การวางแผนการควบรวมสินค้าและจองตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับตัวแทนรับส่งสินค้าทางทะเล

นายปกรณ์ รัตนสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FREIGHT CONSOLIDATION AND CONTAINER BOOKING PLANNING FOR SEA FREIGHT FORWARDERS

Mr. Pakorn Rattanasuwan

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวางแผนการควบรวมสินค้าและจองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับตัวแทนรับส่งสินค้าทางทะเล
โดย	นายปกรณ์ รัตนสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญชัย โชมพัตราภรณ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปกรณ์ รัตนสุวรรณ: การวางแผนการควบรวมสินค้าและจองตู้คอนเทนเนอร์สำหรับตัวแทนรับส่งสินค้าทางทะเล. (FREIGHT CONSOLIDATION AND CONTAINER BOOKING PLANNING FOR SEA FREIGHT FORWARDERS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. มาโนช โลหเตปานนท์, 95 หน้า.

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการวางแผนการจัดการขนส่งสินค้าสำหรับบริษัทตัวแทนผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทางทะเล (Sea Freight Forwarder) ที่ให้บริการในลักษณะไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ (Less than Container Load: LCL) หน้าที่ที่สำคัญในการวางแผนคือการจองตู้คอนเทนเนอร์และควบรวมสินค้าเพื่อจัดเข้าตู้คอนเทนเนอร์ เพื่อทำการขนส่งไปยังจุดหมายตามความต้องการของลูกค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการแก้ปัญหา เพื่อช่วยการตัดสินใจเลือกจำนวนตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทที่จะต้องจองในแต่ละเส้นทางและจัดเส้นทางการส่งสินค้าแต่ละคำสั่งโดยใช้ประโยชน์จากการควบรวมสินค้าภายใต้เงื่อนไขสภาวะการดำเนินงานจริง โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของต้นทุนของบริษัทตัวแทนผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเป็นหลัก ข้อมูลที่ใช้ทดสอบมาจากบริษัทตัวแทนขนส่งสินค้าขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแผนการดำเนินการที่ได้จากแบบจำลองสามารถสร้างผลกำไรได้ดีกว่าแผนการดำเนินการที่ได้จากการวางแผนด้วยมืออย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ปกรณ์ รัตนสุวรรณ
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2553

#5270616721 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: FREIGHT FORWARDER / CONTAINER BOOKING / SHIPMENT ROUTING / SHIPMENT CONSOLIDATION

PAKORN RATTANASUWAN: FREIGHT CONSOLIDATION AND CONTAINER BOOKING PLANNING FOR SEA FREIGHT FORWARDERS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. MANOJ LOHATEPANONT, Ph.D, 95 pp.

This research studies on sea the transportation planning for a freight forwarder, who offers Less than Container Load (LCL) service. The planning decisions involve container booking from ocean carriers and shipment consolidation to booked containers. This research proposes mathematical models and approach to solve this problem. The model simultaneously optimizes the number of containers of different types to be booked and the routing of shipments taking advantage of consolidation opportunities. Data are obtained from a large Thai freight forwarder and testing show significant improvement over manual planning process.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department: Civil Engineering Student's Signature.....

Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature.....

Academic Year: 2010

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์ สำหรับนิสิตจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อย่างไรก็ตามผลลัพธ์และความคิดเห็นที่ปรากฏในบทความนี้เป็นของผู้เขียนเท่านั้น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอุปการะเลี้ยงดู สั่งสอน อบรม ให้การสนับสนุนในทุกๆด้านและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมาจนทำให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้ความสามารถและประสบความสำเร็จเฉกเช่นในปัจจุบัน

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่คอยให้คำปรึกษาและแนวทางในการดำเนินการวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อย่างดียิ่ง

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์ สำหรับคำปรึกษาวิทยานิพนธ์และความกรุณาที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการทำงานวิจัยและการประกอบอาชีพในอนาคต

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณนิสิตสาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่งทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือรวมทั้งให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ปัญหาตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจ 5

1.5 องค์ความรู้ที่ได้รับ 8

1.6 ผลประโยชน์จากการวิจัย 8

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ 9

2.1.1 ประเภทเรือเดินสมุทร 9

2.1.2 ผู้ให้บริการขนส่งทางทะเลแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ 11

2.1.3 รูปแบบการขนส่งของผู้ให้บริการ 11

2.1.4 ข้อกำหนดของการซื้อขายกับผู้ว่าจ้าง 12

2.2 การทบทวนงานวิจัยในอดีต 14

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งทางทะเล 14

2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการหาผลเฉลยของแบบจำลอง 17

2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 26

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 27

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำทางคณิตศาสตร์และเทคนิคการหาผลเฉลย 29

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 29

4.1.1 สมมติฐานของแบบจำลอง 29

4.1.2 นิยามของปัญหา 32

หน้า

4.1.3 นิยามสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง 33
4.1.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาหลัก 34
4.2 เทคนิคการหาผลเฉลย 36
4.2.1 การแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ (Bender's Decomposition) 36
4.2.2 การหาเฉลยแบบ 2 เฟส (2 Phase Solution Method: 2PM) 40
4.2.4. การหาผลเฉลยด้วยเทคนิค "ทยอยแก้ปัญหา" (Incremental Solution Method: ISM) 44
4.3 สรุปการพัฒนาแบบจำทางคณิตศาสตร์และเทคนิคการหาผลเฉลย 48
บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลจากการวิจัย 50
5.1 ประสิทธิภาพของเทคนิคการหาผลเฉลย 50
5.1.1 ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง 50
5.1.2 ประสิทธิภาพของเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต 51
5.1.3 ประสิทธิภาพของเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ 51
5.1.4 ประสิทธิภาพของเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส 53
5.1.5 ประสิทธิภาพของเทคนิคทยอยแก้ปัญหา 58
5.2 การเลือกเทคนิคการหาผลเฉลยที่เหมาะสม 65
5.2.1 วิเคราะห์ผลจากการทดลองในอดีต 65
5.2.2 วิเคราะห์การทดลองเพิ่มเติม 69
5.2.3 สรุปการวิเคราะห์ผล 74
5.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลการดำเนินการจริง 75
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย 83
6.1 สรุปการวิเคราะห์ผลจากการวิจัย 83
6.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต 84
รายการอ้างอิง 85
ภาคผนวก 87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 91

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ต้นทุนของการจองตู้คอนเทนเนอร์ตัวอย่าง 6
1.2 ความสามารถบรรจุสุทธิของตู้คอนเทนเนอร์ (Effective Available Capacity) 6
1.3 ข้อมูลลูกค้าตัวอย่าง 7
2.1 การแจกแจงผู้รับผิดชอบสินค้าตามประเภทข้อกำหนดในการส่งมอบตามภาคส่วนในการขนส่ง 13
5.1 การแจกแจงลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง 50
5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต 52
5.3 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส 53
5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส 55
5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส (ต่อ) 55
5.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส (ต่อ) 57
5.7 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา 58
5.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา 59
5.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ) 59
5.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ) 60
5.11 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ) 62
5.12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ) 62
5.13 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ) 62
5.14 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ 66
5.15 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ (ต่อ) 67
5.16 การแจกแจงลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพิ่มเติม 70
5.17 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเพิ่มเติมของการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ 71
ผ.1 ตัวอย่างรูปแบบการขนส่งที่ใช้ในการส่งไปยังเมืองปลายทาง 88
ผ.2 ตัวอย่างความเสี่ยงสินค้าเสียหายแจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง 89
ผ.3 ตัวอย่างน้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับและปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทที่ใช้ในการให้บริการ 89
ผ.4 ตัวอย่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าของตามรูปแบบการขนส่ง 90

ตารางที่ หน้า

ผ.5 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง 91
ผ.6 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ) 92
ผ.7 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ) 93
ผ.8 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ) 94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1.1 การแจกแจงมูลค่าสินค้าขาเข้าและออกรายปีของประเทศไทย 1
1.2 สัดส่วนมูลค่าสินค้านำเข้าปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง 2
1.3 สัดส่วนน้ำหนักสินขานำเข้าปี 2552 แบ่งตามรูปแบบการขนส่ง 2
1.4 สัดส่วนมูลค่าสินค้าส่งออกปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง 3
1.5 สัดส่วนน้ำหนักสินค่าส่งออกปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง 3
1.6 โครงข่ายตัวอย่าง 5
1.7 แผนการขนส่งสินค้าตัวอย่างเพื่อให้เกิดรายได้สูงสุด 7
1.8 แผนการขนส่งสินค้าตัวอย่างเพื่อให้เกิดกำไรสูงสุด 7
2.1 จุดสิ้นสุดความรับผิดชอบของผู้ส่งออกสินค้าตามประเภทข้อกำหนดการซื้อขาย 13
2.2 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ 18
2.3 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ (ต่อ) 19
2.4 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ (ต่อ) 19
2.5 กระบวนการหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ 21
2.6 กระบวนการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์ 25
4.1 ฟังก์ชั่นรายได้ของการขนส่งสินค้าส่วนท่าเรือต้นทางและส่วนระหว่างการขนส่ง 31
4.2 ฟังก์ชั่นรายได้ของการขนส่งสินค้าส่วนท่าเรือปลายทาง 32
4.3 วิธีการผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา 49
5.1 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตแจงตามจำนวนคำสั่งส่งสินค้า 52
5.2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลเฉลยโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตแจกแจงตามจำนวนคำสั่งส่งสินค้า 53
5.3ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา 56
5.4 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา 56
5.5 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา (ต่อ) 57

ภาพที่ หน้า

5.6 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา 60
5.7 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา 61
5.8 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหา แจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา (ต่อ) 61
5.9 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคทยอยแก้ปัญหา แจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ 63
5.10 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ 64
5.11 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ (ต่อ) 64
5.12 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ 67
5.13 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ 68
5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (ต่อ) 68
5.15 จำนวนตัวแปรเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ 68
5.16 จำนวนสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ 69
5.17 จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ 69
5.18 ผลกำไรจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) 72
5.19 ผลกำไรจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) (ต่อ) 72
5.20 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) 72
5.21 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) (ต่อ) 73
5.22 จำนวนตัวแปรเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) 73
5.23 จำนวนสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) 73
5.24 จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) 74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ หน้า

5.25 สัดส่วนการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าของลูกค้าชั่วคราวต่อคำสั่งส่งสินค้าทั้งหมดของเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (เพิ่มเติม) 75
5.26 จำนวนความถี่ของข้อมูลแจกแจงตามความแตกต่างของผลกำไร 76
5.27 สัดส่วนความถี่สะสมของข้อมูลแจกแจงตามความแตกต่างของผลกำไร 76
5.28 สัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากการดำเนินงานจริง 77
5.29 สัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากผลเฉลยของแบบจำลอง 77
5.30 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากการดำเนินงานจริง 78
5.31 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากผลเฉลยของแบบจำลอง 78
5.32 สัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากการดำเนินงานจริง 79
5.33 สัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากผลเฉลยของแบบจำลอง 79
5.34 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากการดำเนินงานจริง 80
5.35 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากผลเฉลยของแบบจำลอง 80
5.36 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายจากการดำเนินงานจริงและแบบจำลอง 81

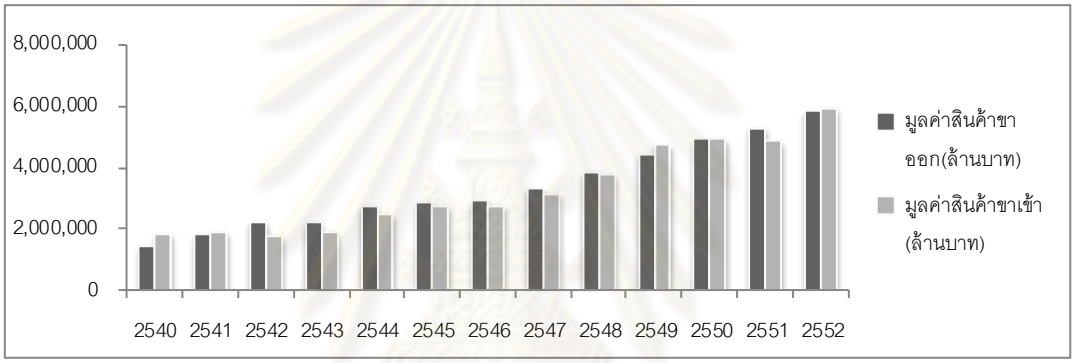
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

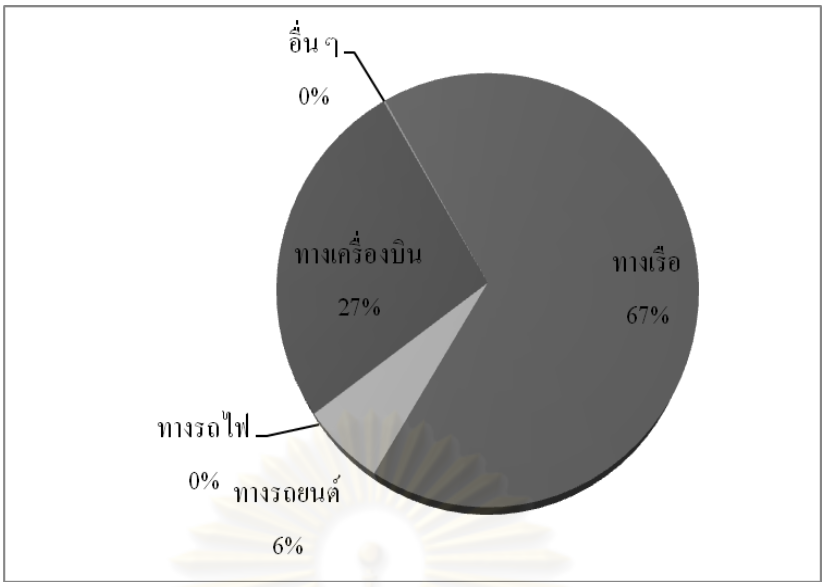
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเติบโตของธุรกิจนำเข้าและส่งออกสินค้าระหว่างประเทศดังภาพที่ 1 ส่งผลให้ธุรกิจการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศมีการเติบโตตาม ธุรกิจการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 รูปแบบตามประเภทการขนส่งได้แก่ การขนส่งสินค้าทางอากาศ การขนส่งสินค้าทางบก การขนส่งสินค้าทางน้ำ การขนสินค้าทางราง และการขนส่งสินค้าทางท่อ รูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป

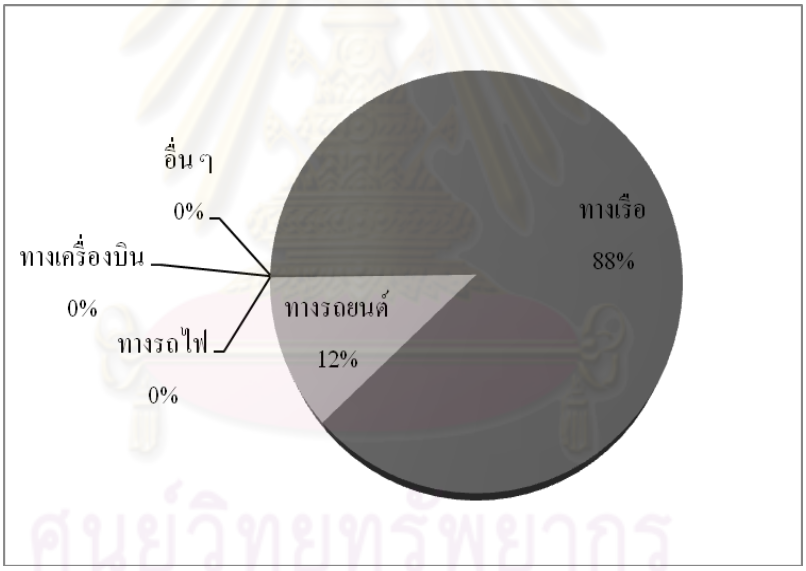


ภาพที่ 1.1 การแจกแจงมูลค่าสินค้าขาเข้าและออกรายปีของประเทศไทย
ที่มา ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

การขนส่งสินค้าทางน้ำเหมาะกับสินค้าที่มีอายุยาวนานเพราะเป็นรูปแบบการขนส่งที่ใช้ระยะเวลานาน แต่สามารถขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมาก มีขนาดใหญ่ หรือเป็นสินค้าที่จัดส่งคราวละจำนวนมาก โดยต้นทุนในการขนส่งทางเรือมีต้นทุนต่ำกว่าการขนส่งรูปแบบอื่น ข้อดีของการขนส่งสินค้าทางน้ำจึงส่งผลให้เป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่มีการใช้บริการมากที่สุด ดังจะเห็นได้จากการเปรียบเทียบน้ำหนักและมูลค่าสินค้าที่นำเข้าและส่งออกของระบบการขนส่งต่างดังภาพที่ 1.2 ถึงภาพที่ 1.5



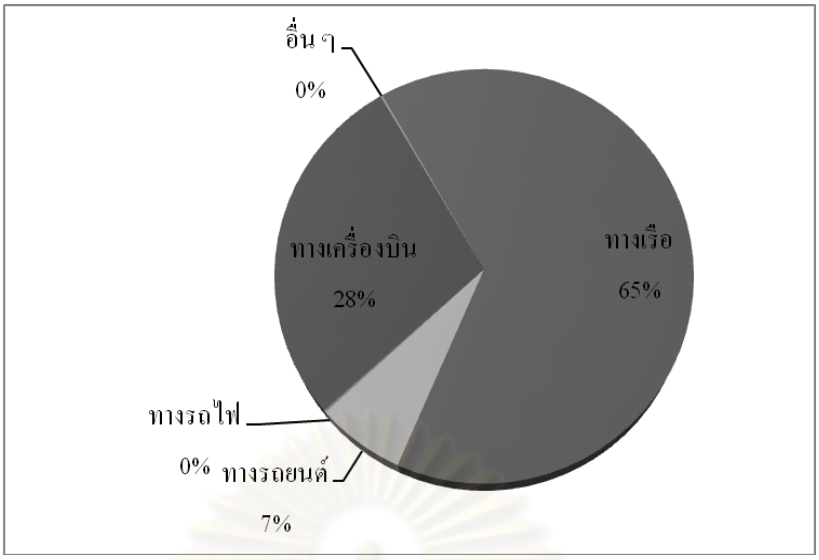
ภาพที่ 1.2 สัดส่วนมูลค่าสินค้านำเข้าปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง
ที่มา กระทรวงคมนาคม



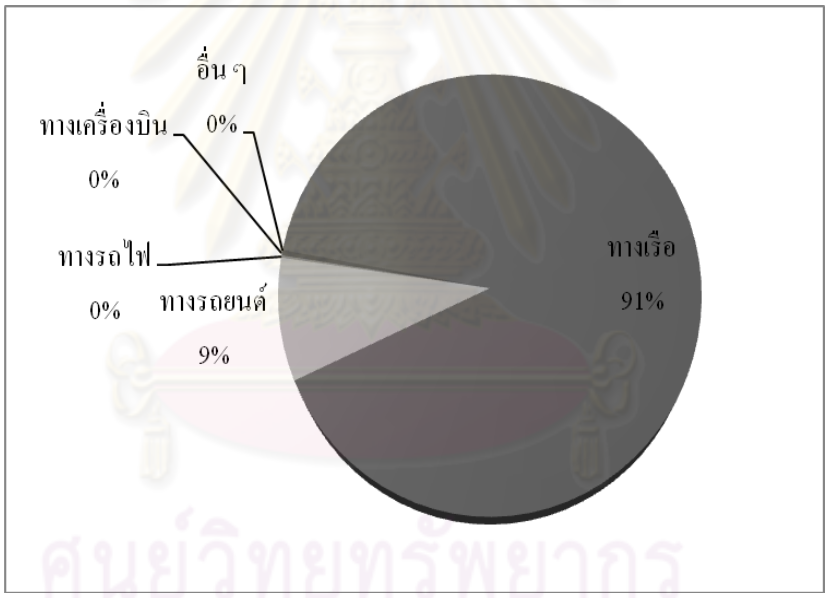
ภาพที่ 1.3 สัดส่วนน้ำหนักสินค้านำเข้าปี 2552 แบ่งตามรูปแบบการขนส่ง
ที่มา กระทรวงคมนาคม

การขนส่งสินค้าทางเรือสามารถทำได้ 2 รูปแบบได้แก่ การขนส่งสินค้าแบบเทกอง (Bulk) และการขนส่งสินค้าบนระบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container) ในปัจจุบันการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่จะขนส่งผ่านเรือที่มีระบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container Ship) เนื่องจากระบบคอนเทนเนอร์ลดเวลาในการเคลื่อนย้ายสินค้าและเพิ่มความปลอดให้กับสินค้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1.4 สัดส่วนมูลค่าสินค้าส่งออกปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง
ที่มา กระทรวงคมนาคม



ภาพที่ 1.5 สัดส่วนน้ำหนักสินค่าส่งออกปี 2552 แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง
ที่มา กระทรวงคมนาคม

การขนส่งทางเรือผ่านระบบตู้คอนเทนเนอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ การขนส่งเต็มตู้คอนเทนเนอร์ (Full Container Load: FCL) และการขนส่งแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ (Less than Container Load: LCL) โดยการขนส่งแบบเต็มตู้คอนเทนเนอร์เป็นรูปแบบการขนส่งที่ตรงไปตรงมา ที่ผู้ซื้อขายสินค้าระหว่างประเทศจะต้องทำการเช่าตู้คอนเทนเนอร์เพื่อใส่สินค้าเพียงผู้เดียวไม่ว่าจะใช้เต็มความจุของตู้คอนเทนเนอร์หรือไม่ ในทางกลับกันการขนส่งแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์เป็นระบบการขนส่งที่ซับซ้อน เนื่องจากสินค้าอาจส่ง

ในตู้คอนเทนเนอร์ร่วมกับสินค้าของผู้ซื้อขายสินค้าระหว่างประเทศรายอื่น โดยการจัดสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ (Consolidation) เป็นหน้าที่ของผู้เช่าตู้คอนเทนเนอร์นั้นๆ ทั่วไปแล้วผู้ที่ให้บริการขนส่งแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์มี 2 ประเภทได้แก่ ตัวแทนสายการเดินเรือ (Ship Agent) และตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล (Sea Freight Forwarder)

การวางแผนการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัญหาย่อยได้แก่ ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และปัญหาการควบรวมสินค้า โดยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการจองส่งผลต่อความสามารถในการบริการและต้นทุนของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล ในส่วนของการควบสินค้าและทำการบรรจุใส่ตู้คอนเทนเนอร์จะส่งผลต่อรายได้และการใช้ประโยชน์ของตัวแทนขนส่งสินค้า จากการที่ปัญหาย่อยทั้ง 2 มีความสัมพันธ์กันทำให้เกิดความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นในการวางแผนขนส่งสินค้า

งานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยมีความสนใจในการทำงานวิจัยเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวางแผนขนส่งสินค้าแบบการขนส่งแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล โดยนำบริษัทต่างชาติเป็นกรณีศึกษาในการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเป็นสร้างแบบจำลองบูรณาการสำหรับการควบรวมสินค้า และการจองตู้คอนเทนเนอร์
2. เพื่อพัฒนาวิธีการหาคำตอบของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของผลเฉลยจากแบบจำลองกับผลการดำเนินงานจริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

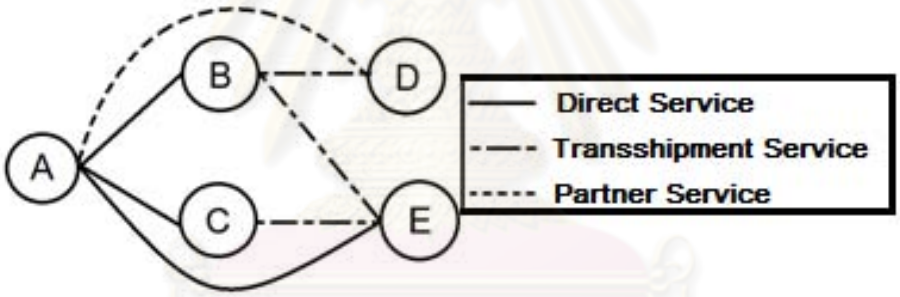
งานวิจัยนี้จะทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งสินค้ารายสัปดาห์ของตัวแทนขนส่งระหว่างประเทศ โดยอ้างอิงจากข้อมูลจากบริษัทตัวแทนขนส่งที่รับจ้างขนส่งสินค้าทางเรือผ่านระบบตู้คอนเทนเนอร์แบบไม่เต็มตู้ ในปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีการให้บริการส่งสินค้าไปยัง 29 สถานี มีศูนย์กลางขนส่งสินค้า 2 สถานี โดยทุกเส้นการขนส่งทางจะมีจุดเริ่มต้นการสถานีเดียวกัน

ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะทำการขนส่งสินค้าผ่านรูปแบบการขนส่งที่มีทางเลือกหลากหลาย โดยรูปแบบการขนส่งจะมีความแตกต่างกันระหว่างสถานีปลายทาง ในขณะที่

สินค้าที่ต้องการส่งไปยังสถานีปลายทางเดียวกันอาจถูกส่งผ่านรูปแบบการขนส่งที่แตกต่างกัน และการควบรวมสินค้าเพื่อบรรจุใส่ตู้คอนเทนเนอร์อาจมีสินค้าทางจากหลายสถานีปลายทางรวมกันได้จากการขนส่งสินค้าไปยังบางสถานีปลายทางมีทางเลือกที่หลากหลายและเกิดการใช้ทรัพยากรร่วมกัน หรือสามารถเรียกได้ว่าเป็นการขนส่งผ่านโครงข่ายแต่ไม่ทำการพิจรณาเรื่องการบรรจุใส่ตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง

1.4 ปัญหาตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจ

ในภาพที่ 1.6 ตัวแทนขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มตู้ตัวอย่างเปิดให้บริการขนส่งสินค้าจากสถานี A ไปยัง 4 สถานีปลายทางได้แก่ B C D และ E มีศูนย์กลางขนส่ง 2 สถานีได้แก่ B และ C โดยการขนส่งสินค้าจากสถานี A ไปยังสถานี B และ C สามารถส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงเท่านั้น ส่วนการส่งสินค้าจากสถานี A ไปยังสถานี D สามารถขนส่งได้ 2 รูปแบบได้แก่ การส่งสินค้าผ่านสถานี B หรือการส่งผ่านบริษัทร่วม และการขนส่งสินค้าจากสถานี A ไปยังสถานี E สามารถกระทำได้ 3 รูปแบบดังนี้ การส่งผ่านคอนเทนเนอร์ไปยังเมือง E โดยตรง หรือการส่งสินค้าผ่านสถานี B หรือ C ตามลำดับ ดังภาพที่ 1.6



ภาพที่ 1.6 โครงข่ายตัวอย่าง

ต้นทุนการจองตู้คอนเทนเนอร์จะแตกต่างกันระหว่างขนาดของตู้คอนเทนเนอร์และสถานีปลายทางของการขนส่งแจกแจงได้ดังตารางที่ 1.1 ตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทจะมีความสามารถในการบรรจุสินค้าสุทธิแตกต่างกัน โดยความสามารถบรรจุสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ ความสามารถบรรจุน้ำหนักสุทธิและความสามารถบรรจุปริมาตรสุทธิ ดังตารางที่ 1.2

จากข้อมูลทั้งหมด หากผู้วางแผนของบริษัทตัวอย่างต้องการขนส่งเพื่อให้เกิดรายได้รวมสูงสุด จะสามารถทำการวางแผนขนส่งสิ้นค้าได้ดังนี้ จองตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40’ ไปยังเมือง B โดยทำการบรรจุสินค้าของลูกค้าที่ 1 3 4 และ 6 หลังจากสินค้าของลูกคนที่ 3 4 และ 6 ทำการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางที่เมือง B ไปยังเมืองปลายทางตามที่ลูกค้าต้องการ และจอง

ตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20’ ไปยังเมือง C โดยบรรจุสินค้าของลูกค้าคนที่ 2 และ 5 โดยสินค้าของลูกค้าคนที่ 5 จะถูกส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางที่เมือง C ไปยังเมือง E โดยแผนการขนส่งนี้ไม่ต้องทำการปฏิเสธลูกค้า และสามารถทำกำไรได้ $95 ดังภาพที่ 1.7

อย่างไรก็ตามหากผู้วางแผนของบริษัทตัวอย่างทำการปฏิเสธลูกค้าคนที่ 2 แล้ววางแผนการขนส่งโดย จองตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40’ ไปยังเมือง B โดยทำการบรรจุสินค้าของลูกค้าคนที่ 1 3 4 5 และ 6 โดยสินค้าของลูกค้าคนที่ 3 4 5 และ 6 จะถูกส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางที่เมือง B ไปยังเมืองที่ลูกค้าต้องการ โดยแผนการขนส่งนี้จะสามารถทำกำไรถึง $140 ดังภาพที่ 1.8 การวางแผนการขนส่งสินค้าในลักษณะนี้จะเป็นการวางแผนขนส่งสินค้าที่คำนึงถึงผลกำไรของทั้งโครงข่ายเป็นหลัก

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการนำหลักการหาผลเฉลยที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับการวางแผนจะเกิดผลประโยชน์กับผู้วางแผน ในด้านของแผนการดำเนินงานจะสามารถทำผลกำไรได้มากขึ้นและสามารถดำเนินงานได้ตามสภาวะเงื่อนไขที่กำหนด

ตารางที่ 1.1 ต้นทุนของการจองตู้คอนเทนเนอร์ตัวอย่าง ($)

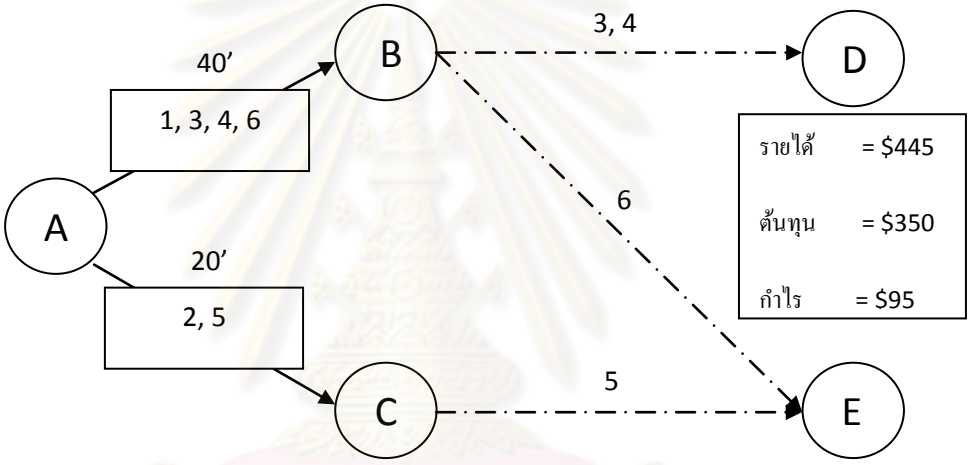
	ประเภทตู้คอนเทนเนอร์		
เมือง	20’	40’	40’ HQ
B	100	140	155
C	80	120	135
E	160	230	250

ตารางที่ 1.2 ความสามารถบรรจุสุทธิของตู้คอนเทนเนอร์ (Effective Available Capacity)

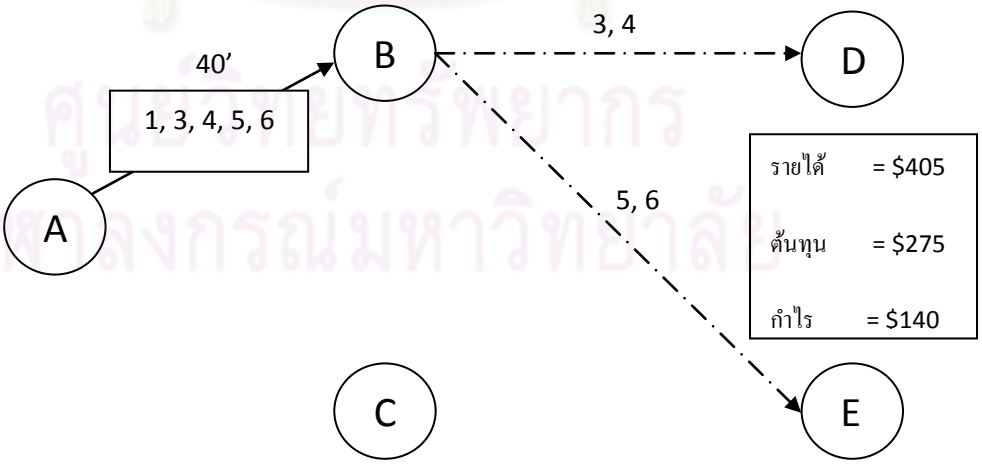
	ประเภทตู้คอนเทนเนอร์		
ความจุ	20’	40’	40’ HQ
ปริมาตร (m^3)	25	50	65
น้ำหนัก (kg)	24,000	26,000	25,000

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลลูกค้าตัวอย่าง

ลูกค้า	เมือง ปลายทาง	ปริมาตร สินค้า (m^3)	น้ำหนัก สินค้า (kg)	รายได้ รวม ($)	ต้นทุนการขนส่ง ($)		
					Transship @ B	Transship @ C	Partner Service
1	B	10	4,000	50	-	-	-
2	C	13	4,800	40	-	-	-
3	D	9	3,000	90	25	-	60
4	D	11	3,500	105	35	-	75
5	E	8	2,400	75	20	25	-
6	E	9	3,200	85	35	40	-



