพิจารณาเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็น เป็นขั้นตอนการนำเอาเส้นทางที่ได้จากการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผนมาทำการพิจารณาแทนเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดทั้งหมดเพื่อช่วยลดขนาดของปัญหา โดยถือว่าเส้นทางดังกล่าวได้ถูกคัดเลือกมาแล้วจากปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน

3.3.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน

ก. นิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม

- พารามิเตอร์

β_{pjt} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทาง p มีการขนส่งสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภค j ในช่วงเวลาก่อนหรือในช่วงเวลา t และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

d_{jt} คือ จำนวนเรือที่ต้องใช้ขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภค j ในช่วงเวลาก่อนหรือในช่วงเวลา t (ลำ)

ข. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$min \sum_{v \in V} \sum_{p \in P^v} C_p x_p \tag{3.14}$$

Subject to:

$$\left(\sum_{p \in P^v} \alpha_{pit} x_p + g_{vi(t-1)} \right) - \left(\sum_{p \in P^v} \varepsilon_{pit} x_p + g_{vit} \right) \geq PV_{vit} \qquad \forall t \in T, \forall i \in S, \forall v \in V \tag{3.15}$$

$$\sum_{p \in P^v} \mu_{pT_c} x_p + \sum_{i \in S} \sum_{t \in T} \pi_{tT_c} g_{vit} \leq 1 \qquad \forall v \in V \tag{3.16}$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{p \in P^v} \gamma_{pnt} x_p \leq AS_n \qquad \forall n \in S \cup D, \forall t \in T \tag{3.17}$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{p \in P^v} \beta_{pjt} x_p \geq d_{jt} \qquad \forall j \in D, \forall t \in T \tag{3.18}$$

$$x_p \in \{0,1\} \qquad \forall p \in P^v, \forall v \in V \tag{3.19}$$

$$g_{vit} \in \{0,1\} \qquad \forall t \in T, \forall i \in S, \forall v \in V \tag{3.20}$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการวัตถุประสงค์ที่ (3.14) คือสมการต้นทุนในการขนส่งสินค้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (3.15) คือสมการการอนุรักษ์การไหลของเรือแต่ละลำ ต่อมาสมการเงื่อนไขที่ (3.16) คือสมการการนับจำนวนเรือแต่ละประเภท สมการเงื่อนไขที่ (3.17) เป็นสมการข้อจำกัดความสามารถในการขนถ่ายสินค้าขึ้นและลงของแต่ละท่าเรือ สมการที่ (3.18) คือสมการเงื่อนไขปริมาณความต้องการการขนถ่ายสินค้าของแต่ละท่าเรือผู้บริโภคในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งจะต้องมีเรือขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือผู้บริโภคในช่วงเวลาหรือก่อนถึงช่วงเวลานั้นๆ ตามปริมาณความต้องการการขนถ่ายสินค้า และสมการที่ (3.19) และ (3.20) คือสมการแสดงรูปแบบของตัวแปร x_p และ g_{vit} ซึ่งเป็นตัวแปรรูปแบบไบนารี

3.3.1.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า

ก. นิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม

- เซต

  R คือ เซตของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน

  SR^v คือ เซตของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนของเรือลำที่ v ซึ่งมี r เป็นดัชนี

H^r คือ เซตของเส้นทางการเดินทางของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* ซึ่งมี *h* เป็นดัชนี

- พารามิเตอร์

TC_r คือ ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* (บาท)

E_{jkt} คือ ค่าเสียโอกาสในการจำหน่ายสินค้า *k* ที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* ในช่วงเวลา *t* ในกรณีสินค้าไม่เพียงพอต่ออัตราการบริโภคสินค้า (บาท/ลิตร)

ρ_{rhjt} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นทาง *h* ของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* เดินทางไปยังท่าเรือผู้บริโภค *j* ที่ช่วงเวลา *t* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

σ_{rhmjk} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อช่องบรรจุสินค้า *m* บนเส้นทาง *h* ของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* ขนส่งสินค้า *k* ไปยังท่าเรือผู้บริโภค *j* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

- ตัวแปรตัดสินใจ

w_r คือ ตัวแปรการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน *r* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

q_{rhk} คือ ตัวแปรปริมาณสินค้า *k* ที่ทำการขนส่งด้วยเส้นทาง *h* ของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* (ลิตร)

u_{rhmk} คือ ตัวแปรการตัดสินใจใช้ช่องบรรจุสินค้า โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกใช้ช่องบรรจุสินค้า *m* บนเส้นทาง *h* ของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่ *r* ขนส่งสินค้า *k* และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

z_{jkt} คือ ปริมาณสินค้า *k* ที่ไม่สามารถตอบสนองต่ออัตราการบริโภคสินค้าที่ท่าเรือผู้บริโภค *j* ในช่วงเวลา *t* ได้อย่างเพียงพอ (ลิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

$$min \sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v} TC_r w_r + \sum_{t\in T}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\left((|T|-t+1)\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} - tCR_{jk} + |T|\cdot IS_{jk}\right)I_{jk} + \sum_{t\in T}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}(|T|-t+1)E_{jkt}z_{jkt} \quad (3.21)$$

Subject to:

$$\sum_{t=1}^{a}\left(\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} + z_{jkt}\right) \le CP_{jk} - IS_{jk} + (a-1)CR_{jk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall a\in T \quad (3.22)$$

$$\sum_{t=1}^{a}\left(\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} + z_{jkt}\right) \ge SS_{jk} - IS_{jk} + aCR_{jk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall a\in T \quad (3.23)$$

$$\sum_{m\in M^v}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\sigma_{rhmjk}u_{rhmk} \le CM_v w_r \quad \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.24)$$

$$\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\sigma_{rhmjk}u_{rhmk} \le 1 \quad \forall m\in M^v, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.25)$$

$$\sum_{m\in M^v} CC_m\sigma_{rhmjk}u_{rhmk} \ge q_{rhk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.26)$$

$$\sum_{v\in V} w_r = 1 \quad \forall r\in SR^v \quad (3.27)$$

$$\sum_{r\in SR^v} w_r \le 1 \quad \forall v\in V \quad (3.28)$$

$$w_r \in \{0,1\} \quad \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.29)$$

$$q_{rhk} \ge 0 \quad \forall k\in K, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.30)$$

$$u_{rhmk} \in \{0,1\} \quad \forall k\in K, \forall m\in M^v, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.31)$$

$$z_{jkt} \ge 0 \quad \forall t\in T, \forall k\in K, \forall j\in D \quad (3.32)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าว สมการวัตถุประสงค์ที่ (3.21) คือสมการต้นทุนรวมในการขนส่ง จัดเก็บสินค้าและค่าเสียโอกาส ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (3.22) และ (3.23) คือปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและต่ำสุดของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลา สมการเงื่อนไขที่ (3.24) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เรือและช่องบรรจุ สมการที่ (3.25) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับชนิดสินค้า สมการเงื่อนไขที่ (3.26) เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับปริมาณการเติมสินค้า ต่อมาสมการเงื่อนไขที่ (3.27) เป็นสมการการเลือกใช้เรือ กล่าวคือเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนแต่ละเส้นทางจะต้องถูกเลือกเดินทางโดยเรือลำใดลำหนึ่งเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (3.28) คือสมการการเลือกเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน โดยเรือแต่ละลำสามารถเลือกเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนได้ไม่เกิน 1 เส้นทาง และสมการที่ (3.29)-(3.32) คือสมการแสดงรูปแบบของตัวแปร โดยตัวแปร w_r และ u_{rhmk} เป็นตัวแปรรูปแบบไบนารี และตัวแปร q_{rhk} และ z_{jkt} เป็นตัวแปรรูปแบบต่อเนื่อง

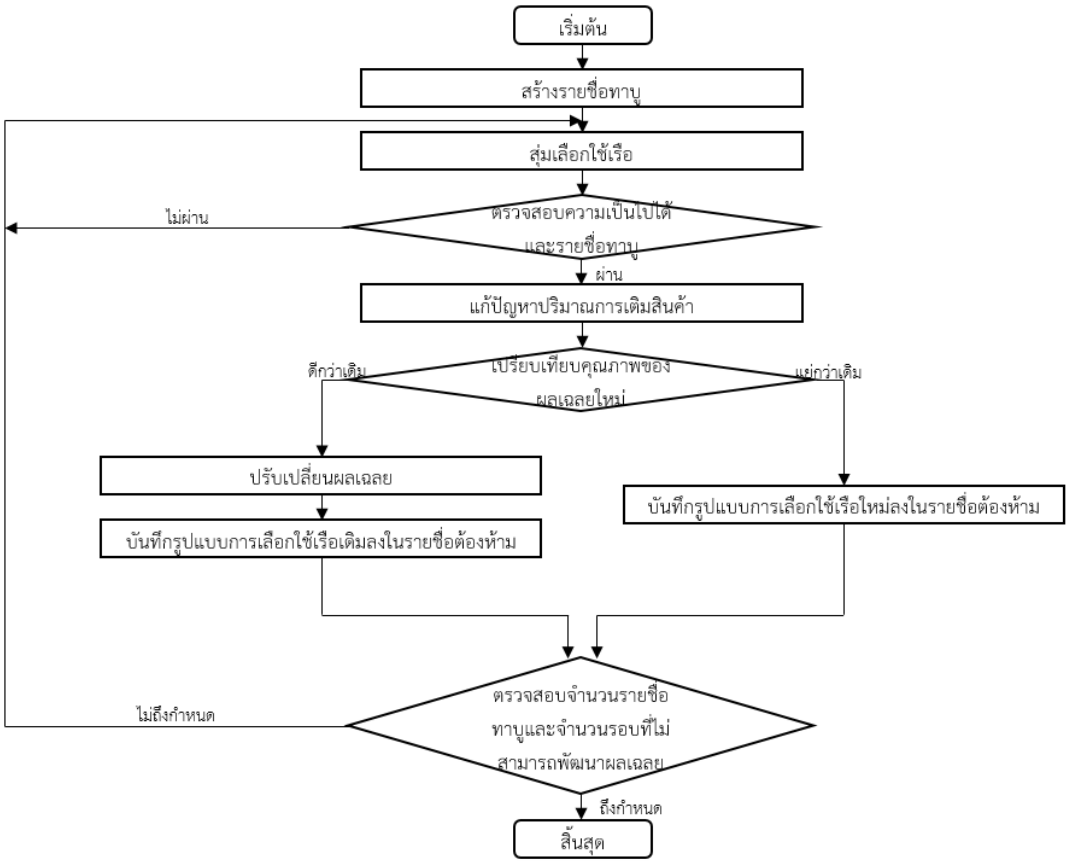
3.3.2 วิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ (Vessel Assignment Heuristic using Random Tabu Search)

จากการพิจารณาแก้ปัญหาด้วยวิธีการแยกปัญหา ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน และปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีแม่นตรงโดยใช้วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต ซึ่งพบว่าปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผนสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาอันสั้น แต่ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้านั้นใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่แน่นอน ถึงแม้ว่าปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผนจะมีขนาดใหญ่กว่าปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าเป็นอย่างมาก โดยมีสาเหตุมาจากชนิดของตัวแปรที่พิจารณาในแต่ละปัญหา ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผนพิจารณากลุ่มของตัวแปรสองกลุ่ม ส่วนปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าจะประกอบไปด้วยกลุ่มตัวแปรถึง 4 กลุ่มและแต่ละกลุ่มมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้เวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้ามีความไม่แน่นอนเมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เข้ามาช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหาดังกล่าวเพื่อช่วยลดและพัฒนาความแน่นอนของเวลาในการหาผลเฉลย

วิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เป็นวิธีที่ใช้ในการลดขนาดของปัญหาด้วยการสุ่มเลือกใช้เรือบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนที่จำเป็นก่อนที่จะทำการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า ซึ่งเปรียบเสมือนกับการแบ่งปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ปัญหาการสุ่มเลือกใช้เรือ (Vessel Assignment Problem) และปัญหาปริมาณการเติมสินค้า (Replenishment Problem) โดยส่วนแรกจะทำหน้าที่ในการเลือกใช้เรือบนแต่ละเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน และส่วนที่สองจะทำหน้าที่คำนวณปริมาณสินค้าแต่ละชนิดที่จะทำการเติมในแต่ละช่วงเวลาบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนแต่ละเส้นทาง

โดยปัญหาการสุ่มเลือกใช้เรือนั้นได้มีการประยุกต์ใช้แนวคิดของรายชื่อทาบู (Tabu List) เข้ามาช่วยในการบันทึกรูปแบบการเลือกใช้เรือที่ให้ผลเฉลยที่ไม่ดีพอ เพื่อทำการหลีกเลี่ยงรูปแบบการเลือกใช้เรือดังกล่าว ส่วนการแก้ปัญหาปริมาณการเติมสินค้าจะสามารถหาผลเฉลยได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าที่ได้ยกเลิกการพิจารณาตัวแปรและสมการเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้เรือบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน

โดยขั้นตอนการแก้ปัญหาปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะมีขั้นตอนการแก้ปัญหาดังรูปที่ 16 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 16 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้

ก. การสร้างรายชื่อทาบู เป็นขั้นตอนการสร้างรายชื่อเพื่อใช้บันทึกรูปแบบการเลือกใช้เรือที่ให้ผลเฉลยไม่ดีพอ โดยจะต้องทำการกำหนดจำนวนรายชื่อสูงสุดที่สามารถทำการบันทึกได้

ข. การสุ่มเลือกใช้เรือ เป็นขั้นตอนการสุ่มใช้เรือเพื่อเดินทางในแต่ละเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน โดยเรือแต่ละลำสามารถใช้เดินทางได้แค่เพียงไม่เกินหนึ่งเส้นทางและแต่ละเส้นทางจะต้องมีเรือเดินทางหนึ่งลำ

ค. การตรวจสอบความเป็นไปได้และรายชื่อทาบู คือขั้นตอนการตรวจสอบรูปแบบการเลือกใช้เรือที่สุ่มขึ้นมา โดยจะทำการตรวจสอบ 2 ส่วน ได้แก่ ความเป็นไปได้และรายชื่อทาบู ซึ่งการตรวจสอบความเป็นไปได้จะพิจารณาจากตำแหน่งและเวลาที่เรือพร้อมทำการขนส่งในช่วงเริ่มต้นของช่วงเวลาที่พิจารณากับตำแหน่งและเวลาเริ่มต้นเดินทางของเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผน ซึ่งเรือจะสามารถเดินทางบนเส้นทางการเดินทางในคาบการวางแผนได้ก็ต่อเมื่อเรือพร้อมทำการขนส่งสินค้าในตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งเริ่มต้นเดินทางของเส้นทางนั้นและจะต้องพร้อมทำการขนส่งก่อนหรือใน

ช่วงเวลาเริ่มต้นของเส้นทาง และเรือลำนั้นจะต้องยังไม่ถูกสุ่มเลือกใช้ ส่วนการตรวจสอบรายชื่อทาบูจะทำโดยการนำเอารูปแบบการเลือกใช้เรือที่สุ่มได้ไปทำการตรวจสอบกับรูปแบบการเลือกใช้เรือที่อยู่ในรายชื่อทาบู เพื่อทำการหลีกเลี่ยงการสุ่มเลือกใช้เรือที่ให้ผลเฉลยไม่ดีพอ โดยหากพบว่าการเลือกใช้เรือที่สุ่มได้มานั้นมีความเป็นไปได้และไม่มีบันทึกอยู่ในรายชื่อทาบูก็จะนำรูปแบบการเลือกใช้เรือดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ต่อไป แต่หากไม่เป็นเช่นนั้นก็จะทำการสุ่มเลือกใช้เรือใหม่จนกว่าจะพบรูปแบบการเลือกใช้เรือที่เป็นไปได้และไม่ได้ถูกบันทึกอยู่ในรายชื่อทาบู

ง. การแก้ปัญหาปริมาณการเติมสินค้า คือขั้นตอนการแก้ปัญหาเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสินค้าที่ไม่เพียงพอต่ออัตราการบริโภคสินค้าในแต่ละช่วงเวลา โดยจะถือว่าช่วงเวลาดังกล่าวมีความต้องการการขนถ่ายสินค้าเพิ่มเติมที่ท่าเรือผู้บริโภคนั้นๆ เพื่อให้มีปริมาณสินค้าเพียงพอกับอัตราการบริโภคสินค้า ซึ่งการแก้ปัญหานี้จะพิจารณาใช้วิธีแม่นตรง

จ. การเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยใหม่ เป็นขั้นตอนการนำผลเฉลยใหม่ที่ได้มาไปทำการเปรียบเทียบกับผลเฉลยในขณะนั้น หากพบว่าผลเฉลยใหม่ที่ได้มามีคุณภาพที่ดีกว่าผลเฉลยเดิม จะทำการแทนผลเฉลยเดิมด้วยผลเฉลยใหม่ และทำการบันทึกผลเฉลยเดิมลงไปในรายชื่อทาบู แต่ถ้าผลเฉลยใหม่มีคุณภาพที่แย่กว่าผลเฉลยเดิมก็จะทำการบันทึกผลเฉลยใหม่ลงไปในรายชื่อทาบูแทน

ฉ. การตรวจสอบจำนวนรายชื่อทาบูและจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย เป็นขั้นตอนการตรวจสอบเพื่อทำการพิจารณายกเลิกการหาผลเฉลย โดยการตรวจสอบจาก 2 ส่วน ได้แก่ จำนวนรายชื่อทาบูและจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย ซึ่งการตรวจสอบจำนวนรายชื่อทาบูคือการตรวจสอบจำนวนรูปแบบการเลือกใช้เรือในรายชื่อทาบู หากมีจำนวนถึงที่กำหนดไว้ก็จะทำการยกเลิกการหาผลเฉลย ส่วนการตรวจสอบจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยเป็นการพิจารณาจำนวนรอบของการสุ่มเลือกใช้เรือที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน หากถึงจำนวนรอบที่กำหนดก็จะทำการยกเลิกการหาผลเฉลยเช่นกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.3.2.1 นิยามสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพิ่มเติม

ก. เซต

O คือ เซตของรูปแบบการเลือกใช้เรือในขณะนั้น

O^* คือ เซตของรูปแบบการเลือกใช้เรือใหม่ที่ได้มา

ข. พารามิเตอร์

LL คือ จำนวนรายชื่อทาบูของรูปแบบการเลือกใช้เรือ (รูปแบบ)

LI คือ ข้อจำกัดจำนวนรอบของการสุ่มเลือกใช้เรือที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน (รอบ)

ค. ตัวแปร

f^* คือ ค่าของผลเฉลยที่ได้จากเซตของรูปแบบการเลือกใช้เรือ

3.3.2.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาปริมาณการเติมสินค้า

$$min \sum_{t\in T}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\left((|T|-t+1)\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} - tCR_{jk} + |T|\cdot IS_{jk}\right)I_{jk} + \sum_{t\in T}\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}(|T|-t+1)E_{jkt}z_{jkt} \quad (3.33)$$

Subject to:

$$\sum_{t=1}^{a}\left(\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} + z_{jkt}\right) \leq CP_{jk} - IS_{jk} + (a-1)CR_{jk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall a\in T \quad (3.34)$$

$$\sum_{t=1}^{a}\left(\sum_{v\in V}\sum_{r\in SR^v}\sum_{h\in H^r}\rho_{rhjt}q_{rhk} + z_{jkt}\right) \geq SS_{jk} - IS_{jk} + aCR_{jk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall a\in T \quad (3.35)$$

$$\sum_{j\in D}\sum_{k\in K}\sigma_{rhmjk}u_{rhmk} \leq 1 \quad \forall m\in M^v, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.36)$$

$$\sum_{m\in M^v}CC_m\sigma_{rhmjk}u_{rhmk} \geq q_{rhk} \quad \forall k\in K, \forall j\in D, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.37)$$

$$q_{rhk} \geq 0 \quad \forall k\in K, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.38)$$

$$u_{rhmk} \in \{0,1\} \quad \forall k\in K, \forall m\in M^v, \forall h\in H^r, \forall r\in SR^v, \forall v\in V \quad (3.39)$$

$$z_{jkt} \geq 0 \quad \forall t\in T, \forall k\in K, \forall j\in D \quad (3.40)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น สมการวัตถุประสงค์ที่ (3.33) คือสมการต้นทุนรวมของค่าจัดเก็บสินค้าและค่าเสียโอกาส ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (3.34) และ (3.35) คือปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและต่ำสุดของสินค้าแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลา สมการเงื่อนไขที่ (3.36) เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับชนิดสินค้า สมการเงื่อนไขที่ (3.37) คือสมการความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุกับปริมาณการเติมสินค้า และสมการเงื่อนไขที่ (3.38)-(3.40) คือสมการแสดงรูปแบบของตัวแปร โดยตัวแปร u_{rhmk} เป็นตัวแปรรูปแบบไบนารี และตัวแปร q_{rhk} และ z_{jkt} เป็นตัวแปรรูปแบบต่อเนื่อง

```
O = ϕ
nLL = 0
nLI = 0
while nLL ≤ LL and nLI ≤ LI do
    O* = ϕ
    while O* = ϕ do
        random assign the vessel
        check the feasibility and solution in list
        if feasible and not repeat then
            solve the replenishment problem
            O* = the solution of replenishment problem
            if f(O*) < f(O) then
                record O to list
                nLL = nLL + 1
                nLI = 0
                O = O*
            else
                record O* to list
                nLL = nLL + 1
                nLI = nLI + 1
            end if
        end if
    end while
end while
```