ภาพที่ 1.7 แผนการขนส่งสินค้าตัวอย่างเพื่อให้เกิดรายได้สูงสุด



ภาพที่ 1.8 แผนการขนส่งสินค้าตัวอย่างเพื่อให้เกิดกำไรสูงสุด

1.5 องค์ความรู้ที่ได้รับ

การสร้างแบบจำลองที่บูรณาการการตัดสินใจ 2 ประเภท (การจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้า) และพัฒนาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองดังกล่าว

1.6 ผลประโยชน์จากการวิจัย

1. แบบจำลองที่เป็นการบูรณาการสำหรับการควบรวมสินค้า และการจองตู้คอนเทนเนอร์
2. วิธีการหาคำตอบของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น
3. ทราบถึงประสิทธิภาพของผลเฉลยจากแบบจำลองกับผลการดำเนินงานจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนการขนส่งสินค้าเป็นปัจจัยสำคัญในการทำกำไรของธุรกิจตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล แต่จากการทำการค้นคว้าค้นพบว่าไม่มีการทำการศึกษาด้านนี้มากนัก โดยในบทนี้ผู้วิจัยจะเสนอข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทางทะเลซึ่งเป็นกรณีศึกษาของงานวิจัย และในอีกส่วนคืองานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องในอดีต

2.1 การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทางทะเล

การขนส่งทางทะเลเป็นหนึ่งในรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ โดยการขนส่งทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าที่สำคัญต่อระบบการค้าระหว่างประเทศ เพราะเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถขนส่งสินค้าได้ปริมาณมาก และการขนส่งทางทะเลมีต้นทุนน้อยกว่าการขนส่งรูปแบบอื่น

งานวิจัยนี้จะมุ่งทำการศึกษาไปยังการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ โดยระบบการขนส่งสินค้าแบบเต็มตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเลจะถูกขับเคลื่อนโดย 2 ภาคส่วนได้แก่ ส่วนของผู้ให้บริการ (Supply) และส่วนของผู้ใช้บริการ (Demand) ข้อมูลส่วนของผู้ให้บริการจะกล่าวถึงประเภทเรือที่ใช้ในการบริการ ประเภทผู้ของให้บริการและรูปแบบการการขนส่งให้บริการ ส่วนข้อมูลของผู้ใช้บริการจะแสดงผู้ที่เป็นผู้ว่าจ้างงานแก่ผู้ให้บริการ โดยรายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.1.1 ประเภทเรือเดินสมุทร

การที่ผู้รับให้บริการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศจะสามารถให้บริการแก่ลูกค้าได้จำเป็นต้องมีการวางแผนการให้บริการที่ดี ส่วนหนึ่งในการวางแผนคือการเลือกเรือเดินสมุทรเพื่อบรรทุกสินค้าไปยังท่าเรือปลายทาง การเลือกเรือเดินสมุทรนั้นต้องเข้าใจประเภทของเรือเดินสมุทร โดยทั่วไปการแบ่งประเภทเรือเดินสมุทรสามารถแบ่งได้ตาม 2 ปัจจัยดังนี้ได้แก่ การแบ่งประเภทตามตารางการเดินเรือและการแบ่งประเภทตามรูปแบบการบรรทุกสินค้า

1. การแบ่งประเภทเรือเดินสมุทรตามตารางการเดินเรือ

โดยทั่วไปตารางการเวลาการเดินเรือของเรือเดินสมุทรจะขึ้นอยู่กับสัญญาว่าจ้างการเดินเรือ สัญญาการว่าจ้างการเดินเรือสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

ก. Liner Term คือการว่าจ้างให้เรือเดินสมุทรเดินเรือตามตารางเวลาเดินเรือที่มีกำหนดการแน่นอน

ข. Charter Term คือการว่าจ้างเช่าเหมาเรือเดินสมุทรเพื่อขนส่งสินค้า โดยเรือเดินสมุทรที่ได้รับการว่าจ้างประเภทนี้จะเป็นเรือเดินสมุทรที่ไม่มีตารางการเดินเรือที่แน่นอน ตารางการเดินเรือขึ้นอยู่กับสัญญาเช่าเดินเรือ โดยสัญญาการเช่าออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ การเช่าเหมาเรือเที่ยวเดียว การเช่าเหมาเรือแบบระยะเวลา การเช่าเหมาเฉพาะตัวเรือ และการเช่าเรือแบบผสม

2. การแบ่งประเภทเรือเดินสมุทรตามรูปแบบการบรรทุก

การว่าจ้างเรือประเภทนี้ต้องเลือกประเภทเรือที่มีความเหมาะสมกับสินค้า โดยปกติเรือเดินสมุทรที่มีตารางเวลามีเรือ 3 แบบในการให้บริการได้แก่

ก. เรือส่งสินค้าอเนกประสงค์ดั้งเดิม (Conventional Vessel) เรือประเภทนี้ทำการขนส่งสินค้าโดยการวางสินค้าในเรือ หรือที่เรียกว่า “แบบเทกอง” (Bulk Cargo) เรือประเภทนี้จะบริการส่งสินค้าท่าเรือจากต้นทางสู่ท่าเรือปลายทาง

ข. เรือส่งสินค้าโดยระบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container Vessel) เรือประเภทนี้ทำการขนส่งสินค้าโดยใช้ระบบตู้คอนเทนเนอร์ โดยเรือประเภทนี้จะมีระบบการเดินเรือเป็นเครือข่าย (Network Service) โดยมีเรือ 2 ขนาดได้แก่ เรือขนาดใหญ่ (Mother Vessel) ขนส่งเฉพาะท่าเรือเมืองศูนย์กลาง และเรือลูก (Feeder) ขนส่งระหว่างท่าเรือเรือทั่วไปไปยังท่าเรือศูนย์กลางหรือท่าเรือทั่วไป

ค. เรือส่งสินค้าแบบผสม (Semi Container Vessel) เรือประเภทนี้สามารถบรรทุกสินค้าได้ทั้งแบบเทกอง และคอนเทนเนอร์ โดยมีเส้นทางการเดินเรือจากท่าเรือต้นทางสู่ท่าเรือปลายทางโดยส่วนมากผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแบบเต็มตู้คอนเทนเนอร์จะใช้เรือส่งสินค้าโดยระบบตู้คอนเทนเนอร์ที่มีตารางเวลาการเดินที่มีกำหนดการแน่นอนในการให้บริการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.2 ผู้ให้บริการขนส่งทางทะเลแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์

ผู้ที่ให้บริการขนส่งสินค้าทางทะเลแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์จะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. บริษัทเดินเรือ (Shipping Company) หรือตัวแทนสายการเดินเรือ (Ship Agent) คือผู้ที่ได้การรับมอบอำนาจจากเจ้าของเรือ (Ship Owner) เพื่อให้เป็นผู้ดำเนินการให้บริการแทนเจ้าของเรือ ณ ท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทาง โดยมีหน้าที่บริการจัดหาที่ระวางบรรทุกให้กับผู้ส่งออกและผู้นำเข้า ออกใบตราส่งสินค้าให้กับผู้ส่งออกเพื่อใช้ในการสั่งปล่อยสินค้า ณ ท่าเรือปลายทาง การให้บริการขนถ่ายสินค้าทั้งหมดต้องเป็นไปตามกฎหมายและระเบียบข้อบังคับต่างๆ ของท่าเรือที่ให้บริการ

2. ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล (Sea Freight Forwarder) คือตัวแทน ตัวแทนขนส่งสินค้า ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ที่ต้องการส่งสินค้าและผู้รับส่งสินค้า โดยให้บริการ การจัดหาระวางบรรทุก จัดการเอกสารนำเข้าและส่งออกสินค้า อาจมีการบริการรับส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก และบริการการเก็บรักษาสินค้า รับจ้างบรรจุหีบห่อ

ในกรณีของบริษัทกรณีศึกษาจะเป็นตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลที่ให้บริการขนส่งสินค้าจากท่าเรือแหลมฉบังไปยังเมืองอื่นๆ โดยให้บริการจากท่าเรือถึงท่าเรือเท่านั้น

2.1.3 รูปแบบการขนส่งของผู้ให้บริการ

รูปแบบการขนส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาจะเป็นตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลที่มีรูปแบบการขนส่ง 3 รูปแบบดังนี้

1. การส่งผ่านคอนเทนเนอร์โดยตรง (Direct Service) คือ การส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์ไปยังสถานีปลายทาง ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการให้บริการมาจากการเช่าจากบริษัทเดินเรือโดยตู้คอนเทนเนอร์ใช้ในบริการสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ 20 ฟุต 40 ฟุต และ 40 ฟุตสูงพิเศษ ตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทมีปริมาตรและน้ำหนักที่สามารถบรรจุได้แตกต่างกันไป สุดท้ายตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะทำการแจกแจงสินค้าบรรจุใส่ตู้คอนเทนเนอร์ที่เช่ามาอย่างเหมาะสม

2. การส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง (Transshipment Service) คือ การขนส่งสินค้าหลายต่อโดยมีลักษณะการขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง แต่การขนส่งรูปแบบนี้สินค้าจะถูกส่งไปยังสถานีศูนย์กลางเพื่อจัดแจงสินค้าใส่ตู้คอนเทนเนอร์อีกครั้งและส่งสินค้าไปยังสถานีปลายทาง

3. การส่งผ่านบริษัทร่วม (Partner Service) คือ การส่งแบบที่ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลนำสินค้าที่ได้รับการว่าจ้างไปให้บริษัทร่วมค้าทำการส่งแทนโดยการส่งแบบนี้จะเป็นการจ้างแบบเหมา แต่อย่างไรก็ดีโดยปกติแล้วการส่งวิธีนี้จะไม่เป็นที่ต้องการของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล เนื่องจากเป็นการสูญเสียโอกาสในการทำกำไร

ต้นทุนในการขนส่งแต่ละรูปแบบย่อมแตกต่างกัน โดยจะส่งผลต่อการวางแผนการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล และในส่วนรายรับของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะแน่นอนต่อลูกค้า แต่ที่มาของรายได้อาจขึ้นกับข้อกำหนดในการซื้อขายสินค้า (INCOTERMS)

2.1.4 ข้อกำหนดของการซื้อขายกับผู้ว่าจ้าง

ข้อกำหนดของการซื้อขาย (International Commercial Terms: INCOTERMS) เป็นข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายสินค้าในการส่งและรับความรับผิดชอบในสินค้า ณ ที่นี้ความรับผิดชอบในสินค้าหมายถึงดูแลและรับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าตามข้อกำหนดในการส่งมอบ และในมุมมองของตัวแทนตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล ข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้าเป็นปัจจัยหนึ่งในการตั้งอัตราค่าบริการแก่ผู้ว่าจ้าง เพราะผู้ว่าจ้างแต่ละคนก็มีส่วนในการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายไม่เหมือนกัน โดยขึ้นอยู่กับประเภทของข้อกำหนดในการส่งมอบสินค้า

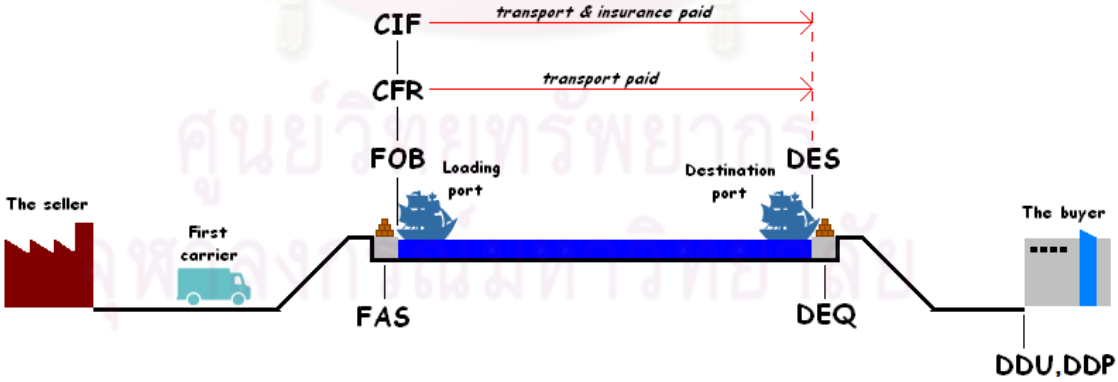
ข้อกำหนดของการซื้อขายสามารถแจกแจงออกได้ตามรูปแบบการขนส่ง โดยรูปแบบการขนส่งทางน้ำและทางทะเลจะมีข้อกำหนดซื้อขาย 8 ประเภทได้แก่ Free Alongside Ship (FAS), Free On Board (FOB), Cost and Freight (CFR), Cost, Insurance and Freight (CIF), Delivered EX Ship (DES), Delivered Ex Quay (DEQ), Delivered Duty Unpaid (DDU) และ Delivered Duty Paid (DDP) โดยแต่ละประเภทข้อกำหนดของการซื้อขายได้กำหนดความรับผิดชอบที่แตกต่างกันไปดังตารางที่ 2.1 และภาพที่ 2.1

ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลมีได้รายได้จากทั้ง 2 ฝ่ายได้แก่ ผู้ซื้อหรือผู้ขายสินค้า แต่การว่าจ้างมาจากผู้ที่รับผิดชอบการขนส่งระหว่างท่าเรือ เพราะเป็นหน้าที่หลักของตัวแทนขนส่ง

สินค้าทางทะเล และการตั้งอัตราค่าบริการเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถจูงใจในการใช้บริการของลูกค้าได้ ในบางกรณีอาจปรับอัตราค่าบริการให้ถูกกว่าอัตราปกติเล็กน้อยเพื่อให้ได้รับการจ้างงาน แล้วนำรายได้ส่วนที่ลดนำไปรวมกับค่าใช้จ่ายในอีกฝ่ายหนึ่งที่ต้องรับผิดชอบ สรุปคือตัวแทนขนส่งสินค้านั้นจะได้รายได้รวมเท่ากับอัตราค่าบริการปกติ โดยอัตราค่าบริการที่ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลคิดจากลูกค้าเป็นอัตราต่อปริมาตร และรายได้ในส่วนท่าเรือต้นทางและท่าปลายทางแตกต่างกันไปตามปลายทางของสินค้า

ตารางที่ 2.1 การแจกแจงผู้รับผิดชอบสินค้าตามประเภทข้อกำหนดในการส่งมอบตามภาคส่วนในการขนส่ง

ประเภทข้อกำหนดการซื้อขาย	ส่งสินค้าไปท่าเรือต้นทาง	ภาษีสินค้าขาออก	ถ่ายสินค้าที่ท่าเรือต้นทาง	ระหว่างการขนส่ง	ถ่ายสินค้าที่ท่าเรือปลายทาง	ส่งสินค้าไปยังผู้บริโภค	ค่าประกันภัยการขนส่ง	ภาษีสินค้าขาเข้า
FAS	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
FOB	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
CFR	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
CIF	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ
DES	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
DEQ	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
DDU	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ซื้อ
DDP	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ขาย	ผู้ซื้อ	ผู้ขาย



ภาพที่ 2.1 จุดสิ้นสุดความรับผิดชอบของผู้ส่งออกสินค้าตามประเภทข้อกำหนดการซื้อขาย
ที่มา http://www.wikipedia.org

2.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

งานวิจัยในอดีตจะสามารถแยกได้ออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล และเทคนิคในการแก้ปัญหา

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งทางทะเล

การวางแผนขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์เป็นการแจกแจงสินค้าของลูกค้าลงบนโครงข่ายการขนส่งสินค้า การขนส่งสินค้าจะทำการขนส่งระหว่างท่าเรือโดยหนึ่งท่าเรือถ้าถูกจำลองเป็นจุดบนโครงข่าย (Node) การขนส่งหนึ่งรูปแบบจะถูกจำลองเป็นหนึ่งการเชื่อมต่อบนโครงข่าย (Link) และการเชื่อมต่อบนโครงข่ายจะมีความสามารถรองรับการไหลบนโครงข่ายอย่างจำกัด (Capacity of Flow)

ในของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจำเป็นต้องทำการวางแผนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์และการติดต่อกับบริษัทร่วมค้าเพื่อทำการขนส่งสินค้าโดยจะพยายามทำการวางแผนการขนส่งโดยให้ใช้ต้นทุนต่ำที่สุดแต่มีขีดความสามารถในการให้บริการที่เหมาะสม ปัญหาในลักษณะนี้เรียกว่า “ปัญหาเลือกภาชนะบรรจุสิ่งของ” (Bin Packing Problem)

Wu (2008) ได้เสนองานวิจัยการจำลองปัญหาการเช่าตู้คอนเทนเนอร์เพื่อการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางอากาศโดยนำปัญหาแบบเลือกภาชนะบรรจุสิ่งของ มาประยุกต์ใช้ แต่เนื่องจากขนส่งสินค้าทางอากาศจะมีต้นทุนน้ำหนักส่วนเกินนอกเหนือจากต้นทุนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์โดยผลเฉลยของงานวิจัยสามารถช่วยในการลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางอากาศได้ แต่งานวิจัยดังกล่าวเป็นเพียงการทดสอบแบบจำลองเนื่องจากข้อมูลที่นำมาทดลองมีขนาดเล็กกว่าฐานข้อมูลขนาดจริง

สุภาภรณ์ ศิริประพฤทธิ์ (2010) ได้เสนอแบบจำลองในการหาวิธีการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล งานวิจัยของดังกล่าวได้ทำการจำลองปัญหาแบบเลือกภาชนะบรรจุสิ่งของโดยเป็นการจำลองระบบขนส่งของโครงข่ายแต่ได้จำลองให้รูปแบบการขนส่งไม่มีความเกี่ยวเนื่องกัน ทำให้แบบจำลองไม่สอดคล้องกับความสภาพในการดำเนินงานจริง

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยจะนำปัญหาการเช่าตู้คอนเทนเนอร์มาจำลองเป็นปัญหาแบบปัญหาเลือกภาชนะบรรจุสิ่งของ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้จะได้จำนวนหรือวิธีการขนส่งสินค้าของลูกค้าโดยแบบจำลองดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

Minimize: *Total Cost*

Subject to:

$$Total\ Cost = \sum_{i \in I} c_i x_i \qquad (2.1)$$

$$\sum_{i \in I} y_i^j = 1 \qquad : \forall j \in J \qquad (2.2)$$

$$\sum_{j \in J} q_j y_i^j \le Q_i x_i \qquad : \forall i \in I \qquad (2.3)$$

$$x_i \in \{0,1\} \qquad : \forall i \in I \qquad (2.4)$$

$$y_i^j \in \{0,1\} \qquad : \forall i \in I, j \in J \qquad (2.5)$$

โดยที่

I	คือ เซตของภาชนะ มีดัชนีเป็น i
J	คือ เซตของสินค้าทั้งหมด มีดัชนีเป็น j
Total Cost	คือ ต้นทุนทั้งหมดของภาชนะที่เลือก
Q_j	คือ ปริมาตรของที่สามารถบรรจุได้ของภาชนะ i
q_j	คือ ปริมาตรของสินค้าที่ j
y_i^j	คือ ตัวแปรการจัดแจงสินค้าลงบนภาชนะ จะมีค่าเป็น 1 เมื่อทำการจัดแจงสินค้า j ให้ใส่ลงภาชนะใบที่ i และเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ
x_i	คือ ตัวแปรการเลือกภาชนะมาบรรจุสินค้า จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกภาชนะใบที่ i และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ

จากแบบจำลองดังกล่าว สมการ 2.1 แสดงถึงการหาต้นทุนการใช้ภาชนะในการขนส่งสินค้า สมการเงื่อนไขที่ 2.2 คือเงื่อนไขที่กำหนดให้สินค้าทุกชิ้นต้องได้รับการจัดส่ง อสมการที่ 2.3 สินค้าที่ถูกจัดแจงต้องมีปริมาตรเล็กกว่าภาชนะที่บรรจุ สมการที่ 2.4 และ 2.5 เป็นการกำหนดประเภทตัวแปร

เมื่อทำการวางแผนการเช่นตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการขนส่งสินค้าในแต่ละส่วนของโครงข่ายเสร็จสิ้นแล้ว ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะทำการเลือกสินค้าที่ต้องการส่งไปยังท่าเรือต่างๆจัดแจงใส่ตู้คอนเทนเนอร์ในโครงข่ายที่ทำการเช่าไว้ในข้างต้นเพื่อให้เกิดรายได้มากที่สุด

Williamson (1992) ได้เสนองานวิจัยการจัดแจงการให้บริการกับผู้โดยสารของสายการบิน เนื่องจากสายการบินมีการให้บริการกับลูกค้าหลายระดับ หลายตลาด และหลายประเภทตั๋ว โดยทำให้รายได้ของสายการบินมีความหลากหลาย แต่ลูกค้าทั้งหมดจะได้รับบริการในโครงข่ายเดียวกัน โดยมีเครื่องบินและมีที่นั่งอย่างจำกัด งานวิจัยดังกล่าวได้จำลองปัญหาเป็นแบบการไหลของสินค้าที่มีความหลากหลายบนโครงข่าย (Multi-Commodity Flow) ผลลัพธ์ของแบบจำลองจะสามารถช่วยสายการบินว่าควรบริการลูกค้าจากตลาดใด ระดับใด ประเภทตัวใด จำนวนเท่าไหร่ เพื่อให้โครงข่ายสามารถทำรายได้ให้กับสายการบินมากที่สุด

ในงานวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยได้ทำการเปรียบเทียบสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าเป็นผู้โดยสาร และเปรียบเทียบคอนเทนเนอร์ที่ตัวแทนขนส่งสินค้าได้ทำการเช่าไว้เพื่อให้บริการแก่ลูกค้าเป็นเครื่องบินที่ให้ใช้ในการให้บริการ ผู้วิจัยจึงการจำลองปัญหาการจัดสินค้าให้ไหลบนโครงข่ายเป็นปัญหาแบบการไหลของสินค้าที่มีความหลากหลายบนโครงข่าย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Maximize: *Total Revenue*

Subject to:

$$\textit{Total Revenue} = \sum_{k\in K}\sum_{i\in N}\sum_{j\in N}\delta_{ij}^{k} r^{k} z_{ij}^{k} \qquad (2.6)$$

$$\sum_{w\in N} x_{wj}^{k} \geq z_{ij}^{k} \qquad : \forall k \in K, j \in N \qquad (2.7)$$

$$\sum_{j\in N} x_{ij}^{k} \leq D^{k} \qquad : \forall k \in K, i \in N \qquad (2.8)$$

$$\sum_{i\in N} x_{ij}^{k} - \sum_{w\in N} x_{jw}^{k} \geq 0 \qquad : \forall k \in K, j \in N \qquad (2.9)$$

$$\sum_{k\in K} q^{k} x_{ij}^{k} \leq Q_{ij} \qquad : \forall i \in N, j \in N \qquad (2.10)$$

$$x_{ij}^{k} \geq 0 \qquad : \forall k \in K, i \in N, j \in N \qquad (2.11)$$

$$z_{ij}^{k} \geq 0 \qquad : \forall k \in K, i \in N, j \in N \qquad (2.12)$$

โดยที่

K คือ เซตของลูกค้า มีดัชนีเป็น k

N คือ เซตของจุดเชื่อมต่อทั้งหมด มีดัชนีเป็น i, j และ w

Total Revenue	คือ รายได้ทั้งหมดในการให้บริการลูกค้า
r^k	คือ รายได้ต่อหน่วยจากการให้บริการลูกค้า k
z_{ij}^k	คือ ตัวแปรการเลือกให้บริการลูกค้า จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกให้บริการลูกค้า k จากจุด i ไปจุด j และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ
δ_{ij}^k	คือ พารามิเตอร์ในการให้บริการ จะมีค่าเป็น 1 เมื่อสามารถให้บริการลูกค้า k จากเส้นทางจุด i ไปจุด j ได้ และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ
x_{ij}^k	คือ ตัวแปรการส่งสินค้า จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเลือกส่งสินค้าของลูกค้า k จากจุด i ไปจุด j และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ
D^k	คือ ความต้องการขนส่งสินค้าของลูกค้า k
q^k	คือ ปริมาตรของสินค้าของลูกค้าที่ k
Q_{ij}	คือ ความสามารถในการขนส่งสินค้าจากจุด i ไป j

จากแบบจำลองดังกล่าว สมการวัตถุประสงค์ 2.6 แสดงถึงการหารายได้ในการขนส่งสินค้าโดยต้องการให้มีมูลค่ามากที่สุด สมการเงื่อนไขที่ 2.7 คือเงื่อนไขที่กำหนดการให้บริการจะสมบูรณ์เมื่อสินค้าส่งถึงจุดปลายทางเท่านั้น อสมการที่ 2.8 คือเงื่อนไขที่สินค้าที่ออกจากจุดเริ่มต้นต้องน้อยกว่าความต้องการของลูกค้า อสมการที่ 2.9 คือเงื่อนไขที่สินค้าส่งออกไปจากจุดส่งต่อต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับสินค้าที่ถูกส่งเข้ามา อสมการที่ 2.10 คือเงื่อนไขที่สินค้าส่งบนโครงข่ายต้องน้อยกว่าความสามารถในการให้บริการ อสมการที่ 2.11 และ 2.12 เป็นการกำหนดให้ตัวแปรไม่มีค่าเป็นลบ

แต่งานวิจัยนี้จะเป็นการหาวิธีการหาวิธีการขนส่งสินค้าเพื่อบริการลูกค้าให้มีผลกำไรมากที่สุดจำเป็นต้องนำปัญหาปัญหาเลือกภาชนะบรรจุสิ่งของและปัญหาการไหลของสินค้าที่มีความหลากหลายบนโครงข่าย โดยต้องทำการนำปัญหาทั้ง 2 มาบูรณาการจะได้ผลลัพธ์เป็นแบบจำลองที่แตกต่างออกไปจากเดิม แบบจำลองที่ได้เป็นปัญหาแบบจำนวนเต็ม (Integer Program: IP) ส่งผลทำให้แบบจำลองใช้เวลาเพื่อหาผลเฉลยมากกว่าการปัญหาทั่วไป ดังนั้นแบบจำลองที่ต้องการแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่สมควรต้องมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิภาพ โดยจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

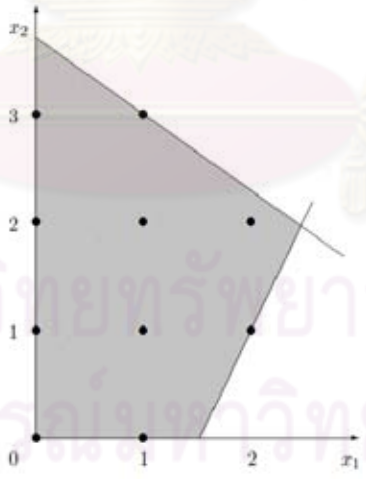
2.2.2 งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการหาผลเฉลยของแบบจำลอง

งานวิจัยการวางแผนขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลเป็นแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่และต้องการผลเฉลยอยู่ในรูปแบบผสมระหว่างจำนวนเต็มและจำนวนจริง (Mix

Integer Program: MIP) ผู้ทำการวิจัยจึงต้องหาเทคนิคในการหาผลเฉลยของแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยผู้ทำการวิจัยจะกล่าวถึงเทคนิคทั่วไปในการหาผลเฉลยของปัญหาแบบผสมระหว่างจำนวนจำนวนเต็มและจำนวนจริง (Integer Program: IP) ได้แก่ เทคนิคแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch & Bound: B&B) และ เทคนิคการตัดพื้นที่คำตอบเป็นไปได้ (Cutting Generation) หลังจากนั้นจะเป็นการกล่าวเทคนิคการหาผลเฉลยที่นิยมใช้ในแบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ เทคนิคการแตกกิ่งและตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Branch and Cut) เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์(Column Generation) และเทคนิคการแบ่งส่วนของเบนเดอร์ (Bender's Decomposition: BD) โดยเทคนิคในการหาผลเฉลยทั้งหมดจะเป็นจะเป็นวิธีการนำไปหาผลเฉลยแม่นตรงทั้งสิ้น

1. การหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคตัดระนาบ (Cutting Plane Technique)

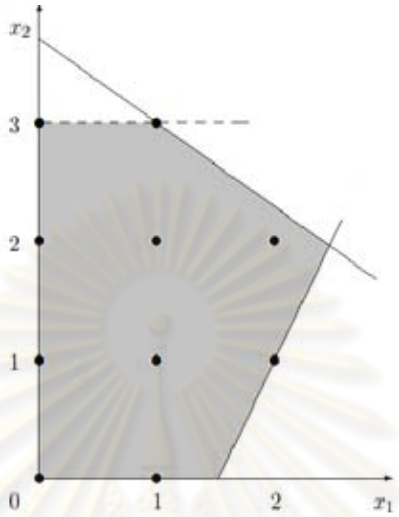
วิธีการหาผลเฉลยแบบใช้เทคนิคการตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เป็นการใช้วิธีการหาผลเฉลยเช่นเดียวกับวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาแบบเชิงเส้น (Linear Program: LP) โดยทำการผ่อนปรนเงื่อนไขที่ผลเฉลยของแบบจำลองต้องเป็นจำนวนเต็ม ทำให้คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) มีลักษณะเป็นพื้นที่หรือปริมาตรดังพื้นที่ที่แรเงาในภาพที่ 2.2 ซึ่งแตกต่างจากคำตอบที่เป็นไปได้ของแบบจำลองดั้งเดิมดังที่มีลักษณะเป็นจุด



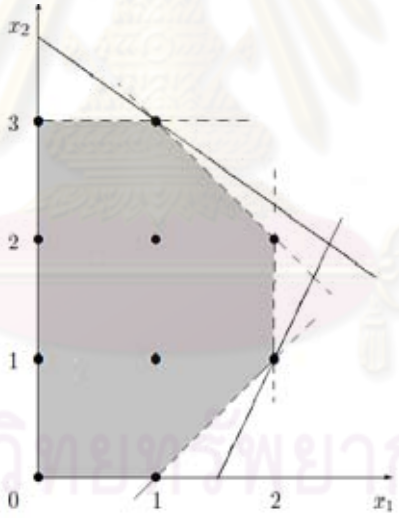
ภาพที่ 2.2 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ

เนื่องจากวิธีการหาผลเฉลยแบบปัญหาเชิงเส้นจะให้ผลเฉลยที่จุดมุมของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้เสมอ ดังนั้นหลักการของเทคนิคการแก้ปัญหาตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้คือการทำให้ทุกจุดมุมของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหาดั้งเดิมหรือคำตอบจำนวนเต็ม โดยทำการเพิ่มอสมการข้อจำกัดเข้าไปในแบบจำลองเพื่อให้เกิดการตัดพื้นที่

คำตอบที่ไม่ใช่จำนวนเต็มออกไปโดยเทคนิคการตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ยอมให้อสมการข้อจำกัดที่เพิ่มเข้าไปนั้นจะทำการตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นจำนวนจริง (Real Number Solution) ออก แต่ไม่ยอมให้อสมการดังกล่าวไปตัดผลเฉลยจำนวนเต็ม (Integer Solution) ดังภาพที่ 2.3 และเมื่อทำการเพิ่มสมการข้อบังคับจนครบทุกความเป็นไปได้แล้วได้ผลดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ (ต่อ)



ภาพที่ 2.4 วิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคตัดระนาบ (ต่อ)

เมื่อได้ทำการตัดพื้นที่ให้ทุกจุดมุมเป็นคำตอบของปัญหาดั้งเดิมหรือเป็นคำตอบจำนวนเต็มแล้ว ต่อไปจำทำการหาผลเฉลยเช่นเดียวกับการหาผลเฉลยของปัญหาเชิงเส้น ซึ่งการที่ผลเฉลยไปตกที่จุดมุมของพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นผลเฉลยจากการแกปัญหาของแบบจำลองหลังจากการเพิ่มสมการข้อบังคับเสร็จสิ้นแล้วจะได้ผลเฉลยเป็นจำนวนเต็ม

แต่ปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะไม่เหมาะสมกับวิธีการหาผลเฉลยแบบการตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เนื่องจากปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรมากนั้นจะทำให้การสร้างอสมการ

เพื่อตัดพื้นที่คำตอบจำนวนจริงเป็นไปด้วยความลำบากในขณะที่จำนวนพื้นที่คำตอบจำนวนจริงที่เป็นไปได้ที่ต้องทำการตัดออกมีปริมาณมากขึ้น

2. การหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการแตกกิ่งและตัดระนาบ (Branch and Cut)

Kraft (2002) ได้กล่าวถึงวิธีการหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการแตกกิ่งและตัดระนาบว่าเป็นเทคนิคการหาผลเฉลยที่ประโยชน์มาก ปัญหาจำนวนเต็มที่มีจำนวนตัวแปรปริมาณมากจะไม่สามารถหาผลเฉลยโดยเทคนิคการตัดระนาบและวิธีการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสามารถหาเฉลยได้แต่เป็นการเปลืองทรัพยากร โดยวิธีการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและตัดระนาบจะสามารถลดทรัพยากรที่ใช้การหาผลเฉลยได้ในปัญหาจำนวนเต็มขนาดใหญ่

การหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการแตกกิ่งและระนาบจะเริ่มกระบวนการหาผลเฉลยโดยการทำการแบ่งเซตคำตอบเช่นเดียวกับวิธีการหาคำตอบโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยเทคนิคการตัดพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการหาผลเฉลยของเซตคำตอบต่างๆเมื่อมีความเหมาะสม

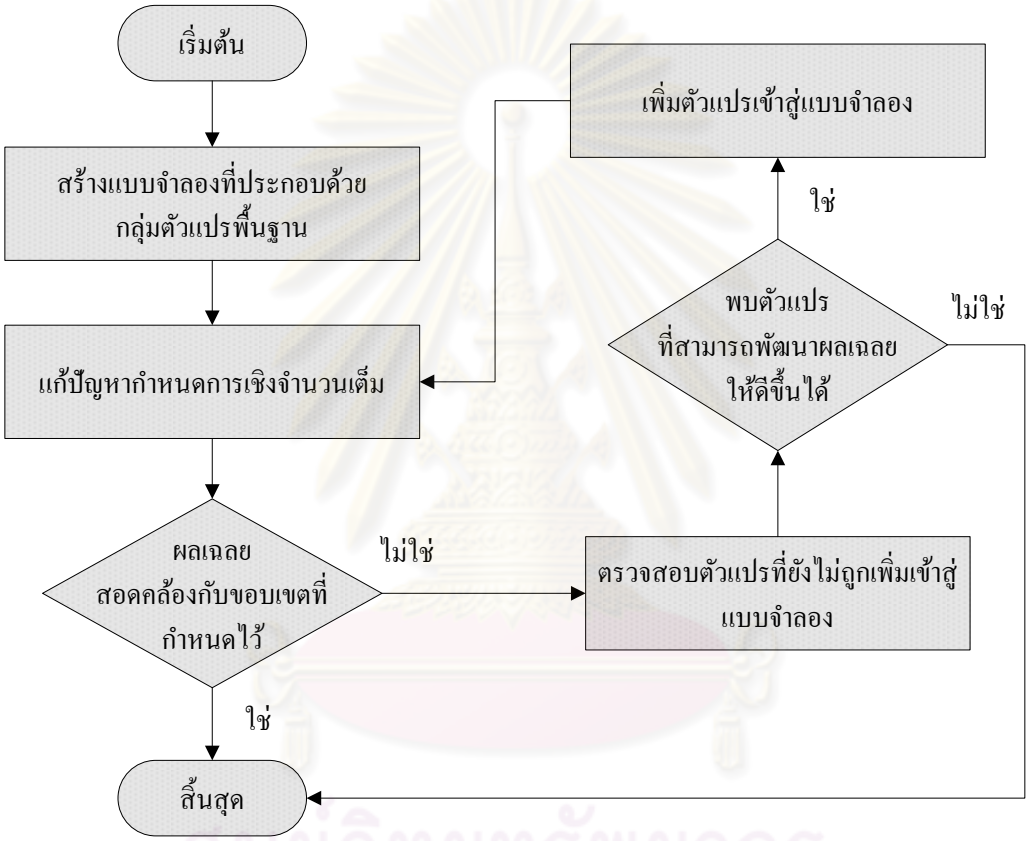
อุปสรรคของการแก้ไขปัญหาโดยใช้เทคนิคการแตกกิ่งและตัดระนาบคือการซับซ้อนในการเลือกเทคนิคในการหาผลเฉลยของเซตคำตอบว่าจะใช้เทคนิคใด โดย Kraft ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการเลือกใช้เทคนิคการตัดพื้นคำตอบที่เป็นไปได้จะพิจารณาจากอสมการที่ต้องเพิ่มเข้าไปในแบบจำลอง

3. การหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation)

Branhart, Johnson, Nemhauser, Savelsgergh และ Vance (1998) ได้กล่าวถึงวิธีการหาเฉลยของแบบจำลองเส้นตรงเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Program) มีขนาดใหญ่โดยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ว่า เป็นเทคนิคที่เหมาะสมกับแบบจำลองที่มีตัวแปรจำนวนมาก เพราะแนวคิดของเทคนิคนี้คือการลดปัญหาจากขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และทำการแก้ไขปัญหาที่เล็กลงเป็นจำนวนหลายครั้งเพื่อสุดท้ายได้ผลเฉลยที่สอดคล้องกับแบบจำลองที่กำหนด

การหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหาแบบจำนวนเต็ม เริ่มจากการกำหนดกลุ่มตัวแปรที่มีความจำเป็นในการหาผลเฉลย และทำการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าผลเฉลยให้กับตัวแปรที่มีความสำคัญ เมื่อทำการหาผลเฉลยเสร็จแล้วจะทำการตรวจสอบค่าผลเฉลยว่า

ค่าคำตอบมีความแตกต่างจากค่าคำตอบของปัญหาดั้งเดิมที่หาผลเฉลยโดยการผ่อนปรนเงื่อนไขให้เป็นแบบจำลองเชิงเส้น หากผลต่างของค่าคำตอบอยู่ในช่วงที่สามารถรับได้ที่ตั้งไว้ก็จะจบกระบวนการแก้ปัญหา แต่ถ้าความแตกต่างของคำตอบมากกว่าช่วงที่รับได้จะทำการเพิ่มตัวแปรอื่นๆที่ไม่ได้ถูกเลือกให้เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในข้างต้นและทำการหาผลเฉลยอีกครั้ง กระบวนการจะเป็นอย่างนี้เรื่อยไปจนกว่าค่าคำตอบจะอยู่ในช่วงที่รับได้หรือทุกตัวแปรถูกเพิ่มเข้าไปในแบบจำลองจนหมดสิ้นแล้วจะถือว่าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการหาผลเฉลยหรือดังจะแสดงกระบวนการหาผลเฉลยได้ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 กระบวนการหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์

4. การหาผลเฉลยของแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์ (Bender's Decomposition: BD)

Cakir (2009) ได้กล่าวถึงวิธีการวางแผนการขนส่งโดยรูปแบบการขนส่งประเภทต่างๆ ส่วนมาจะเป็นปัญหาผสมระหว่างจำนวนเต็มกับจำนวนจริง (Mixed Integer Program: MIP) ในความเป็นจริงเป็นการยากที่จะทำการหาผลเฉลยของปัญหาผสมระหว่างจำนวนเต็มและจำนวนจริงขนาดใหญ่ Cakir จึงได้เสนอให้ใช้วิธีการแบ่งปัญหาออกมาเป็นส่วนๆ (Decomposition Model) โดยจะทำการแบ่งปัญหาตามประเภทตัวแปรตัดสินใจแล้วทำการหาผลเฉลย และทำการตรวจสอบ

กับตัวแปรส่วนอื่นๆ โดยวิธีนี้เรียกว่าเทคนิคเช่นนี้จะเรียกว่าเป็นการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์ (Bender Decomposition: BD) เพื่อให้เกิดความเข้าใจมากขึ้นจึงจะขอแสดงแนวคิดของเทคนิคการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์ดังนี้

Minimize: *Total Cost*

Subject to:

$$\textit{Total Cost} = c^T x + f^T y \tag{2.13}$$

$$Ax + By \geq b \tag{2.14}$$

$$y \in Y \tag{2.15}$$

$$x \geq 0 \tag{2.16}$$

จากสมการที่ 2.13 ถึงสมการ 2.16 จะพบว่าแบบจำลองต้นแบบเป็นแบบจำลองผสมระหว่างตัวแปร x ที่เป็นตัวแปรจำนวนจริงบวก และ y ที่เป็นตัวแปรจำนวนเต็ม การหาผลเฉลยของแบบจำลองนี้จะใช้เทคนิคการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์ เริ่มจากการกำหนดให้ตัวแปรที่มีลักษณะเป็นจำนวนเต็ม (y) เป็นค่าคงที่ ($\bar{y}$) ได้แบบจำลองใหม่ให้ชื่อว่า “แบบจำลองย่อย” (P1) มีลักษณะดังสมการที่ 2.17 ถึงสมการ 2.19

Minimize: $Cost_x$

Subject to:

$$Cost_x = c^t x \tag{2.17}$$

$$Ax \geq b - B\bar{y} \tag{2.18}$$

$$x \geq 0 \tag{2.19}$$

หลังจากที่เราได้แบบจำลองย่อยที่ 1 จะทำการสร้างแบบจำลองเสมือน (Dual Problem) ของแบบจำลองย่อยที่ 1 ได้แบบจำลองใหม่ให้ชื่อว่า “แบบจำลองย่อยเสมือน” (D1) มีลักษณะดังสมการ 2.20 ถึงสมการ 2.22 โดยอสมการที่ 2.23 มีหน้าที่เป็นขอบเขตของคำตอบเพื่อให้เกิดกรณีเป็นปัญหาไรขอบเขต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Maximize: $price_x$

Subject to:

$$price_x = u^t\left(b - B\bar{y}\right) \tag{2.20}$$

$$A^T u_i \geq c \tag{2.21}$$

$$u_i \geq 0 \tag{2.22}$$

$$\sum_{i \in I} u_i \leq M \tag{2.23}$$

เมื่อเรานำแบบจำลอง P1 กับแบบจำลองต้นแบบแล้วจะได้แบบจำลองที่ชื่อว่า "แบบจำลองแบ่งส่วนสมบูรณ์" (CP) มีลักษณะดังสมการที่ 2.24 และเปลี่ยนจากแบบจำลอง D1 เสมือนจะได้แบบจำลองที่ชื่อว่า "แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือนสมบูรณ์" (CD) มีลักษณะดังที่สมการที่ 2.25

$$Min\left\{f^t y + Min\left\{c^T x \mid Ax \leq b - B\bar{y}, x \geq 0\right\}\right\} \tag{2.24}$$

$$Min\left\{f^t y + Max\left\{u_i^T\left(b - B\bar{y}\right) \mid A^T u \geq c, u \geq 0\right\}\right\} \tag{2.25}$$

ตามทฤษฎีแล้วนอกจากต้นทุนรวมจากแบบจำลอง CD จะเท่ากับต้นทุนแบบจำลอง CP แล้วยังสามารถลดตัวแปร x จากแบบจำลองได้อีกด้วย แบบจำลอง CD ประกอบไปด้วย 2 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง D1 มีหน้าที่หาราคาที่เหมาะสมของทรัพยากร (u) จากเงื่อนไขของเซตตัวแปรที่มีลักษณะเป็นจำนวนเต็ม (y) และ "แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือน" (D2) ดังสมการที่ 2.26 ถึงสมการที่ 2.28 มีหน้าที่หาต้นทุนรวม (z) ที่รวมและค่าของตัวแปรที่มีลักษณะเป็นจำนวนเต็ม (y) จากทุกเซตราคาของทรัพยากร (u)

Minimize: *Total Cost*

Subject to:

$$Total\ Cost \geq f^T y + u_i^b\left(b - By\right) \qquad u \in U \tag{2.26}$$

$$y \in Y \tag{2.27}$$

$$z \in R \tag{2.28}$$

กระบวนการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์มีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 2.6)

ก. ตั้งค่า Lower Bound (LB) และ Upper Bound (UB) เป็น $-\infty$ และ ∞ ตามลำดับ

ข. หาผลเฉลยจากแบบจำลองย่อยเสมือน โดยจะสมมติค่า y ในการหาผลเฉลยรอบแรก

ค. หาค่า lb จากสมการที่ 2.29

ง. ตรวจสอบว่า lb มีค่ามากว่า LB หรือไม่ หากมากกว่าทำการปรับค่า LB เท่ากับ lb

จ. เพิ่มอสมการ 2.26 จากผลเฉลยของแบบจำลอง D1 เข้าไปในแบบจำลอง D2

ฉ. หาเฉลยแบบจำลอง D2

ช. หาค่า ub จากสมการที่ 2.30

ซ. ตรวจสอบว่า ub มีค่าน้อยว่า UB หรือไม่ หากน้อยว่าทำการปรับค่า UB เท่ากับ ub

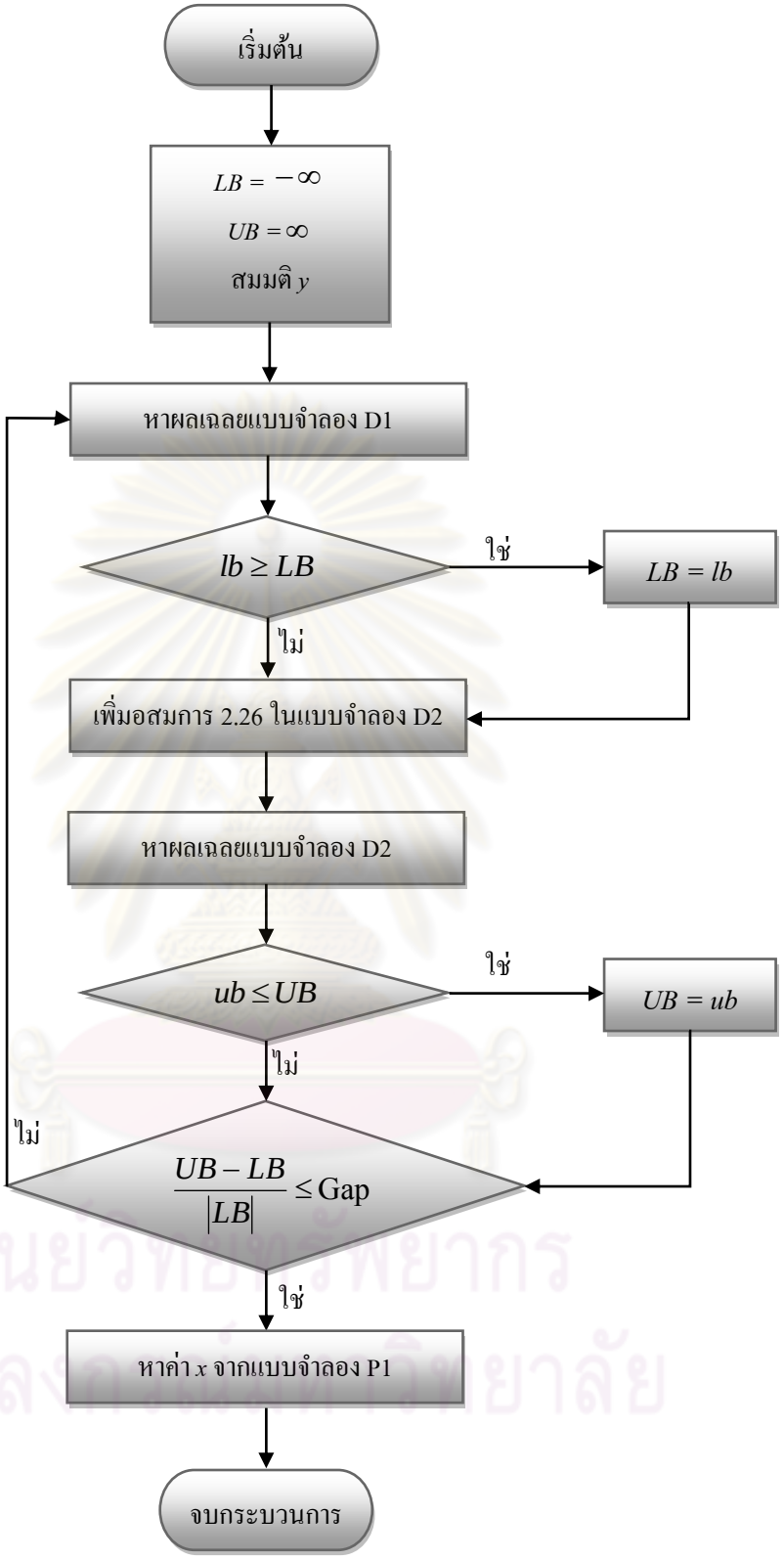
ฌ. ทำการตรวจสอบว่า (UB-LB)/|LB| น้อยว่าค่าวามแตกต่างที่รักได้หรือไม่หากน้อยกว่าทำการหยุดเฉลย ในกรณีอื่นให้ทำการนำค่า y ไปใช้ในข้อ ข.อีกครั้ง

หลังจากจบกระบวนการหาคำตอบโดยเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์จะได้ผลเฉลยเป็น y และ u หลังจากนั้นต้องไปทำการหาค่า x จากแบบจำลอง P1 อีกครั้ง

$$lb = Objective\ Value^{D1} + f^T \bar{y} \tag{2.29}$$

$$ub = Objective\ Value^{CD} \tag{2.30}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.6 กระบวนการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการย่อยส่วนแบบเบนเดอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยในอดีตพบว่าแบบจำลองการวางแผนของตัวแทนขนส่งสินค้าส่วนใหญ่จะมีการแก้ปัญหา 2 แบบ โดยแบบจำลองของตัวแทนขนส่งสินค้าทางอากาศจะเป็นการขนส่งที่มีทางเลือกเดียวแต่จะทำแผนการขนส่งลงลึกในระดับแจกแจงสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ และแบบจำลองของการวางแผนขนส่งหากมีหลายรูปแบบการขนส่งสินค้าส่งที่มีหลากหลายทางเลือกแต่จะมีการวางแผนที่ไม่ลงรายละเอียดเท่ากับการวางแผนขนส่งสินค้าที่มีทางเลือกเดียว และจากงานวิจัยในอดีตพบว่าการจำลองการวางแผนขนส่งสินค้าได้การละเลยความสัมพันธ์ที่ของความเป็นโครงข่ายของระบบขนส่งสินค้าอยู่ โดยส่วนนี้ผู้ทำการวิจัยจึงดึงการจำลองแบบการไหลที่มีความหลากหลายขนโครงข่ายมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อให้มีความใกล้เคียงสภาวะการดำเนินงานจริงมากขึ้น งานวิจัยนี้จะทำการวางแผนของการจัดการขนส่งสินค้าบนโครงข่ายของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดกำไรมากที่สุด ทำให้ตัวแทนขนส่งสินค้าสามารถปฏิเสธลูกค้าได้ จากการทำการค้นคว้างานวิจัยในอดีตยังไม่พบงานวิจัยที่ทำการการวางแผนของการจัดการขนส่งสินค้าเพื่อให้เกิดกำไรมากที่สุด

จากการทบทวนแนวทางการจำลองปัญหาการวางแผนขนส่งสินค้าจะเป็นปัญหาแบบจำนวนเต็มหรือปัญหาผสมระหว่างจำนวนเต็มและจำนวนจริงดังนั้นทำให้ยากต่อการหาผลเฉลยของแบบจำลอง ดั้งนั้นผู้ทำการวิจัยจำเป็นต้องหาหาเทคนิคที่มีความเหมาะสมกับแบบจำลองเพื่อส่งผลให้แบบจำลองสามารถใช้หาผลเฉลยได้โดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนผลการวิจัยเพื่อนำไปหาแบบจำลองที่เหมาะสม แบบจำลองดังกล่าวจะใช้ในการจองตู้คอนเทนเนอร์และควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลเพื่อให้เกิดผลกำไรที่เหมาะสม โดยขั้นตอนการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาลักษณะของปัญหา และศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. รวบรวมข้อมูลจากบริษัทตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังนี้
    ก. เมืองปลายทางที่บริษัทตัวอย่างให้บริการอยู่ในปัจจุบัน
    ข. รายละเอียดของการรูปแบบขนส่งที่ให้บริการแก่ลูกค้า
    ค. ข้อมูลต้นทุนในการให้บริการแจกแจงตามรูปแบบการขนส่งและเมืองปลายทาง
    ง. รายละเอียดค่าบริการแจกแจงตามเมืองปลายทาง
    จ. ปัจจัยในการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบให้บริการในปัจจุบัน
3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งทางทะเล
4. พัฒนาเทคนิคการหาผลเฉลยจากแบบจำลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหาออกเป็น 6 ส่วน ได้แก่

ก. จัดหาเครื่องมือในการพัฒนาซอฟท์แวร์ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลคือ Intel Core 2 Duo T5750 ภายใต้หน่วยความจำ 2 กิกกะไบท์

ข. จัดหาซอฟท์แวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีความเหมาะสม เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ซอฟท์แวร์ ILOG CPLEX V.12.1 ที่เป็นซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่นเชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะใช้งานร่วมกับการพัฒนาซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ภาษา C# ในลักษณะของไลเบอรี่เรียกใช้ (Callable Library) โดยมีโปรแกรม

Microsoft Visual C# 2010 Express เป็นเครื่องมือในการคอมไพล์รหัสคำสั่ง

ค. ศึกษารูปแบบภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแอพลิเคชั่นที่สามารถทำงานร่วมกับซอฟท์แวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้

ง. ทดลองขั้นตอนเทคนิคการหาผลเฉลยเบื้องต้นที่ได้พัฒนาขึ้นกับปัญหาตัวอย่างซึ่งมีขนาดเล็ก

จ. สร้างแอพลิเคชั่นสำหรับเทคนิคการหาผลเฉลยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล

ฉ. ตรวจสอบหาข้อผิดพลาด และทำการปรับปรุงแก้ไข

5. ทดสอบเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยข้อมูลที่มีลักษณะเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากขนาดของจำนวนสินค้าที่เพิ่มขึ้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเทคนิคการหาผลเฉลย และประสิทธิภาพของเทคนิคการผลเฉลยในทุกระดับขนาดปัญหา ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงแจกแจงข้อมูลที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

   ก. ชุดพารามิเตอร์ของเทคนิคการหาผลเฉลย

   ข. ชุดข้อมูลที่มีจำนวนสินค้าแตกต่างกัน

6. การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองหลังจากได้ทำการทดสอบเทคนิคการหาผลเฉลยแล้ว ได้ผลดังกล่าวมาวิเคราะห์ถึง ข้อดี ข้อด้อย ของเทคนิคการหาเฉลยรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการคัดเลือกหาเทคนิคการผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล

7. สรุปและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การพัฒนาแบบจำทางคณิตศาสตร์และเทคนิคการหาผลเฉลย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล และเทคนิคที่ใช้ในการหาผลเฉลยจากแบบจำลองดังกล่าว

4.1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะกล่าวในส่วนนี้จะเป็นปัญหาหลักของงานวิจัยนี้ (Master Problem) โดยเนื้อหาในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย สมมติฐาน นิยามของปัญหา นิยาม สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง และปัญหาหลัก

4.1.1. สมมติฐานของแบบจำลอง

1. ตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลไม่สามารถปฏิเสธการว่าจ้างของลูกค้าประจำได้ หากแต่สามารถปฏิเสธการว่าจ้างของลูกค้าขาจรได้
2. รูปแบบในการขนส่งที่ใช้ในการให้บริการมี 3 รูปแบบได้แก่
   ก. การส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ไปสู่เมืองปลายทางโดยตรง
   ข. การส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง
   ค. การส่งผ่านบริษัทร่วมค้า
3. รูปแบบการขนส่งที่สามารถใช้ในการให้บริการจะขึ้นอยู่กับเมืองปลายทาง แสดงตัวอย่างในตารางที่ ผ.1
4. การส่งสินค้าต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง สินค้าจะต้องถูกขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงไปยังเมืองศูนย์กลางนั้นๆก่อน
5. ความเสี่ยงของสินค้าเสียหายจะสามารถหาได้จากสถิติที่เกิดขึ้นในอดีต โดยความเสี่ยงสินค้าเสียหายจะถูกแบ่งประเภทตามรูปแบบการขนส่งอยู่ในรูปสัดส่วนร้อยละจำนวนสินค้าที่เสียหายต่อจำนวนสินค้าที่ทั้งหมดที่ขนส่งในรูปแบบนั้น โดยไม่คำนึงถึงความเสี่ยงสินค้าเสียหายของการส่งผ่านบริษัทร่วมค้า แสดงตัวอย่างดังตารางที่ ผ.2

6. ความสามารถของการขนส่งสินค้าของตู้คอนเทนเนอร์จะอยู่ในรูปของน้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับได้ (Effectiveness Weight Available) และปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ (Effectiveness Volume Available) แสดงตัวอย่างดังตารางที่ ผ.3

7. ต้นทุนของการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลจะขึ้นกับรูปแบบการขนส่ง โดยอัตราของการขนส่งสินค้าสามารถจำแนกได้ดังนี้ แสดงตัวอย่างในตารางที่ ผ.4

   ก. ต้นทุนการส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงอยู่ในรูปของต้นทุนต่อจำนวนตู้คอนเทนเนอร์โดยอัตราการขึ้นกับประเภทตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการขนส่งด้วย

   ข. ต้นทุนการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง สามารถแบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนการขนส่งสินค้าระหว่างท่าเรือต้นทางจนถึงเมืองศูนย์กลางจะใช้ต้นทุนร่วมกับการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง และส่วนการขนส่งสินค้าระหว่างเมืองศูนย์กลางจนถึงท่าเรือปลายทางจะมีต้นทุนการขนส่งเป็นแบบต่อปริมาตรของสินค้า

   ค. ต้นทุนการส่งสินค้าผ่านบริษัทร่วมจะมีต้นทุนต่อปริมาตรสินค้า

8. ค่าบริการตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลสามารถนำไปทำการคำนวณได้จากอัตราค่าบริการ 2 ส่วนตามสมการที่ 4.1

   ก. ค่าบริการส่วนท่าเรือต้นทาง (R1) และมีอัตราค่าบริการต่อปริมาตรการขนส่งสินค้าของลูกค้าค่าบริการจะเป็นไปตามภาพที่ 4.1

   ข. ค่าบริการส่วนระหว่างการขนส่ง (R2) มีลักษณะเช่นเดียวกับส่วนท่าเรือต้นทาง

   ค. ค่าบริการส่วนท่าเรือปลายทาง (R3) แต่รายได้ในส่วนนี้จะไม่ได้รับหากสินค้าได้รับการขนส่งแบบผ่านบริษัทร่วมค้า โดยอัตราค่าบริการสามารถคำนวณหารายได้ในส่วนท่าเรือปลายทางได้ตามดังภาพที่ 4.2 หรือจากสมการที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$R_{total} = R_{P1} + R_{P2} + R_{P3} \tag{4.1}$$

$$R_{P3} = \begin{cases} RPS + FR & ;V_P \le V_1 \\ RPS + FR + R_1(V_P - V_1) & ;V_1 \le V_P \le V_2 \\ RPS + FR + R_1(V_2 - V_1) + R_2(V_P - V_2) & ;V_2 \le V_P \end{cases} \tag{4.2}$$

โดยที่

R_{Total} คือ ค่าบริการรวมของลูกค้า

R_{P1} คือ ค่าบริการส่วนท่าเรือต้นทาง

R_{P2} คือ ค่าบริการส่วนระหว่างการขนส่ง

R_{P3} คือ ค่าบริการส่วนท่าเรือปลายทาง

V_p คือ ปริมาตรสินค้าของลูกค้า (Volume of Product)

RPS คือ รายได้ต่อเที่ยวของการขนส่ง (Revenue per Shipment)

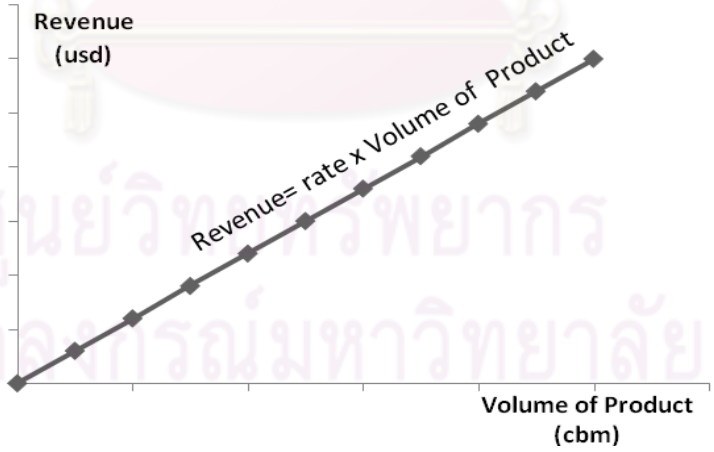
FR คือ รายได้เริ่มต้นของการส่ง (Fixed Revenue)

V_1 คือ ปริมาตรที่ลูกค้าสามารถส่งได้โดยได้รายได้แค่ RPS และ FR

R_1 คือ อัตราค่าบริการถ้าสินค้าของลูกค้ามีปริมาตรเกิน V_1

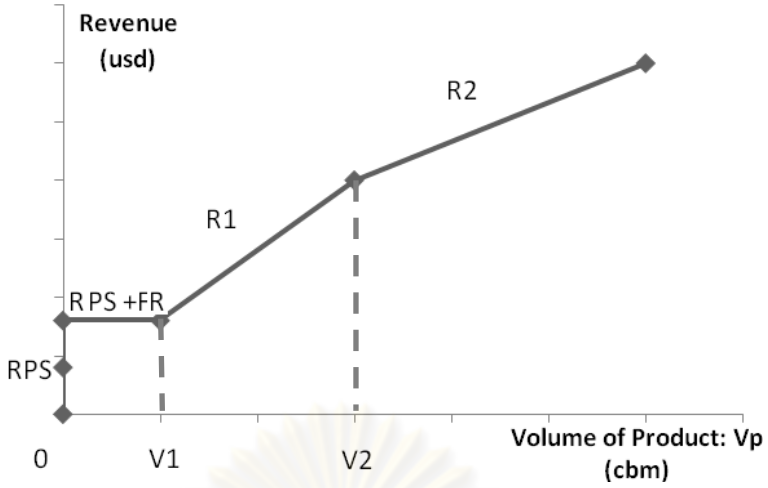
V_2 คือ ปริมาตรจำกัดในการคิดค่าบริการอัตรา R_1

R_2 คือ อัตราค่าบริการเมื่อปริมาตรสินค้าของลูกค้ามากกว่า V_2



ภาพที่ 4.1 ฟังก์ชั่นรายได้ของการขนส่งสินค้าส่วนท่าเรือต้นทางและส่วนระหว่างการขนส่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.2 ฟังก์ชั่นรายได้ของการขนส่งสินค้าส่วนท่าเรือปลายทาง

4.1.2. นิยามของปัญหา

ปัญหาการวางแผนการขนส่งสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อให้ได้กำไรสูงสุด โดยสามารถปฏิเสธการว่าจ้างของลูกค้าได้ โดยแผนการขนส่งสินค้าจะต้องสามารถดำเนินการได้ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินการจริงดังนี้

1. คำสั่งส่งสินค้าของลูกค้า 1 สามารถเลือกวิธีการส่งได้เพียง 1 วิธี หรือเลือกทำการปฏิเสธการว่าจ้างในกรณีสนค้าจากลูกค้าขาจร
2. น้ำหนักของสินค้าที่บรรจุจะใส่ตู้คอนเทนเนอร์ต้องน้อยกว่าน้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์
3. ปริมาตรของสินค้าที่บรรจุจะใส่ตู้คอนเทนเนอร์ต้องน้อยกว่าปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์
4. การเช่าตู้คอนเทนเนอร์ต้องเรียงลำดับหมายเลยตู้คอนเทนเนอร์จากน้อยไปหามาก
5. การส่งสินค้าผ่านบริษัทร่วมจะต้องมีประมาตรน้อยกว่า 10 ลูกบาศก์มาตรในทุกเส้นทาง
6. การส่งสินค้าผ่านบริษัทร่วมค้าในแต่ละเมืองปลายทางจะต้องมีปริมาตรสินค้ารวมไม่เกินกว่า 10 ลูกบาศก์เมตรเนื่องจากเป็นการสูญเสียโอกาสทำรายได้ให้กับบริษัทร่วมค้า
7. ความเสี่ยงสินค้าเสียหายรวมไม่เกินกว่าความเสี่ยงสินค้าหายเฉลี่ยที่ยอมรับได้

4.1.3. นิยามสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ เซต พารามิเตอร์ และตัวแปร

1. เซต

O คือเซตของคำสั่งส่งสินค้าที่ต้องการการบริการ โดยมี o เป็นดัชนี

$\hat{O}$ คือเซตของคำสั่งส่งสินค้าของลูกค้าประจำโดย $\hat{O} \subset O$

T คือ เซตของเมืองจุดศูนย์กลางของการส่งสินค้า โดยมี t เป็นดัชนี

D คือ เซตของของเมืองปลายทางที่เปิดให้บริการ โดยมี d เป็นดัชนี

K คือ เซตของประเภทตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบริการ โดยมี k เป็นดัชนี

N_d^k คือ เซตของตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k ที่ใช้ในบริการขนสินค้าไปยังเมือง d โดยมี n เป็นดัชนี

2. พารามิเตอร์

c_d^k คือ ต้นทุนในการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k เพื่อใช้ในการให้บริการในเส้นทาง d

c_o^t คือ ต้นทุนในการให้บริการส่งสินค้าจากสถานีศูนย์กลาง t ไปยังสถานีปลายทางของ o

c_o คือ ต้นทุนในการขนส่งสินค้า o โดยใช้บริการบริษัทร่วมค้า

r_i^o คือ รายได้จากการส่งสินค้า o จากการส่งสินค้าด้วยรูปแบบ i โดยการขนส่งแบบผ่านบริษัทร่วมค้าจะได้ไม่ได้รายได้ส่วนส่วนท่าเรือปลายทาง

v_o คือ ปริมาตรของสินค้า o

w_o คือ น้ำหนักของสินค้า o

V^k คือ ปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k

W^k คือ น้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k

δ_{do} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าเป็น 1 หากสินค้า o มีสถานีปลายทางที่จุด d และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่นๆ

β_x คือ ความน่าจะเป็นที่สินค้าจะเสียหายจากการขนส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์ โดยตรงกำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.02

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

β_y คือ ความน่าจะเป็นที่สินค้าจะเสียหายจากการขนส่งสินค้าผ่านสถานีศูนย์กลาง โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.07

β_t คือ ความน่าจะเป็นที่สินค้าจะเสียหายที่ยอมรับได้ กำหนดให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.05

μ คือ ปริมาตรรวมของสินค้าที่ยอมให้ส่งโดยผ่านบริษัทค้าในแต่ละเส้นทาง

M คือ ตัวเลขที่มีค่ามาก

3. ตัวแปร

x_o^{dkn} คือ ตัวแปรการบริการขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง โดยตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 1 หากคำสั่งส่งสินค้า o ได้รับบริการโดยการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k หมายเลข n ไปยังสถานี d และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

y_o^t คือ ตัวแปรการบริการขนส่งผ่านเมืองศูนย์กลาง โดนตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 1 หากคำสั่งส่งสินค้า o ได้รับบริการโดยการส่งผ่านจากสถานีศูนย์กลาง t ไปสถานีปลายทาง และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

z_o คือ ตัวแปรการบริการส่งผ่านบรัษัทร่วมค้า โดยตัวแปรที่จะมีค่าเท่ากับ 1 หากคำสั่งส่งสินค้า o ได้รับการบริการโดยการส่งผ่านบริษัทร่วมค้า และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

q_d^{kn} คือ ตัวแปรการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ โดยตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อทำการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k หมายเลข n ในการบริการในเส้นทาง d และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

π_i คือ ราคาที่เงา (Shadow Price) ของสมการการเงื่อนไข

4.1.4. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาหลัก

Maximize: $R - C$

Subject to:

$$R = \sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\left\{\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} r_x \delta_{do} x_o^{dkn} + \sum_{t\in T} r_y^o y_o^t + r_z^o z_o\right\} \quad (4.3)$$

$$C = \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} c_d^k q_d^{kn} + \sum_{t\in T} c_o^t y_o^t + c_o z_o \quad (4.4)$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}\delta_{do}x_o^{dkn}+\sum_{t\in T}y_o^t+z_o=1 \qquad \forall o\in\hat{O} \qquad (4.5)\ \ \pi_1$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}\delta_{do}x_o^{dkn}+\sum_{t\in T}y_o^t+z_o\le 1 \qquad \forall o\in O\setminus\hat{O} \qquad (4.6)\ \ \pi_2$$

$$\sum_{o\in O}w_o x_o^{dkn}-W^k q_d^{kn}\le 0 \qquad \forall d\in D,k\in K,n\in N_d^k \ (4.7)\ \ \pi_3$$

$$\sum_{o\in O}v_o x_o^{dkn}-V^k q_d^{kn}\le 0 \qquad \forall d\in D,k\in K,n\in N_d^k \ (4.8)\ \ \pi_4$$

$$q_d^{kn}-q_d^{k(n+1)}\ge 0 \qquad \forall o\in O,k\in K,n\in N_d^k \ (4.9)\ \ \pi_5$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}x_o^{tkn}-y_o^t=0 \qquad \forall o\in O,t\in T \qquad (4.10)\ \ \pi_6$$

$$\sum_{o\in O}\delta_{do}v_o z_o\le\mu \qquad \forall d\in D \qquad (4.11)\ \ \pi_7$$

$$\sum_{o\in O}\left\{(\beta_x-\beta_t)\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}\delta_{do}x_o^{dkn}+(\beta_y-\beta_t)\sum_{t\in T}y_o^t\right\}\le 0 \qquad (4.12)\ \ \pi_8$$

$$x_o^{dkn}\in\{0,1\} \qquad (4.13)$$

$$y_o^t\in\{0,1\} \qquad (4.14)$$

$$z_o\in\{0,1\} \qquad (4.15)$$

$$q_d^{kn}\in\{0,1\} \qquad (4.16)$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องการหาผลกำไรที่มากที่สุด ผลกำไรจะได้จากการนำรายได้จากการให้บริการหักต้นทุนที่ใช้ในบริการ รายได้และต้นทุนจากการให้บริการสามารถหาได้จากสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.4 ตามลำดับ สมการที่ 4.5 คือสมการเงื่อนไขการให้บริการลูกค้าประจำโดยต้องให้บริการแก่คำสั่งส่งสินค้าเหล่านั้น สมการที่ 4.6 อสมการเงื่อนไขที่ในการปฏิเสธหรือให้บริการคำสั่งส่งสินค้าของลูกค้าขาจร อสมการที่ 4.7 และ 4.8 คืออสมการเงื่อนไขการควบรวมสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์ต้องไม่เกินกว่าน้ำหนักและปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ตามลำดับ อสมการที่ 4.9 คือ อสมการเงื่อนไขการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ต้องทำการเช่าจากตู้ที่มีหมายเลขน้อยไปมาก อสมการที่ 4.10 คือ สมการเงื่อนไขที่การส่งสินค้าผ่านเมืองศูนย์กลางสินค้าต้องถูกส่งมายังเมืองศูนย์กลางก่อนโดยตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงก่อน อสมการที่ 4.11 อสมการเงื่อนในการส่งสินค้าผ่านบริษัทร่วมค้าในแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินกว่าปริมาณที่ยินยอม

อสมการที่ 4.12 คือ อสมการเงื่อนไขไม่ให้ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าเสียหายรวมเกินกว่าค่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายรวมที่รับได้ สมการที่ 4.13 ถึง สมการที่ 4.16 คือ สมการที่บอกว่าทุกตัวแปรเป็นตัวแปรฐานสอง (Binary Variable)

โดยทั่วไปแบบจำลองที่มีตัวแปรฐานสองจะใช้เทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตในการหาผลเฉลย แต่เทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะมีลดประสิทธิภาพหากปัญหามีขนาดใหญ่ ดังนั้นการเลือกเทคนิคการหาผลเฉลยจึงเป็นสิ่งจำเป็นในงานวิจัยนี้ โดยจะกล่าวในห้อข้อต่อไป

4.2. เทคนิคการหาผลเฉลย

เทคนิคการผลเฉลยเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นสำหรับงานวิจัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หากยิ่งมีความละเอียดแล้วจะทำให้การหาผลเฉลยเป็นไปได้ลำบากขึ้นมาก ดังนั้นในส่วนนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการหาผลเฉลยที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาหลัก โดยเทคนิคการผลเฉลยที่จะนำเสนอมีได้แก่ เทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ (Bender's Decomposition) เทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส และเทคนิค "ทยอยแก้ปัญหา"

4.2.1. การแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ (Bender's Decomposition)

การแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าเทคนิคนี้เป็นเทคนิคนี้ที่แบ่งจำลองออกเป็น 2 แบบจำลองย่อย ต่อไปนี้จะเป็นการนำเสนอขั้นตอนในการแบ่งส่วนของแบบจำลองตามเทคนิคการแบ่งส่วนของเบนเดอร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้ การแบ่งประเภทของตัวแปร แบบจำลองย่อย (P1) แบบจำลองย่อยเสมือน (D1) แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือนสมบูรณ์ (CD) วิธีการหาผลเฉลย และการปรับค่าของผลเฉลย

1. การแบ่งประเภทของตัวแปร

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาหลักพบว่ามี 4 ตัวแปรในแบบจำลองได้แก่ x y z และ q โดยผู้ทำการวิจัยจะผ่อนปรนให้ตัวแปร x สามารถมีค่าเป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0 ถึง 1 จากการผ่อนปรนตัวแปรอาจทำให้ได้ผลเฉลยเป็นค่าทศนิยมได้

2. แบบจำลองย่อยของปัญหาหลัก (P1)

ในแบบจำลองนี้จะทำการกำหนดให้ตัวแปร y, z และ q เป็นค่าคงที่ $(\bar{y}, \bar{z}, \bar{q})$ และทำการผ่อนปรนให้ตัวแปร x เป็นจำนวนจริงมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจึงมีลักษณะดังสมการที่ 4.17 ถึงสมการที่ 2.24

Maximize: R

Subject to:

$$R = \sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} r_x \delta_{do} x_o^{dkn} \tag{4.17}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} \delta_{do} x_o^{dkn} = 1 - \left(\sum_{t\in T}\overline{y_o^t} + \overline{z_o}\right) \qquad \forall o \in \hat{O} \tag{4.18} \quad \pi_9^o$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} \delta_{do} x_o^{dkn} \le 1 - \left(\sum_{t\in T}\overline{y_o^t} + \overline{z_o}\right) \qquad \forall o \in O \setminus \hat{O} \tag{4.19} \quad \pi_{10}^o$$

$$\sum_{o\in O} w_o x_o^{dkn} \le W^k \overline{q_d^{kn}} \qquad \forall d \in D, k \in K, n \in N_d^k \tag{4.20} \quad \pi_{11}^{dkn}$$

$$\sum_{o\in O} v_o x_o^{dkn} \le V^k \overline{q_d^{kn}} \qquad \forall d \in D, k \in K, n \in N_d^k \tag{4.21} \quad \pi_{12}^{dkn}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} x_o^{tkn} = \overline{y_o^t} \qquad \forall o \in O, t \in T \tag{4.22} \quad \pi_{13}^{ot}$$

$$\sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} (\beta_x - \beta_t)\delta_{do} x_o^{dkn} \le \sum_{o\in O}\sum_{t\in T} (\beta_y - \beta_t)\overline{y_o^t} \tag{4.23} \quad \pi_{14}$$

$$0 \le x_o^{dkn} \le 1 \tag{4.24}$$

จากสมการที่ 4.17 พบว่าแบบจำลองดังกล่าวต้องการหารายได้รวมจากการส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงให้มากที่สุด สมการเงื่อนไขที่ 4.18 และอสมการเงื่อนไขที่ 4.19 คือ เงื่อนไขในการให้บริการผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงของลูกค้าประจำและลูกค้าขาจรตามลำดับ อสมการที่ 4.20 และ 4.21 คือ เงื่อนไขในการควบรวมสินค้าต้องไม่เกินกว่านำหนักและปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการเช่า สมการที่ 4.22 คือ เงื่อนไขของการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางต้องทำการส่งของผ่านตู้คอนเทนเนอร์ไปเมืองศูนย์กลางเช่นกัน อสมการที่ 4.23 คือ เงื่อนไขบังคับให้ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าเสียหายรวมไม่เกินกว่าค่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่รับได้ อสมการที่ 4.25 กำหนดตัวแปร x ให้เป็นจำจนวนจริงมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

จากแบบจำลองย่อยของปัญหาหลักจะไม่นำไปหาเฉลย ผู้วิจัยจำแบบจำลองดังกล่าวไปพัฒนาต่อเป็นแบบจำลองเสมือนของปัญหาหลักโดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3. แบบจำลองย่อยเสมือนของปัญหาหลัก (D1)

แบบจำลองย่อยเสมือนของปัญหาหลักจะพัฒนาจากแบบจำลองย่อยของปัญหาหลักโดยเป็นการราคาเงาของแบบจำลองย่อยของปัญหาหลัก แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะดังต่อไปนี้

Minimize: TSP

Subject to:

$$TSP = \sum_{o\in\hat{O}}\left(1-\sum_{t\in T}\overline{y_o^t}-\overline{z_o}\right)\pi_9^o + \sum_{o\in O\setminus\hat{O}}\left(1-\sum_{t\in T}\overline{y_o^t}-\overline{z_o}\right)\pi_{10}^o + \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}W^k\,\overline{q_d^{kn}}\,\pi_{11}^{dkn} + \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k}V^k\,\overline{q_d^{kn}}\,\pi_{12}^{dkn} + \sum_{o\in O}\sum_{t\in T}\overline{y_o^t}\,\pi_{13}^{ot} + \left(\sum_{o\in O}\sum_{t\in T}\left(\beta_y-\beta_t\right)\overline{y_o^t}\right)\pi_{14} \quad (4.25)$$

$$\delta_{do}\pi_9^o + w_o\pi_{11}^{dkn} + v_o\pi_{12}^{dkn} + \pi_{13}^{ot} + \left(\beta_x-\beta_t\right)\pi_{14} \le r_x\delta_{do} \quad \forall o\in\hat{O}, d\in D, k\in K, n\in N_d^k \quad (4.26)$$

$$\delta_{do}\pi_{10}^o + w_o\pi_{11}^{dkn} + v_o\pi_{12}^{dkn} + \pi_{13}^{ot} + \left(\beta_x-\beta_t\right)\pi_{14} \le r_x\delta_{do} \quad \forall o\in O\setminus\hat{O}, d\in D, k\in K, n\in N_d^k \quad (4.27)$$

$$\pi_9^o \in R \qquad \forall o\in\hat{O} \quad (4.28)$$

$$\pi_{10}^o \ge 0 \qquad \forall o\in O\setminus\hat{O} \quad (4.29)$$

$$\pi_{11}^{dkn} \ge 0 \qquad \forall d\in D, k\in K, n\in N_d^k \quad (4.30)$$

$$\pi_{11}^{dkn} \ge 0 \qquad \forall d\in D, k\in K, n\in N_d^k \quad (4.31)$$

$$\pi_{13}^{ot} \in R \qquad \forall o\in O, t\in T \quad (4.32)$$

$$\pi_{14} \ge 0 \quad (4.33)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสมการที่ 4.25 เป็นผลรวมของราคาทรัพยากรเงาทั้งหมดโดยแบบจำลองต้องการให้มีค่าน้อยที่สุด อสมการที่ 4.26 และ 4.27 คือ เงื่อนไขให้รายได้ส่วนเพิ่มของทุกตัวแปร x มีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 0 อสมการที่ 4.29, 4.30, 4.31 และ 4.33 คือเงื่อนไขให้ตัวแปรมีค่ามากกว่าเท่ากับ 0 และอสมการที่ 4.28 และ 4.32 คือเงื่อนไขให้ตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนจริงใดๆ

จากแบบจำลองที่กล่าวข้างต้นผู้ทำการวิจัยจะทำการหาราคาเงาแล้วนำไปใช้แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือนสมบูรณ์ของปัญหาหลักที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4. แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือนสมบูรณ์ของปัญหาหลัก

แบบจำลองแบ่งส่วนเสมือนสมบูรณ์จะทำหน้าที่ในการหาค่าของตัวแปร y, z และ q จากราคาเงาที่ได้จากแบบจำลองย่อยเสมือนของปัญหาหลัก โดยปัญหานี้ได้จากการแบบจำลองของปัญหาหลักมาประยุกต์กับจำลองย่อยเสมือน แบบจำลองที่ได้มีลักษณะดังต่อไปนี้

Maximize: z

Subject to:

$$z \le R - C + TSP \tag{4.34}$$

$$R = \sum_{o \in O} \left\{ \sum_{t \in T} r_y^o y_o^t + r_z^o z_o \right\} \tag{4.35}$$

$$C = \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_d^k} c_d^k q_d^{kn} + \sum_{t \in T} c_o^t y_o^t + c_o z_o \tag{4.36}$$

$$\begin{aligned} TSP = {} & (\overline{\pi_9^o} + \overline{\pi_{10}^o}) + \sum_{d \in D} \sum_{k \in K} \sum_{n \in N_d^k} \left(W^k \overline{\pi_{11}^{dkn}} + V^k \overline{\pi_{12}^{dkn}} \right) q_d^{kn} \\ & + \left(\overline{\pi_{13}^{ot}} - \overline{\pi_9^o} + \overline{\pi_{14}} \left(\beta_y - \beta_t \right) \right) \sum_{o \in \hat{O}} \sum_{t \in T} y_o^t - \left(\overline{\pi_9^o} \right) \sum_{o \in \hat{O}} z_o \\ & + \left(\overline{\pi_{13}^{ot}} - \overline{\pi_{10}^o} + \overline{\pi_{14}} \left(\beta_y - \beta_t \right) \right) \sum_{o \in O \setminus \hat{O}} \sum_{t \in T} y_o^t - \left(\overline{\pi_{10}^o} \right) \sum_{o \in O \setminus \hat{O}} z_o \end{aligned} \tag{4.37}$$

$$q_d^{kn} - q_d^{k(n+1)} \ge 0 \qquad \forall o \in O, k \in K, n \in N_d^k \tag{4.38}$$

$$\sum_{o \in O} \delta_{do} v_o z_o \le \mu \qquad \forall d \in D \tag{4.39}$$

$$z \in R \tag{4.40}$$

$$y_o^t \in \{0,1\} \quad (4.41)$$

$$z_o \in \{0,1\} \quad (4.42)$$

$$q_d^{kn} \in \{0,1\} \quad (4.43)$$

จากสมการที่ 4.34 คือผลกำไรรวมที่แบบจำลองต้องการให้มีค่ามากที่สุด โดยผลกำไรรวมสูงสุดจะสามารถคำนวณได้จาก 3 ส่วนได้แก่ รายได้จากการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ รายได้จากส่วนอื่น และต้นทุน สมการที่ 4.46 คือรายได้จากการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงโดยสามารถหาได้จากราคาเงา สมการที่ 4.44 คือสมการรายได้ส่วนอื่น สมการที่ 4.45 คือสมการต้นทุนในการให้บริการ โดยสมการที่ 4.34 จะมีเท่าจำนวนชุดของราคาเงา อสมการที่ 4.38 คือเงื่อนไขของการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ต้องทำการเช่าจากหมายเลขน้อยไปมาก อสมการที่ 4.39 คือเงื่อนไขของการส่งสินค้าผ่านบริษัทร่วมค้าจะไม่เกินปริมาณที่รับได้ในทุกเส้นทาง สมการที่ 4.40 คือกำหนดเงื่อนไขให้ตัวแปรมีค่าเป็นจำนวนจริง และอสมการที่ 4.41 ถึง อสมการที่ 4.43 คือเงื่อนไขของตัวแปร *y, z* และ *q* ให้เป็นตัวแปรฐานสอง

เมื่อได้แบบจำลองครบถ้วนแล้วจะทำการหาผลเฉลยโดยใช้แบบเทคนิคการแบ่งส่วนของเบนเดอร์ตามวิธีที่เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.2.2.4 หรือดังภาพที่ 2.6 แต่ผลเฉลยจากเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์จะได้ค่า *x* ที่สามารถมีค่าเป็นทศนิยมได้ ดังนั้นต้องมีการปรับปรุงผลเฉลยอีกครั้งโดยจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

5. การปรับค่าของผลเฉลย

การปรับค่าของผลเฉลยจะทำการปรับค่าเฉลยของ *x* ให้เป็นเลขฐานสองโดยการทำการหาผลเฉลยจากแบบจำลองที่มีลักษณะคล้าย P1 แต่แตกต่างกันตรงสมการ 4.24 จะแทนด้วยสมการ 4.13 เพื่อให้ตัวแปร *x* เป็นตัวแปรฐานสอง ผลเฉลยสุดท้ายที่ได้จะเป็นไปตามนิยามของตัวแปรใน *x* ปัญหาหลัก

4.2.2. การหาเฉลยแบบ 2 เฟส (2 Phase Solution Method: 2PM)

การหาผลเฉลย 2 เฟสเป็นการผลเฉลยแบบฮิวลิสติก (Heuristic) โดยมีแนวคิดมาจากการหาผลเฉลยจากเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ จากการที่เทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ต้องทำการควบรวมสินค้าของค้าอีกครั้งในตอนท้าย ผู้ทำการวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาเฉลยของแบบจำลองของปัญหาหลักด้วยการลดตัวแปรการเช่าตู้คอนเทนเนอร์และตัวแปรการบริการขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงแบ่งปัญหาหลัก

ออกเป็น 2 เฟสได้แก่ ปัญหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรจองและปัญหาการควบรวมสินค้า เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึง นิยามของตัวแปรเพิ่มเติม ปัญหาทั้ง 2 เฟส และวิธีในการหาเฉลยแบบ 2 เฟส

1. นิยามของตัวแปรเพิ่มเติม

จากการใช้เทคนิคการการหาผลเฉลยแบบ 2เฟสทำให้มีตัวแปรที่เปลี่ยนไป 2 ตัว ดังนี้

X_o^{dk} คือ ตัวแปรการบริการขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง โดยตัวแปรจะมีค่าเท่ากับ 1 หากคำสั่งส่งสินค้า o ได้รับบริการโดยการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k ไปยังสถานี d และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

Q_d^k คือ ตัวแปรจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k ที่ทำการเช่าในการบริการในเส้นทาง d

2. ปัญหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรจอง

แบบจำลองในการหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เหมาะสมในการจองมาจากการพัฒนาแบบจำลองปัญหาหลัก แต่ปรับเปลี่ยนตัวแปรการเช่าตู้คอนเทนเนอร์เป็นตัวแปรจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรเช่า และตัวแปรการขนส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์จะไม่มีหมายเลขตู้คอนเทอร์ในการบรรจุ แบบจำลองที่ได้มีลักษณะดังนี้

Maximize: $R - C$

Subject to:

$$R = \sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\left\{\sum_{k\in K} r_x \delta_{do} X_o^{dk} + \sum_{t\in T} r_y^o y_o^t + r_z^o z_o\right\} \quad (4.44)$$

$$C = \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} c_d^k Q_d^k + \sum_{t\in T} c_o^t y_o^t + c_o z_o \quad (4.45)$$

$$\sum_{k\in K} \delta_{do} X_o^{dk} + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o = 1 \qquad \forall o \in \hat{O} \quad (4.46)$$

$$\sum_{k\in K} \delta_{do} X_o^{dk} + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o \le 1 \qquad \forall o \in O \setminus \hat{O} \quad (4.47)$$

$$\sum_{o\in O} w_o X_o^{dk} - W^k Q_d^k \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \quad (4.48)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\sum_{o\in O} v_o X_o^{dk} - V^k Q_d^k \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \quad (4.49)$$

$$\sum_{k\in K} X_o^{tk} - y_o^t = 0 \qquad \forall o \in O, t \in T \quad (4.50)$$

$$\sum_{o\in O} \delta_{do} v_o z_o \le \mu \qquad \forall d \in D \quad (4.51)$$

$$\sum_{o\in O} \left\{ (\beta_x - \beta_t) \sum_{d\in D} \sum_{k\in K} \delta_{do} X_o^{dk} + (\beta_y - \beta_t) \sum_{t\in T} y_o^t \right\} \le 0 \quad (4.52)$$

$$X_o^{dk} \in \{0,1\} \quad (4.53)$$

$$y_o^t \in \{0,1\} \quad (4.54)$$

$$z_o \in \{0,1\} \quad (4.55)$$

$$Q_d^{kn} \in I^+ \quad (4.56)$$

แบบจำลองดังกล่าวต้องการหาผลกำไรที่มากที่สุดโดยผลกำไรหาได้จากรายได้ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.44 ไปหักกับต้นทุนที่หาได้จากสมการที่ 4.45 สมการที่ 4.46 และอสมการที่ 4.47 เป็นเงื่อนไขในการให้บริการลูกค้าประจำและลูกค้าขาจรตามลำดับ อสมการที่ 4.48 และอสมการที่ 4.49 เป็นเงื่อนให้การควบรวมสินค้าไม่มากกว่าน้ำหนักและปริมาตรประสิทธิผลที่รองได้รับได้รวมในแต่ละประเภทตู้คอนเทนเนอร์ สมการที่ 4.50 คือเงื่อนไขในการให้บริการแบบส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง อสมการ 4.51 คือเงื่อนไขในการให้บริการผ่านบริษัทร่วมต้องมีปริมาณไม่เกินกว่าปริมาณที่รับได้ในทุกเส้นทาง อสมการที่ 4.52 คือเงื่อนไขค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าเสียหายรวมต้องน้อยกว่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่ยอมรับได้ สมการที่ 4.53 ถึงสมการที่ 4.55 คือเงื่อนไขให้ตัวแปรเป็นตัวแปรฐานสอง และ สมการที่ 4.56 คือเงื่อนไขให้ตัวแปรเป็นจำนวนเต็มบวก

ผลที่ได้จากแบบจำลองนี้คือจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรทำการเช่าเพื่อให้เกิดผลกำไรสูงสุด แต่การควบรวมสินค้ายังไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากผลเฉลยไม่ทำการแจกแจงสินค้าให้กับตู้คอนเทนเนอร์ โดยการแจกแจงสินค้าที่เหมาะสมจะสามารถหาได้จากปัญหาการควบรวมค้าซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

3. ปัญหาการควบรวมสินค้า

ปัญหาการควบรวมสินค้าจะดึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการจองจากปัญหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรจองเป็นค่าคงที่ในแบบจำลอง โดยการควบรวมสินค้าในปัญหานี้

จะมีความละเอียดถึงการแจกแจงสินค้ากับตู้คอนเทนเนอร์เช่นเดียวกับปัญหาหลัก แบบจำลองที่ได้มีลักษณะดังนี้

Maximize: $R - C$

Subject to:

$$R = \sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\left\{\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} r_x \delta_{do} x_o^{dkn} + \sum_{t\in T} r_y^o y_o^t + r_z^o z_o\right\} \tag{4.57}$$

$$C = \sum_{t\in T} c_o^t y_o^t + c_o z_o \tag{4.58}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} \delta_{do} x_o^{dkn} + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o = 1 \qquad \forall o \in \hat{O} \tag{4.59}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} \delta_{do} x_o^{dkn} + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o \le 1 \qquad \forall o \in O \setminus \hat{O} \tag{4.60}$$

$$\sum_{o\in O} w_o x_o^{dkn} \le W^k \overline{q_d^{kn}} \qquad \forall d \in D, k \in K, n \in N_d^k \tag{4.61}$$

$$\sum_{o\in O} v_o x_o^{dkn} \le V^k \overline{q_d^{kn}} \qquad \forall d \in D, k \in K, n \in N_d^k \tag{4.62}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} x_o^{tkn} - y_o^t = 0 \qquad \forall o \in O, t \in T \tag{4.63}$$

$$\sum_{o\in O} \delta_{do} v_o z_o \le \mu \qquad \forall d \in D \tag{4.64}$$

$$\sum_{o\in O}\left\{(\beta_x - \beta_t)\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} \delta_{do} x_o^{dkn} + (\beta_y - \beta_t)\sum_{t\in T} y_o^t\right\} \le 0 \tag{4.65}$$

$$x_o^{dkn} \in \{0,1\} \tag{4.66}$$

$$y_o^t \in \{0,1\} \tag{4.67}$$

$$z_o \in \{0,1\} \tag{4.68}$$

จากแบบจำลองดังกล่าวจะเป็นการหาผลกำไรของการควบรวมสินค้าที่เหมาะสมที่สุด โดยผลกำไรสามารถหาได้จากรายได้ที่คำนวณจาสมการที่ 4.57 หักออกจากต้นที่คำนวณได้

จากสมการที่ 4.58 สมการที่ 4.59 และอสมการที่ 4.60 คือเงื่อนไขในการให้บริการแก่ลูกค้าประจำและลูกค้าขาจรตามลำดับ อสมการที่ 4.61 และอสมการที่ 4.62 คือเงื่อนไขในการควบรวมสินค้าจะไม่เกินน้ำหนักและปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการเช่ามา สมการที่ 4.63 คือ เงื่อนไขในการให้บริการแบบส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลาง อสมการที่ 4.64 คือเงื่อนไขในการให้บริการผ่านบริษัทร่วมค้าจะมีปริมาณไม่เกินกว่าปริมาณที่ยอมรับได้ อสมการที่ 4.65 คืออสมการเงื่อนไขค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าสินหายรวมไม่เกินกว่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่ยอมรับได้ และสมการที่ 4.66 ถึง สมการที่ 4.68 คือเงื่อนไขในการกำหนดประเภทตัวแปรให้เป็นตัวแปรประเภทฐานสอง

เมื่อเราได้แบบจำลองของทั้ง 2 ปัญหาวิธีในการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสเป็นเนื้อหาที่กล่าวในหัวข้อต่อไป

4. วิธีในการหาเฉลยแบบ 2 เฟส

จากการที่ผู้ทำการวิจัยเสนอให้หาผลเฉลยโดยใช้การหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสหลักจากเราสามารถปัญหาทั้ง 2 เฟสแล้ว ต่อไปคือวิธีการหาผลเฉลยซึ่งเป็นเนื้อหาในส่วนนี้ที่จะกล่าวถึง

วิธีการหาเฉลย 2 เฟสเป็นวิธีตรงไปตรงมากล่าวคือจำการแก้ปัญหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรจองก่อนเพื่อให้ได้มาถึงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เหมาะสมหลักจากนั้นจะการปรับ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เหมาะสมกลายเป็น ตู้ที่ทำการเช่าในปัญหาการควบรวมสินค้า และเมื่อทำการหาเฉลยในแบบจำลองสุดท้ายแล้วจะได้ผลเฉลยที่มีความสมบูรณ์เป็นไปตามนิยามตัวแปรของปัญหาหลักทุกประการ

4.2.3. การหาผลเฉลยด้วยเทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” (Incremental Solution Method: ISM)

เทคนิคทยอยแก้ปัญหา เป็นเทคนิคการผลเฉลยแบบฮิวลิสติก (Heuristic) โดยพัฒนามากจากการหาเฉลยแบบ 2 เฟสบูรณาการกับวิธีการหาผลเฉลยโดยตรง จากการที่แบบจำลองแบบ 2 เฟสที่มีหน้าที่แตกต่างต่างกันอย่างชัดเจน ผู้ทำการวิจัยจึงเกิดแนวคิดนำแบบจำลองของการหาผลเฉลยของ 2 เฟสมาผสมกับการหาผลเฉลยโดยตรง

จากการนำวิธีการหาผลเฉลยทั้ง 2 มาบูรณาการกัน ผลลัพธ์ที่ได้คือแบบจำลองที่มีการควบรวมสินค้าและการหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่สมควรเช่าในแบบจำลองเดียวกัน โดยเนื้อหาส่วนนี้กล่าวถึง นิยามตัวแปรเพิ่มเติม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และวิธีการหาเฉลย

1. นิยามพารามิเตอร์และตัวแปรเพิ่มเติม

α_v คือ ค่าสัดส่วนการใช้งานขั้นต่ำของใช้งานตู้คอนเทนเนอร์ที่ยอมรับได้ด้านปริมาตร

α_w คือ ค่าสัดส่วนการใช้งานขั้นต่ำของใช้งานตู้คอนเทนเนอร์ที่ยอมรับได้ด้านน้ำหนัก

$\overline{risk}$ คือ ค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าเสียหายเฉลี่ยของสินค้าที่ถูกตัดออกจากระบบไปแล้ว

ω_d^k คือ ตัวแปรเปิดตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มของตู้คอนเทนเนอร์ประเภท k ไปยังสถานี d ของหรือไม่ มีค่าเป็น 1 หาก Q มากกว่า 0 และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองจากเทคนิคทยอยแก้ปัญหา จะได้มาจากการบูรณาการระหว่างวิธีการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสกับการหาเฉลยโดยตรง ทำให้แบบจำลองที่ได้ สามารถทำการควบรวมสินค้าและหาจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการเช่าไปพร้อมกัน โดยแบบจำลองที่ได้มีลักษณะดังนี้

Maximize: $R - C$

Subject to:

$$R = \sum_{o\in O}\sum_{d\in D}\left\{\sum_{k\in K} r_x \delta_{do}\left(x_o^{dk} + X_o^{dk}\right) + \sum_{t\in T} r_y^o y_o^t + r_z^o z_o\right\} \tag{4.69}$$

$$C = \sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\sum_{n\in N_d^k} c_d^k\left(q_d^{kn} + Q_d^k\right) + \sum_{t\in T} c_o^t y_o^t + c_o z_o \tag{4.70}$$

$$\sum_{k\in K}\delta_{do}\left(x_o^{dk} + X_o^{dk}\right) + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o = 1 \qquad \forall o \in \hat{O} \tag{4.71}$$

$$\sum_{k\in K}\delta_{do}\left(x_o^{dk} + X_o^{dk}\right) + \sum_{t\in T} y_o^t + z_o \le 1 \qquad \forall o \in O \setminus \hat{O} \tag{4.72}$$

$$q_d^{kn} - \omega_d^k \ge 0 \qquad \forall o \in O, k \in K \tag{4.73}$$

$$M\omega_d^k - Q_d^k \ge 0 \qquad \forall o \in O, k \in K \tag{4.74}$$

$$\sum_{o\in O} w_o x_o^{dkn} - W^k q_d^{kn} \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.75)$$

$$\sum_{o\in O} v_o x_o^{dkn} - V^k q_d^{kn} \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.76)$$

$$\sum_{o\in O} w_o x_o^{dkn} - \alpha_w W^k \omega_d^k \ge 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.77)$$

$$\sum_{o\in O} v_o x_o^{dkn} - \alpha_v V^k \omega_d^k \ge 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.78)$$

$$\sum_{o\in O} w_o X_o^{dk} - W^k Q_d^k \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.79)$$

$$\sum_{o\in O} v_o X_o^{dk} - V^k Q_d^k \le 0 \qquad \forall d \in D, k \in K \qquad (4.80)$$

$$\sum_{k\in K} \left(x_o^{tk} + X_o^{tk}\right) - y_o^t = 0 \qquad \forall o \in O, t \in T \qquad (4.81)$$

$$\sum_{o\in O} \delta_{do} v_o z_o \le \mu \qquad \forall d \in D \qquad (4.82)$$

$$\sum_{o\in O} \left\{ (\beta_x - \beta_t) \sum_{d\in D} \sum_{k\in K} \delta_{do} \left(x_o^{dk} + X_o^{dk}\right) + (\beta_y - \beta_t) \sum_{t\in T} y_o^t \right\} \le \overline{risk} \qquad (4.83)$$

$$x_o^{dk} \in \{0,1\} \qquad (4.84)$$

$$X_o^{dk} \in \{0,1\} \qquad (4.85)$$

$$y_o^t \in \{0,1\} \qquad (4.86)$$

$$z_o \in \{0,1\} \qquad (4.87)$$

$$q_d^k \in \{0,1\} \qquad (4.88)$$

$$\omega_d^k \in \{0,1\} \qquad (4.89)$$

$$Q_d^k \in I^+ \qquad (4.90)$$

จากแบบจำลองจะพบว่ามีการแยกประเภทตัวแปรจองตู้คอนเทนเนอร์ได้แก่ ตัวแปรการจองตู้คอนเทนเนอร์แบบฐานสอง (q_d^k) และตัวแปรการจองตู้คอนเทนเนอร์แบบจำนวนเต็มบวก (Q_d^k) และแบ่งประเภทตัวแปรการให้บริการผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงแย่งออกเป็น 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทเช่นกันได้แก่ ตัวแปรการส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์ประเภทฐานสอง (x_o^{dk}) และตัวแปรการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มบวก (X_o^{dk})