รูปที่ 17 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้-อัลกอริทึม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลจากงานวิจัย

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจำลองปัญหาและวิธีการหาผลเฉลยที่ได้นำเสนอ โดยการทดสอบกับชุดปัญหาที่มีพื้นฐานจากข้อมูลจริงประกอบกับการสร้างข้อมูลเพิ่มเติมในบางส่วนของปัญหาให้สอดคล้องกัน เพื่อใช้พิจารณาในปัญหาและให้เห็นผลเฉลยของปัญหาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ซึ่งชุดปัญหาแต่ละชุดจะมีความแตกต่างกันในด้านขนาดของปัญหาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยแต่ละส่วน โดยการทดสอบผลเฉลยนั้นได้เลือกใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Intel Core i7 ความเร็ว 3.40 GHz ที่มีหน่วยความจำ 8 GB และใช้ซอฟท์แวร์ Microsoft Visual Studio 2010 ในการสร้างโปรแกรมในการจัดการข้อมูลและเรียกใช้ซอฟท์แวร์ ILOG CPLEX 12.4 ซึ่งเป็นซอฟท์แวร์ที่ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหา

4.1 รายละเอียดของข้อมูลจริง (Actual Data)

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยได้มาจากการเก็บข้อมูลจากบริษัทตัวอย่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค และข้อมูลเรือขนส่งสินค้า โดยข้อมูลท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ได้จะประกอบไปด้วยจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีจำนวนท่าเรือผู้ผลิต 3 ท่าเรือ และท่าเรือผู้บริโภค 12 ท่าเรือ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 6 และ 7 และอีกข้อมูลหนึ่งคือระยะทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่งซึ่งแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 6 รายชื่อท่าเรือผู้ผลิต

ท่าเรือผู้ผลิตที่	ชื่อท่าเรือ
1	SKL
2	STH
3	LCB

ส่วนข้อมูลเรือขนส่งสินค้าจะประกอบไปด้วยจำนวนเรือขนส่งสินค้า จำนวนและขนาดของช่องบรรจุสินค้าบนเรือแต่ละลำ และความเร็วในการเดินทางของเรือแต่ละลำ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้เรือที่มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวน 5 ลำ และมีจำนวนและขนาดของช่องบรรจุสินค้าดังแสดงในตารางที่ 8 โดยเรือแต่ละลำมีความเร็วในการเดินทางที่เท่ากันที่ 11 ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง

ตารางที่ 7 รายชื่อท่าเรือผู้บริโภค

ท่าเรือผู้บริโภคที่	ชื่อท่าเรือ
1	NPWL
2	FUWP
3	PDWB
4	ERWZC
5	KPWG
6	MGWB
7	SPWA
8	NPWM
9	BEWW
10	JKWJ
11	LAWB
12	PMWK

ตารางที่ 8 จำนวนและขนาดของช่องบรรจุสินค้า

ประเภทเรือที่	ขนาดของช่องบรรจุสินค้า (ลิตร)					ขนาดของเรือ (ลิตร)
	ช่องที่ 1	ช่องที่ 2	ช่องที่ 3	ช่องที่ 4	ช่องที่ 5	
1	317,480	418,624	546,146	513,406	463,211	2,258,867
2	395,094	495,807	399,264	505,353	310,236	2,105,754
3	302,344	527,107	617,229	613,590	536,193	2,596,463
4	541,960	611,180	621,520	619,110	578,750	2,972,520
5	349,500	636,400	578,500	575,600	554,800	2,694,800

4.2 การศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

เป็นขั้นตอนการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางที่ใช้จำลองปัญหาต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของจำนวนตัวแปรและสมการเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองจะถูกสร้างขึ้นมาโดยการอ้างอิงจากข้อมูลจริง ซึ่งมีรายละเอียดของปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของชุดข้อมูลดังตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ระยะทางระหว่างท่าเรือ (ไมล์ทะเล)

จาก/ไป	SKL	STH	LCB	NPWL	FUWP	PDWB	ERWZC	KPWG	MGWB	SPWA	NPWM	BEWW	JKWJ	LAWB	PMWK
SKL		303.23	344.01	71.03	73.74	116.99	112.11	137.43	66.56	120.16	72.25	173.28	76.49	187.65	128.07
STH	303.23		40.82	235.16	237.20	190.29	194.18	185.78	244.20	186.94	232.65	134.76	232.32	148.80	178.33
LCB	344.01	40.82		275.73	277.54	230.62	234.61	224.61	284.58	227.27	273.28	174.64	272.74	184.81	218.69
NPWL	71.03	235.16	275.73		11.16	46.15	41.52	68.23	12.65	49.39	4.88	102.82	8.02	117.75	56.94
FUWP	73.74	237.20	277.54	11.16		46.92	43.15	63.70	7.36	50.27	15.78	103.40	5.93	113.91	58.88
PDWB	116.99	190.29	230.62	46.15	46.92		5.46	33.10	53.99	3.35	44.77	56.77	42.22	75.92	12.08
ERWZC	112.11	194.18	234.61	41.52	43.15	5.46		37.84	50.04	8.17	39.86	61.31	38.15	81.38	22.31
KPWG	137.43	185.78	224.61	68.23	63.70	33.10	37.84		70.89	32.53	68.92	53.47	61.49	50.30	33.56
MGWB	66.56	244.20	284.58	12.65	7.36	53.99	50.04	70.89		57.33	17.44	110.59	11.93	121.15	65.90
SPWA	120.16	186.94	227.27	49.39	50.27	3.35	8.17	32.53	57.33		47.91	53.48	45.55	73.67	8.67
NPWM	72.25	232.65	273.28	4.88	15.78	44.77	39.86	68.92	17.44	47.91		101.09	11.62	117.89	56.94
BEWW	173.28	134.76	174.64	102.82	103.40	56.77	61.31	53.47	110.59	53.48	101.09		98.93	45.48	51.64
JKWJ	76.49	232.32	272.74	8.02	5.93	42.22	38.15	61.49	11.93	45.55	11.62	98.93		111.41	54.07
LAWB	187.65	148.80	184.81	117.75	113.91	75.92	81.38	50.30	121.15	73.67	117.89	45.48	111.41		69.04
PMWK	128.07	178.33	218.69	56.94	58.88	12.08	22.31	33.56	65.90	8.67	56.94	51.64	54.07	69.04	

ตารางที่ 10 รายละเอียดชุดข้อมูลที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

ชุดข้อมูล	ปัจจัยการเปลี่ยนแปลง
A1	จำนวนสินค้า
A2	จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง
A3	ความยาวคาบการวางแผน
A4	จำนวนเรือขนส่งสินค้า
A5	จำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค

4.2.1 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A1

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อจำนวนสินค้าที่พิจารณาในปัญหามีจำนวนที่เปลี่ยนแปลงไป โดยรายละเอียดของข้อมูลย่อยที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 รายละเอียดของชุดข้อมูล A1

ชุดข้อมูล A1	**ชุดข้อมูลย่อย**				
	A1-1	**A1-2**	**A1-3**	**A1-4**	**A1-5**
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	3	3	3	3	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	12	12	12	12	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	1	2	3	4	5
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	15	15	15	15	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	3	3	3

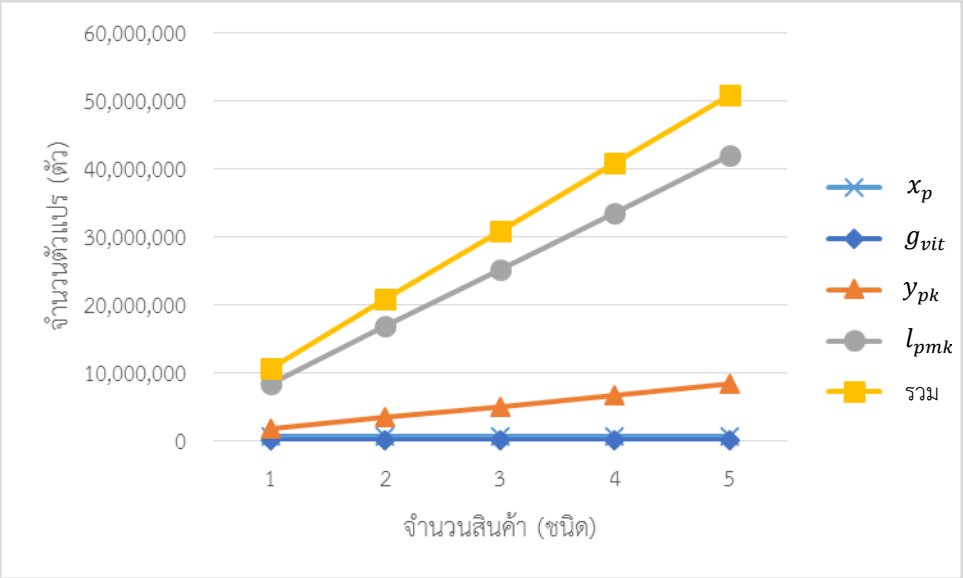
ชุดข้อมูลย่อยของชุดข้อมูล A1 จะทำการพิจารณาปัญหาที่ประกอบด้วยจำนวนสินค้าตั้งแต่ 1 ชนิด ถึง 5 ชนิด ภายใต้ปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 12 และ 13 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการเงื่อนไข กับจำนวนสินค้าแสดงในรูปที่ 18 และ 19

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A1- ตัวแปร

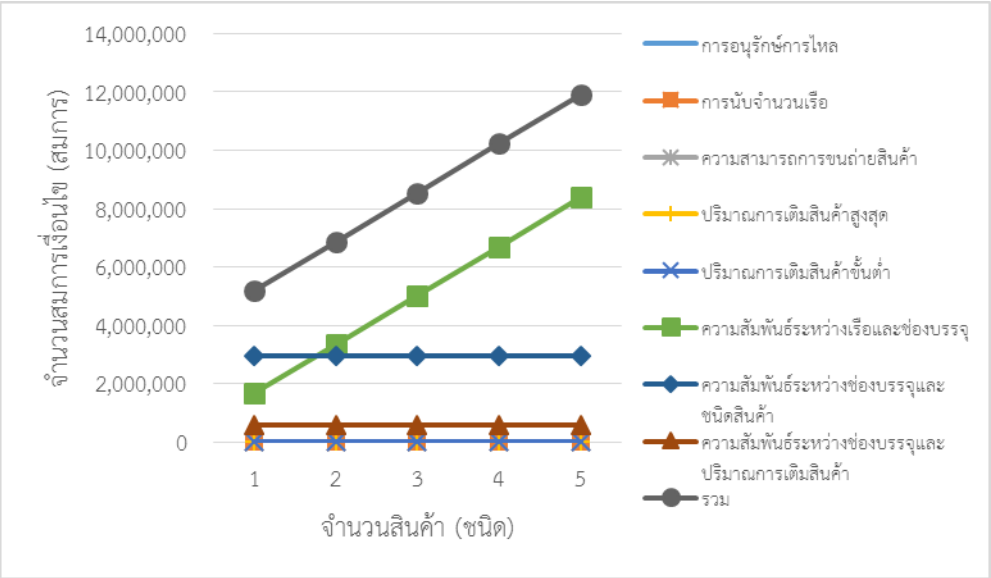
จำนวนตัวแปร (ตัว)	**ชุดข้อมูลย่อย**				
	A1-1	**A1-2**	**A1-3**	**A1-4**	**A1-5**
x_p	586,530	586,530	586,530	586,530	586,530
g_{vit}	270	270	270	270	270
y_{pk}	1,675,035	3,350,070	5,025,105	6,700,140	8,375,175
l_{pmk}	8,375,175	16,750,350	25,125,525	33,500,700	41,875,875
รวม	10,637,010	20,687,220	30,737,430	40,787,640	50,837,850

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A1- สมการเงื่อนไข

จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	ชุดข้อมูลย่อย				
	A1-1	A1-2	A1-3	A1-4	A1-5
การอนุรักษ์การไหล	315	315	315	315	315
การนับจำนวนเรือ	15	15	15	15	15
ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	75	75	75	75	75
ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	60	120	180	240	300
ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	60	120	180	240	300
ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	1,675,035	3,350,070	5,025,105	6,700,140	8,375,175
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	2,932,650	2,932,650	2,932,650	2,932,650	2,932,650
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	586,530	586,530	586,530	586,530	586,530
รวม	5,194,740	6,869,895	8,545,050	10,220,205	11,895,360



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนสินค้า



รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนสินค้า

จากรูปที่ 18 และ 19 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปร x_p และ g_{vit} และจำนวนสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล การนับจำนวนเรือ ความสามารถการขนถ่ายสินค้า ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า กับจำนวนสินค้ามีลักษณะคงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงจำนวนสินค้าไม่ส่งผลต่อจำนวนเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด ดังนั้นตัวแปร x_p และ g_{vit} สมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้าจึงมีจำนวนที่คงที่ และการเปลี่ยนแปลงจำนวนสินค้าจะไม่ส่งผลต่อสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล การนับจำนวนเรือและความสามารถในการขนถ่ายสินค้าเช่นกัน เพราะเป็นสมการที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับจำนวนสินค้า ส่วนจำนวนตัวแปร y_{pk} และ l_{pmk} มีความสัมพันธ์กับจำนวนสินค้าในลักษณะเส้นตรง เนื่องจากสินค้าแต่ละชนิดจะมีจำนวนตัวแปรดังกล่าวที่เท่ากัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจำนวนสินค้าจึงทำให้จำนวนตัวแปรมีการเปลี่ยนแปลงไปในจำนวนที่คงที่ต่อจำนวนสินค้าหนึ่งชนิดที่เปลี่ยนแปลงไป จากตัวแปร y_{pk} ที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนสินค้าในลักษณะเส้นตรง จึงส่งผลให้สมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุมีความสัมพันธ์กับจำนวนสินค้าในลักษณะเส้นตรงด้วยเช่นกัน เนื่องจากจำนวนสมการเงื่อนไขดังกล่าวแปรผันตามจำนวนตัวแปร y_{pk} และสมการเงื่อนไขปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและขั้นต่ำซึ่งพิจารณาปริมาณการเติมสินค้าแต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนสินค้าในลักษณะเส้นตรง โดยเมื่อพิจารณาจำนวนตัวแปรรวมและสมการเงื่อนไขรวมจะพบว่าความสัมพันธ์ของขนาดแบบจำลองกับจำนวนสินค้ามีลักษณะเป็นเส้นตรง

4.2.2 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A2

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางในขั้นตอนการสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอด โดยรายละเอียดของข้อมูลย่อยที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 รายละเอียดของชุดข้อมูล A2

ชุดข้อมูล A2	ชุดข้อมูลย่อย				
	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4	A2-5
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	3	3	3	3	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	12	12	12	12	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	3	3	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	15	15	15	15	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	1	2	3	4	5

ชุดข้อมูลย่อยของชุดข้อมูล A2 จะทำการพิจารณาปัญหาที่มีข้อจำกัดจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดที่สามารถทำการขนส่งสินค้าต่อเส้นทาง ตั้งแต่ 1 ท่าเรือ จนถึง 5 ท่าเรือ โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 15 และ 16 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการเงื่อนไข กับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางแสดงในรูปที่ 20 และ 21 ซึ่งเป็นกราฟลอการิทึม

ตารางที่ 15 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A2- ตัวแปร

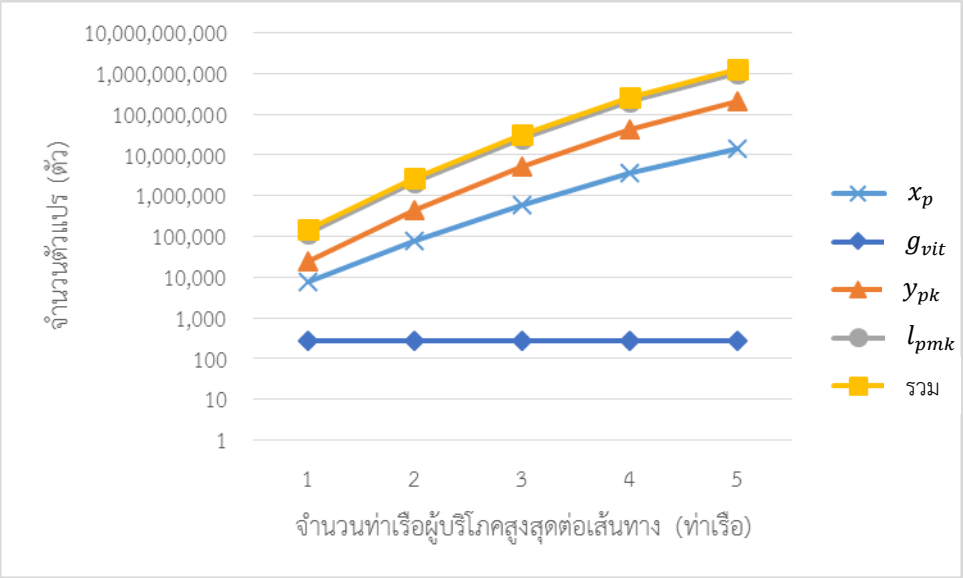
จำนวนตัวแปร (ตัว)	ชุดข้อมูลย่อย				
	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4	A2-5
x_p	7,875	76,680	586,530	3,571,380	14,619,780
g_{vit}	270	270	270	270	270
y_{pk}	23,625	436,455	5,025,105	40,843,305	206,569,305
l_{pmk}	118,125	2,182,275	25,125,525	204,216,525	1,032,846,525
รวม	149,895	2,695,680	30,737,430	248,631,480	1,254,035,880

จากรูปที่ 20 และ 21 พบว่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปร x_p, y_{pk} และ l_{pmk} และสมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า กับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางในลักษณะเส้นตรงในกราฟลอการิทึม หรือคือลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียลในรูปกราฟทั่วไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางจะทำให้จำนวนเส้นทางการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งส่งผลไปยังจำนวนของตัวแปรและสมการเงื่อนไขข้างต้นที่แปรผันตามจำนวนเส้นทางการเดินทาง ส่วนจำนวนตัวแปร g_{vit} และสมการเงื่อนไขที่เหลือจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางในลักษณะคงที่ เนื่องจากเป็นตัวแปรและสมการเงื่อนไขที่ไม่เกี่ยวข้องกับจำนวนเส้นทางการเดินทาง

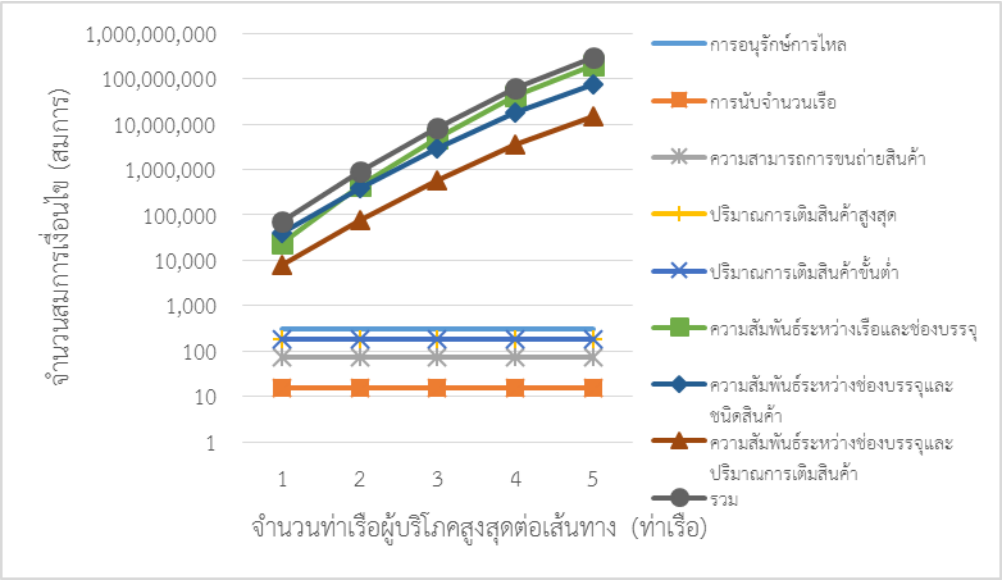
และความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปัญหากับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางจะมีลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งจะเห็นว่าตัวแปรและสมการเงื่อนไขบางส่วนมีความสัมพันธ์ในลักษณะคงที่แต่เป็นแค่เพียงส่วนน้อย จึงส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อขนาดของปัญหา