แบบจำลองดังกล่าวต้องการหาผลกำไรที่ดีที่สุด โดยผลกำไรสามารถหาได้จากรายได้ที่คำนวณจากสมการที่ 4.69 หักต้นทุนที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.70 สมการที่ 4.71 และสมการที่ 4.72 คือเงื่อนไขในการให้บริการแก่ลูกค้าประจำและขาจรตามลำดับ อสมการที่ 4.73 และอสมการที่ 4.74 คือเงื่อนไขในการบังคับให้เปิดตู้คอนเทนเนอร์แบบฐานสองก่อนตู้คอนเทนเนอร์จำนวนเต็มบวกและให้ตัวแปร ω_d^k มีค่าเท่ากับ 1 หากมีการใช้บริการตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็ม อสมการที่ 4.75 และ 4.76 คือเงื่อนไขการควบรวมสินค้าต้องไม่เกินกว่าน้ำหนักและปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ของตู้คอนเทนเนอร์ประเภทฐานสองที่ทำการจองตามลำดับ อสมการที่ 4.77 และอสมการที่ 4.78 คือเงื่อนไขในการให้ควบรวมของสินค้าใส่ตู้คอนเทนเนอร์ประเภทฐานสองต้องมีน้ำหนักและปริมาตรไม่น้อยกว่าขั้นต่ำที่ยอมรับได้เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของตู้คอนเทนเนอร์อย่างมีประสิทธิภาพ อสมการที่ 4.79 และอสมการที่ 4.80 คือเงื่อนไขในการควบรวมสินค้าต้องไม่เกินกว่าน้ำหนักและปริมาตรประสิทธิผลรวมที่รองรับได้จากการตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มบวกที่ทำการจอง สมการที่ 4.81 คือเงื่อนไขในการให้บริการแบบผ่านเมืองศูนย์กลาง อสมการที่ 4.82 คือเงื่อนไขในการส่งผ่านบริษัทร่วมค้าต้องไม่เกินกว่าปริมาณที่ยอมรับได้ อสมการที่ 4.83 คือเงื่อนไขค่าเฉลี่ยความเสี่ยงสินค้าเสียหายต้องน้อยกว่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่ยอมรับได้ สมการที่ 4.84 ถึง สมการที่ 4.89 คือเงื่อนไขกำหนดตัวแปรให้เป็นตัวแปรประเภทฐานสอง และสมการที่ 4.90 คือเงื่อนไขกำหนดให้ตัวแปรเป็นประเภทจำนวนเต็มบวก

เมื่อได้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สมบูรณ์แล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำแบบจำลองดังกล่าวไปหาผลเฉลย โดยวิธีการหาผลเฉลยจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

3. วิธีในการหาเฉลยจากเทคนิคทยอยแก้ปัญหา

เนื่องจากการหาผลเฉลยจากเทคนิคทยอยแก้ปัญหา ที่ผู้ทำการวิจัยจะเสนอต่อไปนี้มีความซับซ้อน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจะทำจะการนำเสนอขั้นตอนการหาผลเฉลยไปควบคู่กับแผนภาพดังภาพที่ 4.3

ก. นำสินค้าทุกชิ้นเข้าไปในเซตสินค้าในระบบ

ข. สร้างตัวแปรและสมการเงื่อนไขให้กับสินค้าที่อยู่ในเซตสินค้าในระบบ

ค. หาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ง. แบ่งประเภทสินค้าออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ประเภทแรกคือสินค้าที่ได้รับการบริการจากตู้คอนเทนเนอร์ประเภทฐานสอง($x_o^{dk}=1$) และสินค้าประเภทที่สองคือสินค้าที่ได้รับบริการแบบอื่นๆ($x_o^{dk}=0$)

จ. บันทึกการให้บริการของสินค้าสินประเภทแรก ปรับปรุงค่า $\overline{risk}$ ให้เท่ากับเป็น $\overline{risk}'$ ตามสมการที่ 4.91 และทำการตัดสินค้าประเภทที่ 1 ออกจากเซตสินค้าในระบบ

$$\overline{risk}' = \overline{risk} + \sum_{o\in O}\left\{(\beta_t-\beta_x)\sum_{d\in D}\sum_{k\in K}\delta_{do}x_o^{dk} + (\beta_t-\beta_y)\sum_{t\in T}\sum_{k\in K}x_o^{tk}y_o^t\right\} \quad (4.91)$$

ฉ. ตรวจสอบว่ามีตัวแปรตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มบวก (Q_d^{kn}) มีค่าหรือไม่ หากมีตัวแปรตู้คอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มบวกที่มีค่าให้กลับไปปฏิบัติตามข้อ ข. หากไม่มีตัวแปรคอนเทนเนอร์ประเภทจำนวนเต็มบวกใดมีค่าให้ปฏิบัติข้อ ช. ต่อไป

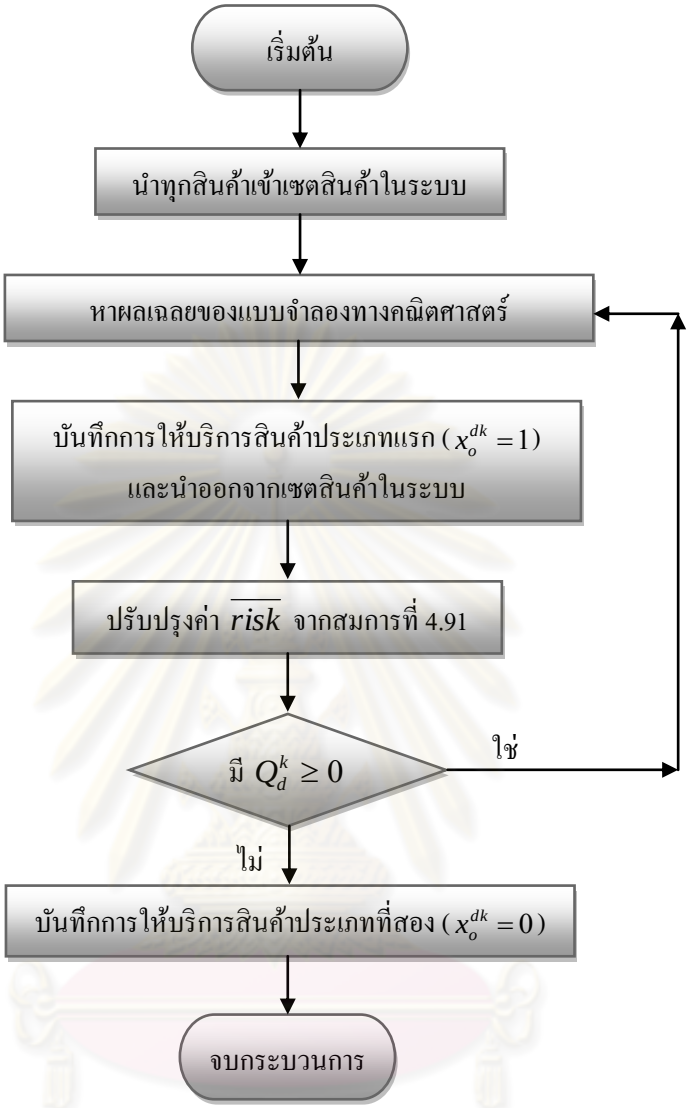
ช. ทำการบันทึกการให้บริการของสินค้าประเภทที่สอง

ซ. จบการหาผลเฉลย

4.3. สรุปการพัฒนาแบบจำทางคณิตศาสตร์และเทคนิคการหาผลเฉลย

การหาผลเฉลยด้วยเทคนิคต่างๆหรือการหาผลเฉลยด้วยวิธีตรงทั้งหมดนั้นมีจุดประสงค์ในการแก้ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมค้าทั้งสิ้น แต่วิธีการหาคำตอบที่แตกต่างกันอาจทำให้ประสิทธิภาพของผลเฉลยและทรัพยากรที่ใช้แตกต่างกันไปโดยจะนำเสนอในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.3 วิธีการผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การวิเคราะห์ผลจากการวิจัย

เนื้อหาในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ประสิทธิภาพของเทคนิคการหาผลเฉลย การเลือกเทคนิคการหาผลเฉลยที่เหมาะสม และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลการดำเนินการจริง

5.1. ประสิทธิภาพของเทคนิคการหาผลเฉลย

การหาผลเฉลยของปัญหาหลักสามารถใช้ได้หลากหลายเทคนิคตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.2 ผู้ทำการวิจัยจึงต้องการหาเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับปัญหาหลักในการวิจัยนี้ ดังนั้นในเนื้อหาส่วนนี้จะกล่าวถึง ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองและประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยจากเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต การแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ การหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส (2 Phase Solution Method) และการหาเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (Incremental Soulution Method)

5.1.1. ลักษณะของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองเป็นข้อมูลที่สร้างขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เกิดสถานการณ์แตกต่างกันไปตามความต้องการของผู้วิจัย แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่สร้างมาใหม่นั้นได้จำลองมาจากข่อมูลสถานการณ์จริงเพื่อให้การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองมีความสมจริงมากที่สุด โดยลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบมีดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การแจกแจงลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

	ชุดข้อมูล				
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนคำสั่งส่งสินค้า	50	100	200	400	600
จำนวนเมืองในแบบจำลอง	29	29	29	29	29
จำนวนเมืองศูนย์กลาง	2	2	2	2	2
ปริมาตรที่สามารถส่งผ่านบริษัทร่วมค้าในแต่ละเส้นทาง (ลบ.ม.)	10	10	10	10	10
ความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่ยอมรับได้ (%)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

5.1.2. ประสิทธิภาพของเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต

การหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบขอบเขตเป็นการหาผลเฉลยของแบบจำลองหลักโดยตรง ปกติการใช้เทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตจะมีการตั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (*Tolerance*) โดยความคลาดเคลื่อนสามารถหาได้จากสมการ 5.1 ในการวิจัยนี้ผู้ทำการวิจัยจะกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่รับได้เท่ากับร้อยละ 0.5

$$Tolerance = (Upper\ bound - Lower\ Bound)/|Lower\ Bound| \qquad (5.1)$$

การหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเป็นเทคนิคที่ใช้ทรัพยากรสูง ในแก้ปัญหาปัญหาขนาดใหญ่อาจเกิดปัญหาจากการมีทรัพยากรไม่เพียงพอ (Out of Memory) ดังนั้นชุดข้อมูลอาจไม่สามารถหาผลเฉลยได้ หรือหาผลเฉลยได้แต่ไม่อยู่ในความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยทำการเสนอตัวประเมินผลประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตดังนี้

1. สามารถหาผลเฉลยได้หรือไม่
2. สามารถหาผลเฉลยภายใต้ความเคลื่อนที่ยอมรับได้หรือไม่
3. ค่าความคลาดเคลื่อนของผลเฉลย
4. เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย
5. จำนวนตัวแปร
6. จำนวนสมการเงื่อนไข
7. จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข

จากการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบขอบเขตได้ผลตามตารางที่ 5.2 จากผลการทดสอบดังกล่าวสามารถเห็นได้ว่าการมีสินค้ามากขึ้นจะส่งผลให้จำนวนตัวแปร จำนวนสมการเงื่อนไข และจำนวนสัมประสิทธิ์ในสมการเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้นมากกว่าสัดส่วนโดยตรง โดยการที่ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยมากขึ้นดังภาพที่ 5.1 และจากการที่ปัญหาใหญ่ขึ้นส่งผลให้เกิดปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพอทำให้ได้ผลเฉลยที่มีความคลาดเคลื่อนสูงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ดังภาพที่ 5.2

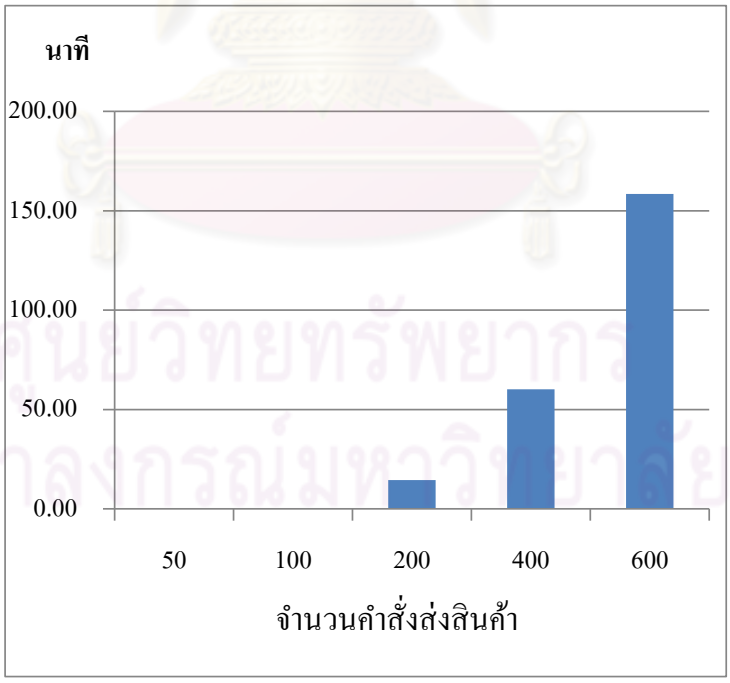
5.1.3. ประสิทธิภาพของเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์

ผู้ทำการวิจัยได้พยายามหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์ แต่จากการทำวิจัยผู้ทำการวิจัยยังไม่สามารถนำการแบ่งส่วนแบบเบนเดอร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่าง

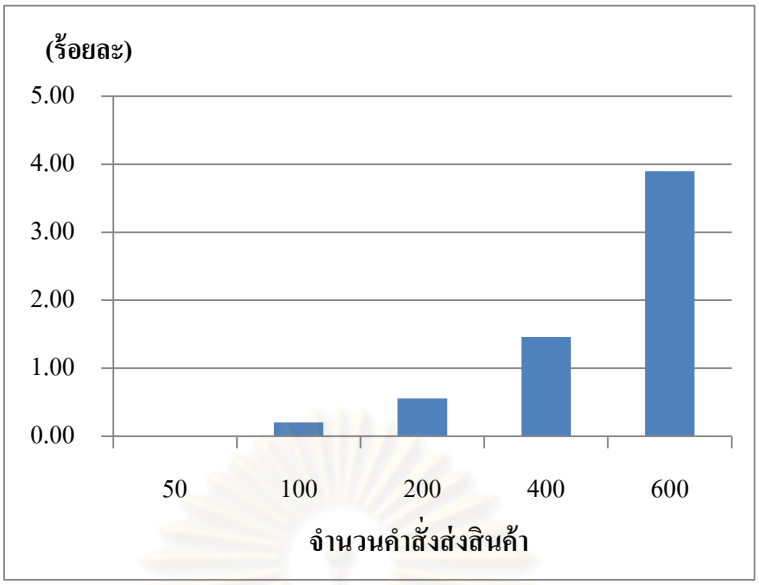
สมบูรณ์ได้เนื่องจากไม่สามารถกำจัดคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมุ่งเน้นไปสู่เทคนิคการหาผลเฉลยอื่นแทน

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต

	ชุดข้อมูล				
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนคำสั่งส่งสินค้า	50	100	200	400	600
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	0	0	0	0	0
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้	0	0	0	0	4
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของผลเฉลย (%)	0	0.21	0.55	1.46	3.9
เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (นาที)	0.01	0.1	14.53	60.25	158.51
จำนวนตัวแปรเฉลี่ย	1,022	3,813	14,265	51,775	117,216
จำนวนสมการเงื่อนไขเฉลี่ย	243	474	904	1,780	2,639
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฉลี่ย	3,256	12,253	45,722	166,036	375,536



ภาพที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้ในการการหาผลเฉลยโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตแจกแจงตามจำนวนคำสั่งส่งสินค้า



ภาพที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของผลเฉลยโดยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตแจกแจงตามจำนวนคำสั่งส่งสินค้า

5.1.4. ประสิทธิภาพของเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส

เทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสเป็นเทคนิคหาผลเฉลยแบบฮิวริสติกที่มุ่งเน้นการลดทรัพยากรในกระบวนการหาผลเฉลย ผู้ทำการวิจัยจึงไม่ต้องการตั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่รับได้ (*Tolerance*) เนื่องจากหากกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มากเกินไปจะส่งผลให้คุณภาพของคำตอบแย่ลง และหากกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนที่รับได้น้อยเกินไปจะทำให้เทคนิคนี้ใช้ทรัพยากรไม่ต่างจากการแก้ปัญหาโดยตรง ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมีแนวคิดกำหนดค่าขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหา (*Time Limit*)

แน่นอนว่าการกำหนดขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาย่อมส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลเฉลยและทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการหาผลเฉลยเช่นกัน ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รอบโดยแต่ละรอบมีการตั้งค่าเงื่อนไขการหยุดการหาผลเฉลยดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส

เงื่อนไขในการหยุดการหาผลเฉลยใน 1 เฟส	การทดสอบรอบที่		
	1	2	3
ขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	60	120	180
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (%)	0.01	0.01	0.01

การหาแก้ปัญหาหลักด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสเป็นการหาผลเฉลยแบบฮิวริสติก โดยปกติในการหาผลเฉลยแบบฮิวริสติกไม่สามารถยืนยันได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือมีความคลาดเคลื่อนเท่าใด แต่เราสามารถวัดประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลแบบ 2 เฟสโดยการนำผลคำตอบไปเปรียบเทียบจากการหาคำตอบโดยตรงหรือเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch & Bound: B&B) ดังนั้นผู้ทำการวิจัยทำการเสนอตัวประเมินผลประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสดังนี้

1. สามารถหาผลเฉลยได้หรือไม่
2. ส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง หาได้จากสมการ 5.2

$$\text{สัดส่วนผลต่างจาก } B\&B = (Profit_{2Phase} - Profit_{B\&B})/|Profit_{B\&B}| \quad (5.2)$$

3. เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยในเฟสที่ 1
4. เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยในเฟสที่ 2
5. จำนวนตัวแปรในเฟสที่ 1
6. จำนวนสมการเงื่อนไขในเฟสที่ 1
7. จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขในเฟสที่ 1
8. จำนวนตัวแปรในเฟสที่ 2
9. จำนวนสมการเงื่อนไขในเฟสที่ 2
10. จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขในเฟสที่ 2

จากการทำการทดสอบเพื่อหาค่าขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.4 ถึงตารางที่ 5.6 พบว่า การหาผลเฉลยที่ขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหา 180 วินาทีมีคุณภาพผลเฉลยที่ดีกว่าการทดลองรอบอื่นไม่มากนักดังภาพที่ 5.3 และใช้เวลารวมในการหาผลเฉลยมากที่สุดดังภาพที่ 5.4 และภาพที่ 5.5 แต่การทดลองดังกล่าวสามารถหาผลเฉลยสามารถหาผลเฉลยได้ทุกขอมูล ดังนั้นผู้ทำการวิจัยสนับสนุนให้ใช้เทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสโดยใช้ขอบเขตเวลาการหาผลเฉลยที่ 180 วินาที

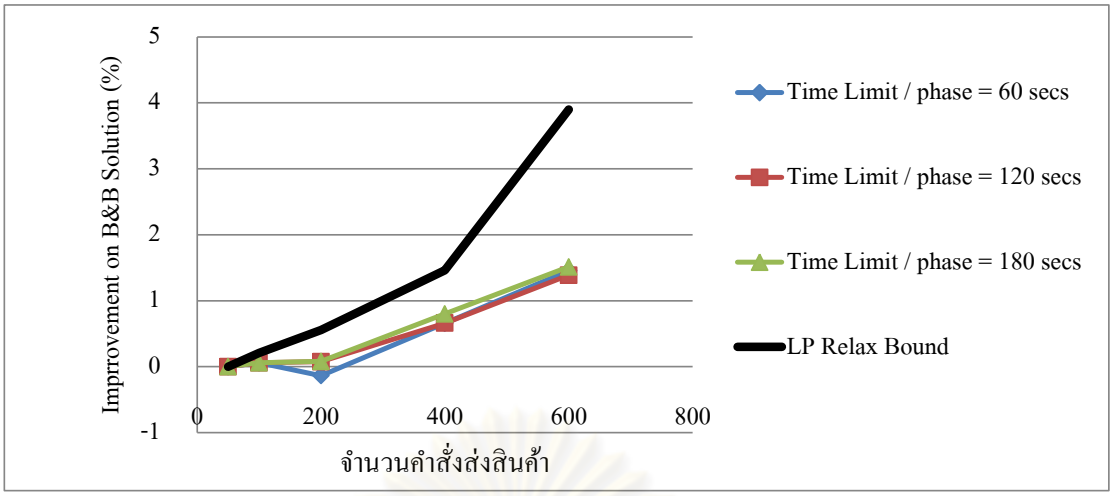
เมื่อนำประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาเฉลยแบบ 2 เฟสเปรียบเทียบกับการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต จะเห็นได้ว่าความคลาดเคลื่อนของผลเฉลยส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวกแสดงว่าผลเฉลยจากเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสดีกว่าผลเฉลยจากเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต และที่สำคัญใช้เวลาในการหาเฉลยน้อยกว่าการหาผลเฉลยโดยตรงมากดังภาพที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส

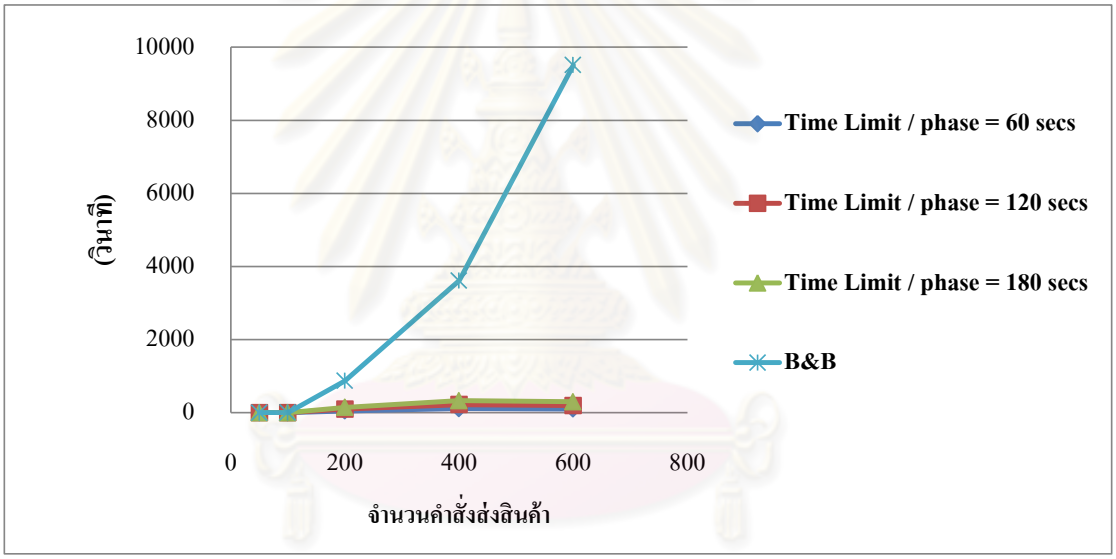
	การทดสอบรอบที่	ชุดข้อมูล				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	1	0	0	0	0	2
	2	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง (%)	1	0	0.06	-0.14	0.66	1.46
	2	0	0.06	0.08	0.66	1.39
	3	0	0.06	0.08	0.8	1.51
เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลยในเฟสที่ 1 (วินาที)	1	0.22	0.81	13.47	53.63	43.18
	2	0.22	0.81	25.49	101.8	74.67
	3	0.22	0.81	37.55	149.7	120.5
เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลยในเฟสที่ 2 (วินาที)	1	0.02	0.96	36.87	60.11	60.05
	2	0.02	0.96	72.86	122	120.1
	3	0.02	0.96	110.68	180	180.1

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส (ต่อ)

		ชุดข้อมูล				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
เฟสที่	จำนวนคำสั่งส่งสินค้า	50	100	200	400	600
1	จำนวนตัวแปร	290.4	586.2	1,177.80	2,311.60	3,451.00
	จำนวนสมการเงื่อนไข	182	274.4	456	812.2	1,168.00
	จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข	1,052.40	2,037.20	4,018.40	7,788.40	11,590.00
2	จำนวนตัวแปร	141.6	412.4	1,148.00	3423.8	7,524.20
	จำนวนสมการเงื่อนไข	108.4	206.8	404	789.4	1,174.40
	จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข	434.6	1,276.80	3,657.60	11,197.20	24,738.60

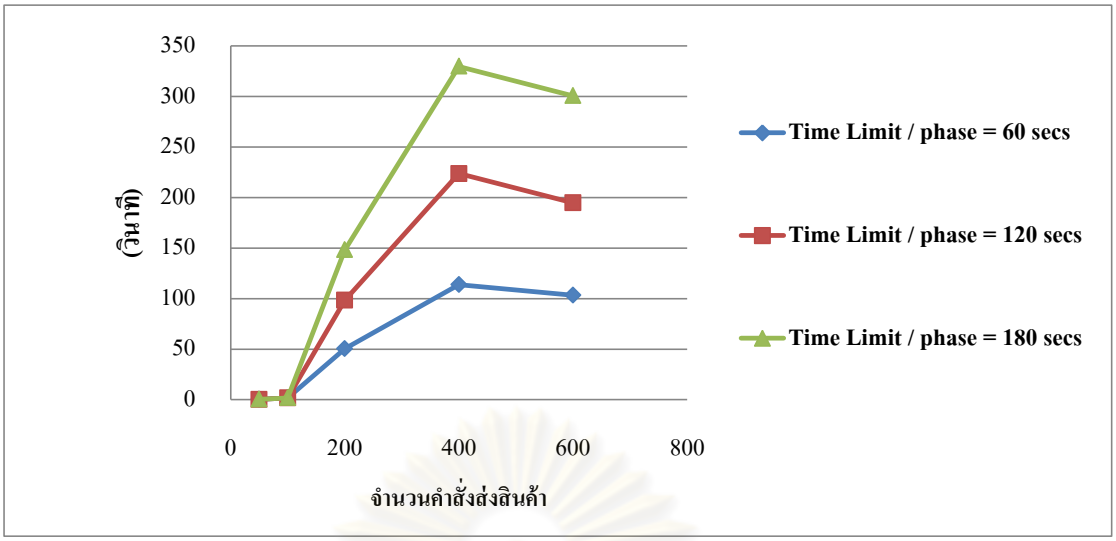


ภาพที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา



ภาพที่ 5.4 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.5 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสแจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา (ต่อ)

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพจากการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการหาผลเฉลย 2 เฟส (ต่อ)

	การทดลองรอบที่	ข้อมูลชุดที่				
		21	22	23	24	25
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง (%)	1	X	0.08	4.67	-0.38	X
	2	X	0.24	4.67	1.13	-0.49
	3	-3.6	0.24	4.67	1.1	0.03
เวลาในการหาผลเฉลยเฟสที่ 1 (วินาที)	1	X	60.03	9.49	60.01	X
	2	X	120.06	9.36	120.03	49.25
	3	180.088	180.09	9.5	175.52	57.44
เวลาในการหาผลเฉลยเฟสที่ 2 (วินาที)	1	X	60.09	60.05	60.01	X
	2	X	120.09	120.04	120.03	120.15
	3	180.337	180.06	180.03	180.04	180.04
จำนวนตัวแปรเฟสที่ 1		3,489	3,487	3,457	3,395	3,427
จำนวนสมการเงื่อนไขเฟสที่ 1		1,172	1,174	1,167	1,154	1,173
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฟสที่ 1		11,736	11,682	11,612	11,424	11,496
จำนวนตัวแปรเฟสที่ 2		7,431	6,846	7,641	7,645	8,058
จำนวนสมการเงื่อนไขเฟสที่ 2		1,180	1,180	1,175	1,156	1,181
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฟสที่ 2		24,600	22,493	25,402	24,904	26,294

5.1.5. ประสิทธิภาพของเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (Incremental Solution Method: ISM)

เทคนิคทยอยแก้ปัญหา เป็นเทคนิคการหาเฉลยแบบฮิวริสติกและมีวิธีการหาผลเฉลยลักษณะใกล้เคียงกับการผลเฉลยแบบ 2 เฟส ผู้วิจัยคาดหวังให้เทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา”จะใช้ทรัพยากรลดลงจากเทคนิคอื่นในขณะที่ยังคงคุณภาพของผลเฉลย ผู้ทำการวิจัยจึงทำการกำหนดค่าขอบเขตของเวลาในการแก้ปัญหาใน 1 รอบ (*Time Limit*) ผู้ทำการวิจัยจึงแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รอบโดยแต่ละรอบมีการตั้งค่าเงื่อนไขการหยุดการหาผลเฉลยดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา

เงื่อนไขในการหยุดการหาผลเฉลยใน 1 รอบ	การทดสอบรอบที่		
	1	2	3
ขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	60	120	180
ค่าสัดส่วนการใช้งานขั้นต่ำของปริมาตรบรรจุ (%)	90	90	90
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (%)	0.01	0.01	0.01

ผลเฉลยที่ได้จากเทคนิคทยอยแก้ปัญหา เป็นคำตอบที่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือมีความคลาดเคลื่อนเท่าใด การวัดคุณภาพของผลเฉลยจะต้องทำการนำผลเฉลยจากเทคนิคการทยอยแก้ปัญหา ไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรงหรือเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต โดยผู้ทำการวิจัยได้เสนอตัวประเมินผลประสิทธิภาพของการแก้ไขปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหาดังนี้

1. สามารถหาผลเฉลยได้หรือไม่
2. ส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรงของผลเฉลยที่ได้ หาได้จากสมการ 5.3

$$\textit{สัดส่วนผลต่างจาก } B\&B = (Profit_{ISM} - Profit_{B\&B})/|Profit_{B\&B}| \quad (5.3)$$

3. เวลารวมที่ใช้ในการหาผลเฉลย
4. จำนวนรอบในการหาผลเฉลย
5. จำนวนตัวแปรในรอบที่ 1
6. จำนวนสมการเงื่อนไขในรอบที่ 1
7. จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขในรอบที่ 1

จากการทำการทดลองเพื่อทดสอบหาขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.8 ถึงตารางที่ 5.10 พบว่าขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมของเทคนิค “ทยอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แก้ปัญหา” คือ 120 วินาที เนื่องจากภาพที่ 5.6 และ ตารางที่ 5.8 จะเห็นได้ว่าการทดสอบรอบที่ 2 (ขอบเขตเวลาในการแก้ไขปัญหาเท่ากับ 120 วินาที) มีผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดีแตกต่างจากการทดสอบรอบที่ 3(ขอบเขตเวลาในการแก้ไขปัญหาเท่ากับ 180 วินาที) ไม่มาก ในขณะขณะเดียวกันแบบสามารถใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อยกว่าจากภาพที่ 5.7 และ 5.8 ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงแนะนำให้ใช้เทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” โดยกำหนดขอบเขตเวลาในการแก้ไขปัญหาเท่ากับ 120 วินาที

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา

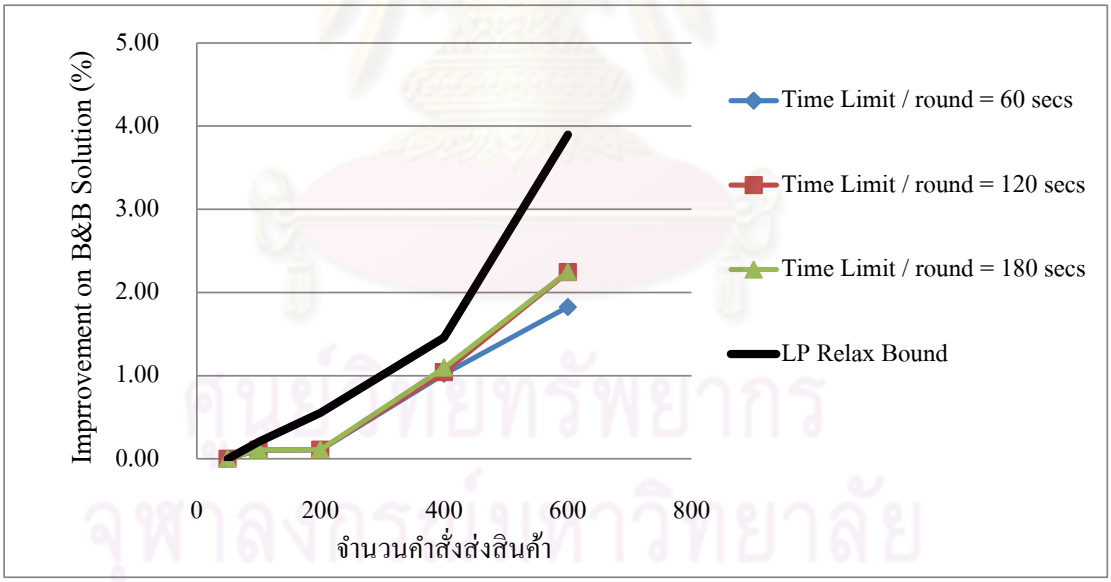
	การทดสอบรอบที่	ชุดข้อมูล				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
ค่าส่วนผลต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	1	0.00	0.10	0.11	1.02	1.82
	2	0.00	0.11	0.11	1.04	2.24
	3	0.00	0.11	0.11	1.10	2.25
เวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (วินาที)	1	0.37	14.66	61.68	144.83	243.66
	2	0.37	26.76	127.91	214.84	322.38
	3	0.37	38.77	143.76	307.58	396.81

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ)

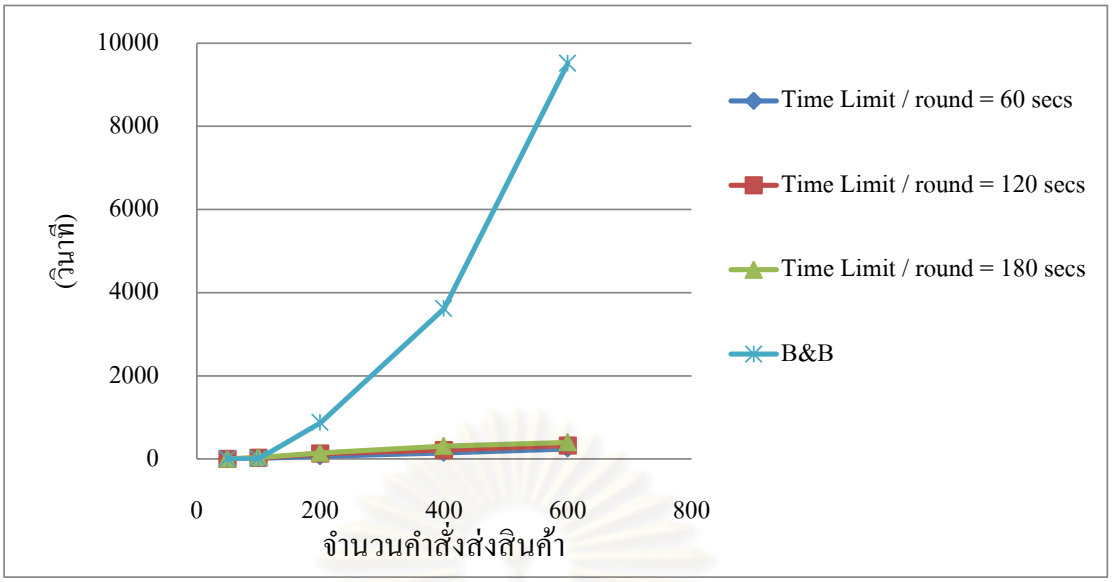
	ชุดข้อมูล				
	1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนตัวแปร	503.80	1,042.60	2,123.00	4,205.80	6,299.20
จำนวนสมการเงื่อนไข	214.40	350.20	586.00	989.20	1,370.00
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข	1,835.20	3,907.80	8,096.20	16,154.80	24,264.80
จำนวนรอบในการหาผลเฉลย	1.00	3.00	4.00	6.80	10.60

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ)

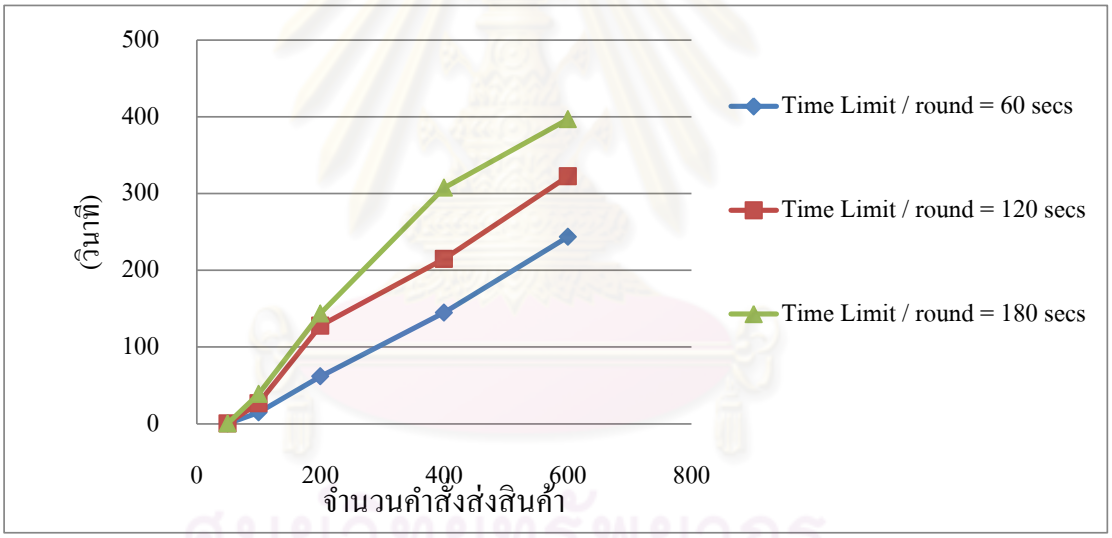
	การทดลองรอบที่	ข้อมูลชุดที่				
		21	22	23	24	25
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง (%)	1	-0.10	0.80	5.23	1.58	1.61
	2	1.15	0.97	5.47	1.88	1.63
	3	1.48	0.96	5.23	1.99	1.57
เวลาในการหาผลเฉลยรวม (วินาที)	1	244.14	246.17	256.67	241.16	230.17
	2	339.45	309.58	184.19	338.18	304.58
	3	428.48	524.41	303.56	302.69	424.89
จำนวนตัวแปร		6,396	6,342	6,313	6,187	6,258
จำนวนสมการเงื่อนไข		1,382	1,374	1,372	1,349	1,373
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข		24,687	24,375	24,333	23,860	24,069
จำนวนรอบการหาผลเฉลย		11	9	11	11	11



ภาพที่ 5.6 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคทยอยแก้ปัญหา แจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา



ภาพที่ 5.7 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหา แจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา



ภาพที่ 5.8 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหา แจกแจงตามขอบเขตเวลาการแก้ปัญหา (ต่อ)

นอกผู้ทำการวิจัยจะต้องทำการหาค่าขอบเขตเวลา ในแบบจำลองยังมีค่าสัดส่วนการใช้งานขั้นต่ำของใช้งานตู้คอนเทนเนอร์ที่ยอมรับได้ด้านน้ำหนักและปริมาตร แต่จากการทำการทดลองมาพบว่าการตู้คอนเทนเนอร์จะเต็มด้วยปัจจัยด้านของปริมาตร ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงต้องการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าสัดส่วนการปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ (Lower Bound of Volume Utilization Ratio) โดยผู้วิจัยจะแบ่งการทำการทดสอบเพิ่มเติมอีก 3 รอบมีข้อมูลดังตารางที่ 5.11 และใช้ตัวประเมินผลประสิทธิภาพของการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 ถึง 3

ตารางที่ 5.11 ปัจจัยการทดสอบหาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา(ต่อ)

เงื่อนไขในการหยุดการหาผลเฉลยใน 1 รอบ	การทดสอบรอบที่		
	4	5	6
ขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	120	120	120
ค่าสัดส่วนการใช้งานขั้นต่ำของปริมาตรบรรจุ (%)	70	80	95
ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (%)	0.01	0.01	0.01

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ)

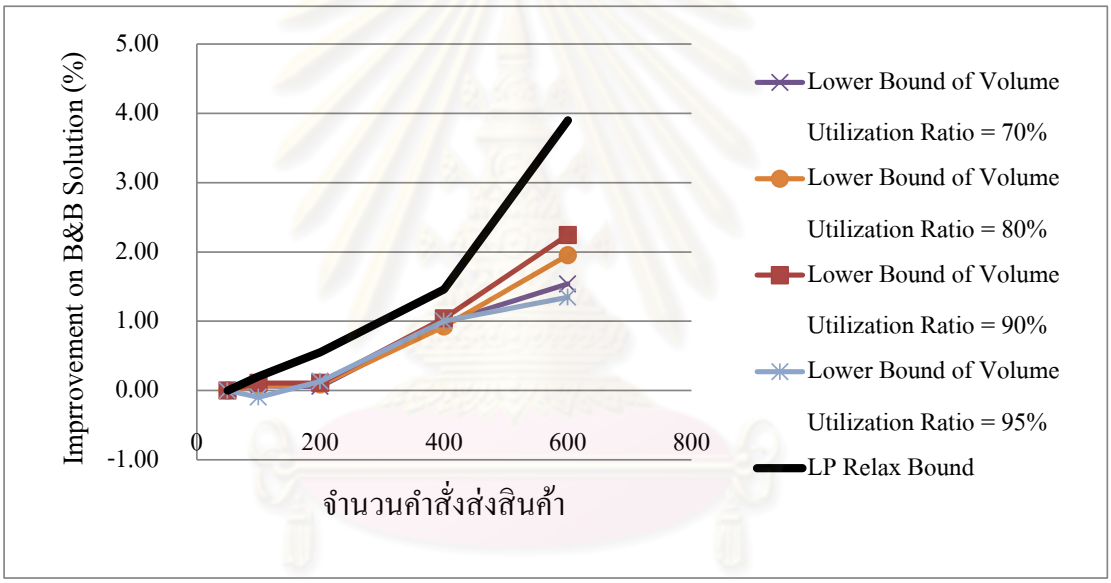
	การทดสอบรอบที่	ชุดข้อมูล				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	4	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	4	0.00	0.07	0.06	0.98	1.54
	5	0.00	0.07	0.08	0.92	1.95
	6	0.00	-0.09	0.13	1.00	1.35
เวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (วินาที)	4	0.37	27.24	80.67	140.82	234.83
	5	0.50	34.25	99.01	143.25	200.69
	6	0.50	23.13	73.86	175.33	285.79

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ต่อ)

	การทดลองรอบที่	ข้อมูลชุดที่				
		21	22	23	24	25
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	4	1.35	0.46	3.23	1.39	1.25
	5	1.12	0.88	4.76	2.00	1.01
	6	1.26	-0.45	3.28	1.55	1.10
เวลาในการหาผลเฉลยรวม (วินาที)	4	164.82	321.95	272.66	174.75	239.95
	5	143.24	145.46	306.35	253.74	154.67
	6	169.95	336.24	333.20	166.42	423.12

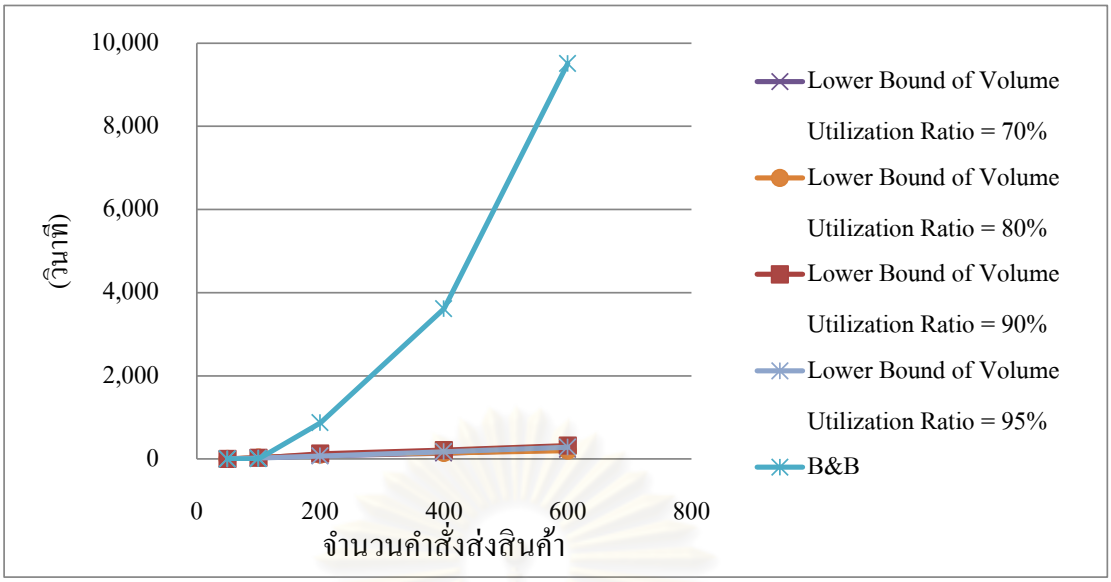
จากการทำการทดลองเพื่อทดสอบหาค่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.12 และ 5.13 จะสังเกตได้ว่าผู้ทำการวิจัยไม่แสดงค่าจำนวนตัวแปร จำนวนสมการเงื่อนไข และจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข เนื่องจากผลการทดลองไม่มีความแตกต่างจากการทดลองที่ 1 ถึง 3

จากการทำการทดสอบพบว่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่เหมาะสมคือร้อยละ 90 จากภาพที่ 5.9 พบว่าผลจากการกำหนดสัดส่วนปริมาตรบรรจุขึ้นที่ร้อยละ 90 ทำให้มีผลเฉลยที่มีคุณภาพดีที่สุด แม่ว่าจะใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่มากกว่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำค่าอื่น ดังภาพที่ 5.10 และภาพที่ 5.11 ดังนั้นผู้ทำการวิจัยแนะนำให้ใช้เทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” พร้อมกับกำหนดค่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่ร้อยละ 90 พร้อมกับใช้ ขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลยเท่ากับ 120 วินาทีต่อ 1 รอบ

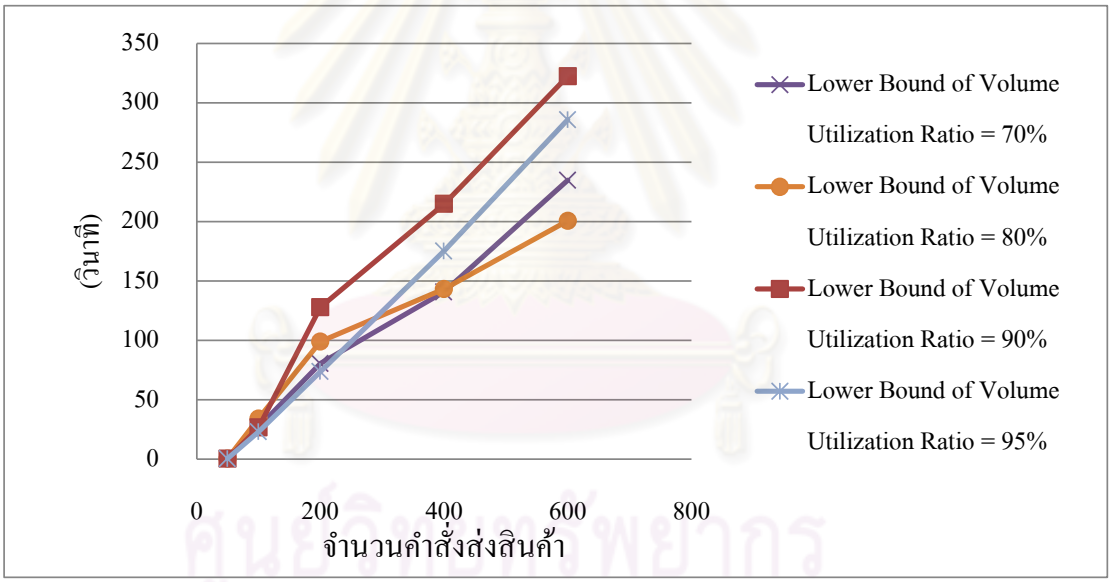


ภาพที่ 5.9 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.10 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ



ภาพที่ 5.11 เวลารวมเฉลี่ยในการผลเฉลยเทคนิคเทคนิคทยอยแก้ปัญหาแจกแจงตามสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำ (ต่อ)

5.2. การเลือกเทคนิคการหาผลเฉลยที่เหมาะสม

จากการทดสอบประสิทธิภาพเทคนิคการหาผลเฉลยแบบต่างๆที่ทำมาในหัวข้อที่ 5.1 นั้นจะนำมาสู่การหาการคัดเลือกเทคนิคการหาเฉลยที่มีความเหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล โดยเนื้อหาในส่วนนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ วิเคราะห์ผลจากการทดลองในอดีต วิเคราะห์การทดลองเพิ่มเติม สรุปการวิเคราะห์

5.2.1. วิเคราะห์ผลจากการทดลองในอดีต

เนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของเทคนิคต่างที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.1 แต่ในส่วนนี้จะทำการสรุปผลการทดลองของแนวทางที่ดีที่สุดของทุกเทคนิคเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

1. เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและการกำหนดขอบเขต (B&B) โดยทำการตั้งค่าความคลาดเคลื่อนที่ร้อยละ 0.5
2. เทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส (2 PM) พร้อมทำการตั้งค่าขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลยที่ 180 วินาทีต่อเฟส
3. เทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ISM) พร้อมการตั้งค่าขอบเขตเวลาในการหาผลเฉลยที่ 120 วินาทีต่อ 1 รอบและสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่ร้อยละ 90

ในข้อมูลจำนวนตัวแปร จำนวนสมการเงื่อนไข และจำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ของเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟส ผลการทดลองเหล่านั้นมาจากเฟสที่ 2 เนื่องจากเฟสที่ 2 เป็นเฟสวิกฤตที่ทำให้เทคนิคดังกล่าวไม่สามารถหาคำตอบได้ในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ แต่ข้อมูลในด้านเวลาการหาผลเฉลยจะเป็นเวลารวม

ประสิทธิภาพการหาผลเฉลยของเทคนิคต่างๆจากการทดลองในอดีตได้ผลตามตารางที่ 5.14 ถึงตารางที่ 5.15 แสดงให้เห็นว่าผลเฉลยจากเทคนิคทยอยหาคำตอบ ให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดดังภาพที่ 5.12 ในสถานการณ์ที่มีสินค้า 600 ชิ้นพบว่าวิธีดังกล่าวสามารถให้ผลเฉลยที่มีผลกำไรมากว่าผลเฉลยจากวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตมากกว่า 2% เทคนิคทยอยแก้ปัญหา สามารถลดเวลาในการหาผลเฉลยจากวิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตได้มากแต่ยังมากกว่าเทคนิคแก้ปัญหาแบบ 2 เฟสไม่มากนักดังภาพที่ 5.13 และ 5.14 อีกหนึ่งข้อดีของเทคนิคทยอยแก้ปัญหา คืออัตราการขยายตัวของแบบจำลองมีอัตราต่ำที่สุดจากทุกเทคนิคการหาผลเฉลย ดังภาพที่ 5.15 ถึงภาพที่ 5.17

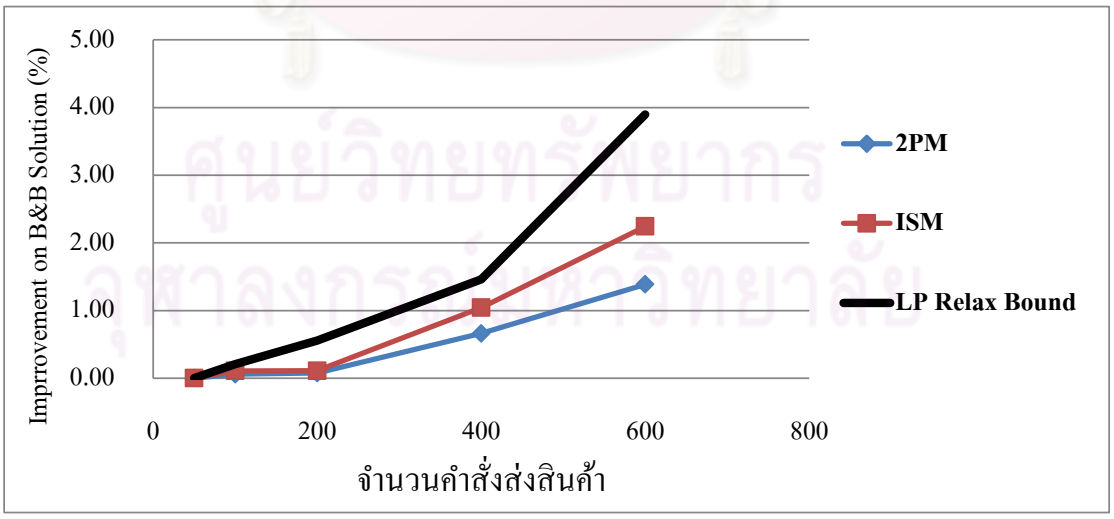
จากอัตราการขยายตัวของแบบจำลองที่ใช้เทคนิคทยอยแก้ปัญหา ทำให้ผู้ทำการวิจัยเกิดแนวคิดว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถรองรับกับสินค้าที่มีจำนวนมากได้ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาขีดจำกัดของเทคนิคการหาผลเฉลยดังกล่าว

ตารางที่ 5.14 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ

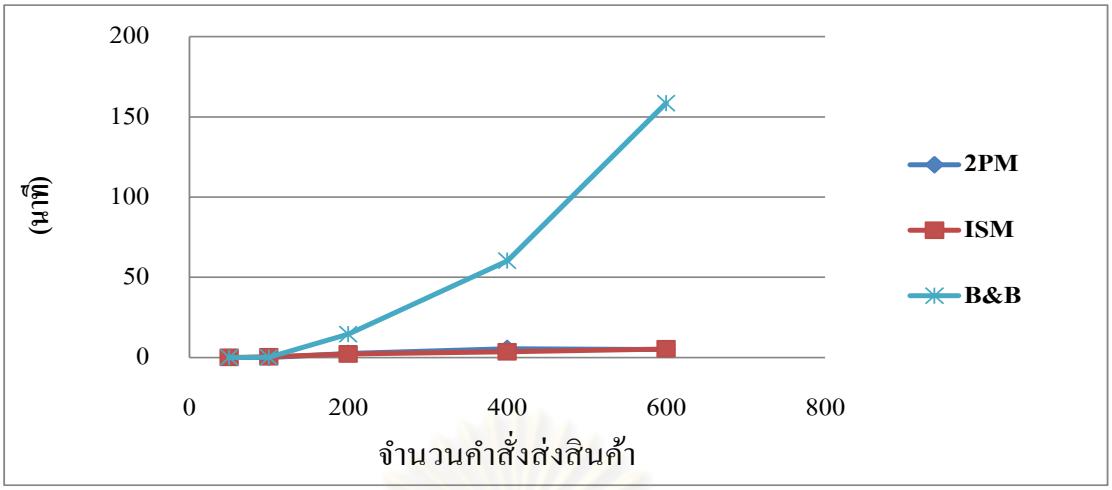
		ชุดข้อมูล				
		1-5	6-10	11-15	16-20	21-25
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	B&B	0	0	0	0	0
	2 Phase	0	0	0	0	0
	ISM	0	0	0	0	0
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	B&B	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2 Phase	0.00	0.06	0.08	0.66	1.39
	ISM	0.00	0.11	0.11	1.04	2.24
	UB	0.00	0.21	0.55	1.46	3.90
เวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (นาที)	B&B	0.01	0.10	14.53	60.25	158.51
	2 Phase	0.00	0.03	2.47	5.50	5.01
	ISM	0.01	0.45	2.13	3.58	5.37
จำนวนตัวแปร	B&B	1,022.20	3,813.40	14,265.40	51,775.40	117,215.80
	2 Phase	141.60	412.40	1,148.00	3,423.80	7,524.20
	ISM	503.80	1,042.60	2,123.00	4,205.80	6,299.20
จำนวนสมการเงื่อนไข	B&B	242.60	474.20	903.60	1,779.80	2,638.60
	2 Phase	108.40	206.80	404.00	789.40	1,174.40
	ISM	214.40	350.20	586.00	989.20	1,370.00
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข	B&B	3,256.00	12,252.60	45,721.80	166,035.60	375,535.60
	2 Phase	434.60	1,276.80	3,657.60	11,197.20	24,738.60
	ISM	1,835.20	3,907.80	8,096.20	16,154.80	24,264.80

ตารางที่ 5.15 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ (ต่อ)

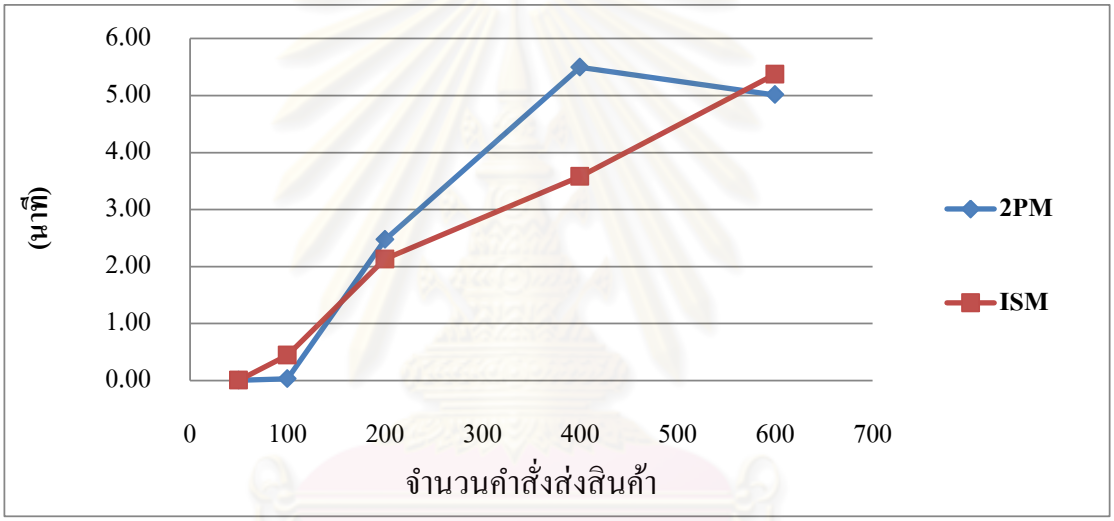
		ชุดข้อมูล				
		21	22	23	24	25
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	UB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2 Phase	-3.6*	0.24	4.67	1.10	0.03
	ISM	1.15	0.97	5.47	1.88	1.63
	UB	1.91	3.74	7.81	3.43	2.60
เวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (นาที)	B&B	166.69	167.55	133.87	166.72	157.72
	2 Phase	3.00*	3.00	0.16	2.93	0.96
	ISM	5.66	5.16	3.07	5.64	5.08
จำนวนตัวแปร	B&B	126,138	114,425	117,479	108,501	119,536
	2 Phase	7,431*	6,846	7,641	7,645	8,058
	ISM	6,396	6,342	6,313	6,187	6,258
จำนวนสมการเงื่อนไข	B&B	2,732	2,644	2,637	2,492	2,688
	2 Phase	1,180*	1,180	1,175	1,156	1,181
	ISM	1,382	1,374	1,372	1,349	1,373
จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไข	B&B	402,522	366,815	379,051	347,668	381,622
	2 Phase	24,600*	22,493	25,402	24,904	26,294
	ISM	24,687	24,375	24,333	23,860	24,069



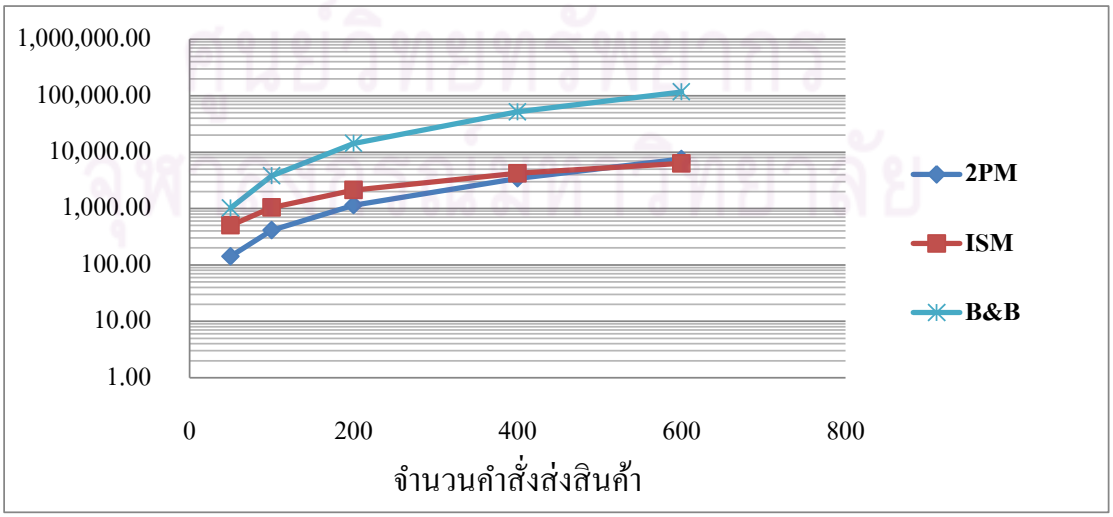
ภาพที่ 5.12 ค่าเฉลี่ยส่วนต่างจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ



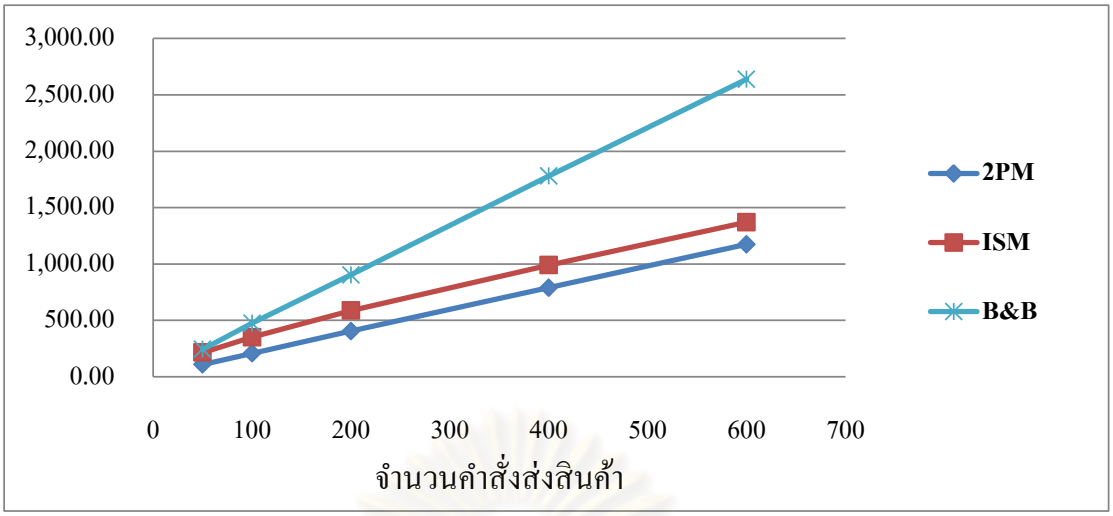
ภาพที่ 5.13 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ



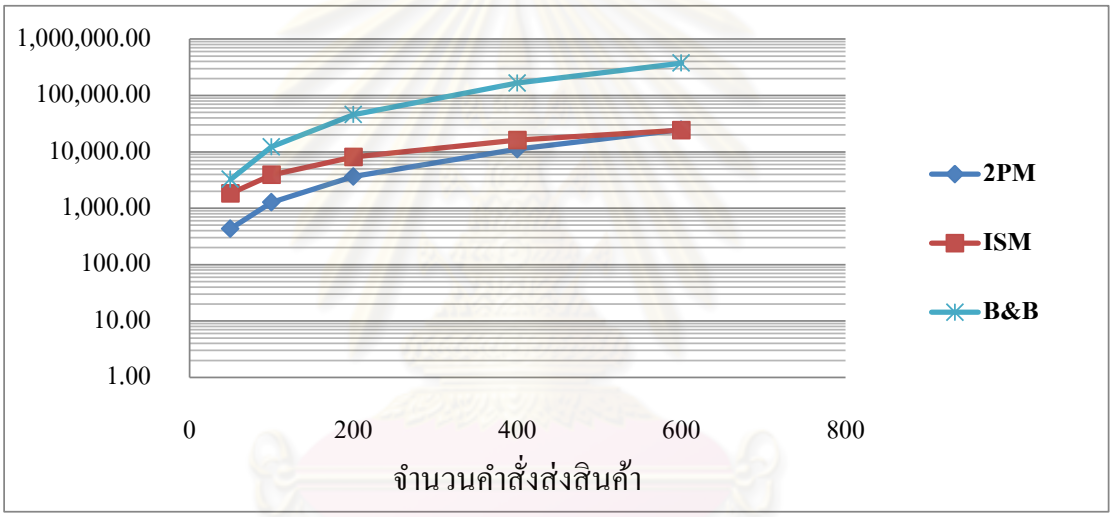
ภาพที่ 5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (ต่อ)