ตารางที่ 16 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A2- สมการเงื่อนไข

จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	ชุดข้อมูลย่อย				
	A2-1	A2-2	A2-3	A2-4	A2-5
การอนุรักษ์การไหล	315	315	315	315	315
การนับจำนวนเรือ	15	15	15	15	15
ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	75	75	75	75	75
ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	180	180	180	180	180
ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	180	180	180	180	180
ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	23,625	436,455	5,025,105	40,843,305	206,569,305
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	39,375	383,400	2,932,650	17,856,900	73,098,900
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	7,875	76,680	586,530	3,571,380	14,619,780
รวม	71,640	897,300	8,545,050	62,272,350	294,288,750



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง

4.2.3 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A3

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความยาวคาบการวางแผนของปัญหา โดยรายละเอียดของข้อมูลย่อยที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 รายละเอียดของชุดข้อมูล A3

ชุดข้อมูล A3	ชุดข้อมูลย่อย				
	A3-1	A3-2	A3-3	A3-4	A3-5
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	3	3	3	3	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	12	12	12	12	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	3	3	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	15	15	15	15	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	4	5	6	7	8
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	3	3	3

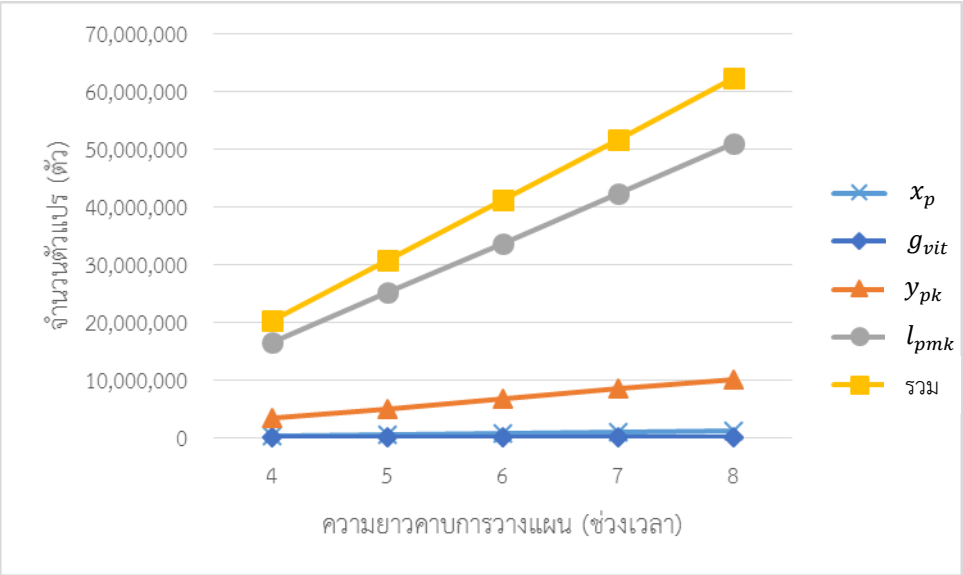
ชุดข้อมูลย่อยของชุดข้อมูล A3 จะทำการพิจารณาปัญหาที่มีความยาวคาบการวางแผนที่แตกต่างกันตั้งแต่ 4 ช่วงเวลา ถึง 8 ช่วงเวลา โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 18 และ 19 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการเงื่อนไข กับความยาวคาบการวางแผน แสดงในรูปที่ 22 และ 23

ตารางที่ 18 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A3- ตัวแปร

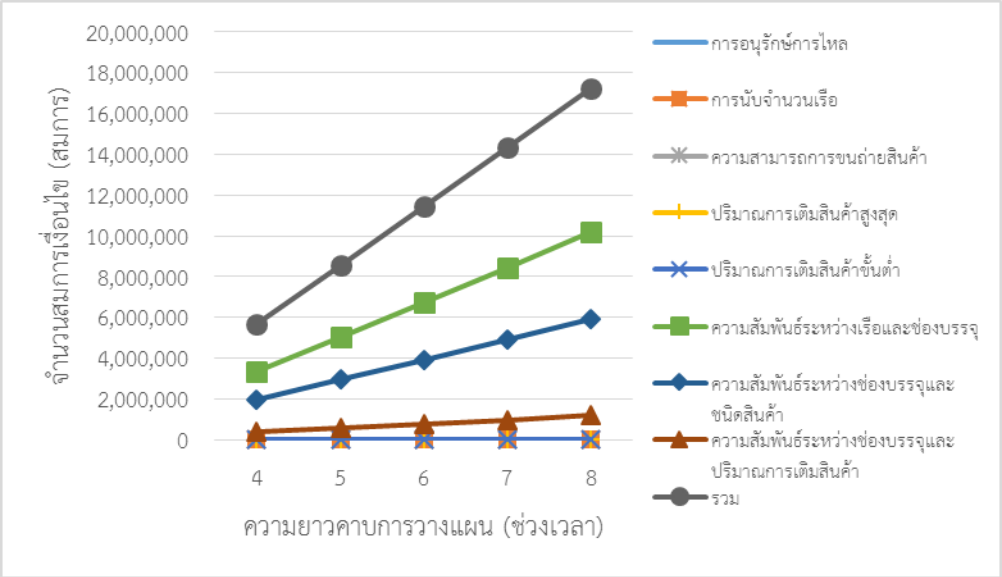
จำนวนตัวแปร (ตัว)	ชุดข้อมูลย่อย				
	A3-1	A3-2	A3-3	A3-4	A3-5
x_p	388,890	586,530	784,175	981,810	1,179,455
g_{vit}	225	270	315	360	405
y_{pk}	3,309,525	5,025,105	6,740,685	8,456,265	10,171,845
l_{pmk}	16,547,625	25,125,525	33,703,425	42,281,325	50,859,225
รวม	20,246,265	30,737,430	41,228,595	51,719,760	62,210,925

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A3- สมการเงื่อนไข

จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	ชุดข้อมูลย่อย				
	A3-1	A3-2	A3-3	A3-4	A3-5
การอนุรักษ์การไหล	270	315	360	405	450
การนับจำนวนเรือ	15	15	15	15	15
ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	60	75	90	105	120
ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	144	180	216	252	288
ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	144	180	216	252	288
ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	3,309,525	5,025,105	6,740,685	8,456,265	10,171,845
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	1,944,450	2,932,650	3,920,850	4,909,050	5,897,250
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	388,890	586,530	784,170	981,810	1,179,450
รวม	5,643,498	8,545,050	11,446,602	14,348,154	17,249,706



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับความยาวคาบการวางแผน



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับความยาวคาบการวางแผน

จากรูปที่ 22 และ 23 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวคาบการวางแผนส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับความยาวคาบการวางแผนมีลักษณะเส้นตรง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความยาวคาบการวางแผนส่งผลให้จำนวนเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นกัน ซึ่งจากปัญหาที่พิจารณาและจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางที่ 3 ท่าเรือ จะสามารถสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดได้ครบทุกรูปแบบภายใน 4 ช่วงเวลา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความยาวคาบการวางแผนตั้งแต่ 4 ถึง 8 ช่วงเวลาจึงทำให้จำนวนเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงเป็นจำนวนที่คงที่ต่อช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นหนึ่งช่วงเวลาตามช่วงเวลาที่ทำการจำลองเส้นทางที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนจำนวนสมการเงื่อนไข

จะมีความสัมพันธ์กับความยาวคาบการวางแผนในลักษณะเส้นตรงเช่นกัน ยกเว้นสมการเงื่อนไขการนับจำนวนเรือที่มีลักษณะความสัมพันธ์แบบคงที่ โดยสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล ความสามารถในการขนถ่ายสินค้า และปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและขั้นต่ำ เป็นสมการเงื่อนไขที่พิจารณาตามช่วงเวลา จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อสมการเงื่อนไขกลุ่มนี้ และสมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนเส้นทางการเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะสมการกลุ่มนี้เป็นสมการที่แปรผันตามเส้นทางการเดินทาง ส่วนสมการเงื่อนไขการนับจำนวนเรือนั้นจะแปรผันตามจำนวนเรือขนส่งสินค้า ดังนั้นจึงทำให้การเปลี่ยนแปลงความยาวคาบการวางแผนไม่ส่งผลต่อสมการเงื่อนไขนี้ สุดท้ายความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปัญหากับความยาวคาบการวางแผนจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง

4.2.4 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A4

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่ใช้ขนส่งสินค้าในปัญหา โดยรายละเอียดของข้อมูลย่อยที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 รายละเอียดของชุดข้อมูล A4

ชุดข้อมูล A4	**ชุดข้อมูลย่อย**			
	A4-1	**A4-2**	**A4-3**	**A4-4**
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	3	3	3	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	12	12	12	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	3	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	5	10	15	20
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	3	3

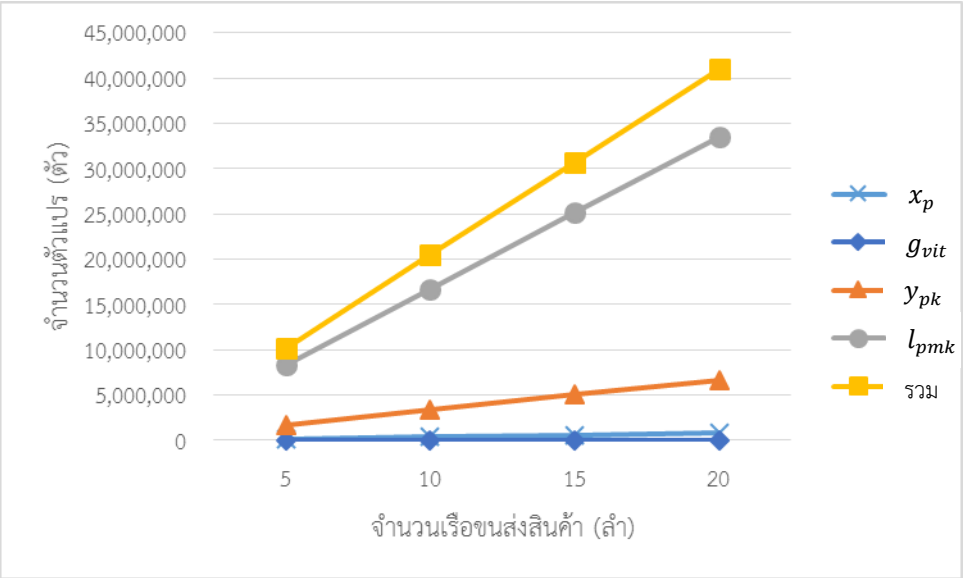
ชุดข้อมูลย่อยของชุดข้อมูล A4 จะทำการพิจารณาปัญหาที่มีจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่พิจารณา ได้แก่ 5, 10, 15 และ 20 ลำ โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 21 และ 22 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการเงื่อนไข กับจำนวนเรือขนส่งสินค้าแสดงในรูปที่ 24 และ 25

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A4- ตัวแปร

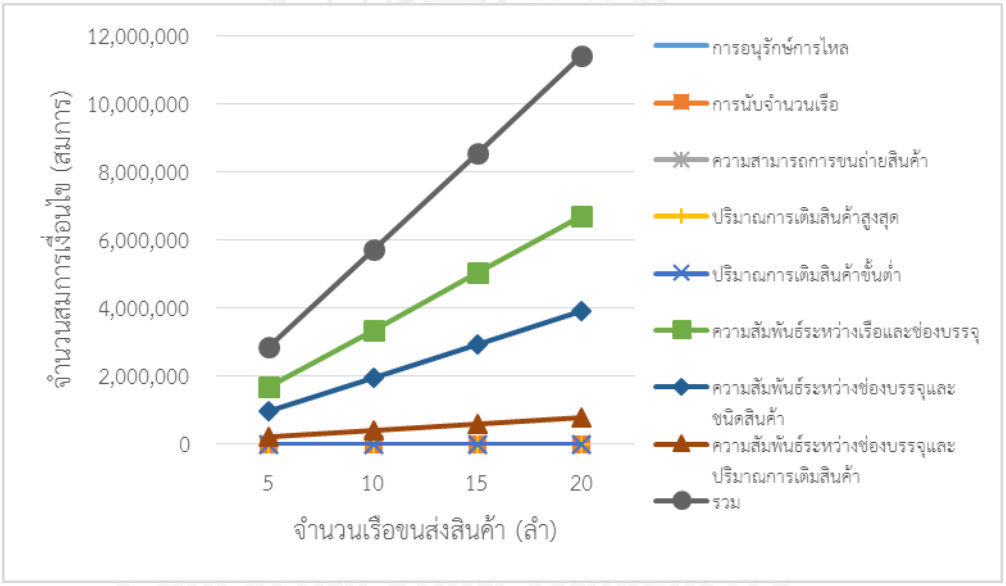
จำนวนตัวแปร (ตัว)	ชุดข้อมูลย่อย			
	A4-1	A4-2	A4-3	A4-4
x_p	195,510	391,020	586,530	782,040
g_{vit}	90	180	270	360
y_{pk}	1,675,035	3,350,070	5,025,105	6,700,140
l_{pmk}	8,375,175	16,750,350	25,125,525	33,500,700
รวม	10,245,810	20,491,620	30,737,430	40,983,240

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A4- สมการเงื่อนไข

จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	ชุดข้อมูลย่อย			
	A4-1	A4-2	A4-3	A4-4
การอนุรักษ์การไหล	105	210	315	420
การนับจำนวนเรือ	5	10	15	20
ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	75	75	75	75
ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	180	180	180	180
ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	180	180	180	180
ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	1,675,035	3,350,070	5,025,105	6,700,140
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	977,550	1,955,100	2,932,650	3,910,200
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	195,510	391,020	586,530	782,040
รวม	2,848,640	5,696,845	8,545,050	11,393,255



รูปที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนเรือขนส่งสินค้า



รูปที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนเรือขนส่งสินค้า

จากรูปที่ 24 และ 25 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้าส่งผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปร และสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล การนับจำนวนเรือ ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า กับจำนวนเรือขนส่งสินค้ามีลักษณะเป็นเส้นตรง เนื่องจากเรือแต่ละลำมีเส้นทางการการเดินทางและเส้นเชื่อมการจอดที่เหมือนกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้าจึงทำให้จำนวนเส้นทางและเส้นเชื่อมเปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนที่คงที่ต่อเรือหนึ่งลำ ต่อมาสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหลและการนับจำนวนเรือเป็นสมการที่พิจารณาเรือแต่ละลำ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้าจึงส่งผลต่อสมการนี้โดยตรง และสมการเงื่อนไข

ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนเส้นทางการเดินทางที่เปลี่ยนไป ส่วนสมการเงื่อนไขที่เหลือจะมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการกับจำนวนเรือขนส่งสินค้าในลักษณะคงที่ เพราะไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับจำนวนเรือขนส่งสินค้า โดยขนาดของปัญหามีความสัมพันธ์กับจำนวนเรือขนส่งสินค้าในลักษณะเส้นตรง

4.2.5 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A5

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคที่พิจารณาในปัญหา โดยรายละเอียดของข้อมูลย่อยที่ใช้ทดสอบแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 รายละเอียดของชุดข้อมูล A5

ชุดข้อมูล A5	**ชุดข้อมูลย่อย**		
	A5-1	**A5-2**	**A5-3**
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	1	2	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	4	8	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	15	15	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	3

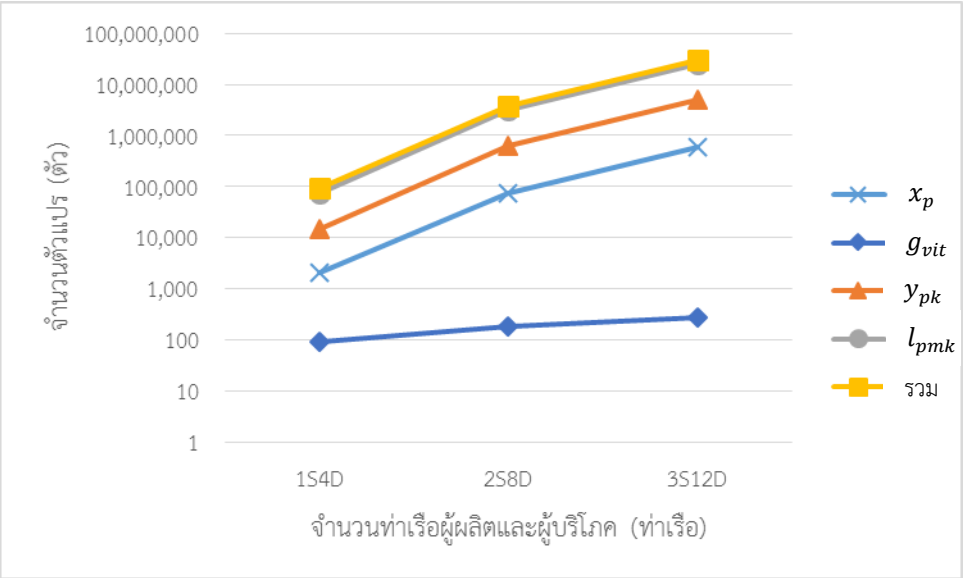
ชุดข้อมูลย่อยของชุดข้อมูล A5 จะทำการพิจารณาปัญหาที่มีจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคที่แตกต่างกัน โดยชุดข้อมูลย่อย A5-1 จะประกอบไปด้วย 1 ท่าเรือผู้ผลิตและ 4 ท่าเรือผู้บริโภค ชุดข้อมูลย่อย A5-2 ประกอบด้วย 2 ท่าเรือผู้ผลิตและ 8 ท่าเรือผู้บริโภค และชุดข้อมูลย่อย A5-3 ประกอบด้วย 3 ท่าเรือผู้ผลิตและ 12 ท่าเรือผู้บริโภค ซึ่งผลการทดสอบมีรายละเอียดดังตารางที่ 24 และ 25 และความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรและจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคแสดงในรูปที่ 26 และ 27 ซึ่งเป็นกราฟลอการิทึม

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A5- ตัวแปร

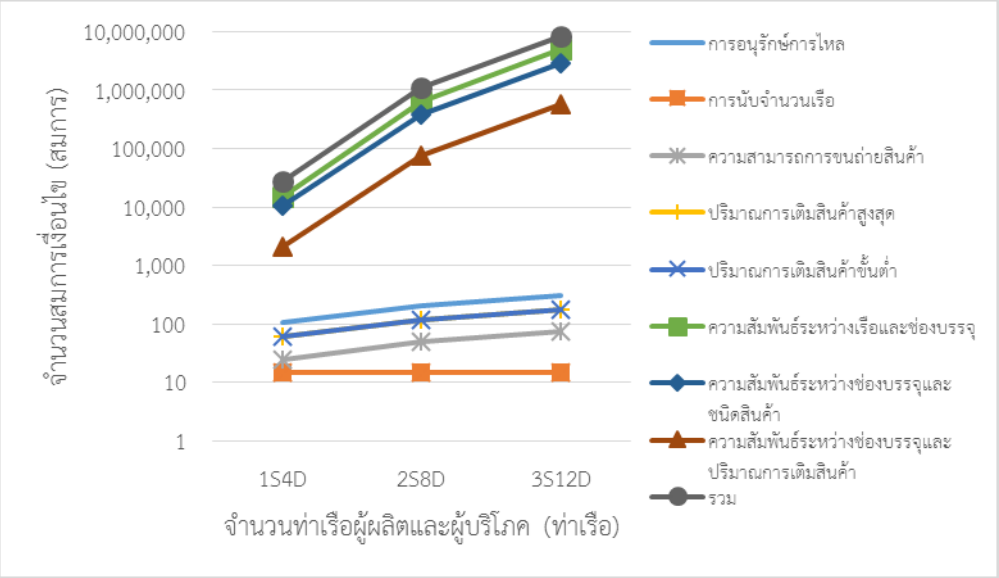
จำนวนตัวแปร (ตัว)	ชุดข้อมูลย่อย		
	A5-1	A5-2	A5-3
x_p	2,100	76,320	586,530
g_{vit}	90	180	270
y_{pk}	14,940	632,160	5,025,105
l_{pmk}	74,700	3,160,800	25,125,525
รวม	91,830	3,869,460	30,737,430

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบชุดข้อมูล A5- สมการเงื่อนไข

จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	ชุดข้อมูลย่อย		
	A5-1	A5-2	A5-3
การอนุรักษ์การไหล	105	210	315
การนับจำนวนเรือ	15	15	15
ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	25	50	75
ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	60	120	180
ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	60	120	180
ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	14,940	632,160	5,025,105
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	10,500	381,600	2,932,650
ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	2,100	76,320	586,530
รวม	27,805	1,090,595	8,545,050



รูปที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปรกับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค



รูปที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนสมการเงื่อนไขกับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค

จากรูปที่ 26 และ 27 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตัวแปร x_p, y_{pk} และ l_{pmk} และสมการเงื่อนไขความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า และความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า กับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคมีลักษณะเส้นตรงในกราฟลอการิทึม หรือคือลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียลในรูปกราฟทั่วไป เนื่องจากจำนวนเส้นทางการเดินทางมีความสัมพันธ์กับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียลเช่นกัน ซึ่งส่งผลไปยังจำนวนตัวแปรและสมการเงื่อนไขดังกล่าว ส่วนจำนวนตัวแปร g_{vit} และสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล ความสามารถการขนถ่ายสินค้า และปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและขั้นต่ำ จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคในลักษณะเส้นตรง โดย

จำนวนตัวแปร g_{vit} และสมการเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหลจะพิจารณาจากท่าเรือผู้ผลิต ส่วนเงื่อนไขปริมาณการเติมสินค้าสูงสุดและขั้นต่ำจะพิจารณาจากท่าเรือผู้บริโภค และสมการเงื่อนไขความสามารถการขนถ่ายสินค้าจะพิจารณาจากท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภค ซึ่งแต่ละท่าเรือจะมีจำนวนตัวแปรและสมการเงื่อนไขที่เท่ากัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคจะทำให้ตัวแปรและสมการดังกล่าวมีจำนวนเปลี่ยนแปลงไปเป็นจำนวนคงที่ต่อท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลง และจำนวนสมการเงื่อนไขการนับจำนวนเรือจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคในลักษณะคงที่ เนื่องจากสมการดังกล่าวแปรผันตามจำนวนเรือขนส่งสินค้าแค่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของปัญหากับจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคมีลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล

จากการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่แสดงต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ได้แก่ จำนวนสินค้า จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง ความยาวคาบการวางแผน จำนวนเรือขนส่งสินค้า และจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภค จะสามารถสรุปลักษณะความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปรและสมการเงื่อนไข กับปัจจัยการเปลี่ยนแปลงได้ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลง

ลักษณะความสัมพันธ์		ปัจจัยการเปลี่ยนแปลง				
		จำนวนสินค้า	จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง	ความยาวคาบการวางแผน	จำนวนเรือขนส่งสินค้า	จำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค
ตัวแปร	x_p	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	g_{vit}	คงที่	คงที่	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
	y_{pk}	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	l_{pmk}	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
สมการเงื่อนไข	การอนุรักษ์การไหล	คงที่	คงที่	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
	การนับจำนวนเรือ	คงที่	คงที่	คงที่	เส้นตรง	คงที่
	ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	คงที่	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล

4.3 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้

ในหัวข้อนี้จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่พิจารณาใช้ในวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนรายชื่อทาบูและจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย โดยจำนวนรายชื่อทาบูแสดงถึงจำนวนรูปแบบการเลือกใช้เรือที่ได้จากการสุ่มใช้ที่สามารถทำการบันทึกได้ โดยการบันทึกจะเลือกบันทึกรูปแบบการเลือกใช้เรือที่ให้ผลเฉลยที่ยังไม่ดีพอ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการสุ่มใช้เรือรูปแบบดังกล่าวซ้ำอีก ส่วนจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยเป็นข้อจำกัดจำนวนรอบการสุ่มใช้เรือที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยเดิมได้ติดต่อกัน ซึ่งหากจำนวนรอบการสุ่มใช้เรือไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยเดิมได้ติดต่อกันจนถึงจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย ก็จะหยุดทำการสุ่มใช้เรือเพื่อหาผลเฉลยใหม่โดยทันทีและถือว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดในขณะนั้นคือผลเฉลยของปัญหา

เมื่อทำการศึกษาลักษณะของค่าพารามิเตอร์ทั้งสองจะพบว่า หากกำหนดจำนวนรายชื่อทาบูหรือจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยที่น้อยจนเกินไปอาจทำให้คุณภาพของผลเฉลยที่ได้ต่ำกว่าที่ควร เนื่องจากพิจารณารูปแบบของการเลือกใช้เรือได้ไม่ทั่วถึง แต่ในทางกลับกันหากมีขนาดใหญ่และจำนวนรอบที่มากจนเกินไปก็จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงทำการพิจารณากำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้แก้ปัญหา โดยการนำกลุ่มของค่าพารามิเตอร์ที่พิจารณามาทำการทดลองแก้ปัญหา และเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาในการหาผลเฉลยของค่าพารามิเตอร์แต่ละกลุ่ม ซึ่งจำนวนรายชื่อที่พิจารณามี 3 จำนวน ได้แก่ 25, 50 และ 100 รายชื่อ และจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย 2 จำนวน คือ 5 และ 10 รอบ ซึ่งรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์แต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 27 รายละเอียดกลุ่มค่าพารามิเตอร์

กลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่	จำนวนรายชื่อทาบู (รายชื่อ)	จำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย (รอบ)
1	25	5
2	50	5
3	100	5
4	25	10
5	50	10
6	100	10

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองแก้ปัญหาเพื่อทดสอบค่าพารามิเตอร์กลุ่มต่างๆ จะพิจารณาใช้ข้อมูลที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปในแต่ละชุดข้อมูล โดยการสร้างชุดข้อมูลที่อิงตามปัจจัยการเปลี่ยนแปลงที่ได้พิจารณาในหัวข้อที่ 4.2 เพื่อให้ครอบคลุมลักษณะของปัญหาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ซึ่งตารางที่ 28 แสดงรายละเอียดของชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ 28 รายละเอียดชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์

รายละเอียดชุดข้อมูล	ชุดข้อมูล						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	1	1	1	1	1	2	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4	8	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	1	3	3	3	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	5	5	5	5	10	10	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5	7	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	4	3	3	3	3

ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์แต่ละกลุ่มจะประกอบไปด้วย 7 ชุดข้อมูลที่มีขนาดและรายละเอียดแตกต่างกันออกไป โดยจากการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองจะพบว่าขนาดปัญหาของข้อมูลจริงนั้นมีขนาดที่ใหญ่มาก เนื่องจากมีจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ทำการพิจารณาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในการทดสอบค่าพารามิเตอร์นี้ผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กลงโดยการลดจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภคและจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่พิจารณา ซึ่งได้เป็นชุดข้อมูล B1 ถึง B6 เพื่อให้เห็นถึงผลที่ได้จากค่าพารามิเตอร์กลุ่มต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยชุดข้อมูล B1 ถึง B5 จะพิจารณาจำนวนท่าเรือผู้ผลิตที่ 1 ท่าเรือ และท่าเรือผู้บริโภค 4 ท่าเรือ ซึ่งชุดข้อมูล B1 จะพิจารณาสินค้าแค่เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ชุดข้อมูล B2 จะพิจารณาจำนวนสินค้าในปัญหาเพิ่มเติม ส่วนชุดข้อมูล B3 จะทำการเพิ่มจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง ชุดข้อมูล B4 จะเพิ่มความยาวคาบการวางแผนของปัญหา และชุดข้อมูล B5 เป็นการเพิ่มจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่ใช้ขนส่งในปัญหา ต่อมาในส่วนของชุดข้อมูล B6 จะมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้มีขนาดใกล้เคียงกับปัญหาจริงมากยิ่งขึ้น โดยประกอบไปด้วยจำนวนท่าเรือผู้ผลิต 2 ท่าเรือ และท่าเรือผู้บริโภค 8 ท่าเรือ และสุดท้ายชุดข้อมูล B7 เป็นชุดข้อมูลที่มีขนาดเท่ากับข้อมูลจริงและมีลักษณะตรงตามปัญหาจริงที่พิจารณา

การทดสอบค่าพารามิเตอร์จะทดสอบโดยการใช้ค่าพารามิเตอร์กลุ่มต่างๆ ในการแก้ปัญหาของแต่ละชุดข้อมูล เพื่อพิจารณาคุณภาพของผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยของค่าพารามิเตอร์แต่ละกลุ่ม โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงในตารางที่ 29 ถึง 35

ตารางที่ 29 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B1

ชุดข้อมูล B1	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	3	3	3	3	3	3
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.062	0.046	0.031	0.047	0.031	0.063
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.124	0.141	0.124	0.124	0.125	0.140
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.186	0.187	0.155	0.171	0.156	0.203
ผลเฉลย (บาท)	24,789,393.8	24,789,393.8	24,789,393.8	24,789,393.8	24,789,393.8	24,789,393.8

ตารางที่ 30 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B2

ชุดข้อมูล B2	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	7	7	7	7	7	7
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.156	0.188	0.171	0.265	0.156	0.155
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	3.978	7.564	6.786	5.335	9.751	9.782
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	4.134	7.752	6.957	5.600	9.907	9.937
ผลเฉลย (บาท)	53,680,277.5	53,498,517.6	53,680,277.5	53,498,517.6	53,591,765.7	53,872,878.4

ตารางที่ 31 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B3

ชุดข้อมูล B3	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	6	6	6	6	6	6
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.139	0.124	0.110	0.108	0.092	0.125
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.798	0.904	1.419	1.124	1.156	1.359
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.937	1.028	1.529	1.232	1.248	1.484
ผลเฉลย (บาท)	48,633,036.0	48,633,036.0	48,633,036.0	48,633,036.0	48,633,036.0	48,633,036.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 32 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B4

ชุดข้อมูล B4	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	13	12	15	15	15	13
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.530	0.638	2.044	1.109	0.606	0.625
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	207.061	128.561	489.001	361.123	932.153	346.318
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	207.591	129.199	491.045	362.232	932.759	346.943
ผลเฉลย (บาท)	89,442,241.6	98,273,486.9	92,421,164.9	97,415,747.2	89,856,672.6	87,213,914.1

ตารางที่ 33 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B5

ชุดข้อมูล B5	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	7	7	7	7	7	7
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.514	0.468	0.592	0.405	0.407	0.405
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	4.275	6.004	10.923	7.131	10.047	13.620
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	4.789	6.472	11.515	7.536	10.454	14.025
ผลเฉลย (บาท)	53,157,700.9	53,221,382.3	52,856,835.3	52,616,503.6	52,760,546.4	52,617,374.5

ตารางที่ 34 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B6

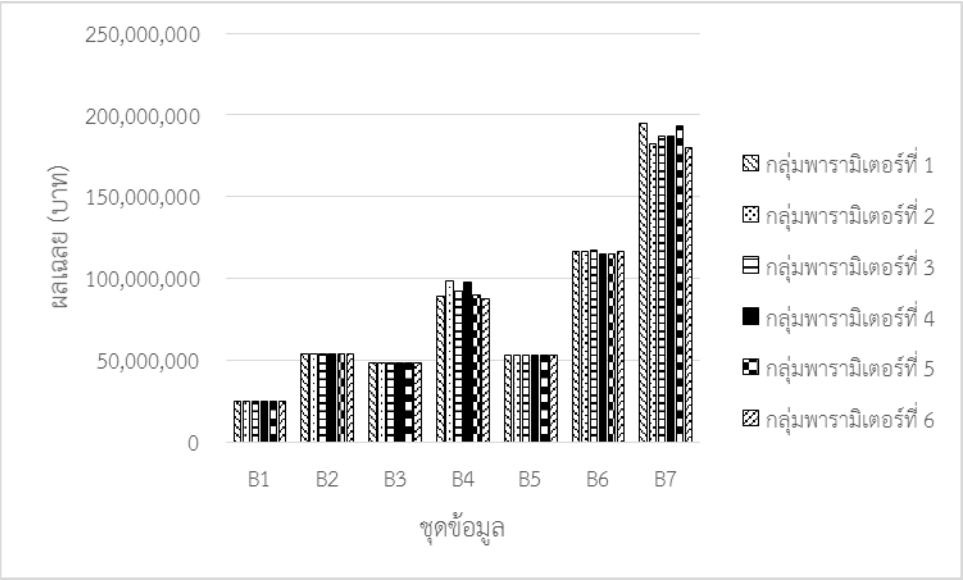
ชุดข้อมูล B6	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	7	8	8	8	9	8
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	5.304	3.277	3.354	5.193	6.643	6.552
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	6.737	24.644	39.262	19.654	29.809	39.547
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	12.041	27.921	42.616	24.847	36.452	46.099
ผลเฉลย (บาท)	116,427,937.0	116,483,663.6	117,395,722.9	114,671,917.0	114,633,172.2	116,481,088.0

ตารางที่ 35 ผลการทดสอบชุดข้อมูล B7

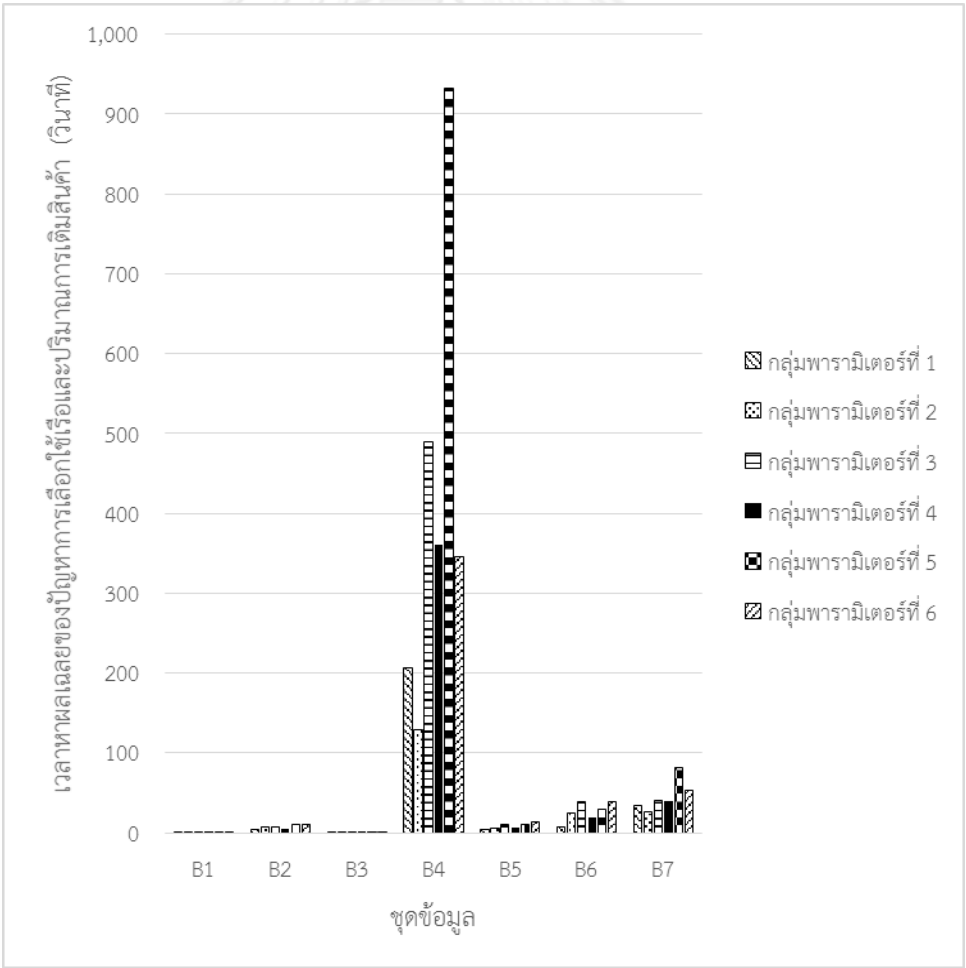
ชุดข้อมูล B7	กลุ่มพารามิเตอร์ที่					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนรอบการแก้ปัญหา (รอบ)	8	7	7	7	8	7
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	35.099	30.703	53.820	52.729	62.509	53.866
เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	34.495	26.332	40.270	40.294	81.622	53.714
เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	69.594	57.035	94.090	93.023	144.131	107.580
ผลเฉลย (บาท)	194,962,843.7	182,349,944.0	187,139,000.8	187,444,360.6	193,385,661.4	179,727,438.6

จากผลการทดสอบข้างต้นจะนำเอาผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยของแต่ละกลุ่มค่าพารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาที่พิจารณา โดยเวลาหาผลเฉลยที่ใช้ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์นั้นจะพิจารณาเพียงในส่วนของเวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าเท่านั้น เนื่องจากวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะถูกนำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าวแค่เพียงปัญหาเดียว ซึ่งรูปที่ 28 และ 29 แสดงถึงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าของกลุ่มค่าพารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูล ตามลำดับ

Chulalongkorn University



รูปที่ 28 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์



รูปที่ 29 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าของชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์

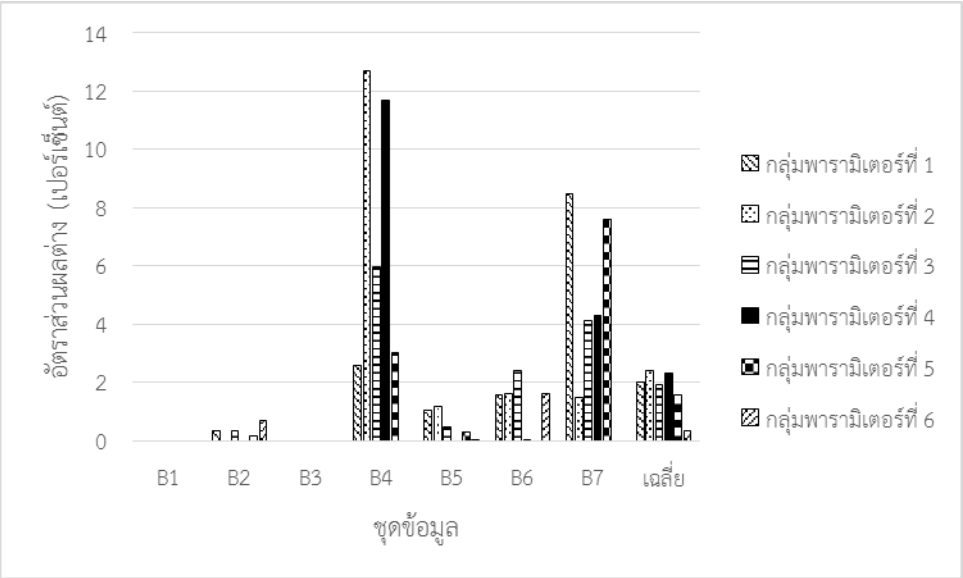
จากรูปที่ 28 จะพบว่าผลเฉลยที่ได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแต่ละชุดข้อมูลนั้นไม่มีค่าพารามิเตอร์ใดเลยที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์อื่นในทุกชุดข้อมูล แต่จะให้คุณภาพของผลเฉลยที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละชุดข้อมูล โดยค่าพารามิเตอร์ทุกกลุ่มสามารถให้ผลเฉลยที่เท่ากันในชุดข้อมูล B1 และ B3 และให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกันเป็นอย่างมากในชุดข้อมูล B2 และ B5 ส่วนชุดข้อมูล B4 จะพบว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 2 และ 4 ให้ผลเฉลยที่แย่กว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ชุดข้อมูล B6 นั้นค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 4 และ 5 ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มอื่นๆ อยู่เล็กน้อย และชุดข้อมูล B7 พบว่าผลเฉลยที่ได้จากค่าพารามิเตอร์กลุ่มต่างๆ ค่อนข้างมีความแตกต่างกัน โดยค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 1 และ 6 ให้ผลเฉลยที่แย่ที่สุดและดีที่สุด ตามลำดับ

จากการเปรียบเทียบผลเฉลยข้างต้นจะนำเอาผลเฉลยที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยการใช้อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของแต่ละกลุ่มค่าพารามิเตอร์เทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากกลุ่มค่าพารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูล และหลังจากนั้นจะนำเอาอัตราส่วนผลต่างของแต่ละกลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากทุกชุดข้อมูลมาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอัตราส่วนผลต่างที่ได้แสดงในตารางที่ 36 และรูปที่ 30

ตารางที่ 36 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มพารามิเตอร์ที่	ชุดข้อมูล							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	เฉลี่ย
1	0.00	0.34	0.00	2.56	1.03	1.57	8.48	2.00
2	0.00	0.00	0.00	12.68	1.15	1.61	1.46	2.41
3	0.00	0.34	0.00	5.97	0.46	2.41	4.12	1.90
4	0.00	0.00	0.00	11.70	0.00	0.03	4.29	2.29
5	0.00	0.17	0.00	3.03	0.27	0.00	7.60	1.58
6	0.00	0.70	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.33