ภาพที่ 5.15 จำนวนตัวแปรเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ



ภาพที่ 5.16 จำนวนสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ



ภาพที่ 5.17 จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ

5.2.2. วิเคราะห์การทดลองเพิ่มเติม

จากการที่ผู้ทำการวิจัยได้ทำการศึกษาอัตราการขยายตัวของแบบจำลองดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.2.1 ทำให้สังเกตพบว่าเทคนิคทยอยแก้ปัญหา มีอัตราการขยายตัวที่ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเกิดความสนใจในขีดจำกัดของเทคนิคการหาผลเฉลยต่างๆในด้านของขนาดปัญหา โดยเนื้อหาถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ลักษณะข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ในการทดสอบประมิทธิภาพของแบบจำลอง และผลการทดลองเพิ่มเติม

1. ลักษณะของข้อมูลเพิ่มเติมที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ข้อมูลที่สร้างขึ้นมาเพิ่มเติมนั้นจะมีลักษณะของสินค้าเยอะเป็นพิเศษเพื่อสามารถหาข้อจำกัดของเทคนิคการแก้ปัญหาได้ แต่การกระจายตัวของข้อมูลจะเป็นไปตามข้อมูลความเป็นจริง โดยลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มมีลักษณะดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 การแจกแจงลักษณะข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเพิ่มเติม

	ชุดข้อมูล		
	26-30	31-35	36-40
จำนวนคำสั่งส่งสินค้า	1200	2400	5000
จำนวนเมืองในแบบจำลอง	29	29	29
จำนวนเมืองศูนย์กลาง	2	2	2
ปริมาตรที่สามารถส่งผ่านบริษัทร่วมค้าในแต่ละเส้นทาง (ลบ.ม.)	10	10	10
ความเสี่ยงสินค้าเสียหายที่ยอมรับได้ (%)	0.05	0.05	0.05

จากชุดข้อมูลที่ผู้ทำการวิจัยได้สร้างขึ้นมาเพิ่มนั้นจะนำไปทำการทดลองกับทั้ง 3 เทคนิคการหาผลเฉลยเพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดของแต่ละเทคนิคการหาผลเฉลยโดยผลการทดลองจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2. ผลการทดลองเพิ่มเติม

จากการนำชุดข้อมูลชุดที่ 26-30 ไปทดสอบกับเทคนิคการหาผลเฉลยทั้ง 3 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.17 โดยจะเห็นได้ว่าผลของเทคนิคการหาผลเฉลยแบบ 2 เฟสไม่สามารถหาผลเฉลยที่มีขนาดเกิน 600 สินค้าได้เลย (แม้ผู้วิจัยจะเพิ่มขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาเป็น 1,200 วินาทียังไม่สามารถหาผลเฉลยได้) และเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตนั้นสามารถหาผลเฉลยที่สินค้าที่ 1200 ชิ้นได้ แต่เนื่องจากปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพอ (Out of Memory) ที่เกิดขึ้นเร็วส่งผลให้กระบวนการคำตอบของเทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตใช้เวลาที่ปัญหาสินค้า 1200 ชิ้นน้อยกกว่า 600 ชิ้นดังภาพที่ 5.21 และคุณภาพคำตอบแย่มากเพราะมีสามารถคลาดเคลื่อนได้จากคำตอบที่ดีที่สุดถึงร้อยละ 25 โดยประมาณดังภาพที่ 5.19 และ 5.20 เทคนิคการหาผลเฉลยที่ดีสุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่คือเทคนิคการทยอยแก้ปัญหา เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาที่ขนาด 1,200 ชิ้นแล้วได้ผลเฉลยที่มีกำไรมากกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตถึงร้อยละ 18 โดยประมาณดังภาพที่ 5.19 โดยที่ใช้เวลาน้อยกว่ามากดังภาพที่ 5.21 และยังสามารถหาผลเฉลยที่

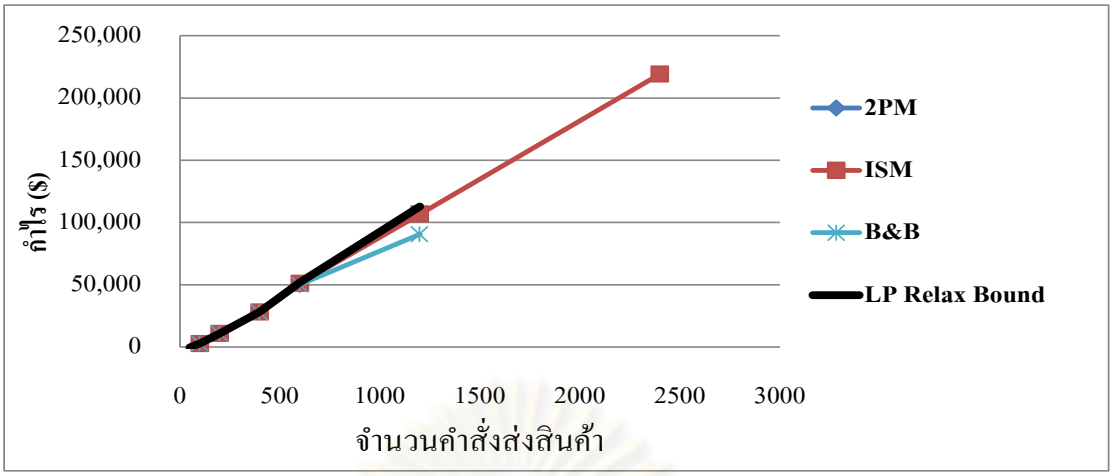
สินค้าขนาด 2,400 ชิ้น แต่อย่างไรก็ดีเทคนิคดังกล่าวไม่สามารถหาผลเฉลยที่ขนาดสินค้า 5,000 ชิ้นได้

จากภาพที่ 5.22 ถึงภาพที่ 5.24 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” มีอัตราการขยายของแบบจำลองน้อยกว่าวิธีอื่น และสามารถจัดการกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่าเทคนิคอื่น และภาพที่ 5.25 แสดงให้เห็นว่ามีเทคนิคทยอยแก้ปัญหาจะมีการปฏิเสธคำส่งสินค้าแต่มีรูปแบบที่ไม่แน่นอนโดยทั้งหมดจะส่งผลในการตัดสินใจเลือกเทคนิคในการแก้ปัญหาที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป

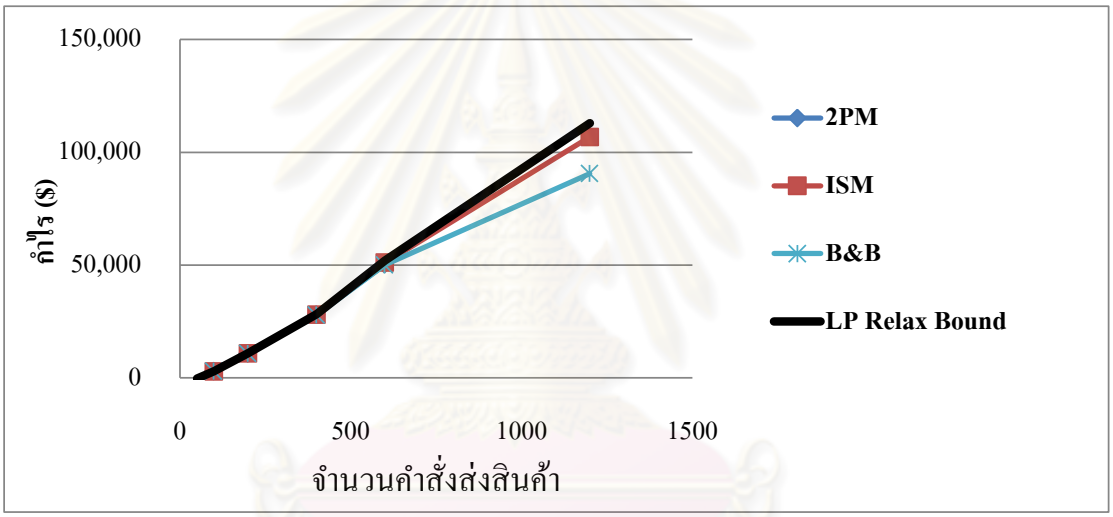
ตารางที่ 5.17 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพเพิ่มเติมของการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคต่างๆ

		ชุดข้อมูล		
		26-30	31-35	41-50
จำนวนชุดข้อมูลที่ไม่สามารถหาผลเฉลยได้	B&B	0	5	5
	2 Phase	5	5	5
	ISM	0	0	5
ค่าเฉลี่ยส่วนต่างของผลเฉลยจากการหาคำตอบโดยตรง(%)	B&B	0.00	X	X
	2 Phase	X	X	X
	ISM	18.75	ไม่สามารถหาได้	X
	UB	25.64	X	X
เวลารวมเฉลี่ยที่ใช้ในการหาผลเฉลย (วินาที)	B&B	8,363.50	X	X
	2 Phase	X	X	X
	ISM	907.37	2,309.03	X
จำนวนตัวแปร	B&B	462,176.00	X	X
	2 Phase	X	X	X
	ISM	12,603.60	25,123.20	X
จำนวนสมการเงื่อนไข	B&B	5,208.60	X	X
	2 Phase	X	X	X
	ISM	2,475.60	4,611.20	X
จำนวนสัมประสิทธิ์ในสมการเงื่อนไข	B&B	1,480,843.20	X	X
	2 Phase	X	X	X
	ISM	48,559.80	96,758.40	X

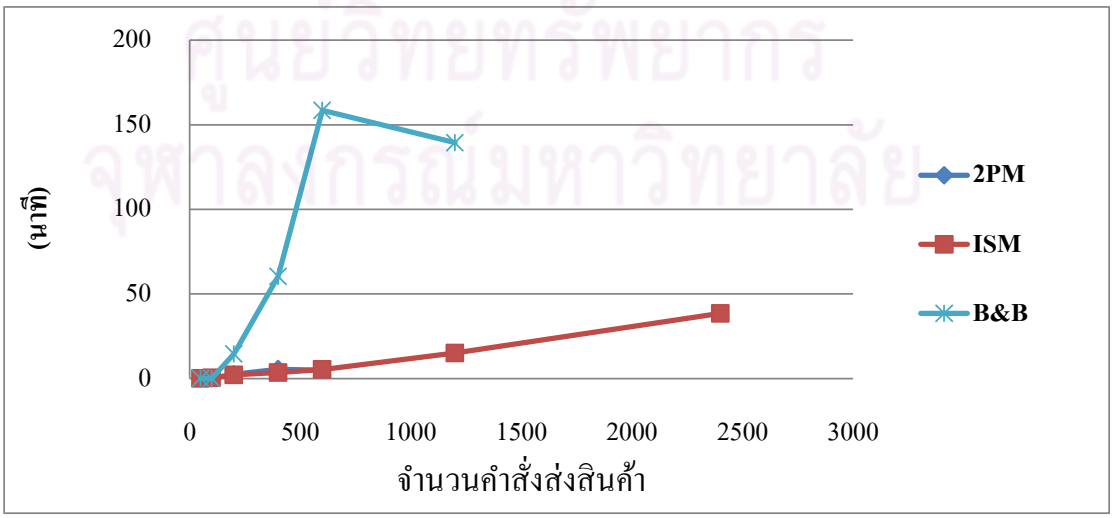
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



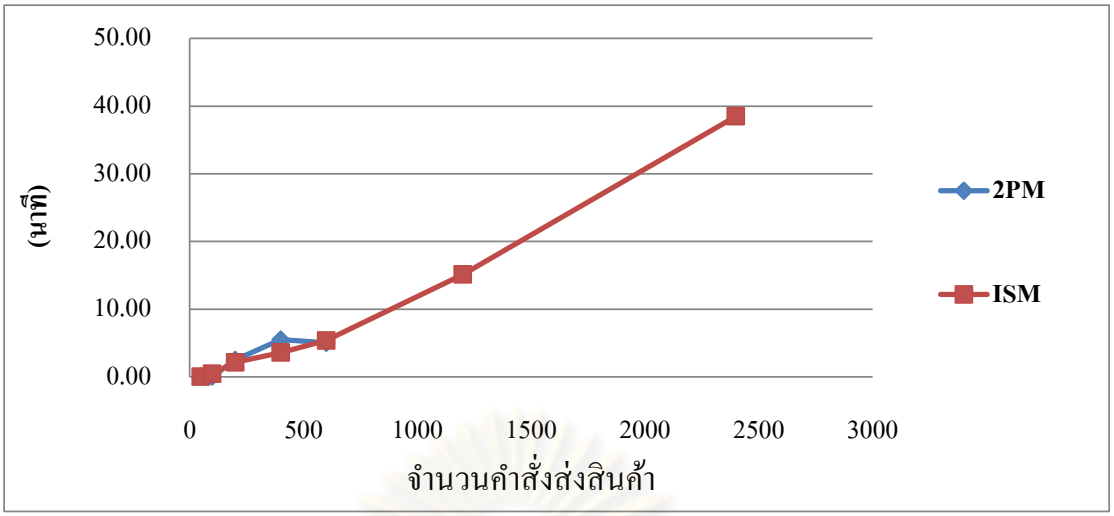
ภาพที่ 5.18 ผลกำไรจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม)



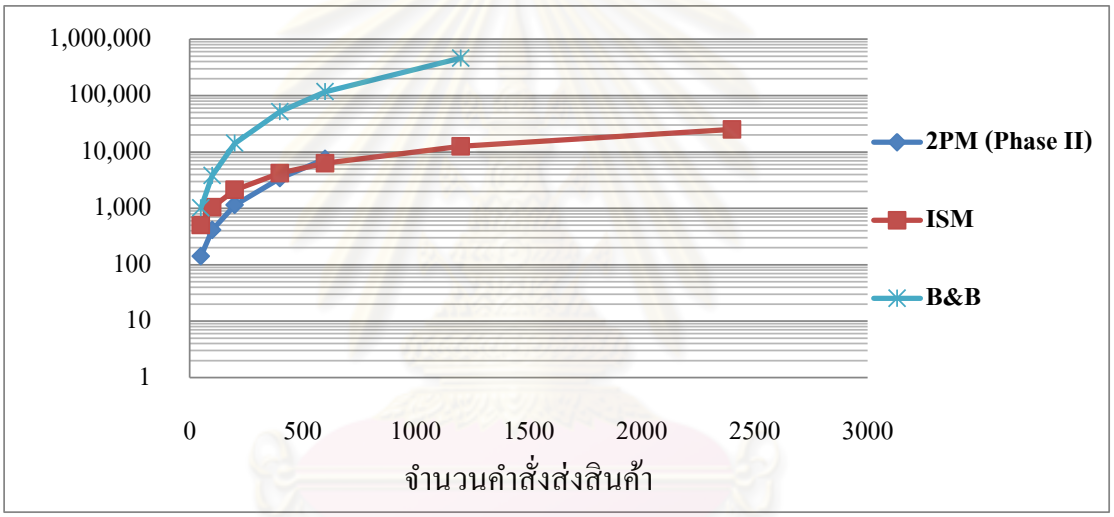
ภาพที่ 5.19 ผลกำไรจากการหาคำตอบโดยตรงกับเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) (ต่อ)



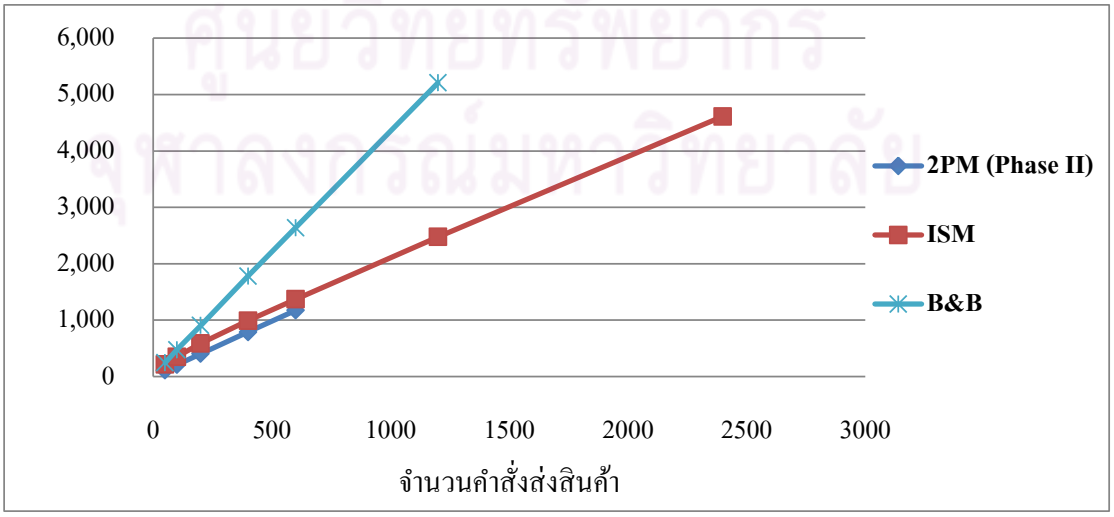
ภาพที่ 5.20 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม)



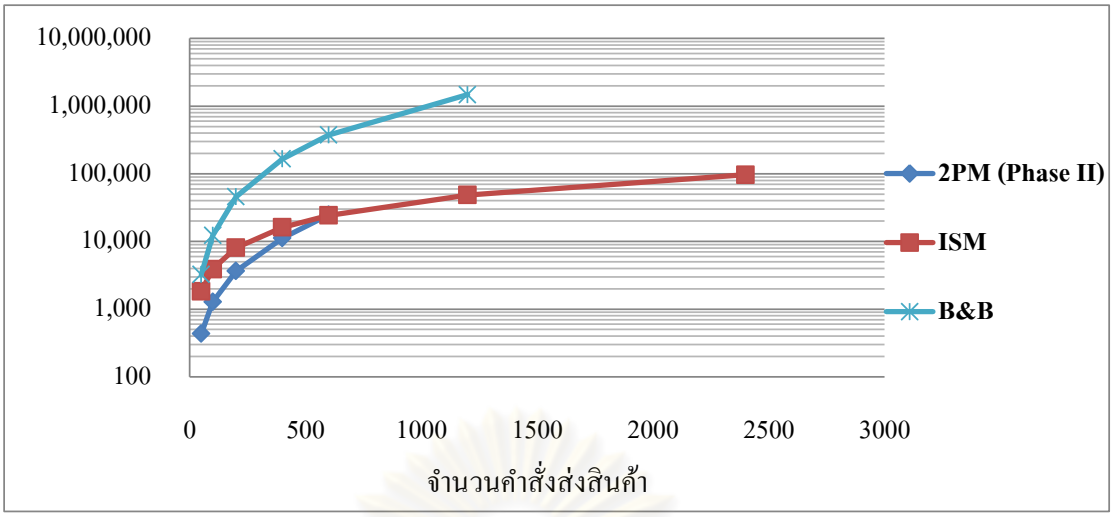
ภาพที่ 5.21 ค่าเฉลี่ยเวลาในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม) (ต่อ)



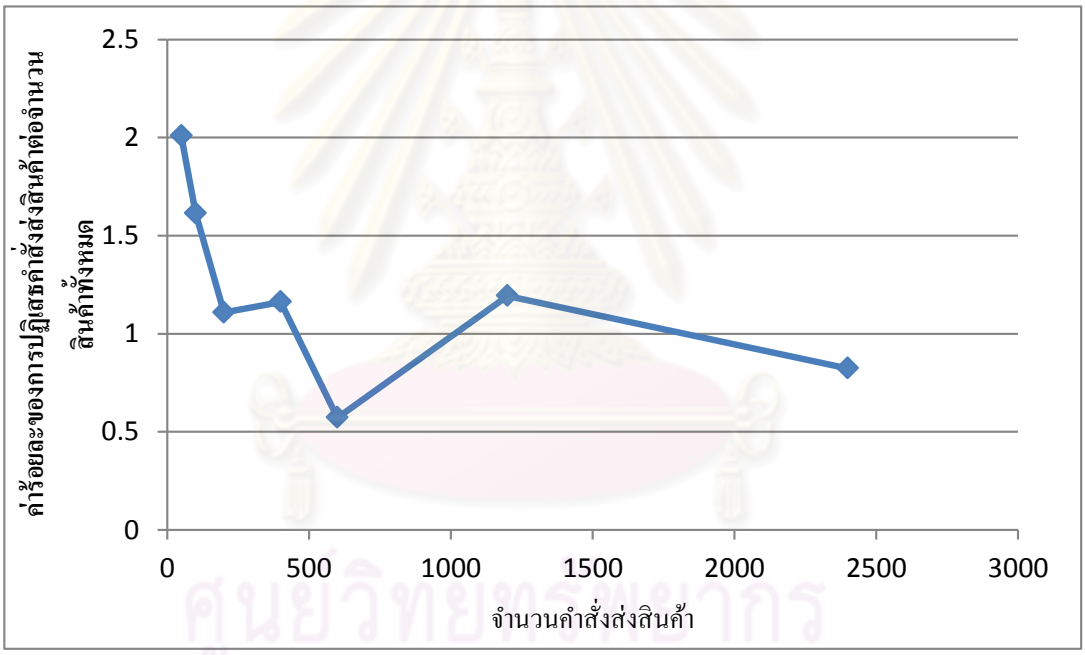
ภาพที่ 5.22 จำนวนตัวแปรเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม)



ภาพที่ 5.23 จำนวนสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม)



ภาพที่ 5.24 จำนวนสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นศูนย์ในสมการเงื่อนไขเฉลี่ยในการหาคำตอบของเทคนิคต่างๆ (เพิ่มเติม)



ภาพที่ 5.25 สัดส่วนการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าของลูกค้าชั่วคราวต่อคำสั่งส่งสินค้าทั้งหมดของเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (เพิ่มเติม)

5.2.3. สรุปการวิเคราะห์ผล

จากการผลการทำการลองในอดีตในหัวข้อที่ 5.1 และรวมถึงการทดลองเพิ่มเติมในหัวข้อ 5.2.1 พบว่าเทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” มีความเหมาะสมที่สุดจากผลทำการทดลองพบว่าเทคนิคดังกล่าวสามารถหาผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดี และสามารถลดการใช้ทรัพยากรในการหาผลเฉลยได้ เพราะมีอัตราการขยายตัวของแบบจำลองที่ต่ำกว่าเทคนิคอื่น จนสามารถรองรับปัญหาที่มี

ขนาดสินค้าได้ถึง 2,400 ชิ้น ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเทคนิคทยอยแก้ปัญหา โดยตั้งค่าขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาที่ 120 วินาทีต่อ 1 รอบ และสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่ร้อยละ 90

โดยแบบจำลองพร้อมกับกับเทคนิค ทยอยแก้ปัญหาจะนำไปสู่การหาผลเฉลยของสถานการณ์จริงเพื่อนำผลเฉลยมาเปรียบเทียบกับผลดำเนินงานจริงในหัวข้อต่อไป

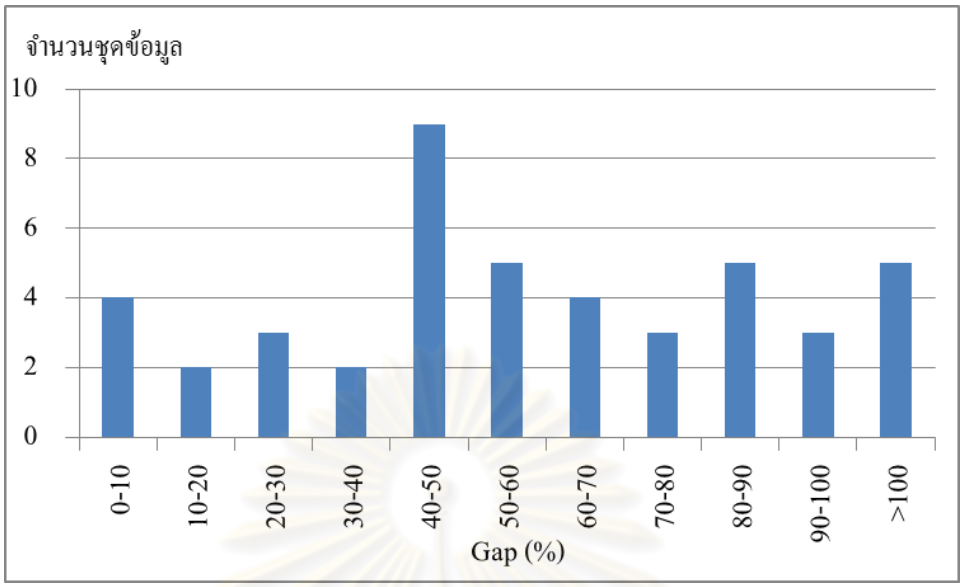
5.3. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลของแบบจำลองกับผลการดำเนินการจริง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบระหว่างผลกำไรจากแบบจำลองและผลกำไรจากการดำเนินงานจริง โดยค่าที่จะใช้นำเสนอจะได้มาจากกาคำนวณดังสมการที่ 5.4 สาเหตุที่ผู้วิจัยเลือกนำไปหาสัดส่วนระหว่างผลต่างกำไรกับผลกำไรจากแบบจำลองแทนที่เป็นการหาสัดส่วนระหว่างผลต่างกำไรกับผลกำไรจากการดำเนินงานจริง เพราะบางสถานการณ์มีผลกำไรน้อยหรือขาดทุนในทำให้ผลของสัดส่วนผลต่างกำไร โดยผลกำไรการดำเนินงานจริงไม่สามารถสะท้อนความหมายที่ผู้ทำการวิจัยต้องการสื่อออกไปได้ ผู้ทำการวิจัยจึงจะนำเสนอค่าที่คำนวณจากสมการที่ 5.4

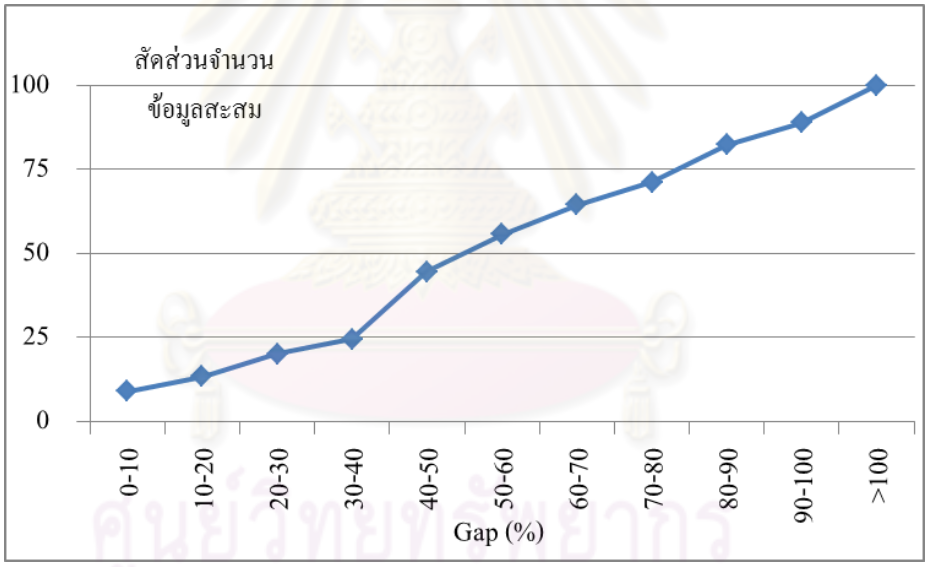
$$Gap = (Profit_{ISM} - Profit_{History})/|Profit_{ISM}| \qquad (5.4)$$

ข้อมูลการดำเนินการในอดีตที่ผู้วิจัยจำนำมาเปรียบเทียบมีทั้งหมด 45 สัปดาห์โดยจะนำไปเปรียบเทียบกับผลจากการแบบจำลองที่ใช้เทคนิคทยอยแก้ปัญหา โดยกำหนดค่าให้ใช้ขอบเขตเวลาในการแก้ปัญหาเป็น 120 วินาทีต่อรอบ และค่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่ำที่ร้อยละ 90 ได้ผลการเปรียบเทียบดังภาพที่ 5.24 ถึงภาพที่ 5.31 (ตารางที่ ผ.5 ถึง ตารางที่ ผ.8)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

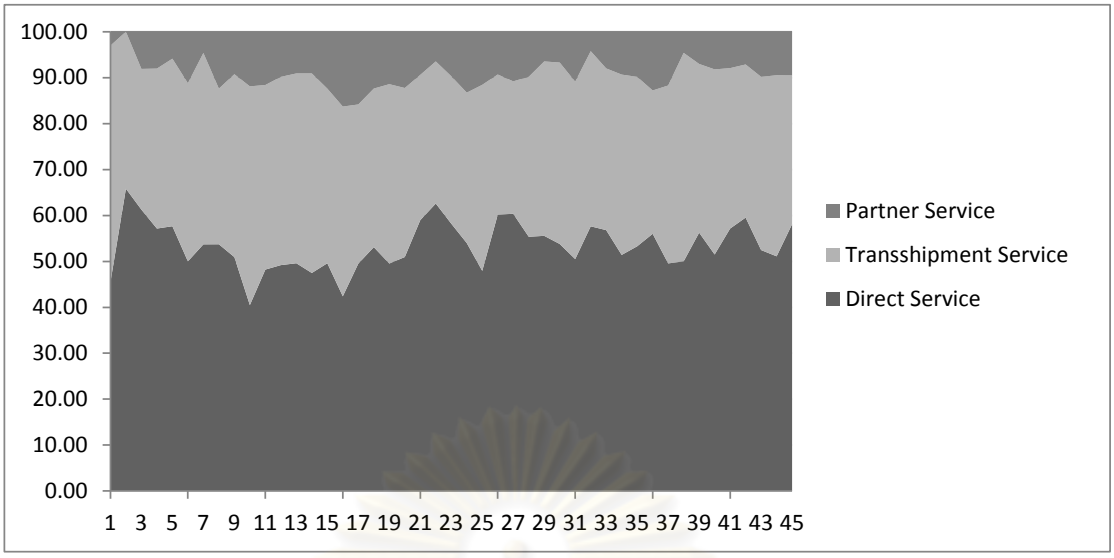


ภาพที่ 5.26 จำนวนความถี่ของข้อมูลแจกแจงตามความแตกต่างของผลกำไร

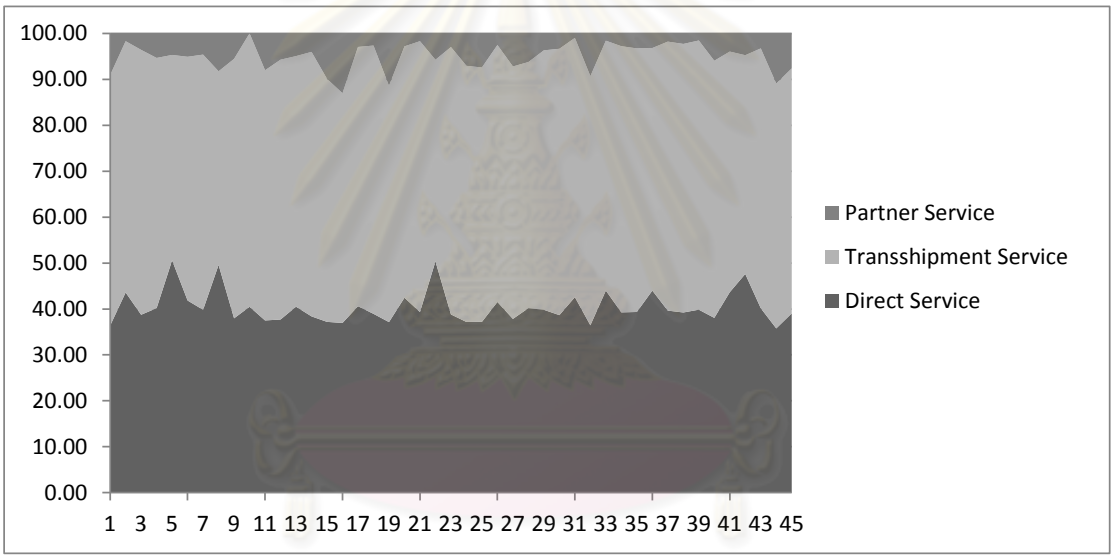


ภาพที่ 5.27 สัดส่วนความถี่สะสมของข้อมูลแจกแจงตามความแตกต่างของผลกำไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