จากตารางที่ 36 และรูปที่ 30 จะพบว่ากลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 6 มีอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยที่น้อยที่สุด กล่าวคือมีผลเฉลยที่แย่กว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ในแต่ละชุดข้อมูล เฉลี่ยประมาณ 0.33 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 2 มีอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยที่มากที่สุดที่ 2.41 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีลำดับอัตราส่วนผลต่างเรียงจากน้อยไปมาก ดังนี้ กลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 5, 3, 1 และ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนผลต่าง คือ 1.58, 1.90, 2.00 และ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้างต้นจึงบอกได้ว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 6 สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มอื่นๆ



รูปที่ 30 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์

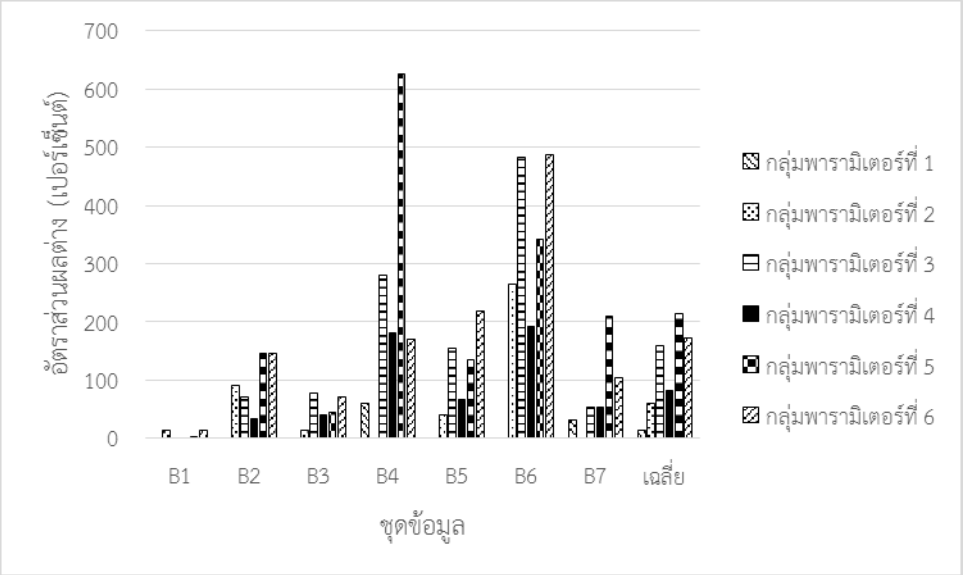
ในส่วนของเวลาหาผลเฉลยในรูปที่ 29 เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์จำนวนรายชื่อทาบูจะพบว่า เมื่อจำนวนรายชื่อทาบูมีจำนวนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่มากขึ้นในชุดข้อมูล B3, B5 และ B6 ส่วนในชุดข้อมูลอื่นๆ นั้นจะใช้เวลาการหาผลเฉลยที่เพิ่มขึ้นและลดลงแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ข้อจำกัดจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยจะพบว่า เมื่อข้อจำกัดจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากขึ้นในชุดข้อมูล B2, B5, B6 และ B7 ส่วนในชุดข้อมูลอื่นๆ นั้นจะใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่มากขึ้นและลดลงแตกต่างกันออกไป

จากการเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยข้างต้นจะนำเอาเวลาหาผลเฉลยที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยการใช้อัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยของแต่ละกลุ่มค่าพารามิเตอร์เทียบกับเวลาหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากกลุ่มค่าพารามิเตอร์ในแต่ละชุดข้อมูล และหลังจากนั้นจะนำเอาอัตราส่วนผลต่างของแต่ละกลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากทุกชุดข้อมูลมาทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งอัตราส่วนผลต่างที่ได้แสดงในตารางที่ 37 และรูปที่ 31

จากตารางที่ 37 และรูปที่ 31 จะพบว่ากลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 1 มีอัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยที่น้อยที่สุด กล่าวคือใช้เวลาหาผลเฉลยที่น้อยกว่าเวลาหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ในแต่ละชุดข้อมูล เฉลี่ยประมาณ 13.15 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 5 มีอัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยที่มากที่สุดที่ 214.76 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มค่าพารามิเตอร์อื่นๆ มีลำดับอัตราส่วนผลต่างเรียงจากน้อยไปมาก ดังนี้ กลุ่มค่าพารามิเตอร์ที่ 2, 4, 3 และ 6 ซึ่งมีอัตราส่วนผลต่าง คือ 60.48, 81.06, 160.00 และ 172.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้างต้นจึงบอกได้ว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 1 ใช้เวลาหาผลเฉลยที่น้อยกว่าค่าพารามิเตอร์กลุ่มอื่นๆ

ตารางที่ 37 อัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์ (เปอร์เซ็นต์)

กลุ่มพารามิเตอร์ที่	ชุดข้อมูล							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	เฉลี่ย
1	0.00	0.00	0.00	61.06	0.00	0.00	31.00	13.15
2	13.71	90.15	13.28	0.00	40.44	265.80	0.00	60.48
3	0.00	70.59	77.82	280.36	155.51	482.78	52.93	160.00
4	0.00	34.11	40.85	180.90	66.81	191.73	53.02	81.06
5	0.81	145.12	44.86	625.07	135.02	342.47	209.97	214.76
6	12.90	145.90	70.30	169.38	218.60	487.01	103.99	172.58



รูปที่ 31 อัตราส่วนผลต่างของเวลาหาผลเฉลยจากการทดสอบค่าพารามิเตอร์

จากการวิเคราะห์ผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยของกลุ่มค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ผู้วิจัยได้ตัดสินใจเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์กลุ่มที่ 6 ที่มีค่าพารามิเตอร์จำนวนรายชื่อทาบูจำนวน 100 รายชื่อและข้อจำกัดจำนวนรอบที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลย 10 รอบ ในการแก้ปัญหา เนื่องจากพารามิเตอร์กลุ่มดังกล่าวให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพดีที่สุดในทุกกลุ่มค่าพารามิเตอร์ ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาในด้านเวลาการหาผลเฉลยจะพบว่าพารามิเตอร์กลุ่มนี้ใช้เวลาการหาผลเฉลยที่เกือบจะแย่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มพารามิเตอร์อื่นๆ แต่เมื่อพิจารณาถึงเวลาการหาผลเฉลยของค่าพารามิเตอร์กลุ่มนี้แต่เพียงอย่างเดียวจะพบว่าใช้เวลาในการหาผลเฉลยสูงสุดที่ 346.318 วินาที ในชุดข้อมูล B4 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับคุณภาพของผลเฉลยที่ได้มา

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย

เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบคุณภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ กับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต เพื่อตรวจสอบคุณภาพของผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยของวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ในแต่ละชุดข้อมูลซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป โดยเวลาหาผลเฉลยสูงสุดที่ยอมรับได้ คือ 1 ชั่วโมง

ในการทดสอบประสิทธิภาพจะทำการทดสอบกับชุดข้อมูลจำนวน 7 ชุด ซึ่งแต่ละชุดข้อมูลจะมีรายละเอียดและขนาดที่แตกต่างกันออกไป โดยรายละเอียดและขนาดของปัญหาของแต่ละชุดข้อมูลแสดงในตารางที่ 38 และ 39 ตามลำดับ

ตารางที่ 38 รายละเอียดชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ

รายละเอียดชุดข้อมูล	ชุดข้อมูล						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
จำนวนท่าเรือผู้ผลิต (ท่าเรือ)	1	1	1	1	1	2	3
จำนวนท่าเรือผู้บริโภค (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4	8	12
จำนวนสินค้า (ชนิด)	1	3	3	3	3	3	3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	5	5	5	5	10	10	15
ความยาวคาบการวางแผน (ช่วงเวลา)	5	5	5	7	5	5	5
จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง (ท่าเรือ)	3	3	4	3	3	3	3

สำหรับชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย เนื่องจากขนาดของปัญหาที่ได้ข้อมูลจริงที่พิจารณามีขนาดที่ใหญ่มาก ดังนั้นในการทดสอบผู้วิจัยจึงได้ทำการลดขนาดของปัญหาลง โดยในชุดข้อมูล C1, C2, C3, C4 และ C5 จะพิจารณาปัญหาที่มีรายละเอียดดังนี้ จำนวนท่าเรือผู้ผลิตหนึ่งท่าเรือและท่าเรือผู้บริโภคจำนวน 4 ท่าเรือ จำนวนสินค้า 3 ชนิด จำนวนเรือขนส่งสินค้า 5 ลำ ความยาวคาบการวางแผน 5 ช่วงเวลา และจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางเท่ากับ 3 ท่าเรือ และแต่ละชุดข้อมูลจะทำการปรับเปลี่ยนรายละเอียดบางส่วนเพื่อให้ชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป โดยชุดข้อมูล C1 จะทำการลดจำนวนสินค้าที่พิจารณาลงเหลือแค่เพียง 1 ชนิด ชุดข้อมูล C2 จะมีรายละเอียดของปัญหาเช่นเดิมตามที่ได้ลดขนาดไว้ ชุดข้อมูล C3 จะทำการเพิ่มจำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทางในขั้นตอนการสร้างรูปแบบเส้นทางการเดินทางและเส้นเชื่อม ชุดข้อมูล C4 จะเพิ่มความยาวคาบการวางแผนของปัญหา และชุดข้อมูล C5 จะเพิ่มจำนวนเรือขนส่งสินค้า ส่วนชุดข้อมูล C6 และ C7 จะทำการขยายปัญหากลับไปยังขนาดของปัญหาเดิมที่พิจารณา โดยจะพิจารณาเพิ่มจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและท่าเรือผู้บริโภค และจำนวนเรือขนส่งสินค้า ซึ่งชุดข้อมูล C7 เป็นชุดข้อมูลที่มีรายละเอียดและขนาดของปัญหาตรงตามปัญหาจริงที่พิจารณา

โดยแต่ละชุดข้อมูลจะประกอบไปด้วยชุดตัวอย่างจำนวน 10 ชุด ซึ่งมีปริมาณความจุสินค้า ปริมาณสินค้าเริ่มต้น ระดับสินค้าคงคลังขั้นต่ำ และอัตราการบริโภคสินค้าที่แตกต่างกันออกไป เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยเมื่อปัญหามีค่าพารามิเตอร์ข้างต้นที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 39 ขนาดปัญหาของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย

จำนวน			ชุดข้อมูล						
			C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ตัวแปร	รูปแบบเชิงเส้น	y_{pk}	1,660	4,980	7,860	7,980	9,960	421,440	5,025,105
	รูปแบบไบนารี	x_p	700	700	940	1,100	1,400	50,880	586,530
		g_{vit}	30	30	30	40	60	120	270
		l_{pmk}	8,300	24,900	39,300	39,900	49,800	2,107,200	25,125,525
	รวม		10,690	30,610	48,130	49,020	61,220	2,579,640	30,737,430
สมการเงื่อนไข		การอนุรักษ์การไหล	35	35	35	45	70	140	315
		การนับจำนวนเรือ	5	5	5	5	10	10	15
		ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	25	25	25	35	25	50	75
		ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	20	60	60	84	60	120	180
		ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	20	60	60	84	60	120	180
		ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	1,660	4,980	7,860	7,980	9,960	421,440	5,025,105
		ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	3,500	3,500	4,700	5,500	7,000	254,400	2,932,650
		ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	700	700	940	1,100	1,400	50,880	586,530
		รวม	5,965	9,365	13,685	14,833	18,585	727,160	8,545,050

4.4.1 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C1

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C1 แสดงดังตารางที่ 40 และ 41 และรูปที่ 32 และ 33 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 40 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C1

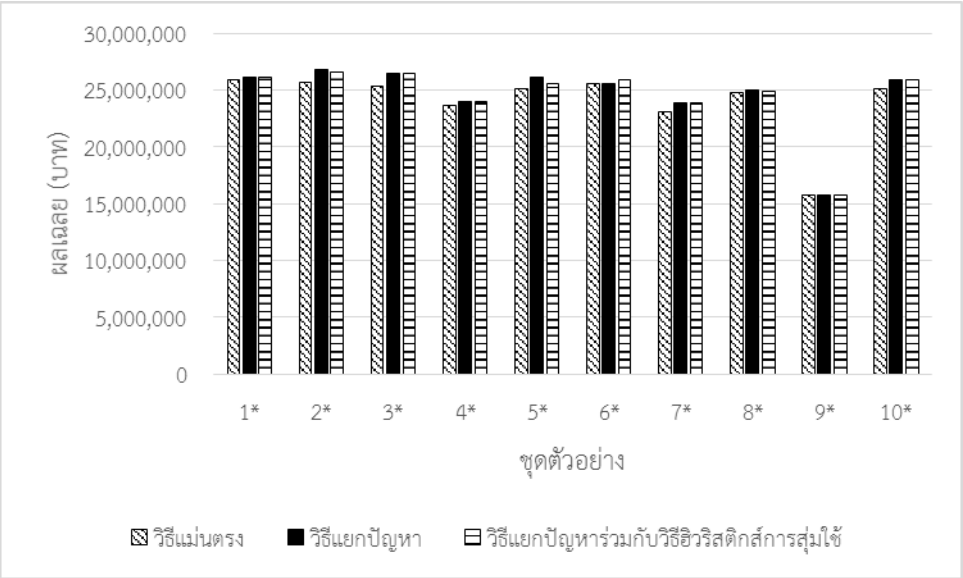
วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1*	2*	3*	4*	5*
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	5.710	215.921	86.580	46.598	65.068
	ผลเฉลย (บาท)	25,940,388.1	25,688,167.4	25,393,271.5	23,655,494.8	25,072,735.8
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	2	2	2	2	2
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.030	0.249	0.235	0.031	0.032
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.031	0.032	0.015	0.021	0.018
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.061	0.281	0.250	0.052	0.050
	ผลเฉลย (บาท)	26,131,012.1	26,841,022.1	26,478,485.2	23,964,326.3	26,127,919.8
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	3	3	3	3	3
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.047	0.219	0.062	0.233	0.218
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.078	0.140	0.125	0.094	0.109
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.125	0.359	0.187	0.327	0.327
	ผลเฉลย (บาท)	26,131,012.1	26,574,426.2	26,478,485.2	23,964,326.3	25,603,620.0

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

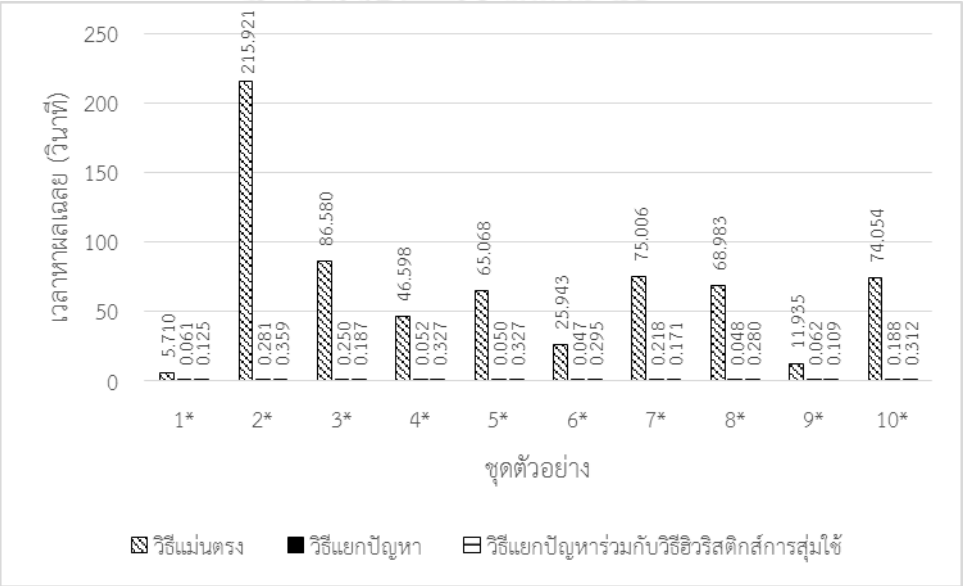
ตารางที่ 41 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C1 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6*	7*	8*	9*	10*
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	25.943	75.006	68.983	11.935	74.054
	ผลเฉลย (บาท)	25,605,758.4	23,079,999.5	24,835,314.2	15,707,010.5	25,101,167.2
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	2	2	2	2	2
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.032	0.188	0.032	0.046	0.172
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.015	0.030	0.016	0.016	0.016
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.047	0.218	0.048	0.062	0.188
	ผลเฉลย (บาท)	25,605,758.4	23,838,867.8	25,064,496.0	15,707,010.5	25,927,702.6
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	3	3	3	3	3
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.218	0.062	0.203	0.063	0.203
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.077	0.109	0.077	0.046	0.109
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.295	0.171	0.280	0.109	0.312
	ผลเฉลย (บาท)	25,888,335.6	23,838,867.8	24,928,196.8	15,707,010.5	25,927,702.6

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 32 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C1



รูปที่ 33 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C1

จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C1 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ในทุกชุดตัวอย่างของชุดข้อมูลนี้ ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุดในชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยตั้งแต่ 5.710 ถึง 215.921 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะสามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่างเช่นกัน ซึ่งวิธีทั้งสองใช้เวลาโดยเฉลี่ยต่อชุดตัวอย่างไม่เกิน 1 วินาที โดยส่วนใหญ่วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากกว่าวิธีการแยกปัญหาอยู่เล็กน้อย และเมื่อทำการหาอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย

ระหว่างวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะได้ผลดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C1

ชุดตัวอย่างที่	อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย (เปอร์เซ็นต์)	
	วิธีแยกปัญหา	วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้
1*	0.73	0.73
2*	4.49	3.45
3*	4.27	4.27
4*	1.31	1.31
5*	4.21	2.12
6*	0.00	1.10
7*	3.29	3.29
8*	0.92	0.37
9*	0.00	0.00
10*	3.29	3.29
เฉลี่ย	2.25	1.99

จากอัตราส่วนผลต่างจะพบว่าวิธีแยกปัญหาสามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดในชุดตัวอย่างที่ 6 และ 9 ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดแค่เพียงในชุดตัวอย่างที่ 9 เท่านั้น โดยในชุดตัวอย่างที่ 1, 3, 4, 7, 9 และ 10 นั้นวิธีการหาผลเฉลยทั้งสองให้ผลเฉลยที่เท่ากัน และในชุดตัวอย่างอื่นๆ นั้นจะให้ผลเฉลยที่แตกต่างกันอยู่เล็กน้อย ซึ่งวิธีแยกปัญหามีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 4.49 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 2.25 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้มีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตตั้งแต่ 0.00 ถึง 4.27 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 1.99 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง

4.4.2 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C2

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C2 แสดงดังตารางที่ 43 และ 44 และรูปที่ 34 และ 35 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 43 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C2

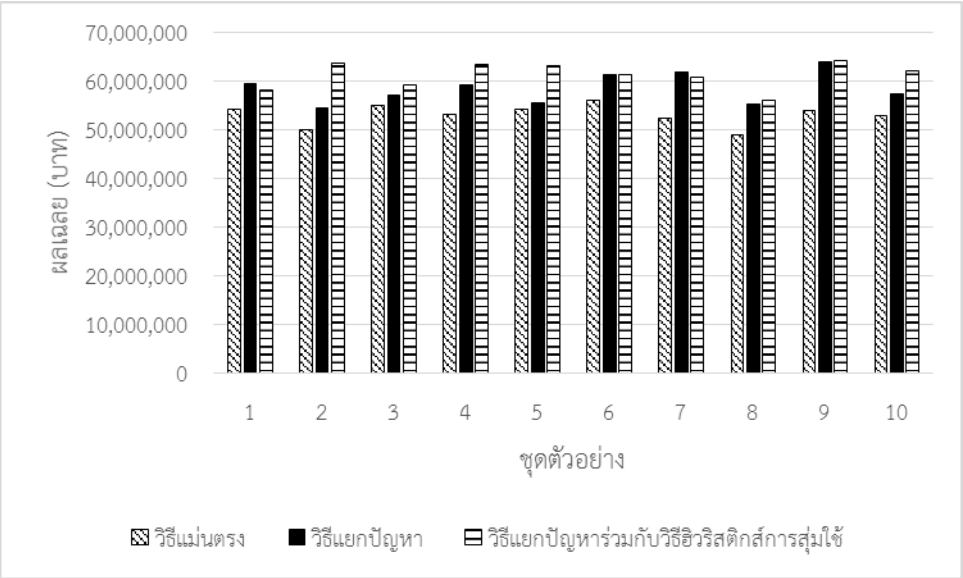
วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	54,345,467.2	50,087,083.3	55,052,063.7	53,318,821.4	54,302,916.9
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	9	8	7	7	6
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.342	0.123	0.078	0.141	0.046
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	66.192	5.868	19.236	15.723	30.014
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	66.534	5.991	19.314	15.864	30.060
	ผลเฉลย (บาท)	59,539,788.6	54,659,447.8	57,157,048.5	59,170,277.8	55,644,868.0
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	10	10	8	9	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.641	0.202	0.437	0.201	0.109
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	11.901	20.576	11.949	13.744	8.627
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	12.542	20.778	12.386	13.945	8.736
	ผลเฉลย (บาท)	58,253,202.8	63,848,957.4	59,300,374.9	63,405,097.6	63,182,233.7

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

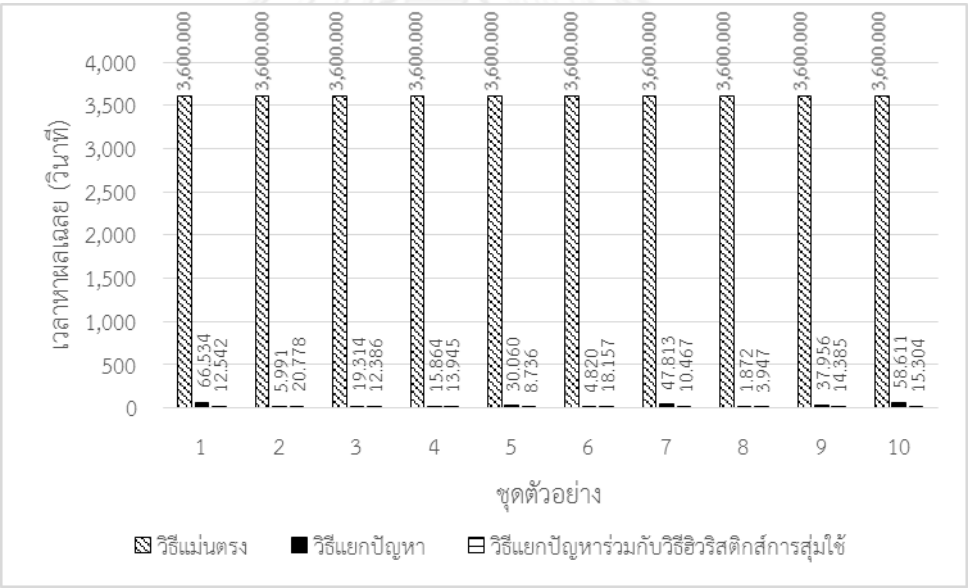
ตารางที่ 44 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C2 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	56,173,297.7	52,438,104.3	48,901,084.0	53,981,287.7	53,090,310.1
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	7	5	7	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.155	0.390	0.203	0.093	0.453
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	4.665	47.423	1.669	37.863	58.158
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	4.820	47.813	1.872	37.956	58.611
	ผลเฉลย (บาท)	61,347,294.3	61,795,321.1	55,249,699.9	64,004,732.8	57,500,592.7
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	7	7	6	8	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.359	0.282	0.125	0.314	0.515
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	17.798	10.185	3.822	14.071	14.789
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	18.157	10.467	3.947	14.385	15.304
	ผลเฉลย (บาท)	61,347,294.3	60,890,523.1	56,070,866.7	64,215,728.7	62,228,906.8

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 34 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C2



รูปที่ 35 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C2

จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C2 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้เลยในทุกชุดตัวอย่าง แต่สามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้แต่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่กำหนด ส่วนวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิว-ริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยวิธีแยกปัญหาใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากกว่า 30 วินาทีในชุดตัวอย่างที่ 1, 5, 7, 9 และ 10 โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยสูงสุดที่ 66.534 วินาที ในชุดตัวอย่างที่ 1 และใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อยที่สุดที่ 1.872 วินาที ในชุดตัวอย่างที่ 8 ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยไม่เกิน 30 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 3.947 กับ 20.778 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง ซึ่งเมื่อทำการ

เปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยจะพบว่าวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่าวิธีแยกปัญหาในเกือบทุกชุดตัวอย่าง และวิธีทั้งสองใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่เร็วกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเป็นอย่างมาก และเมื่อทำการหาอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยระหว่างวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะได้ผลดังตารางที่ 45

ตารางที่ 45 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C2

ชุดตัวอย่างที่	อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย (เปอร์เซ็นต์)	
	วิธีแยกปัญหา	วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้
1	9.56	7.19
2	9.13	27.48
3	3.82	7.72
4	10.97	18.92
5	2.47	16.35
6	9.21	9.21
7	17.84	16.12
8	12.98	14.66
9	18.57	18.96
10	8.31	17.21
เฉลี่ย	10.29	15.38

จากอัตราส่วนผลต่างจะพบว่าวิธีแยกปัญหากับวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ให้ผลเฉลยที่เท่ากันในชุดตัวอย่างที่ 6 โดยเมื่อพิจารณาวิธีแยกปัญหาจะพบว่ามีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ระหว่าง 2.47 ถึง 18.57 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 10.29 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้มีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตตั้งแต่ 7.19 ถึง 27.48 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 15.38 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง

4.4.3 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C3

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C3 แสดงดังตารางที่ 46 และ 47 และรูปที่ 36 และ 37 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 46 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C3

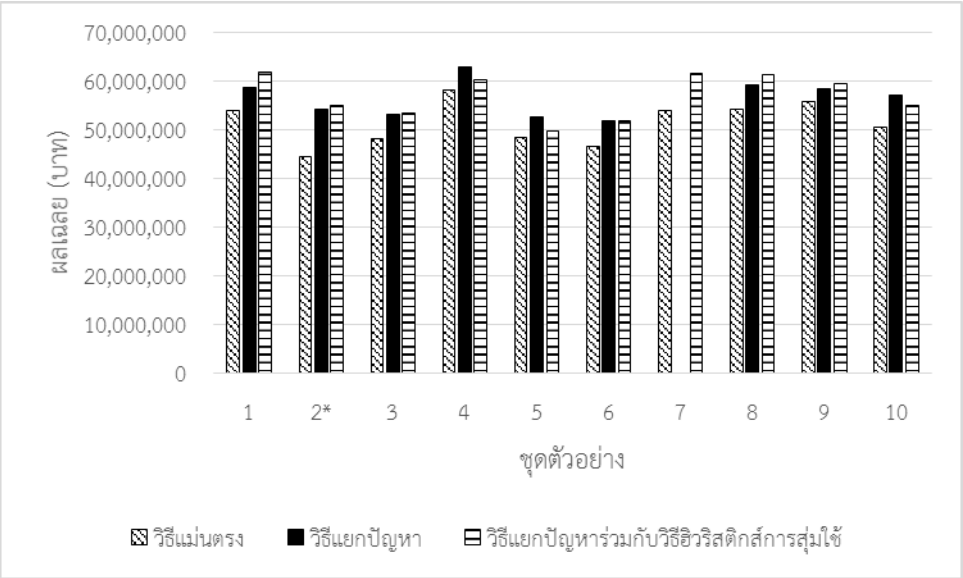
วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2*	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	2,394.459	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	53,907,634.6	44,517,136.0	48,210,853.3	58,253,736.6	48,440,801.9
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	7	5	6	9	9
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.063	0.063	0.095	0.297	0.064
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	79.936	4.288	0.515	74.024	14.602
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	79.999	4.351	0.610	74.321	14.666
	ผลเฉลย (บาท)	58,890,962.4	54,300,903.8	53,301,572.5	63,065,214.2	52,778,728.5
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	7	7	8	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.313	0.126	0.109	0.312	0.125
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	32.569	5.023	1.514	24.134	6.802
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	32.882	5.149	1.623	24.446	6.927
	ผลเฉลย (บาท)	61,968,644.9	55,003,363.8	53,429,697.3	60,449,819.5	49,889,107.1

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

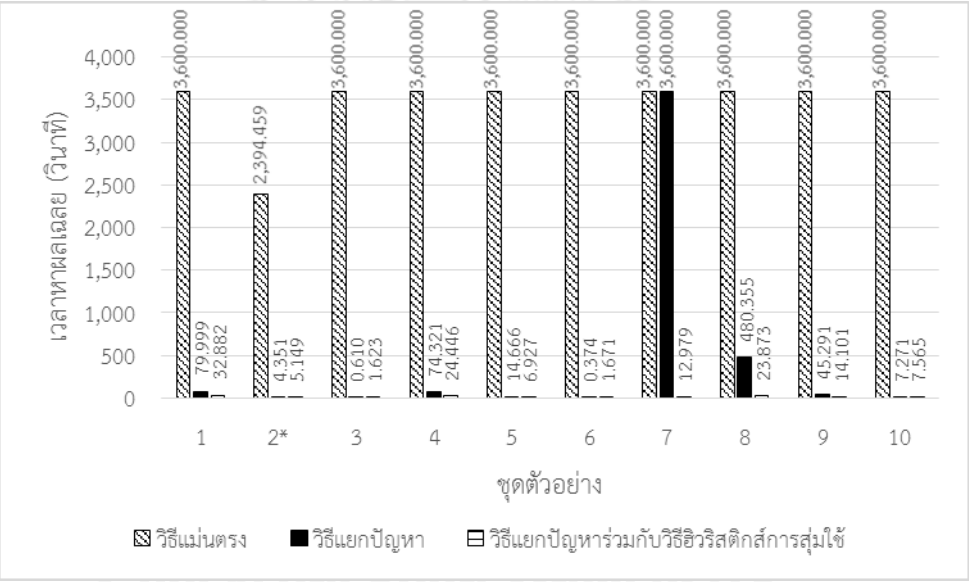
ตารางที่ 47 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C3 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	46,635,087.9	54,063,671.1	54,418,319.4	55,877,751.0	50,670,179.2
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	5	9	11	9	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.061	0.280	0.263	0.234	0.407
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.313	3,599.720	480.092	45.057	6.864
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.374	3,600.000	480.355	45.291	7.271
	ผลเฉลย (บาท)	51,966,421.3	-	59,399,836.8	58,505,005.7	57,240,579.0
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	10	10	9	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.110	0.188	0.361	0.374	0.298
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	1.561	12.791	23.512	13.727	7.267
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	1.671	12.979	23.873	14.101	7.565
	ผลเฉลย (บาท)	51,966,421.3	61,567,269.6	61,517,282.7	59,421,377.7	55,062,109.7

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 36 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C3



รูปที่ 37 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C3

จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C3 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้แค่เพียงชุดตัวอย่างเดียวคือ ชุดตัวอย่างที่ 2 โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ 2,394.459 วินาที ส่วนชุดตัวอย่างอื่นนั้นสามารถหาได้แค่เพียงผลเฉลยที่เป็นไปได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น ส่วนวิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้เกือบทุกชุดตัวอย่าง ยกเว้นแค่เพียงชุดตัวอย่างที่ 7 โดยในชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้นั้นใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.374 ถึง 480.355 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 1.623 ถึง 32.882 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง และเมื่อทำการหาอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยระหว่างวิธีแยกปัญหา

และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะได้ผลดังตารางที่ 48

ตารางที่ 48 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C3

ชุดตัวอย่างที่	อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย (เปอร์เซ็นต์)	
	วิธีแยกปัญหา	วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้
1	9.24	14.95
2*	21.98	23.56
3	10.56	10.83
4	8.26	3.77
5	8.96	2.99
6	11.43	11.43
7	-	13.88
8	9.15	13.05
9	4.70	6.34
10	12.97	8.67
เฉลี่ย*	21.98	23.56
เฉลี่ย	9.41	9.54
เฉลี่ยรวม	10.81	10.95

จากอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเมื่อพิจารณาที่ชุดตัวอย่างที่ 2 ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจะพบว่า วิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ให้ผลเฉลยที่แย่กว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดอยู่ 21.98 และ 23.56 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยวิธีทั้งสองสามารถให้ผลเฉลยที่เท่ากันในชุดตัวอย่างที่ 6 และเมื่อพิจารณาวิธีแยกปัญหาจะพบว่ามีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ระหว่าง 4.70 ถึง 21.98 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 9.41 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้ยกเว้นชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และ 10.81 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้ ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้มีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตตั้งแต่ 2.99 ถึง 23.56 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 9.54 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้ยกเว้นชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และ 10.95 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้

4.4.4 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C4

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C4 แสดงดังตารางที่ 49 และ 50 และรูปที่ 38 และ 39 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 49 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C4

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	83,761,355.2	95,243,394.1	78,371,091.0	82,588,564.3	84,779,147.7
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	7	9	5	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.251	0.282	0.155	0.329	0.451
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	3,599.749	3,599.718	2,587.712	3,599.671	3,599.549
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	3,600.000	3,600.000	2,587.867	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	88,085,712.6	-	-
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	10	15	11	13	9
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.235	0.592	0.546	0.858	0.654
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	64.695	732.647	121.213	171.213	79.452
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	64.930	733.239	121.759	172.071	80.106
	ผลเฉลย (บาท)	81,350,195.7	94,539,224.1	86,002,395.0	84,515,474.7	88,318,116.6

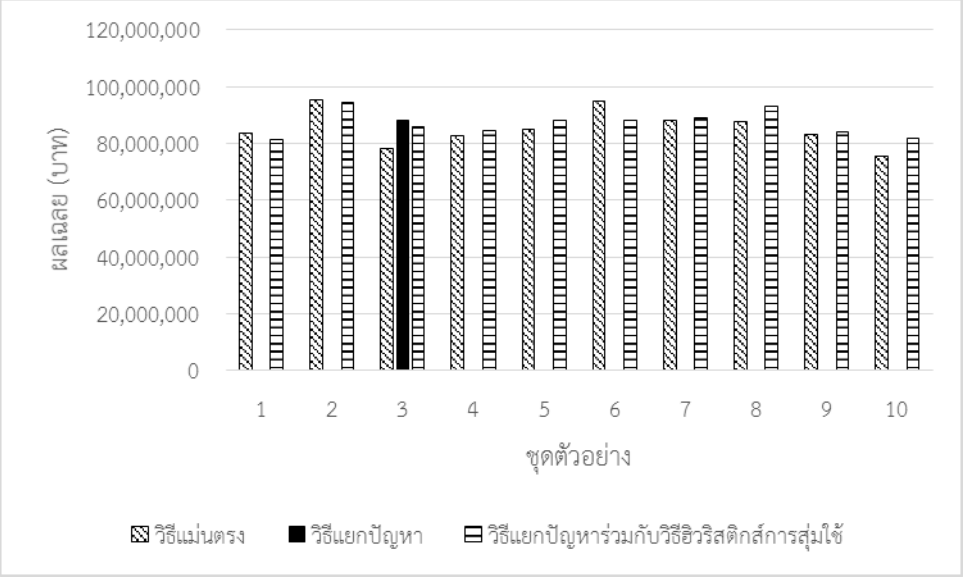
* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C4 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่สามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในทุกชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้แค่เพียงชุดตัวอย่างเดียวคือ ชุดตัวอย่างที่ 3 โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ 2,587.867 วินาที และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 31.980 ถึง 733.239 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง และเมื่อทำการหาอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยระหว่างวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะได้ผลดังตารางที่ 51

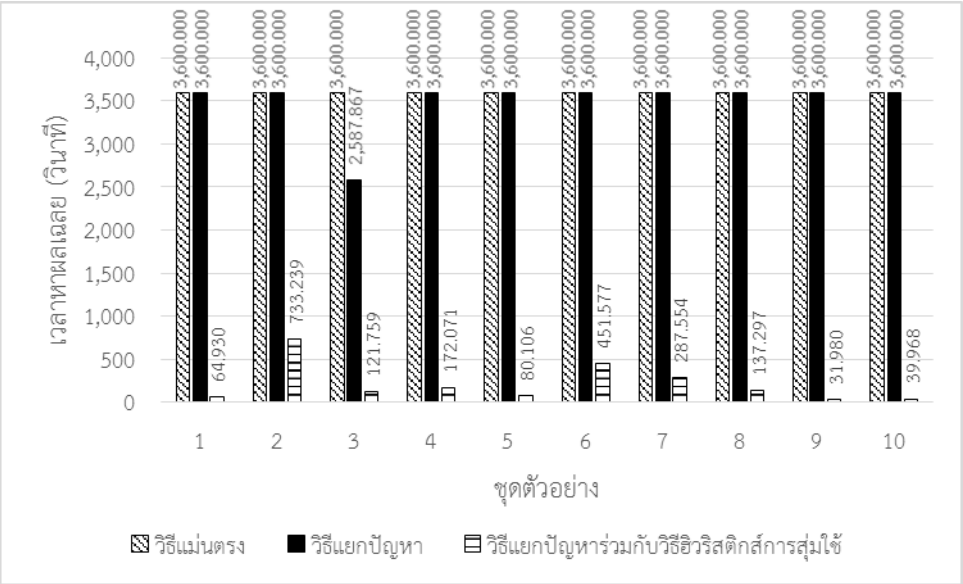
ตารางที่ 50 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C4 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	94,727,124.4	87,955,054.1	87,747,188.5	83,183,105.7	75,443,495.0
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	6	6	6	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.466	0.156	0.093	0.329	0.484
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	3,599.534	3,599.844	3,599.907	3,599.671	3,599.516
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	-	-	-
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	14	14	11	9	10
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	1.171	1.390	0.887	0.514	0.814
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	450.406	286.164	136.410	31.466	39.154
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	451.577	287.554	137.297	31.980	39.968
	ผลเฉลย (บาท)	88,218,230.0	88,872,449.7	92,979,403.0	83,836,002.4	81,813,559.5

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 38 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C4



รูปที่ 39 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C4

ตารางที่ 51 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C4

ชุดตัวอย่างที่	อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย (เปอร์เซ็นต์)	
	วิธีแยกปัญหา	วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้
1	-	-2.88
2	-	-0.74
3	12.40	9.74
4	-	2.33
5	-	4.17
6	-	-6.87
7	-	1.04
8	-	5.96
9	-	0.78
10	-	8.44
เฉลี่ย	12.40	2.20

ในการเทียบอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของข้อมูลชุด C4 จะพบว่าวิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้แค่เพียงหนึ่งชุดตัวอย่างคือ ชุดตัวอย่างที่ 3 โดยมีอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยอยู่ที่ 12.40 เปอร์เซ็นต์ ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้นั้นสามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่า

วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในชุดตัวอย่างที่ 1, 2 และ 6 โดยเมื่อพิจารณาทุกชุดตัวอย่างจะพบว่าวิธีดังกล่าวมีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ระหว่าง -6.87 ถึง 9.74 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 2.20 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง

4.4.5 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C5

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C5 แสดงดังตารางที่ 52 และ 53 และรูปที่ 40 และ 41 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 52 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C5

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	60,917,205.4	55,693,373.3	53,144,056.7	53,271,168.3	51,756,645.8
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	3	5	5	6	6
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.063	0.187	0.079	0.343	0.094
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	0.515	222.256	3,599.921	3,599.657	72.713
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	0.578	222.443	3,600.000	3,600.000	72.807
	ผลเฉลย (บาท)	59,190,284.1	60,417,421.9	-	-	53,431,603.6
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	7	8	7	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.842	0.171	0.358	0.576	0.251
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	11.436	6.191	11.044	15.476	9.826
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	12.278	6.362	11.402	16.052	10.077
	ผลเฉลย (บาท)	58,915,040.9	64,473,169.2	57,209,653.2	60,552,849.6	52,554,879.7

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

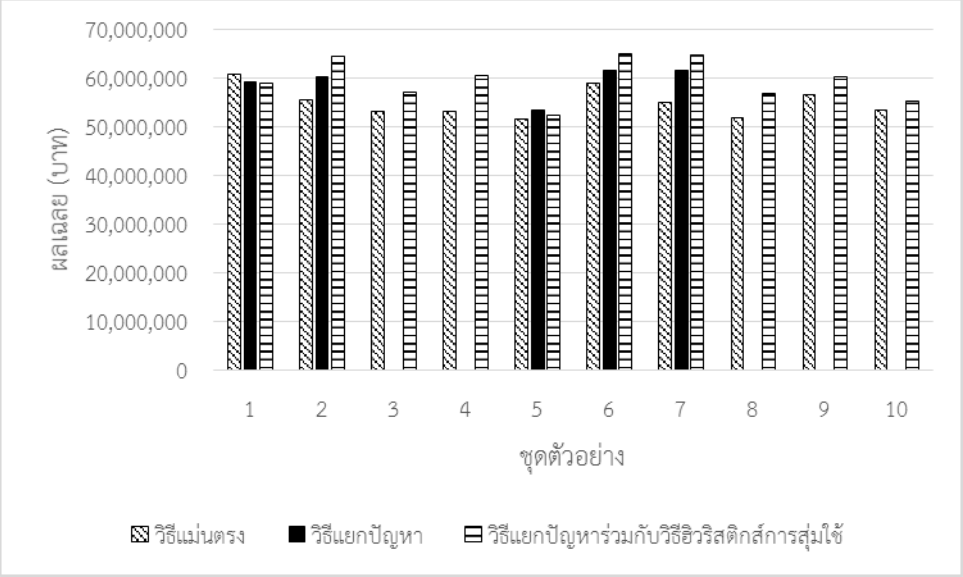
จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C5 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่สามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ในทุกชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาไม่สามารถหาผลเฉลยได้ในชุดตัวอย่างที่ 3, 4, 8, 9 และ 10 โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยเกินกว่า 60 วินาทีในชุดตัวอย่างที่เหลือ ยกเว้นชุดตัวอย่างที่ 1 ที่ใช้เวลาแค่เพียง 0.578 วินาทีในการหาผลเฉลย และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยไม่เกิน 20 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง และเมื่อทำการหาอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยระหว่างวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะได้ผลดังตารางที่ 54

Chulalongkorn University

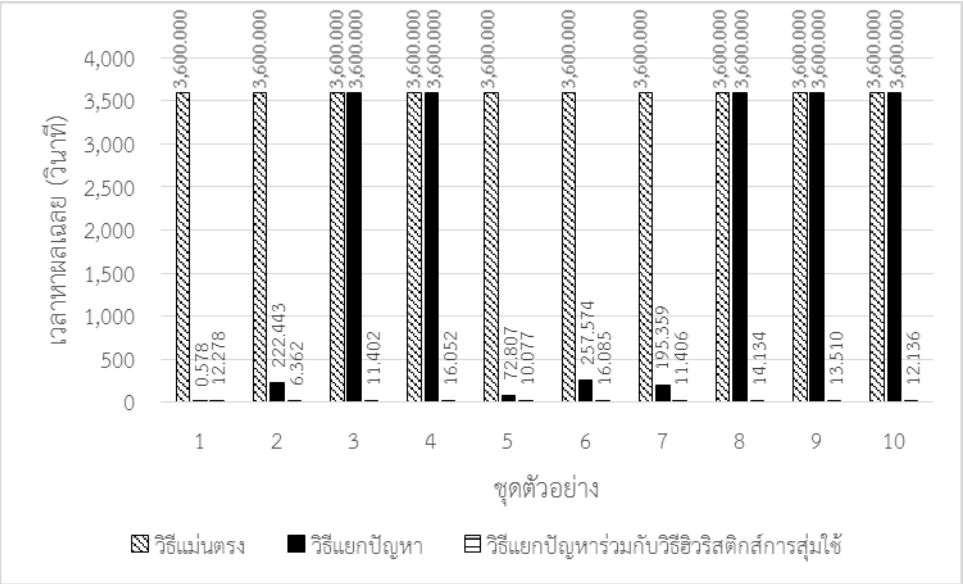
ตารางที่ 53 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C5 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	58,912,291.2	55,068,927.4	51,873,149.6	56,718,517.9	53,518,717.8
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	5	7	7	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.312	0.155	0.139	0.703	0.296
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	257.262	195.204	3,599.861	3,599.297	3,599.704
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	257.574	195.359	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	61,683,978.6	61,599,533.4	-	-	-
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	7	7	8	8	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	0.375	0.327	0.484	0.485	0.359
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	15.710	11.079	13.650	13.025	11.777
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	16.085	11.406	14.134	13.510	12.136
	ผลเฉลย (บาท)	64,985,386.7	64,704,482.4	56,832,851.7	60,254,842.6	55,271,885.0

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 40 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C5



รูปที่ 41 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C5

ตารางที่ 54 อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยของชุดข้อมูล C5

ชุดตัวอย่างที่	อัตราส่วนผลต่างของผลเฉลย (เปอร์เซ็นต์)	
	วิธีแยกปัญหา	วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้
1	-2.83	-3.29
2	8.48	15.76
3	-	7.65
4	-	13.67
5	3.24	1.54
6	4.70	10.31
7	11.86	17.50
8	-	9.56
9	-	6.23
10	-	3.28
เฉลี่ย	5.09	8.22

จากอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยจะพบว่า วิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริส-ติกส์การสุ่มใช้สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในชุดตัวอย่างที่ 1 โดยมีอัตราส่วนผลต่างที่ดีกว่าอยู่ 2.83 และ 3.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาในชุดตัวอย่างที่วิธี

แยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้จะพบว่ามีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ระหว่าง -2.83 ถึง 11.86 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 5.09 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้มีช่วงของอัตราส่วนผลต่างของผลเฉลยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตตั้งแต่ -3.29 ถึง 17.50 เปอร์เซ็นต์ หรือเฉลี่ยประมาณ 8.22 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง

4.4.6 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C6

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C6 แสดงดังตารางที่ 55 และ 56 และรูปที่ 42 และ 43 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 55 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C6

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	-	-	-
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	7	7	6	6
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	21.730	10.281	11.060	10.109	5.865
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	660.523	17.021	5.523	6.506	250.071
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	682.253	27.302	16.583	16.615	255.936
	ผลเฉลย (บาท)	114,333,931.1	117,011,755.7	144,195,931.9	125,331,041.1	118,269,273.2
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	7	7	7	7	7
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	5.600	8.394	5.742	6.694	4.946
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	83.725	15.900	41.168	37.941	22.405
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	89.325	24.294	46.910	44.635	27.351
	ผลเฉลย (บาท)	111,650,601.5	116,562,441.6	114,158,302.4	117,238,969.8	118,995,950.2

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

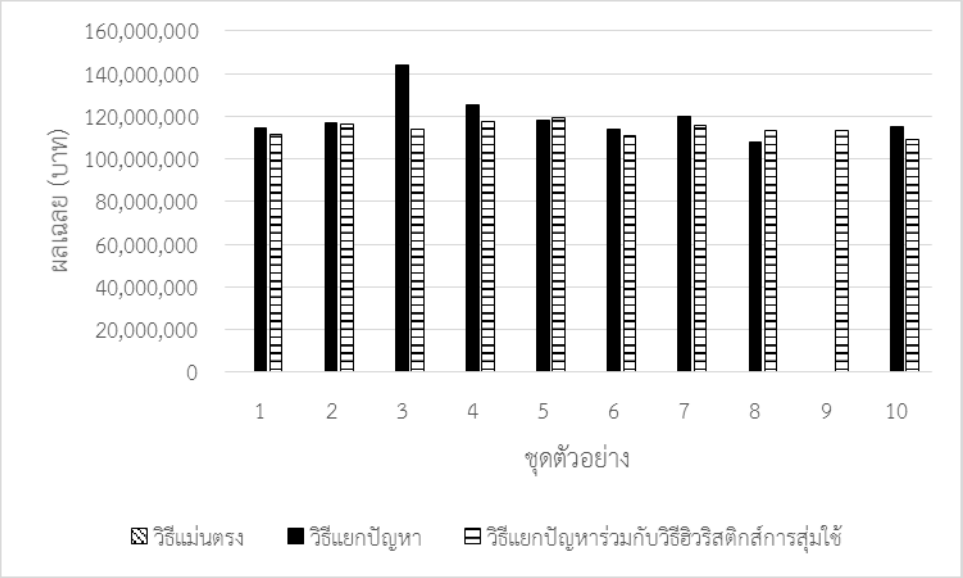
จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C6 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในทุกชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาจะสามารถหาผลเฉลยได้เกือบทุกชุดตัวอย่าง ยกเว้นแค่เพียงชุดตัวอย่างที่ 9 ที่ไม่สามารถทำการหาผลเฉลยได้ โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่ไม่แน่นอน ซึ่งใช้เวลาสูงสุดที่ 682.253 วินาที และใช้เวลาต่ำที่สุดที่ 15.428 วินาที และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 24.294 ถึง 152.978 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง ซึ่งในชุด

ข้อมูลนี้จะไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลเฉลยกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตได้ เนื่องจากวิธีดังกล่าวไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

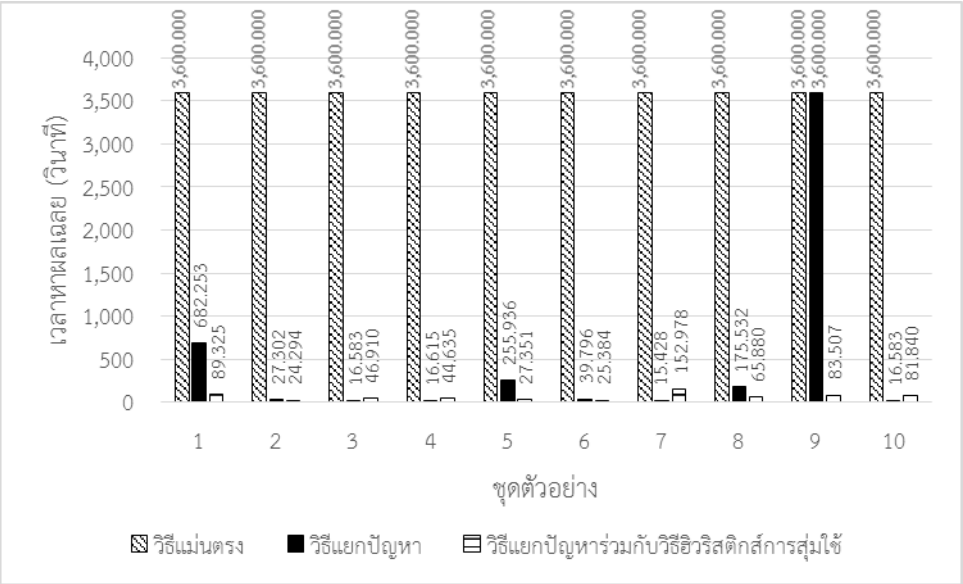
ตารางที่ 56 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C6 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	-	-	-
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	6	6	4	6
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	6.583	5.460	8.581	5.506	10.374
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	33.213	9.968	166.951	3,594.494	6.209
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	39.796	15.428	175.532	3,600.000	16.583
	ผลเฉลย (บาท)	113,612,670.5	119,937,451.9	108,139,697.0	-	114,884,021.8
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	8	7	10	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	3.899	6.523	8.987	25.521	5.803
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	21.485	146.455	56.893	57.986	76.037
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	25.384	152.978	65.880	83.507	81.840
	ผลเฉลย (บาท)	110,846,803.2	115,912,358.5	113,225,709.1	113,401,916.5	108,927,130.5

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 42 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C6



รูปที่ 43 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C6

4.4.7 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C7

ผลที่ได้จากการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต วิธีแยกปัญหา และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ของชุดข้อมูล C7 แสดงดังตารางที่ 57 และ 58 และรูปที่ 44 และ 45 แสดงการเปรียบเทียบผลเฉลยและเวลาหาผลเฉลยที่ได้จากแต่ละวิธีการหาผลเฉลยตามลำดับ

ตารางที่ 57 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C7

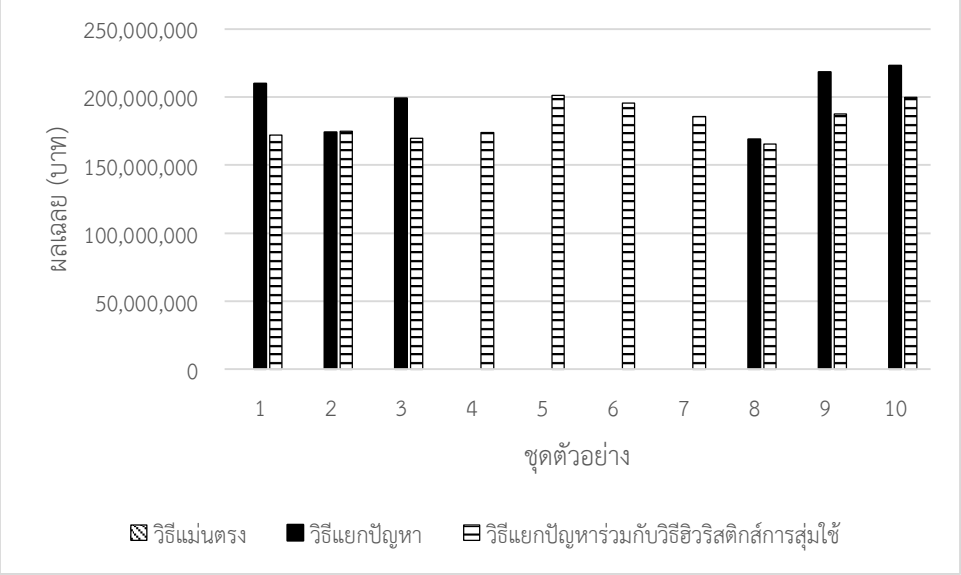
วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	-	-	-
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	6	8	6	5	5
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	343.328	225.843	146.095	29.876	20.233
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	4.213	710.647	5.398	3,570.124	3,579.767
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	347.541	936.490	151.493	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	209,988,752.3	174,031,251.3	198,871,169.2	-	-
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	8	7	11	9
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	68.609	64.071	34.336	110.027	74.413
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	51.438	96.749	84.349	202.457	127.372
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	120.047	160.820	118.685	312.484	201.785
	ผลเฉลย (บาท)	172,054,070.4	174,813,576.3	169,532,795.5	174,021,184.1	201,323,507.7

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด

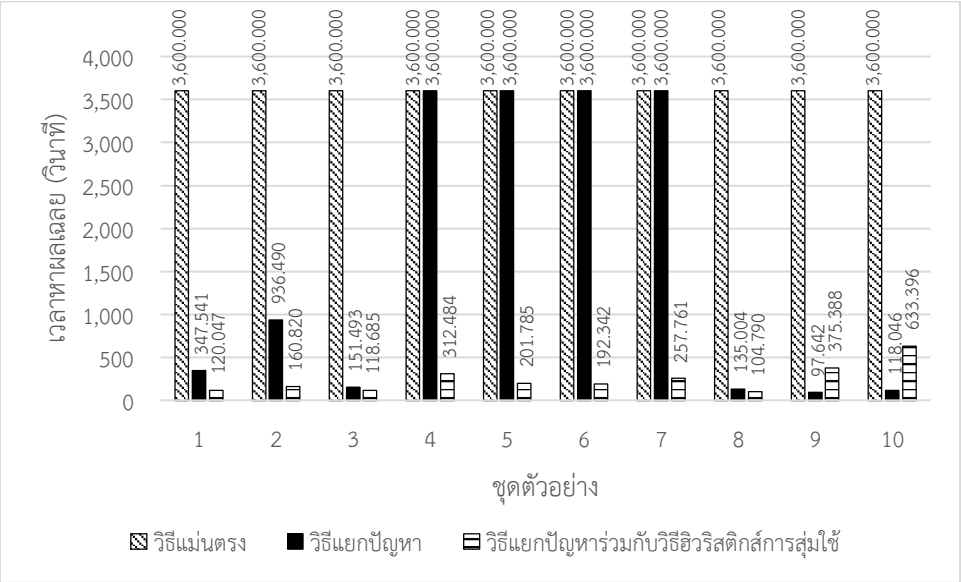
ตารางที่ 58 ผลการทดสอบชุดข้อมูล C7 (ต่อ)

วิธีหาผลเฉลย	รายละเอียด	ชุดตัวอย่าง				
		6	7	8	9	10
วิธีแม่นตรง	เวลาหาผลเฉลย (วินาที)	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000	3,600.000
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	-	-	-
วิธีแยกปัญหา	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	5	8	5	5	5
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	33.197	80.716	87.455	70.513	82.820
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	3,566.803	3,519.284	47.549	27.129	35.226
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	3,600.000	3,600.000	135.004	97.642	118.046
	ผลเฉลย (บาท)	-	-	169,156,318.6	218,276,726.7	222,968,438.8
วิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้	จำนวนรอบการหาผลเฉลย	8	8	8	10	8
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (วินาที)	49.311	205.485	51.558	122.929	35.771
	เวลาหาผลเฉลยของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (วินาที)	143.031	52.276	53.232	252.459	597.625
	เวลาหาผลเฉลยรวม (วินาที)	192.342	257.761	104.790	375.388	633.396
	ผลเฉลย (บาท)	195,332,972.0	185,607,334.2	165,446,329.2	187,489,320.6	199,964,908.9

* ผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 44 การเปรียบเทียบผลเฉลยของชุดข้อมูล C7



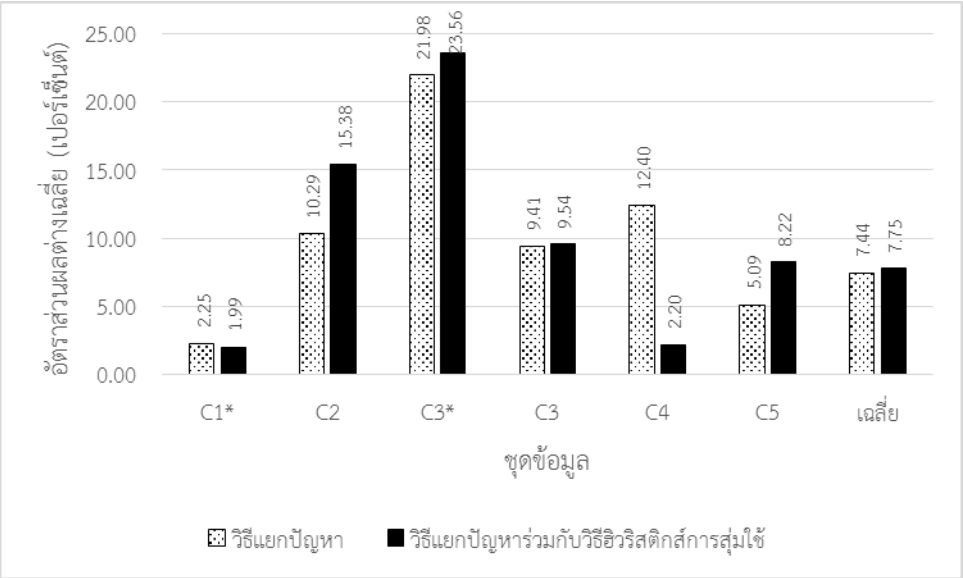
รูปที่ 45 การเปรียบเทียบเวลาหาผลเฉลยของชุดข้อมูล C7

จากผลการทดสอบชุดข้อมูล C7 จะพบว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในทุกชุดตัวอย่าง ส่วนวิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้แค่เพียงชุดตัวอย่างที่ 1, 2, 3, 8, 9 และ 10 โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 97.642 ถึง 936.490 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ระหว่าง 104.790 ถึง 633.396 วินาทีต่อชุดตัวอย่าง โดยในชุดข้อมูลนี้จะไม่สามารถทำการเปรียบเทียบผลเฉลยกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตได้ เนื่องจากวิธีดังกล่าวไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

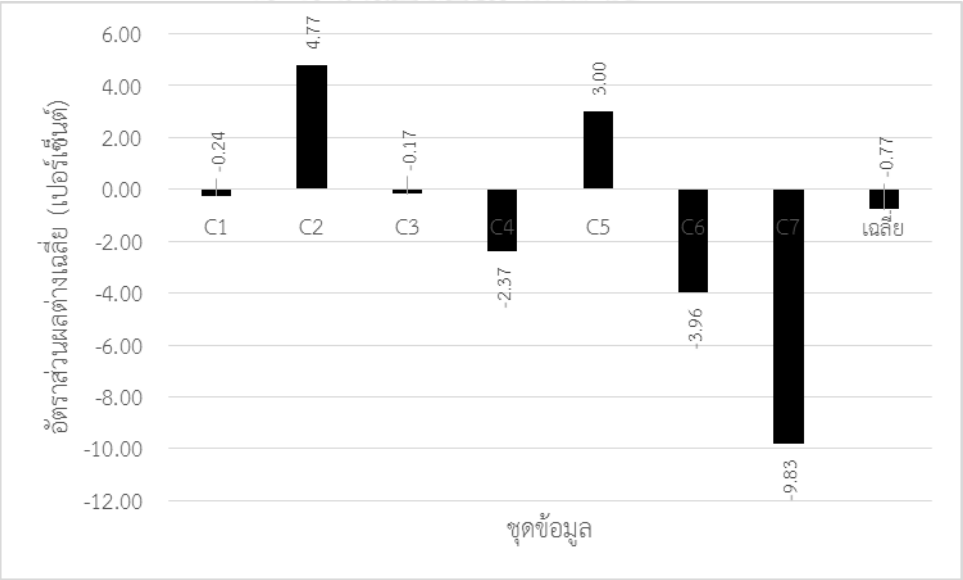
จากผลการทดสอบชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยจะพบว่า วิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ทุกชุดตัวอย่างในชุดข้อมูล C1 ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่มีขนาดเล็กที่สุด แต่เมื่อทำการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้หนึ่งชุดตัวอย่างในชุดข้อมูล C3 ส่วนชุดตัวอย่างที่เหลือสามารถหาได้แค่เพียงผลเฉลยที่เป็นไปได้แค่เพียงเท่านั้น เช่นเดียวกับชุดข้อมูล C2, C4 และ C5 ที่สามารถหาได้แค่เพียงผลเฉลยที่เป็นไปได้แต่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดเช่นกันในทุกชุดตัวอย่าง สุดท้ายสำหรับชุดข้อมูล C6 และ C7 ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าชุดข้อมูลอื่นๆ เป็นอย่างมากพบว่า วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนี้ไม่สามารถหาผลเฉลยภายในระยะเวลาที่กำหนดในทุกชุดตัวอย่างของทุกชุดข้อมูล ส่วนวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีแยกปัญหานั้นสามารถหาผลเฉลยได้ทุกชุดตัวอย่างในชุดข้อมูล C1 และ C2 และสามารถหาผลเฉลยได้ในบางชุดตัวอย่างในชุดข้อมูลที่เหลือ โดยในชุดข้อมูล C3 สามารถหาผลเฉลยได้เกือบทุกชุดตัวอย่าง ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยได้แค่เพียงชุดตัวอย่างเดียว ส่วนชุดข้อมูล C4 จะพบว่าสามารถหาผลเฉลยได้แค่เพียงหนึ่งชุดตัวอย่างเท่านั้น เนื่องจากชุดข้อมูลที่ 4 เป็นชุดข้อมูลที่ทำการพิจารณาความยาวคาบการวางแผนที่ยาวกว่าชุดข้อมูลอื่นๆ ซึ่งจากเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงส่งผลต่อ

ขนาดของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าที่มีจำนวนสมการเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยนานมากยิ่งขึ้นเช่นกันจนทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ในเกือบทุกชุดตัวอย่าง ต่อมาชุดข้อมูล C5 จะสามารถหาผลเฉลยได้ 5 ชุดตัวอย่าง ซึ่งในชุดข้อมูล C5 เป็นการเพิ่มจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่ใช้ในปัญหา โดยเมื่อจำนวนเรือขนส่งสินค้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้จำนวนตัวแปรในปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นตามจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้นมา จึงทำให้ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและส่งผลต่อความสามารถในการหาผลเฉลย และชุดข้อมูล C6 และ C7 จะสามารถหาผลเฉลยได้ 9 และ 6 ชุดตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งชุดข้อมูลทั้งสองเป็นการเพิ่มจำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภคที่พิจารณาในปัญหา โดยเมื่อมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้มีการพิจารณาจำนวนเส้นทางการเดินทางและสมการเงื่อนไขในปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้าที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลต่อเวลาในการหาผลเฉลยของวิธีแยกปัญหา สุดท้ายวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะสามารถหาผลเฉลยได้ทุกชุดตัวอย่างของทุกชุดข้อมูล ซึ่งจากความสามารถในการหาผลเฉลยข้างต้นจึงสามารถบอกได้ว่า ขนาดของปัญหาส่งผลต่อความสามารถในการหาผลเฉลยภายในระยะเวลาที่กำหนดของวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ในปัญหาที่มีขนาดเล็ก สามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้แต่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และไม่สามารถหาผลเฉลยได้เลยในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่จนเกินไป แต่ไม่ส่งผลต่อวิธีแยกปัญหา โดยสามารถสังเกตุได้จากความสามารถในการหาผลเฉลยของปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยได้ในบางชุดตัวอย่างของแต่ละชุดข้อมูลที่มีขนาดแตกต่างกันทั้งปัญหาที่มีขนาดเล็กและใหญ่ และจะไม่ส่งผลต่อวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์เช่นกัน เนื่องจากสามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่างของทุกชุดข้อมูล

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยระหว่างวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ กับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต จะได้อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยของแต่ละชุดข้อมูลดังรูปที่ 46 ซึ่งจะสามารถทำการเปรียบเทียบได้แค่เพียงชุดข้อมูล C1, C2, C3, C4 และ C5 ส่วนชุดข้อมูล C6 และ C7 จะไม่สามารถทำการเปรียบเทียบได้ เนื่องจากวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตไม่สามารถหาผลเฉลยได้ในชุดข้อมูลดังกล่าว โดยวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะให้ผลเฉลยเฉลี่ยแย่กว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่ 7.44 และ 7.75 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยของวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้กับวิธีแยกปัญหา จะได้อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยของแต่ละชุดข้อมูลดังรูปที่ 47 ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบในชุดตัวอย่างของแต่ละชุดข้อมุลที่วิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้ โดยจะพบว่าวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีแยกปัญหาโดยเฉลี่ยประมาณ 0.77 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง



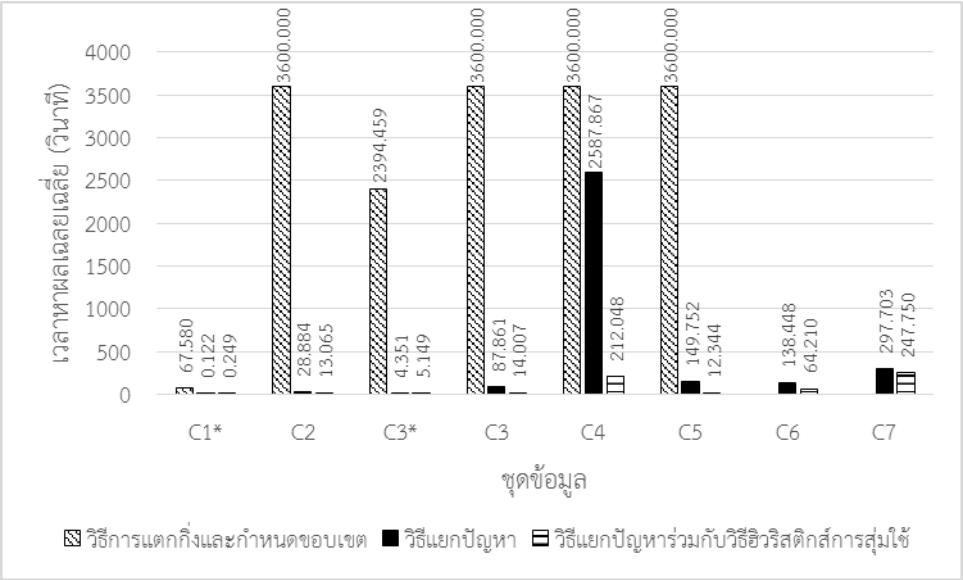
รูปที่ 46 อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยเทียบกับวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ



รูปที่ 47 อัตราส่วนผลต่างเฉลี่ยเทียบกับวิธีแยกปัญหาของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ

และเมื่อพิจารณาเวลาหาผลเฉลย จะสามารถคำนวณเวลาหาผลเฉลยเฉลี่ยของชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยได้ในแต่ละชุดข้อมูลของวิธีการหาผลเฉลยต่างๆ ดังรูปที่ 48 โดยในชุดข้อมูล C3 จะแยกพิจารณาเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่สามารถและไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และเวลาหาผลเฉลยของวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในชุดข้อมูล C6 และ C7 จะไม่ถูกพิจารณา เนื่องจากไม่มีชุดตัวอย่างในชุดข้อมูลดังกล่าวที่สามารถทำการหาผลเฉลยด้วยวิธีข้างต้นได้เลย ซึ่งจากรูปที่ 48 จะพบว่าวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่น้อยกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเป็นอย่างมาก และวิธีการแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การ

สุ่มใช้ใช้เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ยที่น้อยกว่าวิธีแยกปัญหาในเกือบทุกชุดข้อมูล ยกเว้นแค่เพียงชุดข้อมูล C1 และ C3 ในส่วนของชุดตัวอย่างที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด



รูปที่ 48 เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ยของชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพ

จากการวิเคราะห์ข้างต้นจึงสามารถบอกได้ว่าวิธีแยกปัญหาสามารถช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก แต่ยังพบความไม่แน่นอนในเวลาการหาผลเฉลย ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยภายในระยะเวลาที่กำหนดในบางชุดตัวอย่างของแต่ละชุดข้อมูล โดยคุณภาพของผลเฉลยที่ได้จะแย่กว่าผลเฉลยของวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอยู่โดยเฉลี่ยประมาณ 7.44 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง และเมื่อนำวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เข้ามาใช้ร่วมกับวิธีแยกปัญหาจะพบว่าสามารถช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลยจากวิธีแยกปัญหาลงไปได้อีก และมีเวลาในการหาผลเฉลยที่แน่นอนยิ่งขึ้น โดยสามารถหาผลเฉลยได้ทุกชุดตัวอย่างของแต่ละชุดข้อมูล นอกจากนั้นยังช่วยพัฒนาคุณภาพของผลเฉลยได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางในการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางร่วมกับปัญหาการบริหารจัดการสินค้าคงคลังของสินค้าประเภทของเหลวจำนวนหลายชนิดทางทะเลด้วยเรือที่มีหลายช่องบรรจุ และพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาดังกล่าวพร้อมกับทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยที่ได้พัฒนาขึ้นมา

ผู้วิจัยได้ทำการนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทางที่ได้สร้างขึ้นมาเพื่อจำลองปัญหา และนำเสนอวิธีการหาผลเฉลยของปัญหา ได้แก่ วิธีแยกปัญหา (Decomposition Algorithm) และวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ (Vessel Assignment Heuristic using Random Tabu Search) ซึ่งวิธีแยกปัญหาจะช่วยทำการลดขนาดของปัญหาที่พิจารณาโดยการแบ่งปัญหาออกเป็นหลายๆ ส่วน เพื่อช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลย โดยในงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางและตารางการเดินทางในคาบการวางแผน (Vessel Tour and Scheduling Problem) และปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า (Vessel Assignment and Replenishment Problem) แต่จากความซับซ้อนของตัวปัญหาจึงทำให้ผู้วิจัยพิจารณาพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ขึ้นมาช่วยในการแก้ปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า ได้แก่ วิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ ซึ่งจะนำมาใช้ร่วมกับวิธีแยกปัญหา โดยจะช่วยลดขนาดของปัญหาการเลือกใช้เรือและปริมาณการเติมสินค้า เพื่อช่วยเพิ่มความแน่นอนของเวลาในการหาผลเฉลย

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบแบบจำลองและวิธีการหาผลเฉลยที่นำเสนอด้วยชุดข้อมูลหลัก 3 ชุดข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1) ชุดข้อมูลศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยต่างๆ โดยจะประกอบไปด้วยชุดข้อมูลจำนวน 5 ชุดช้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูล A1, A2, A3, A4 และ A5 ซึ่งจากการทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลองจะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 59

2) ชุดข้อมูลทดสอบกลุ่มค่าพารามิเตอร์

เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์จำนวนรายชื่อทาบูและข้อจำกัดจำนวนรอบการพัฒนาผลเฉลยที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกัน ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ของวิธีการหาผลเฉลยในส่วนของวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้ โดยชุดข้อมูลที่ใช้จะมีทั้งหมด 7 ชุดข้อมูล คือ ชุดข้อมูล B1, B2, B3, B4, B5, B6 และ B7 ซึ่งผลที่ได้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ ได้แก่ จำนวนรายชื่อทาบู 100 รายชื่อ และจำนวนรอบการพัฒนาผลเฉลยที่ไม่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ติดต่อกันจำนวน 10 รอบ เนื่องจากสามารถให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์กลุ่มอื่นๆ และใช้เวลาในการหาผลเฉลยอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยใช้เวลาสูงสุดที่ 346.943 วินาที ซึ่งถือว่าเป็นระยะเวลาที่ไม่นานมากนัก

ตารางที่ 59 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อปัจจัยการเปลี่ยนแปลง

ลักษณะความสัมพันธ์		ปัจจัยการเปลี่ยนแปลง				
		จำนวนสินค้า	จำนวนท่าเรือผู้บริโภคสูงสุดต่อเส้นทาง	ความยาวคาบการวางแผน	จำนวนเรือขนส่งสินค้า	จำนวนท่าเรือผู้ผลิตและผู้บริโภค
ตัวแปร	x_p	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	g_{vit}	คงที่	คงที่	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
	y_{pk}	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	l_{pmk}	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
สมการเงื่อนไข	การอนุรักษ์การไหล	คงที่	คงที่	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
	การนับจำนวนเรือ	คงที่	คงที่	คงที่	เส้นตรง	คงที่
	ความสามารถการขนถ่ายสินค้า	คงที่	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ปริมาณการเติมสินค้าสูงสุด	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ปริมาณการเติมสินค้าขั้นต่ำ	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง	คงที่	เส้นตรง
	ความสัมพันธ์ระหว่างเรือและช่องบรรจุ	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและชนิดสินค้า	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
	ความสัมพันธ์ระหว่างช่องบรรจุและปริมาณการเติมสินค้า	คงที่	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เส้นตรง	เส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล

3) ชุดข้อมูลทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลย

เป็นชุดข้อมูลที่ใช้ในการตรวจสอบความสามารถในการหาผลเฉลย คุณภาพของผลเฉลยและเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธีการหาผลเฉลยต่างๆ ซึ่งชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบจะประกอบไปด้วย 7 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูล C1, C2, C3, C4, C5, C6 และ C7 โดยแต่ละชุดข้อมูลจะประกอบไปด้วย 10 ชุดตัวอย่าง ซึ่งจากการตรวจสอบความสามารถในการหาผลเฉลยจะพบว่า วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ในชุดข้อมูลที่มีขนาดของปัญหาเล็กที่สุด แต่สามารถหาได้แค่เพียงผลเฉลยที่เป็นไปได้ในชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ในบางชุดตัวอย่างในบางชุดข้อมูล ส่วนปัญหาที่มีขนาดใหญ่จนเกินไปจะไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้เลย และการหาผลเฉลยด้วยวิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะพบว่าขนาดของปัญหาไม่ได้ส่งผลต่อเวลาในการหาผลเฉลย โดยวิธีแยกปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้ทุกชุดตัวอย่างในบางชุดข้อมูลและสามารถหาผลเฉลยในบางชุดตัวอย่างได้ในบางชุดข้อมูลเช่นกัน ส่วนวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้สามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่างของทุกชุดข้อมูล เมื่อพิจารณาคุณภาพของผลเฉลยจะพบว่า วิธีแยกปัญหาและวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะให้ผลเฉลยที่แย่กว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตประมาณ 7.44 และ 7.75 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง ตามลำดับ และวิธีแยกปัญหาร่วมกับวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้จะให้ผลเฉลยที่

ดีกว่าวิธีแยกปัญหาอยู่ประมาณ 0.77 เปอร์เซ็นต์ต่อชุดตัวอย่าง และสุดท้ายในส่วนของเวลาการหาผลเฉลยจะพบว่า วิธีแยกปัญหาสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลยได้เป็นอย่างมาก แต่ยังมีความไม่แน่นอนในเวลาการหาผลเฉลย ซึ่งไม่สามารถที่จะหาผลเฉลยได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในบางชุดตัวอย่าง และเมื่อนำวิธีฮิวริสติกส์การสุ่มใช้เข้ามาช่วยวิธีแยกปัญหาในการหาผลเฉลยจะสามารถช่วยลดเวลาในการหาผลเฉลยลงไปได้อีก และสามารถช่วยเพิ่มความแน่นอนในด้านเวลาการหาผลเฉลยได้อีกด้วย โดยสามารถหาผลเฉลยได้ในทุกชุดตัวอย่างของแต่ละชุดข้อมูล

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองปัญหาการจัดเส้นทางและกำหนดระดับสินค้าคงคลังในการเดินเรือแบบหลายช่องบรรจุด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รูปแบบเส้นทาง ซึ่งได้พิจารณาสร้างสมการเงื่อนไขจากเงื่อนไขจริงที่เกิดขึ้น แต่อาจยังมีความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นจากการจำลองปัญหา อาทิเช่น ด้านระยะเวลาที่สามารถทำการขนส่งสินค้า (Time Window) ซึ่งในปัญหาที่พิจารณานั้นจะทำการพิจารณาช่วงระยะเวลาในการขนส่งสินค้าที่แน่นอน แต่ในความเป็นจริงนั้นช่วงเวลาในการขนส่งสินค้าอาจมีการยืดหยุ่นภายในช่วงเวลาที่สามารถทำการขนส่งได้ เป็นต้น นอกจากนั้นในการพิจารณาปัญหานี้ได้ทำการสร้างเส้นทางการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาผลเฉลย ซึ่งเส้นทางการเดินทางดังกล่าวนี้มีจำนวนเส้นทางที่มาก ดังนั้นหากสามารถลดจำนวนเส้นทางการเดินทางที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือเป็นเส้นทางที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์กับปัญหาที่พิจารณาก่อนที่จะทำการหาผลเฉลย จะสามารถช่วยลดขนาดของปัญหาลงได้เป็นอย่างมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Aghezzaf, E., Raa, B., & Landeghem, H. V. (2006). Modeling Inventory Routing Problems in Supply Chains of High Consumption Products. *European Journal of Operational Research, 169*(3), 1048-1063.

Andersson, H., Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., & Løkketangen, A. (2010). Industrial Aspects and Literature Survey: Combined Inventory Management and Routing. *Computers & Operations Research, 37*(9), 1515-1536.

Archetti, C., Bertazzi, L., Hertz, A., & Speranza, G. (2012). A Hybrid Heuristic for an Inventory Routing Problem. *INFORMS Journal on Computing, 24*(1), 101-116.

Christiansen, M., Fagerholt, K., Flatberg, T., Haugen, Ø., Kloster, O., & Lund, E. H. (2011). Maritime Inventory Routing with Multiple Products: A Case Study from the Cement Industry. *European Journal of Operational Research, 208*(1), 86-94.

Christiansen, M., & Nygreen, B. (1998). Modelling Path Flows for a Combined Ship Routing and Inventory Management Problem. *Annals of Operations Research, 82*, 391-413.

Coelho, L. C., Cordeau, J., & Laporte, G. (2012). The Inventory-Routing Problem with Transshipment. *Computers & Operations Research, 39*(11), 2537-2548.

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

Kim, J., & Kim, Y. (2000). A Lagrangian Relaxation Approach to Multi-Period Inventory/Distribution Planning. *Journal of the Operational Research Society, 51*, 364-370.

Persson, J. A., & Göthe-Lundgren, M. (2005). Shipment Planning at Oil Refineries using Column Generation and Valid Inequalities. *European Journal of Operational Research, 163*(3), 631-652.

Qu, W. W., Bookbinder, J. H., & Iyogun, P. (1999). An Integrated Inventory-Transportation System with Modified Periodic Policy for Multiple Products. *European Journal of Operational Research, 115*(2), 254-269.

Ronen, D. (2002). Maritime Inventory Routing: Shipments Planning. *Journal of the Operational Research Society, 53*, 108-114.

Sadok, A. (2010). A Hybrid Grouping Genetic Algorithm for the Inventory Routing Problem with Multi-Tours of the Vehicle. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, 1*, 42-61.

Savelsbergh, M., & Song, J. (2008). An Optimization Algorithm for the Inventory Routing Problem with Continuous Moves. *Computers & Operations Research, 35*(7), 2266-2282.

Siswanto, N., Essam, D., & Sarker, R. (2011). Solving the Ship Inventory Routing and Scheduling Problem with Undedicated Compartments. *Computers & Industrial Engineering, 61*(2), 289-299.

Song, J., & Furman, K. C. (2013). A Maritime Inventory Routing Problem: Practical Approach. *Computers & Operations Research, 40*(3), 657-665.

Stålhane, M., Rakke, J. G., Moe, C. R., Andersson, H., Christiansen, M., & Fagerholt, K. (2012). A Construction and Improvement Heuristic for a Liquefied Natural Gas Inventory Routing Problem. *Computers & Industrial Engineering, 62*(1), 245-255.

Yu, Y., Chen, H., & Chu, F. (2008). A New Model and Hybrid Approach for Large Scale Inventory Routing Problems. *European Journal of Operational Research, 189*(3), 1022-1040.

ธาระรูป, ช. (2552). การวิเคราะห์ต้นทุนและการลดต้นทุนโลจิสติกส์ในคลังสินค้า กรณีศึกษา:บริษัทกาวอุตสาหกรรม.

สุทธิวาทนฤพุฒิ, ก. (2553). การขนส่งสินค้าทางทะเล (*Sea Transport)*. กรุงเทพมหานคร: บริษัทสำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนวคุณ พิมพ์ทิมานนท์ เป็นบุตรของนายสุรินทร์ พิมพ์ทิมานนท์ และนางอังคณา พิมพ์ทิมานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษา และระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University