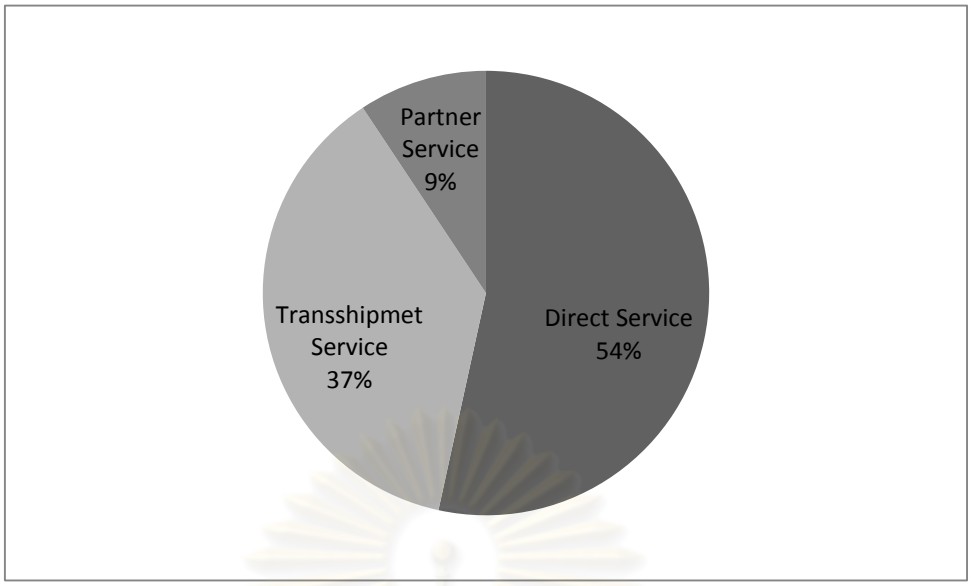


ภาพที่ 5.28 สัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากการดำเนินงานจริง

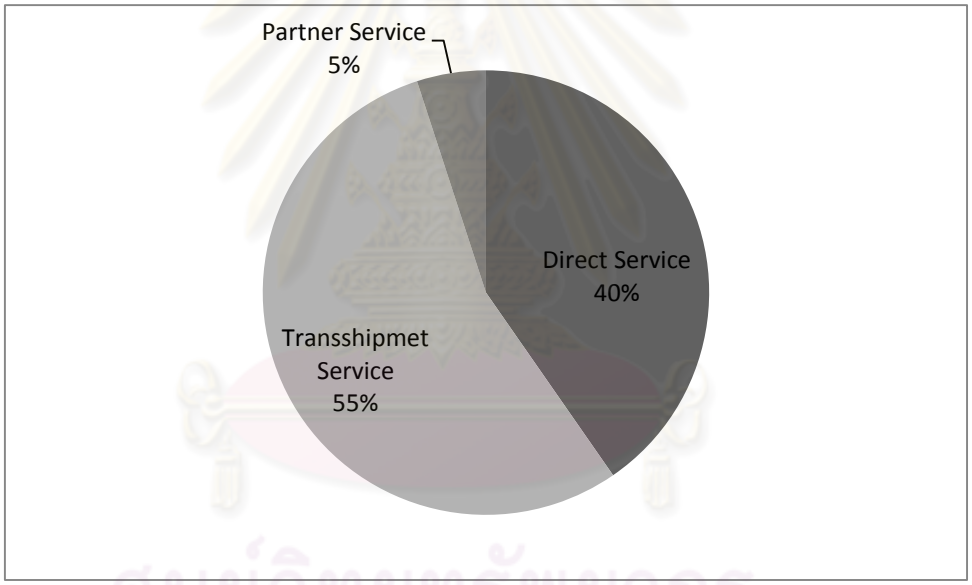


ภาพที่ 5.29 สัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากผลเฉลยของแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

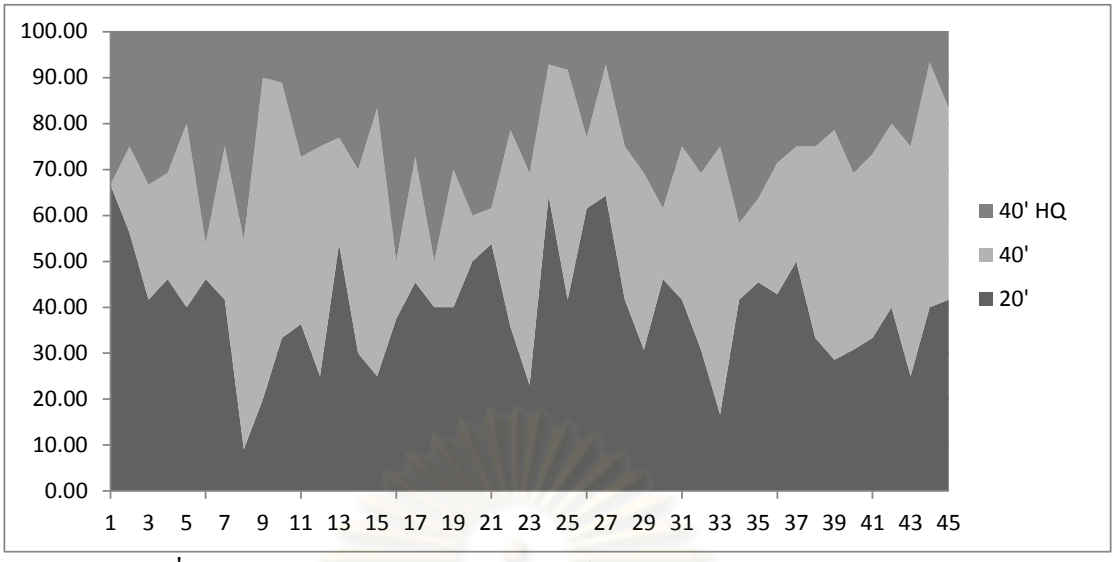


ภาพที่ 5.30 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากการดำเนินงานจริง

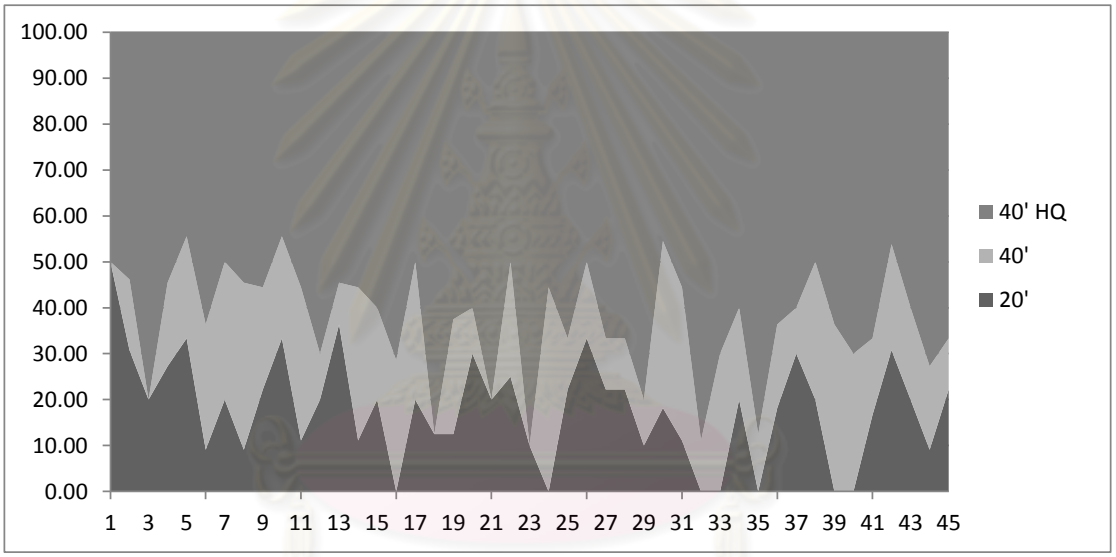


ภาพที่ 5.31 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการให้บริการของรูปแบบต่างจากผลเฉลยของแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

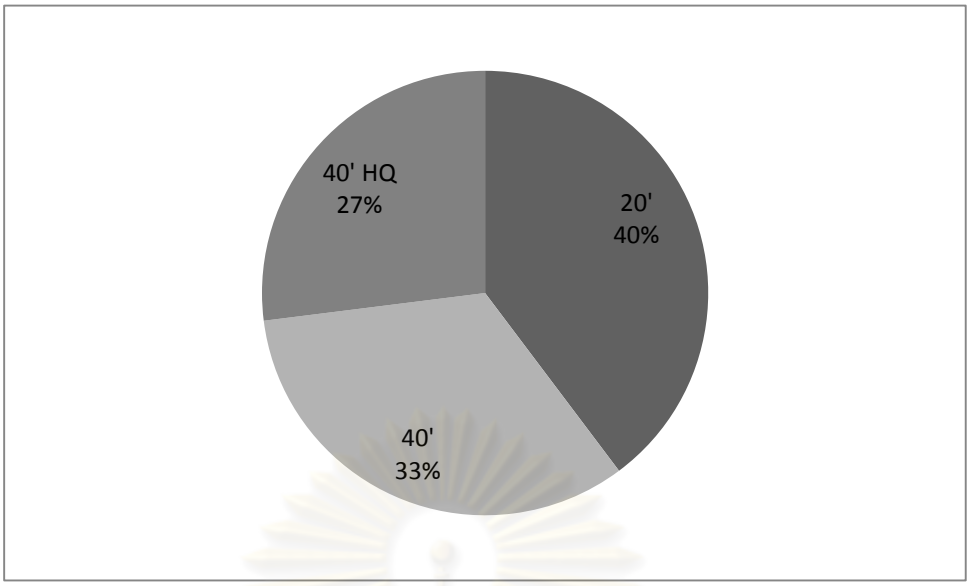


ภาพที่ 5.32 สัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากการดำเนินงานจริง

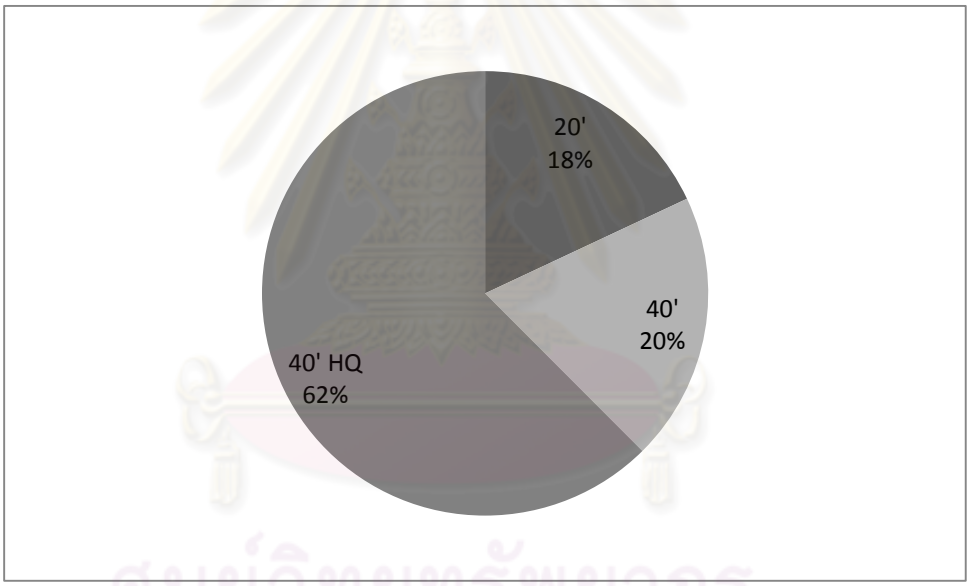


ภาพที่ 5.33 สัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากผลเฉลยของแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

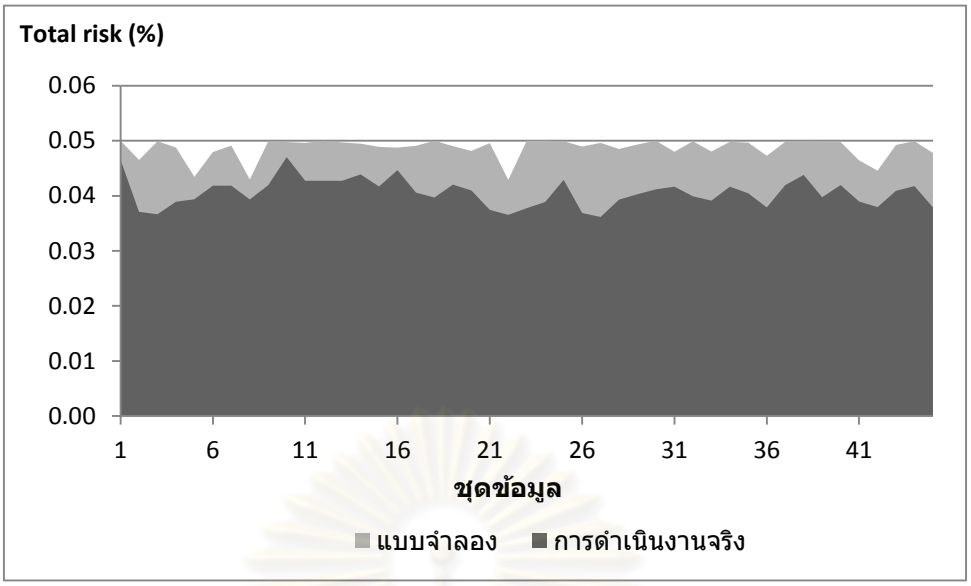


ภาพที่ 5.34 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากการดำเนินงานจริง



ภาพที่ 5.35 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ประเภทต่างๆจากผลเฉลยของแบบจำลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.36 การเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายจากการดำเนินงานจริงและแบบจำลอง

จากภาพที่ 5.26 และภาพที่ 5.27 แสดงให้เห็นสถานการณ์ผลการดำเนินงานจริงไม่สามารถทำกำไรได้เกินครึ่งของผลกำไรจากแบบจำลองมีถึง 26 ชุดข้อมูลจาก 45 ชุดข้อมูล และเกิดสภาวะขาดทุน (Gap > 100%)จากการดำเนินงานจริงขึ้นใน 5 ชุดข้อมูลจากทั้งหมด โดยเห็นได้ว่าแบบจำลองสามารถหารูปแบบการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าที่สามารถทำให้เกิดผลกำไรที่มากกว่าในทุกชุดข้อมูล

จากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการดำเนินงานจริงได้ผลกำไรน้อยกว่าผลการดำเนินงานของแบบจำลองนั้น ผู้ทำการวิจัยขอเสนอไว้ 3 ข้อดังนี้

1. การดำเนินงานในสถานการณ์จริงให้บริการด้วยรูปแบบการส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงมากเกินไป จากภาพที่ 5.28 ถึงภาพที่ 5.31 แสดงว่าการดำเนินงานในสถานการณ์จริงให้บริการผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 และส่วนมากะอยู่ในช่วงร้อยละ 50 ถึงร้อยละ 60 โดยแตกต่างจากผลเฉลยของแบบจำลองที่เสนอให้บริการผ่านรูปแบบดังกล่าวในอัตราที่ต่ำกว่า

2. การดำเนินงานจริงยังให้การบริการผ่านรูปแบบการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางในสัดส่วนที่ต่ำเมื่อเทียบกับผลเฉลยจากแบบจำลอง จากภาพที่ 5.28 ถึงภาพที่ 5.31 แสดงว่าการดำเนินงานจริงไม่มีการข้อมูลชุดใดที่ให้บริการผ่านรูปแบบการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางเกินสัดส่วนร้อยละ 50

แตกต่างจากผลเฉลยของแบบจำลองที่เสนอให้ส่งผ่านรูปแบบดังกล่าวในอัตราที่สูงกว่า

3. สัดส่วนการเช่าตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการบริการในการดำเนินงานจริงส่วนมากเป็นตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดเล็ก (20 ฟุต) จากภาพที่ 5.32 ถึงภาพที่ 5.35 แสดงว่าการดำเนินงานจริงจะมีสัดส่วนการจองตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุตมากกว่าผลเฉลยของแบบจำลองที่แนะนำให้ใช้ในอัตราส่วนที่ต่ำกว่า สาเหตุที่การดำเนินงานจริงจองตู้คอนเทนเนอร์ 20 ฟุตมากกว่าแบบจำลองเนื่องจากมีการให้บริการผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงในอัตราที่สูงกว่า

4. ความเสี่ยงสินค้าเสียหายจากผลเฉลยของแบบจำลองสูงกว่าความเสี่ยงสินค้าเสียหายจากการดำเนินงานจริงแต่อยู่ภายใต้ระดับที่กำหนดไว้คือร้อยละ 0.05 ดังภาพที่ 5.36

จากผลการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าการวางแผนการดำเนินงานในสถานการณ์จริงยังไม่สามารถหารูปแบบการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าเพื่อให้เกิดผลกำไรที่ดีได้ ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเสนอให้ใช้ผลเฉลยจากแบบจำลองเป็นแนวทางเพื่อปรับปรุงรูปแบบการจองตู้คอนเทนเนอร์และการควบรวมสินค้าเพื่อให้เกิดผลกำไรที่ดีขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1. สรุปการวิเคราะห์ผลจากการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเพื่อหาแบบจำลองจากการบูรณาการระหว่าง 2 ปัญหาได้แก่ ปัญหาการจองตู้คอนเทนเนอร์ และปัญหาการควบรวมสินค้าของตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเล และทดสอบประสิทธิภาพของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองกับผลดำเนินงานจริง

ผู้ทำการวิจัยได้ทำการนำเสนอแบบจำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาและทำการทดสอบเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแบบจำลอง โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพจาก 4 เทคนิคได้แก่ เทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch & Bound: B&B) เทคนิคการแก้ปัญหาแบบ 2 เฟส (2 Phase) เป็นเทคนิคที่ให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพดี และใช้เวลาน้อย แต่เนื่องจากมีเนื่องจุดอ่อนอยู่ที่เฟส 2 ที่มีอัตราการขยายขนาดของแบบจำลองสูงและมีการกำหนดตู้คอนเทนเนอร์เป็นค่าคงที่ทำให้ปัญหาแก้ไขได้ยากกว่าการแก้ปัญหาโดยตรง ดังนั้นการแก้ปัญหาแบบ 2 เฟสจึงไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ ในส่วนเทคนิคทยอยแก้ปัญหา (ISM) เป็นเทคนิคที่มีผลเฉลยคุณภาพที่ดี ใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อย และมีประสิทธิภาพที่ดีในปัญหาที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับทุกเทคนิคที่ทดสอบมา ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงทำการมุ่งความสนใจไปสู่เทคนิคอื่น และพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมามีความเหมาะสมกับเทคนิค “ทยอยแก้ปัญหา” โดยตั้งค่าขอบเขตของเวลาในการหาผลเฉลยที่ 120 วินาทีต่อรอบ และค่าสัดส่วนปริมาตรบรรจุขั้นต่อที่ร้อยละ 90

สุดท้ายผู้ทำการวิจัยได้นำแบบจำลองพร้อมเทคนิคการผลเฉลยดังกล่าวไปหาประสิทธิผลของผลเฉลยโดยนำไปเปรียบเทียบกับผลดำเนินงานจริง จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าผลเฉลยจากแบบจำลองสามารถทำผลกำไรมากกว่าการดำเนินงานจริง จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของผลต่างของกำไรที่เกิดขึ้นได้ผลดังนี้ การดำเนินงานจริงเน้นการส่งสินค้าผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงเป็นหลักในขณะที่แบบจำลองเสนอให้ใช้รูปแบบการส่งต่อผ่านเมืองศูนย์กลางเป็นหลัก เพราะการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรงเป็นหลักจะส่งผลให้ตัวแทนขนส่งสินค้าต้องจองตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาด 20 ฟุตจำนวนมาก และจากการจองตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุตจำนวนมากส่งผลให้ต้นทุนในการให้บริการสูงขึ้นในขณะรายได้คงที่

6.2. ข้อเสนอแนะงานวิจัยในอนาคต

จากการทำการวิจัยผู้ทำการวิจัยได้พบจุดอ่อนของงานวิจัย ด้วย เนื่องจากผู้ทำงานวิจัยมุ่งเน้นการศึกษาการตัดสินใจของตัวแทนตัวแทนขนส่งสินค้าทางทะเลของประเทศไทย ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงมุ่งความสนใจของผลกำไรของตัวแทนในไทยเป็นหลัก ในความเป็นจริงแล้วควรมุ่งเน้นเพื่อหาผลกำไรของที่มากที่สุดของทั้งบริษัท ดังนั้นนิยามของปัญหาจะเปลี่ยนจาก 1 สถานีต้นทาง สู่หลายสถานีปลายทาง เป็น หลายสถานีต้นทาง สู่หลายสถานีปลายทาง โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. เพิ่มตัวแปรของตู้คอนเทนเนอร์จากสถานีศูนย์กลางไปสถานีปลายทาง
2. การขนส่งสินค้าโดยผ่านเมืองศูนย์กลางจะถูกเปลี่ยนเป็นลักษณะเดียวกับการส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง
3. แบบจำลองจะมีการขยายตัวแปรผันตามจำนวนสถานีต้นทางและสถานีปลายทางรวมทั้งจำนวนคำสั่งส่งสินค้าในระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ, 2547, กลยุทธ์บริหารธุรกิจการขนส่งทางเรือ, กรุงเทพฯ: พับลิคโฟโตโฆษณา

ประพันธ์ โลหะวิริยศิริ, 2535, การเลือกซื้อบริการขนส่งสินค้าทางทะเล, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

วิรุฬ กองเสริมทรัพย์, 2553, การจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ, ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาลัย

สุภาภรณ์ ศิริประพฤทธิ์, 2553, การวิเคราะห์โครงข่ายและวางแผนการขนส่งสินค้าทางทะเลแบบไม่เต็มตู้คอนเทนเนอร์ กรณีศึกษาบริษัทตัวแทนรับขนส่งสินค้า, ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาลัย

สำนักงานศุลกากรท่าเรือแหลมฉบัง (Laem Chabang Port Customs Beruau), 2544, เอกสารเผยแพร่: ผู้ที่ให้บริการขนส่งสินค้าทางทะเล และบทบาทหน้าที่ของผู้ให้บริการ, Available from “http://www.lcbcustoms.net”

ภาษาอังกฤษ

Barnhart, C., Kniker, T. S. and Lohatepanont, M., 2000 ,Itinerary-Based Airline Fleet Assignment, Transportation Science, Vol. 36, 199-217

Barnhart, C., Johnson, E. L., Nemhauser, G.L., Savelsgergh, M.W.P. and Vance, P.H., 1998, Branch-and-price: column generation for solving huge integer programs. Operations Research, Vol. 46, No. 3, 316-329

Cakir, O, 2009, Benders decomposition applied to muti-commodity, multi-mode distribution planning, Expert Systems with Application, Vol. 36, 8212 - 8217

Erdmann, A., Nolte, A., Noltemeier, A. and Schrader, R., 2002, Modeling and Solving an Airline Schedule Generation Problem, Annals of Operations Research, No. 17, 117-142

Kraft, E. R., 2002, Scheduling railway freight delivery appointments using a bid price approach, Transportation Research, Vol. 36, 145-165

Mitchell, J. E., 2001, Branch-and-Cut algorithms for integer programming, Encyclopedia of Optimization, Vol. 2, 519-525

Williamson, E. L, 1992, Airline Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts, Doctor of philosophy in flight transportation and operations research at the Massachusetts Institute of Technology

Wu, Y. ,2008, Modelling containerisation of air cargo forwarding problems, Production Planning & Control, Vol. 19, No. 1, 2-11.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.1 ตัวอย่างรูปแบบการขนส่งที่ใช้ในการส่งไปยังเมืองปลายทาง

Destination	Direct Service	Transshipment from SG	Transshipment from HK	Partner Service
ATVIE		Available		
AUMEL	Available	Available		Available
AUSYD	Available	Available		Available
BEANR	Available	Available		
BRPNG			Available	Available
CHZRH			Available	
DEHAM	Available	Available		
GBSOU	Available	Available		Available
HKHKG	Available			Available
HUBUD			Available	
ILASH			Available	Available
ITGOA	Available	Available		
MXZLO			Available	Available
NLRTM	Available	Available		
NOOSL		Available		
SEGOT	Available	Available		
SGSIN	Available			Available
SKBTS			Available	
TRIST	Available		Available	
USLAX	Available			Available

ตารางที่ ผ.2 ตัวอย่างความเสี่ยงสินค้าเสียหายแจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง

รูปแบบการขนส่ง	ความเสี่ยงสินค้าเสียหาย
การส่งผ่านตู้คอนเทนเนอร์โดยตรง	ร้อยละ 0.02
การส่งต่อเมืองศูนย์กลาง	ร้อยละ 0.07

ตารางที่ ผ.3 ตัวอย่างน้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับได้ (Effectiveness Weight Available) และปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ (Effectiveness Volume Available) ของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทที่ใช้ในการให้บริการ

ประเภทตู้คอนเทนเนอร์	น้ำหนักประสิทธิผลที่รองรับได้ กิโลกรัม (kg)	ปริมาตรประสิทธิผลที่รองรับได้ ลูกบาศก์เมตร (ลบ.ม.)
20 ฟุต (20’)	24000	25
40 ฟุต (40’)	26000	50
40 ฟุต สูงพิเศษ (40’ HQ)	25000	65

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.4 ตัวอย่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าของตามรูปแบบการขนส่ง

Destination	Direct Service			Transshipment from SG ($/m^3)	Transshipment from HK ($/m^3)	Partner Service ($/m^3)
	20'	40'	40' HQ			
ATVIE				133.00		
AUMEL	2,050.00	2,809.00	2,854.00	72.00		65.00
AUSYD	2,045.00	2,783.00	2,863.00	72.00		65.00
BEANR	2,510.00	3,302.00	3,577.00	75.00		
BRPNG					113.00	195.00
CHZRH					143.00	
DEHAM	2,170.00	2,930.00	3,250.00	85.00		
GBSOU	1,810.00	2,035.00	2,352.00	56.00		85.00
HKHKG	1,083.00	1,583.00	1,693.00			48.00
HUBUD					113.00	
ILASH					84.00	130.00
ITGOA	2,587.00	3,451.00	3,801.00	120.00		
MXZLO					89.00	120.00
NLRTM	2,291.00	3,185.00	3,369.00	71.00		
NOOSL				135.00		
SEGOT	2,998.00	3,896.00	4,287.00	95.00		
SGSIN	1,005.00	1,380.00	1,405.00			44.00
SKBTS					132.00	
TRIST	2,320.00	3,050.00	3,400.00		75.00	
USLAX	1,613.00	1,995.00	2,190.00			60.00

ตารางที่ ผ.5 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง

No.	Gap (%)	History						Model					
		Ratio of Box			Ratio of Service			Ratio of Box			Ratio of Service		
		20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner	20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner
1	9.43	66.67	0.00	33.33	45.45	51.52	3.03	50.00	0.00	50.00	36.36	54.55	9.09
2	8.55	56.25	18.75	25.00	65.81	34.19	0.00	30.77	15.38	53.85	43.59	54.70	1.71
3	41.80	41.67	25.00	33.33	61.26	30.63	8.11	20.00	0.00	80.00	38.74	57.66	3.60
4	0.24	46.15	23.08	30.77	57.14	34.82	8.04	27.27	18.18	54.55	40.18	54.46	5.36
5	26.25	40.00	40.00	20.00	57.65	36.47	5.88	33.33	22.22	44.44	50.59	44.71	4.71
6	54.71	46.15	7.69	46.15	50.00	38.78	11.22	9.09	27.27	63.64	41.84	53.06	5.10
7	49.73	41.67	33.33	25.00	53.70	41.67	4.63	20.00	30.00	50.00	39.81	55.56	4.63
8	11.18	9.09	45.45	45.45	53.72	33.88	12.40	9.09	36.36	54.55	49.59	42.15	8.26
9	66.54	20.00	70.00	10.00	50.93	39.81	9.26	22.22	22.22	55.56	37.96	56.48	5.56
10	118.51	33.33	55.56	11.11	40.48	47.62	11.90	33.33	22.22	44.44	40.48	59.52	0.00
11	71.90	36.36	36.36	27.27	48.21	40.18	11.61	11.11	33.33	55.56	37.50	54.46	8.04
12	81.67	25.00	50.00	25.00	49.18	40.98	9.84	20.00	10.00	70.00	37.70	56.56	5.74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.6 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ)

No.	Gap (%)	History						Model					
		Ratio of Box			Ratio of Service			Ratio of Box			Ratio of Service		
		20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner	20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner
13	50.45	53.85	23.08	23.08	49.59	41.32	9.09	36.36	9.09	54.55	40.50	54.55	4.96
14	94.24	30.00	40.00	30.00	47.47	43.43	9.09	11.11	33.33	55.56	38.38	57.58	4.04
15	66.69	25.00	58.33	16.67	49.59	38.02	12.40	20.00	20.00	60.00	37.19	52.89	9.92
16	27.61	37.50	12.50	50.00	42.39	41.30	16.30	0.00	28.57	71.43	36.96	50.00	13.04
17	108.69	45.45	27.27	27.27	49.50	34.65	15.84	20.00	30.00	50.00	40.59	56.44	2.97
18	89.43	40.00	10.00	50.00	53.10	34.51	12.39	12.50	0.00	87.50	38.94	58.41	2.65
19	77.32	40.00	30.00	30.00	49.52	39.05	11.43	12.50	25.00	62.50	37.14	51.43	11.43
20	43.31	50.00	10.00	40.00	50.94	36.79	12.26	30.00	10.00	60.00	42.45	54.72	2.83
21	102.16	53.85	7.69	38.46	58.97	31.62	9.40	20.00	0.00	80.00	39.32	58.97	1.71
22	44.96	35.71	42.86	21.43	62.59	30.94	6.47	25.00	25.00	50.00	50.36	43.88	5.76
23	85.72	23.08	46.15	30.77	58.21	32.09	9.70	10.00	0.00	90.00	38.81	58.21	2.99
24	81.99	64.29	28.57	7.14	53.98	32.74	13.27	0.00	44.44	55.56	37.17	55.75	7.08

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.7 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ)

No.	Gap (%)	History						Model					
		Ratio of Box			Ratio of Service			Ratio of Box			Ratio of Service		
		20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner	20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner
25	63.56	41.67	50.00	8.33	47.93	40.50	11.57	22.22	11.11	66.67	37.19	55.37	7.44
26	10.54	61.54	15.38	23.08	60.17	30.51	9.32	33.33	16.67	50.00	41.53	55.93	2.54
27	96.44	64.29	28.57	7.14	60.36	28.83	10.81	22.22	11.11	66.67	37.84	54.95	7.21
28	111.58	41.67	33.33	25.00	55.36	34.82	9.82	22.22	11.11	66.67	40.18	53.57	6.25
29	87.66	30.77	38.46	30.77	55.56	37.96	6.48	10.00	10.00	80.00	39.81	56.48	3.70
30	3.69	46.15	15.38	38.46	53.78	39.50	6.72	18.18	36.36	45.45	38.66	57.98	3.36
31	68.01	41.67	33.33	25.00	50.50	38.61	10.89	11.11	33.33	55.56	42.57	56.44	0.99
32	38.84	30.77	38.46	30.77	57.63	38.14	4.24	0.00	11.11	88.89	36.44	54.24	9.32
33	45.34	16.67	58.33	25.00	56.80	35.20	8.00	0.00	30.00	70.00	44.00	54.40	1.60
34	49.89	41.67	16.67	41.67	51.40	39.25	9.35	20.00	20.00	60.00	39.25	57.94	2.80
35	44.33	45.45	18.18	36.36	53.28	36.89	9.84	0.00	12.50	87.50	39.34	57.38	3.28
36	50.56	42.86	28.57	28.57	56.00	31.20	12.80	18.18	18.18	63.64	44.00	52.80	3.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ.8 ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับการดำเนินการจริง (ต่อ)

No.	Gap (%)	History						Model					
		Ratio of Box			Ratio of Service			Ratio of Box			Ratio of Service		
		20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner	20'	40'	40'HQ	Direct	Transshipment	Partner
37	52.57	50.00	25.00	25.00	49.55	38.74	11.71	30.00	10.00	60.00	39.64	58.56	1.80
38	47.35	33.33	41.67	25.00	50.00	45.38	4.62	20.00	30.00	50.00	39.23	58.46	2.31
39	52.58	28.57	50.00	21.43	56.25	36.72	7.03	0.00	36.36	63.64	39.84	58.59	1.56
40	77.06	30.77	38.46	30.77	51.49	40.30	8.21	0.00	30.00	70.00	38.06	55.97	5.97
41	45.86	33.33	40.00	26.67	57.14	34.92	7.94	16.67	16.67	66.67	43.65	52.38	3.97
42	30.91	40.00	40.00	20.00	59.52	33.33	7.14	30.77	23.08	46.15	47.62	47.62	4.76
43	105.81	25.00	50.00	25.00	52.46	37.70	9.84	20.00	20.00	60.00	40.16	56.56	3.28
44	22.65	40.00	53.33	6.67	51.09	39.42	9.49	9.09	18.18	72.73	35.77	53.28	10.95
45	98.15	41.67	41.67	16.67	58.10	32.38	9.52	22.22	11.11	66.67	39.05	53.33	7.62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปกรณ์ รัตนสุวรรณ เป็นบุตรของ นายปิยะ รัตนสุวรรณ และนางกาญจนา รัตนสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม พ.ศ. 2530 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนราชวินิต ระดับชั้นมัธยมศึกษาต้นและปลายจากโรงเรียนราชวินิต มัธยม และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (โยธา) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 จากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2552

ขณะศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทความของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ถูกตีพิมพ์ในเอกสารการประชุมวิชาการ ดังนี้

มาโนช โลหเตปานนท์ และปกรณ์ รัตนสุวรรณ. การวางแผนควบรวมสินค้าและจองตู้คอนเทนเนอร์ สำหรับตัวแทนรับส่งสินค้าทางทะเล. เอกสารรวมบทความวิชาการการประชุมวิชาการการขนส่งแห่งชาติครั้งที่ 7 ตุลาคม 2553 : 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย