การจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า

นายธนัท รุ่งวาณิชสุขานนท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Multimodal and Consolidation Routing Problem

Mr. Thanat Rungvanichsukkanon

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

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า
โดย	นายธนัท รุ่งวาณิชสุขานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. สโรช บุญศิริพันธ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ธนัท รุ่งวาณิชสุขานนท์ : การจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า (Multimodal and Consolidation Routing Problem) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. มาโนช โลหเตปานนท์, หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ความรู้ทางการวิจัยดำเนินการ (Operation Reasearch: OR) เพื่อมาใช้สร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการปฏิบัติงานบนโครงข่ายการขนส่งจ่อเนื่องหลายรูปแบบ ซึ่งสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องระหว่างการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งทางอากาศ ความซับซ้อนของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้คือ การวางแผนการปฏิบัติการการขนส่งระหว่างรถบรรทุกและการขนส่งให้สอดคล้องกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของตารางเวลาการขนส่ง ซึ่งการขนส่งโดยรถบรรทุกเป็นการขนส่งซึ่งไม่จำเป็นต้องให้บริการตามตารางเวลาที่แน่นอน (Flexible Time Service) ในขณะที่การขนส่งทางอากาศนั้นจะมีตารางเวลาที่สามารถใช้บริการที่แน่นอน (Scheduled Time Service) ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Problem Time Windows) และปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Multi-Commodity Flow Problem) ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นสองลักษณะด้วยกันคือ แบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (Node-Arc Based Formulation) และแบบจำลองตามเส้นทาง (Path Based Formulation) โดยในส่วนของวิธีในการแก้ปัญหานั้นผู้วิจัยยังได้นำเสนอวิธีการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เพื่อใช้ในการหาผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางด้วย จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5670217321 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: MULTIMODAL TRANSPORTATION / SHORTEST PATH PROBLEM WITH TIME WINDOW / MULTI-COMMODITY FLOW PROBLEM / NODE-ARC BASED FORMULATION / PATH BASED FORMULATION / COLUMN GENERATION

THANAT RUNGVANICHSUKKANON: Multimodal and Consolidation Routing Problem. ADVISOR: ASST. PROF. MANOJ LOHATEPANONT, pp.

This research presents a study on Multimodal and Consolidation Routing Problem. The research aim to apply the knowledge from Operation Research (OR) to develop a mathematical model that can handle this problem. The Multimodal Network in this research refers to the transportation network of Truck and Air Transportation. The complexity of the problem is the different between the characteristics of Truck and Air Transportation. Truck transportation is Flexible Time Service on the other hand Air transportation is Scheduled Time Service so the research has to formulate model that can synchronize the time schedule of this two modes together in an efficient way. To develop the mathematical model in this research, the researcher applies the concept of Shortest Path Problem with Time Window and Multi-Commodity Flow Problem together, as the result this research present the mathematical model in two forms that are Node-Arc Based Formulation and Path Based Formulation and also apply the Column Generation procedure to solve the Path Based Formulation. The result shows that the developed model can handle the Multimodal and Consolidation Routing Problem in an efficient manner.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำชี้แนะในการดำเนินการวิจัย และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เกษม ชูจารุกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม และอาจารย์ ดร. สโรช บุญศิริพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความกรุณาที่เสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษา พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการทางานวิจัยและการประกอบอาชีพในอนาคต

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านเสมอมา จนทาให้ข้าพเจ้าได้มีความรู้ความสามารถและประสบความสำเร็จในการศึกษาในปัจจุบัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฐ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 6
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 8
2.1.1 ปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา (Shortest Path Problem with Time Window: SPPTW) 9
2.1.2 ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Multi-commodity Flow Problem) 13
2.1.3 การกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) 20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 34
3.1 ที่มาของข้อมูลในงานวิจัย 34
3.2 แนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 36
3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการหาผลเฉลย 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

3.3.1 แบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดโดยพิจารณากรอบเวลารูปแบบจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (Multi - commodity Flow Problem with Time Windows: Node Arc Based Formulation) 41

3.3.2 แบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดโดยพิจารณากรอบเวลารูปแบบตามเส้นทาง (Multi - commodity Flow Problem with Time Windows: Path Based Formulation) 44

3.3.3 การประยุกต์หลักของการกำเนิดสดมภ์กับแบบจำลองที่นำเสนอ 46

3.4 แผนงานการดำเนินงานวิจัย 50

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลจากงานวิจัย 52

4.1 ข้อมูลของชุดปัญหา 52

4.1.1 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับชนิดของสินค้า 52

4.1.2 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุก 55

4.1.3 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศ 58

4.2 ขนาดของแบบจำลอง 60

4.2.1 ขนาดของโครงข่ายที่จะทำการพิจารณา 60

4.2.2 ขนาดของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ 61

4.2.3 ขนาดของแบบจำลองตามเส้นทาง 62

4.3 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลย 63

4.3.1 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 64

4.3.2 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง 65

4.4 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหา 67

4.4.1 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 68

หน้า

4.4.2 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง 86
4.5 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบัน 92
4.5.1 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบัน กรณีกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 92
4.5.2 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบัน กรณีกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง 93
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 95
รายการอ้างอิง 98
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ 3
ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อของปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา 9
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลจุดยอดของปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา 10
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลชนิดสินค้าแยกตามต้นทางปลายทางการขนส่ง 14
ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อบนตัวอย่างโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด 14
ตารางที่ 2.5 แสดงหัวข้องานวิจัยด้านระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เคยมีการศึกษาในอดีต 28
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลชนิดสินค้าบนโครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 3.2 38
ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อของโครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 3.2 38
ตารางที่ 3.3 แสดงตารางการบินบนเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2) 39
ตารางที่ 3.4 แสดงตารางการบินบนเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3) 39
ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557) 53
ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2558) 54
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องการขนส่งโดยรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ 1 56
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ 2 (เพิ่มเติมจากตารางที่ 4.3) 57
ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาที่สามารถเริ่มต้นการขนส่งได้ ณ ศูนย์ควบรวมสินค้าต่าง ๆ 58
ตารางที่ 4.6 แสดงสนามบินที่ให้บริการการขนส่งทางอากาศบนโครงข่ายในงานวิจัย 59
ตารางที่ 4.7 แสดงขนาดของโครงข่าย 60
ตารางที่ 4.8 แสดงจำนวนตัวแปรในแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ 61
ตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนของเงื่อนไขในแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10 แสดงจำนวนตัวแปรในแบบจำลองตามเส้นทาง 62

ตารางที่ 4.11 แสดงจำนวนของข้อจำกัดเงื่อนไขในแบบจำลองตามเส้นทาง 63

ตารางที่ 4.12 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557) 64

ตารางที่ 4.13 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557) 65

ตารางที่ 4.14 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557) 66

ตารางที่ 4.15 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557) 66

ตารางที่ 4.16 แสดงผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 68

ตารางที่ 4.17 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 1 (เดือนตุลาคม 2557) 71

ตารางที่ 4.18 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 1 (เดือนตุลาคม 2557) 72

ตารางที่ 4.19 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 2 (เดือนตุลาคม 2557) 73

ตารางที่ 4.20 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 2 (เดือนตุลาคม 2557) 73

ตารางที่ 4.21 แสดงการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 77

ตารางที่ 4.22 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 3 (เดือนตุลาคม 2557) 80

ตารางที่ 4.23 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 3 (เดือนตุลาคม 2557) 81

ตารางที่ 4.24 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 4 (เดือนตุลาคม 2557) 81

ตารางที่ 4.25 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 4 (เดือนตุลาคม 2557) 82

ตารางที่ 4.26 แสดงความแตกต่างของแผนงานต่าง ๆ ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557) 86

ตารางที่ 4.27 แสดงการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557) 87

ตารางที่ 4.28 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 5 89

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.29 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 5 89
ตารางที่ 4.30 แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงกรณีปริมาณความต้องการปกติ (เดือนตุลาคม 2557)..... 92
ตารางที่ 4.31 แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง 93

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยในรูปของร้อยละตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 - พ.ศ.2555 2

รูปที่ 1.2 รูปแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนการขนส่งกับระยะทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและการขนส่งโดยบรรทุก 4

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบของเวลา 9

รูปที่ 2.2 แผนภาพจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อแสดงตัวอย่างของโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด 14

รูปที่ 2.3 รูปแสดงโครงสร้างเมทริกซ์ของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ 19

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างเมทริกซ์ของแบบจำลองตามเส้นทาง 19

รูปที่ 2.5 แสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา 30

รูปที่ 2.6 แสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา (2) 31

รูปที่ 2.7 รูปแสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา (3) 31

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการขนส่งบนโครงข่ายตัวอย่าง 36

รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงโครงข่ายทางกายภาพขนาดเล็กเพื่อใช้อธิบายแบบจำลอง 37

รูปที่ 3.3 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2) 40

รูปที่ 3.4 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3) 40

รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของการวางแผนการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 1 (ภาคอีสาน) 55

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างของการวางแผนการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 2 (ภาคอีสาน) 56

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าปกติ 69

รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 1 75

รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 2 76

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าปกติ 78

รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 3..... 84

รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 4..... 85

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 1 และ 2 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าสูง..... 88

รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 5..... 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

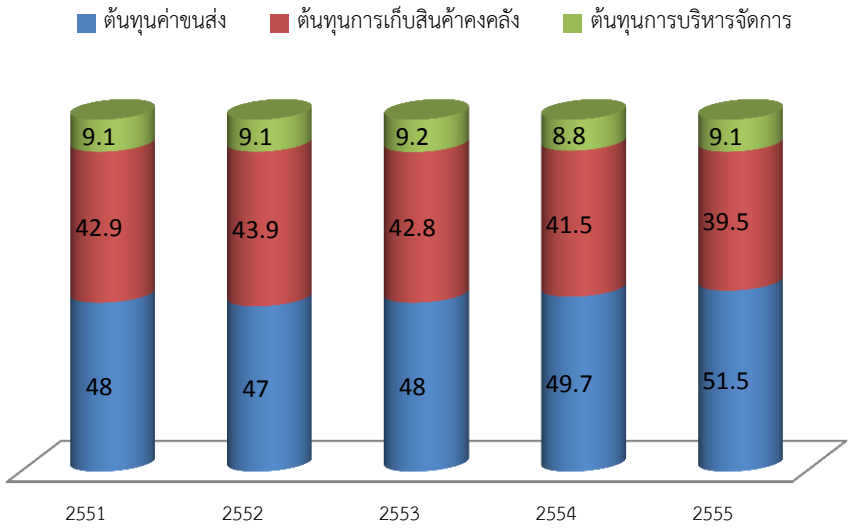
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กิจกรรมโลจิสติกส์คือ กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่งสินค้าหรือข้อมูล และทรัพยากรจากจุดต้นทางไปยังจุดบริโภคเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภค ในปัจจุบันภาคธุรกิจตระหนักเห็นถึงความสำคัญของการจัดการกิจกรรมทางด้านโลจิสติกส์ (Logistic) มากขึ้น กิจกรรมโลจิสติกส์มุ่งเน้นส่งเสริมการไหลของสินค้าหรือข้อมูลและทรัพยากรให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องราบลื่น และในขณะเดียวกันก็พยายามจะลดต้นทุนในการจัดการทางด้านโลจิสติกส์ให้ต่ำที่สุด โดยที่ยังสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคได้

ต้นทุนโลจิสติกส์นั้นประกอบด้วยต้นทุนสามส่วนหลักด้วยกันคือ ต้นทุนการจัดการการขนส่ง (Transportation Cost) ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง (Inventory Carrying Cost) และต้นทุนการจัดการคลังสินค้า (Warehousing Cost) นอกจากนี้ยังมีต้นทุนซึ่งเกี่ยวข้องกับการบริหารงาน (Administration Cost) เมื่ออ้างอิงจากข้อมูลสถิติของต้นทุนโลจิสติกส์ต่อ GDP ของประเทศตามรายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2556 โดยคณะทำงานพัฒนาข้อมูลโลจิสติกส์ สศช. ซึ่งพิจารณาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ (Logistic Cost Structure) ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนค่าขนส่ง ต้นทุนการถือครองสินค้าคงคลัง และต้นทุนการบริหารจัดการ พบว่าต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยโดยส่วนใหญ่คือต้นทุนที่เสียไปกับต้นทุนการขนส่งมากที่สุด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นข้อมูลปี พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 1.1 ต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยในรูปของร้อยละตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 - พ.ศ.2555
ที่มา: รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2556 โดยคณะทำงานพัฒนาข้อมูลโลจิสติกส์ สศช

จากรูปที่ 1.1 เห็นได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งเป็นสัดส่วนที่สูงที่สุดเป็นอันดับแรก ดังนั้นการจัดการการขนส่งให้มีประสิทธิภาพจะสามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ได้

ประเด็นที่สำคัญในการวางแผนการขนส่งนั้นคือ การเลือกรูปแบบของการขนส่งที่จะใช้ ในปัจจุบันนั้นมีรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ ให้ผู้วางแผนเลือกได้หลากหลาย ได้แก่ การขนส่งทางถนนโดยรถบรรทุก การขนส่งทางน้ำ การขนส่งผ่านระบบราง และการขนส่งทางอากาศ โดยในแต่ละรูปแบบนั้นก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ผู้วางแผนการขนส่งต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้งานรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับชนิดสินค้าที่จะทำการขนส่งหรือบริการการขนส่งว่ามีลักษณะหรือวัตถุประสงค์ในการขนส่งอย่างไร เช่น ในการขนส่งสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งเป็นสินค้าที่มีมูลค้าสูง มีน้ำหนักไม่มาก และล้าสมัยได้เร็วนั้นการขนส่งทางอากาศซึ่งมีข้อดีในแง่ของความรวดเร็วในการขนส่งย่อมมีความเหมาะสม เป็นต้น ตารางที่ 1.1 จากงานวิจัยของ Min (1991) ได้สรุปข้อดีและข้อเสียของรูปแบบการขนส่งแบบต่าง ๆ ไว้ในรูปแบบของตารางดังแสดง

ตารางที่ 1.1 แสดงเปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ

คุณลักษณะ	การขนส่งทางถนน	การขนส่งทางราง	การขนส่งทางอากาศ	การขนส่งทางน้ำ
1. ต้นทุน (Cost)	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	ต่ำ
2. รูปแบบการให้บริการ (Market Coverage)	ต้นทางไปยังปลายทางได้โดยตรง (Point-to-Point)	สถานีไปยังสถานี (Terminal-to-Terminal)	สถานีไปยังสถานี (Terminal-to-Terminal)	สถานีไปยังสถานี (Terminal-to-Terminal)
3. ระยะทางการขนส่งเฉลี่ย (ไมล์)	515	617	885	376 - 1,367
4. ความสามารถในการบรรทุก (ตัน)	10 – 25	50 - 12,000	5 – 125	1,000 - 6,000
5. ความเร็ว	ปานกลาง	ช้า	เร็ว	ช้า
6. ความพร้อมในการให้บริการ	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ
7. ความแน่นอนของเวลาในการขนส่ง	สูง	ปานกลาง	สูง	ต่ำ
8. ความเสียหายของสินค้าจากการขนส่ง	ต่ำ	ปานกลาง – สูง	ต่ำ	ต่ำ - ปานกลาง

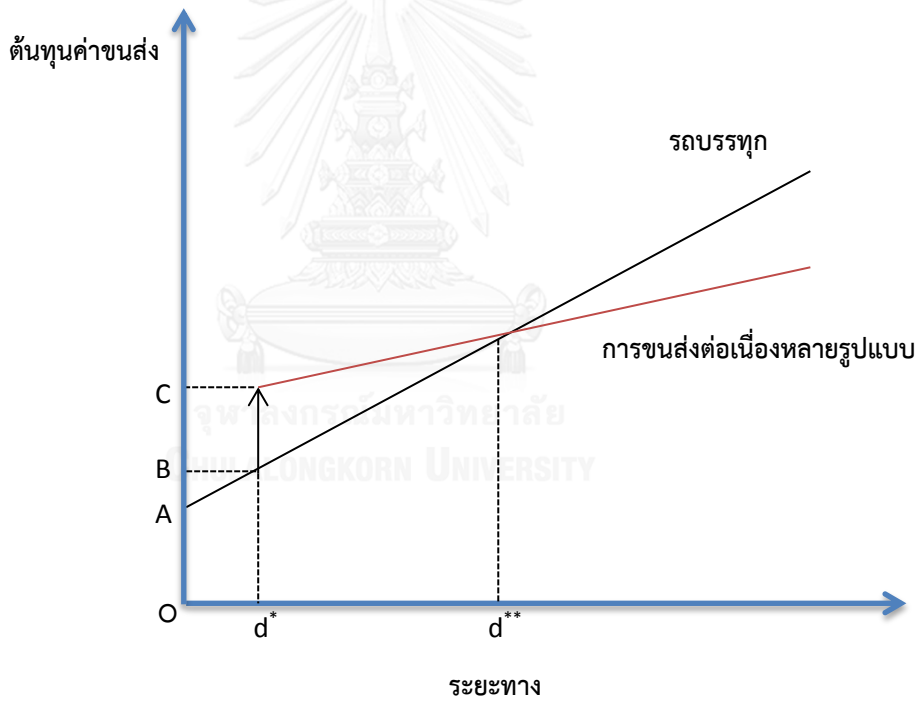
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ที่มา: Min H. (1991)

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นได้ว่ารูปแบบการขนส่งต่างมีจุดเด่นในด้านต่าง ๆ แตกต่างกันไป จึงทำให้เกิดแนวคิดที่นำมาสู่การขนส่งรูปแบบใหม่ที่นำรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ เลือกมาใช้งานร่วมกัน มีชื่อเรียกว่าการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transportation) ซึ่งการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบสามารถจำแนกได้ออกอีกเป็นสามรูปแบบหลัก คือ การขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับรถไฟ (Piggyback) การขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับการขนส่งทางน้ำ (Fishyback) และการขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับการขนส่งทางอากาศ (Birdyback) จากทั้งสามรูปแบบที่กล่าวมาพบว่าจะต้องมีการ

ขนส่งโดยรถบรรทุกประกอบอยู่ด้วยเสมอเนื่องด้วยการขนส่งรูปแบบอื่นนั้นสามารถขนส่งได้แค่จากสถานีไปยังสถานีเท่านั้นจึงต้องการขนส่งโดยรถบรรทุกทำหน้าที่ในการขนส่งสินค้าจากต้นทางมายังสถานีและจากสถานีไปยังปลายทางนั่นเอง

การวางแผนการขนส่งผ่านระบบโครงข่ายที่เป็นโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้นมีความแตกต่างจากการวางแผนการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งโดยรถบรรทุกเพียงอย่างเดียวโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่ของต้นทุนการขนส่งเนื่องจากการขนส่งหลายรูปแบบมีต้นทุนของการเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากรถบรรทุกไปยังรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ เช่น การขนส่งทางราง การขนส่งทางน้ำ และการขนส่งทางอากาศ โดยความแตกต่างในแง่ของต้นทุนการขนส่งนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 รูปแสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนการขนส่งกับระยะทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและการขนส่งโดยบรรทุก
ที่มา: Brewer A.M. et al. (2001)

รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนการขนส่งกับระยะทางของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเปรียบเทียบกับการขนส่งตรงโดยรถบรรทุก เมื่อมองในทางแกนตั้งคือต้นทุนค่าขนส่งนั้นพบว่า

OA คือต้นทุนในการขนถ่ายสินค้า ณ ที่ต้นทางและปลายทางการขนส่งสินค้าซึ่งทั้งการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้นต้องมีกิจกรรมนี้ด้วยกันทั้งคู่ AB คือต้นทุนในการเปลี่ยนถ่ายสินค้า ณ สถานีซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากรถบรรทุกไปยังรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ หรือการขนถ่ายสินค้าจากรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ มายังรถบรรทุกซึ่งต้นทุนส่วนนี้จะเกิดขึ้นในเฉพาะการขนส่งหลายรูปแบบเท่านั้น และพิจารณาว่าในการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะต้องมีระยะทางขั้นต่ำคือ d^* ซึ่งคือระยะทางจากต้นทางไปยังสถานีโดยรถบรรทุกโดยการขนส่งเป็นระยะทาง d^* ดังกล่าวคิดเป็นต้นทุนในช่วง BC ดังนั้นจึงออกมาเป็นดังรูปที่ 1.2 จากการพิจารณาพบว่าในช่วงที่มีระยะทางการขนส่งที่ไม่ไกลมากนั้นการขนส่งสินค้าไปยังปลายทางโดยตรงโดยรถบรรทุกนั้นมีต้นทุนที่ถูกกว่าการขนส่งโดยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ แต่เมื่อระยะทางการขนส่งไกลขึ้นจนถึง d^{**} ซึ่งเป็นระยะทางที่เหมาะสมในการใช้งานรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบแล้วจะพบว่าการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่า ระยะทาง d^{**} ที่ทำให้การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบได้เปรียบการขนส่งโดยรถบรรทุกในแง่ของต้นทุนนั้นจะต้องเป็นระยะทางไม่น้อยกว่า 500 กิโลเมตร อย่างไรก็ดีจากงานวิจัยของ Janic M. (2007) ได้แนะนำเพิ่มเติมว่าระยะทางดังกล่าวยังขึ้นกับลักษณะของสินค้าและบริการที่ทำการขนส่งอีกด้วย

การนำการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมาประยุกต์ใช้งานนั้นจะต้องพิจารณาในเรื่องระยะทางในการขนส่งต้องมีระยะไกลถึงช่วงหนึ่งจึงจะมีต้นทุนการขนส่งที่ถูกกว่าการขนส่งโดยรถบรรทุก นอกจากนี้ยังต้องมีการวางแผนการจัดการการขนส่งที่ดีด้วย โดยกลยุทธ์ในการวางแผนการขนส่งผ่านโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การควบรวมสินค้า (Consolidation) เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ของรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ ที่นำมาใช้ควบคู่กับการขนส่งโดยรถบรรทุกให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่นในกรณีของการขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับการขนส่งทางรางซึ่งมีจุดเด่นคือมีต้นทุนการขนส่งต่ำและมีการประหยัดจากขนาดการผลิต (Economy of Scale) ดังนั้นผู้วางแผนการขนส่งจึงจะต้องทำการควบรวมสินค้าจากสถานที่อื่น ๆ โดยรถบรรทุกมายังสถานีรถไฟเพื่อจะได้ทำการขนส่งโดยรถไฟคราวละปริมาณมาก ๆ นั้นเอง หรือในกรณีของการขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับการขนส่งทางอากาศซึ่งจุดเด่นในแง่ของความเร็วในการขนส่งซึ่งจะต้องทำการสินค้าเพื่อให้สามารถขนส่งสินค้าจากสถานที่ต่าง ๆ ผ่านการขนส่งทางอากาศให้มีปริมาณคราวละมาก ๆ อย่างไรก็ดีการจะทำการวางแผนการควบรวมสินค้านั้นให้มีประสิทธิภายนั้นมิใช่เรื่องง่ายเนื่อง

ด้วยความแตกต่างในแง่ของความยืดหยุ่นของเวลาในการให้บริการได้ของรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ ที่นำมาใช้งานร่วมกับรถบรรทุกนั้นเป็นการให้บริการในรูปแบบของการออกเดินทางตามตารางเวลา (Scheduled Time Service) ซึ่งแตกต่างจากการขนส่งโดยรถบรรทุกที่สามารถดำเนินการขนส่งเมื่อใดก็ได้ (Flexible Time Service) ดังนั้นหากจะมุ่งเน้นให้การวางแผนการควบรวมสินค้าบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบให้เกิดประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการการจัดตารางเวลาการขนส่งของรูปแบบการขนส่งต่าง ๆ ที่นำมาใช้งานร่วมกันให้สอดคล้องกัน

จากความซับซ้อนในแง่มุมต่าง ๆ ของการวางแผนการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่มุ่งเน้นในการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) ซึ่งเป็นศาสตร์ว่าด้วยการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) ที่เหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ นำมาเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เช่น การวางแผนที่มีต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยฉบับนี้จะจำลองโครงข่ายของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเป็นปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายประเภทที่พิจารณากรอบของเวลา (Multi - commodity Flow Problem with Collapsed Time Window) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวมีรูปแบบเป็นแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการขนส่งสินค้าต่าง ๆ จากต้นทางไปยังปลายทางผ่านโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่มีการพิจารณาการทำการควบรวมสินค้าให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดและสามารถส่งสินค้าได้ทันในกรอบเวลาที่กำหนด

1.2 วัตถุประสงค์

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจวางแผนการขนส่งสินค้าผ่านระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบซึ่งมีการพิจารณาการควบรวมสินค้าเพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดและสามารถขนส่งได้ตรงเวลา
2. ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และวางแผนพัฒนาปัญหาการกระจายสินค้าบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายชนิด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การพิจารณาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในงานวิจัยนี้คือ การขนส่งโดยรถบรรทุกร่วมกับการขนส่งทางอากาศ
2. โครงข่ายที่พิจารณาในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะปริมาณความต้องการการขนส่งสินค้าจากภูมิภาคหนึ่งไปยังอีกภูมิภาคหนึ่งเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองสามารถจัดตารางเวลาการขนส่งผ่านโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบได้ โดยตารางเวลาการขนส่งดังกล่าวต้องสามารถทำการขนส่งได้จริง
2. ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ด้วยกันคือ 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะเป็นการลงละเอียดและอธิบายทฤษฎีทางด้านการวิจัยดำเนินงานที่นำมาประยุกต์ใช้โดยละเอียด และ 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำการสรุปรวบรวมงานวิจัยในอดีตที่ผู้วิจัยได้ทำการทบทวนเพื่อใช้เป็นแนวทางในการอ้างอิงและดำเนินงานในงานวิจัยฉบับนี้ โดยทฤษฎีที่ทำการสรุปลงในบทที่ 2 นี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในบทที่ 3 ต่อไป

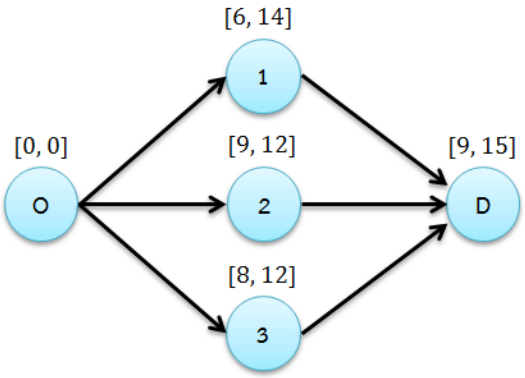
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยฉบับนี้จะทำการรวบรวมทางด้านการวิจัยดำเนินการ โดยจะเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการสร้างแบบจำลองขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและรวมถึงทฤษฎีซึ่งจะใช้ในการแก้ปัญหาในแบบจำลองดังกล่าวด้วย สำหรับแนวทางในการจำลองแบบจำลองเพื่อใช้ในการจำลองโครงข่ายการกระจายสินค้าบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้น ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดของปัญหาการหาสินทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา (Shortest Path Problem with Time Window: SPPTW) และปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Multi-commodity Flow Problem) ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลอง โดยแนวทางในการแก้แบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นผู้วิจัยจะเสนอแนวคิดของวิธีการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาตามลำดับ

2.1.1 ปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา (Shortest Path Problem with Time Window: SPPTW)

ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลาคือ ปัญหาที่ต้องการหาเส้นทางการเดินทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากต้นทางไปยังปลายทางบนแผนภาพที่กำหนด ซึ่งจุดยอดใด ๆ บนแผนภาพดังกล่าวนั้นจะมีช่วงเวลาในการยอมให้เดินทางผ่านต่าง ๆ กัน

ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลานั้นสามารถยกตัวอย่างตามแผนภาพดังรูปที่ 2.1 โดยข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อและจุดยอดในแผนภาพแสดงได้ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบของเวลา
ที่มา: Desaulniers G. et al. (2005)

ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อของปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา

เส้นเชื่อมต่อ	ระยะทาง	เวลาในการเดินทาง
จุด O ไปจุด 1	3	8
จุด O ไปจุด 2	5	5
จุด O ไปจุด 3	2	12
จุด 1 ไปจุด D	7	4
จุด 2 ไปจุด D	6	2
จุด 3 ไปจุด D	3	4

ที่มา: Desaulniers G. et al. (2005)

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลจุดยอดของปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา

จุดยอด	เวลาเร็วที่สุดที่สามารถเดินทางผ่านได้	เวลาช้าสุดที่สุดที่สามารถเดินทางผ่านได้
O	0	0
1	6	14
2	9	12
3	8	12
D	9	15

ที่มา: Desaulniers G. et al. (2005)

จากรูปที่ 2.1 ตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 แสดงแผนภาพและข้อมูลของตัวอย่างปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลา ปัญหาดังกล่าวนี้ต้องการหาเส้นทางการเดินทางจากจุดยอด O ไปยัง จุดยอด D ให้มีระยะทางสั้นที่สุด โดยจะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ทางด้านของเวลาในการเดินทางผ่านจุดยอดต่าง ๆ ซึ่งแสดงในรูปของกรอบเวลา $[a_i, b_i]$

จากแผนภาพพบว่าในการเดินทางจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด D มีทางเลือดในการเดินทางอยู่ 3 เส้นทางด้วยกัน

เส้นทางที่หนึ่ง คือ O - 3 - D พบว่าระยะทางรวมในการเดินทางจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด D คือ 2 + 3 = 5 แต่เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางด้านเวลาพบว่าเส้นทางดังกล่าวไม่สามารถเดินทางได้ โดยจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด 3 ใช้เวลาเดินทางเท่ากับ 12 อยู่ในกรอบเวลาของจุดยอด 3 คือ [8, 12] จากนั้นเดินทางต่อจากจุดยอด 3 ไปยังจุดยอด D คือออกเดินทางเวลา 12 ใช้เวลาเดินทาง 4 เพราะฉะนั้นจะมาถึงจุดยอด D ณ เวลา 16 ซึ่งไม่อยู่ในกรอบเวลาของจุดยอด D คือ [9, 15] เส้นทาง O - 3 - D จึงไม่สามารถเดินทางได้

เส้นทางที่สอง คือ O - 2 - D พบว่าระยะทางรวมในการเดินทางจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด D คือ 5 + 6 = 11 ซึ่งมีระยะทางรวมมากกว่าเส้นทางที่หนึ่ง แต่เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางด้านเวลาพบว่าเส้นทางที่สองนี้สามารถเดินทางได้ โดยจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด 2 ใช้เวลาเดินทางเท่ากับ 5 ซึ่งมาถึงก่อนเวลาเร็วที่สุดที่สามารถเดินทางผ่านจุดยอด 2 ได้ ซึ่งจุดยอด 2 มีกรอบเวลาคือ [9, 12] ดังนั้นจึงต้องรอและออกเดินทางจากจุดยอด 2 ไปยังจุดยอด D ณ เวลาเท่ากับ 9 ใช้เวลา

เดินทาง 6 เพราะฉะนั้นจะมาถึงจุดยอด D ณ เวลา 15 ซึ่งอยู่ในกรอบเวลาของจุดยอด D คือ [9, 15] เส้นทาง O - 2 - D จึงสามารถเดินทางได้

เส้นทางที่สาม คือ O - 1 - D พบว่าระยะทางรวมในการเดินทางจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด D คือ 3 + 7 = 10 เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ทางด้านเวลาพบว่าเส้นทาง O - 1 - D สามารถเดินทางได้ โดยจากจุดยอด O ไปยังจุดยอด 1 ใช้เวลาเดินทางเท่ากับ 8 ซึ่งอยู่ในกรอบเวลาของจุดยอด 1 คือ [6, 14] จากนั้นออกเดินทางจากจุดยอด 1 ไปยังจุดยอด D ณ เวลา 8 โดยใช้เวลาเดินทาง 4 เพราะฉะนั้นมาถึงจุดยอด D ณ เวลา 12 ซึ่งอยู่ในกรอบเวลาของจุดยอด D คือ [9, 15] ดังนั้น เส้นทาง O - 1 -D สามารถเดินทางได้จริง

จากการพิจารณาทั้งสามเส้นทางพบว่าเส้นทาง O - 1 - D เป็นคำตอบของตัวอย่างปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบนี้ เนื่องจากเส้นทาง O - 1 - D เป็นเส้นทางที่สามารถเดินทางได้จริงเมื่อพิจารณากรอบเวลาที่มีระยะทางสั้นที่สุด

ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบของเวลานั้นเป็นปัญหาที่ต้องพิจารณาทั้งระยะทางและข้อจำกัดของเวลาในการเดินทางในรูปของกรอบของเวลา ดังนั้นในกรณีที่ปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบของเวลามีขนาดใหญ่จึงมีจำเป็นที่ต้องแก้ปัญหาโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังแสดง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

N คือเซตของจุดยอดทั้งหมดมีดัชนีคือ i และ j

O คือเซตของจุดยอดที่เป็นต้นทางการขนส่ง

D คือเซตของจุดยอดที่แสดงปลายทางการขนส่ง

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อทั้งหมด

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_{ij} คือระยะทางในการเดินทางผ่านเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j

T_{ij} คือเวลาในการเดินทางผ่านเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j

a_i คือเวลาเร็วสุดที่สามารถเดินทางผ่านจุดยอด i

b_i คือเวลาช้าสุดที่สามารถเดินทางผ่านจุดยอด i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

y_{ij} คือตัวแปรตัดสินใจในการเลือกเดินทางบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ซึ่งจะมีค่าเป็น 1 เมื่อเส้นทางดังกล่าวถูกเลือกใช้งาน มิฉะนั้นแสดงค่าเป็น 0

t_i คือตัวแปรที่แสดงเวลามาถึงจุดยอด i ใด ๆ

ฟังชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ z = \sum_i \sum_j C_{ij} y_{ij} \tag{2.1}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_j y_{ij} = 1, \qquad i = O \tag{2.2}$$

$$\sum_j y_{ij} - \sum_j y_{ji} = 0, \qquad \forall i \in N \backslash (O \cup D) \tag{2.3}$$

$$\sum_j y_{ji} = 1, \qquad i = D \tag{2.4}$$

$$t_i + T_{ij} - t_j \leq M(1 - y_{ij}), \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.5}$$

$$a_i \sum_j y_{ij} \leq t_i \leq b_i \sum_j y_{ij}, \qquad \forall i \in N \tag{2.6}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.7}$$

$$t_i \geq 0, \qquad \forall i \in N \tag{2.8}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เงื่อนไขที่ (2.1) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการหาเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุด

เงื่อนไขที่ (2.2) แสดงว่า ณ จุดยอด O จะสามารถเลือกเดินทางผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ ได้เพียงเส้นทางเดียว

เงื่อนไขที่ (2.3) แสดงว่า ณ จุดยอดใด ๆ (ที่ไม่ใช่จุดยอด O และ D) เป็นเพียงทางผ่าน

เงื่อนไขที่ (2.4) แสดงว่า ณ จุดยอด D สามารถเดินทางมาถึงได้เพียงเส้นทางเดียว

เงื่อนไขที่ (2.5) แสดงความสัมพันธ์ทางด้านเวลาในการเดินทางบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

เงื่อนไขที่ (2.6) แสดงข้อจำกัดในการเดินทางผ่านจุดยอด i ใด ๆ เวลาการมาถึงจะต้องอยู่ในกรอบเวลา $[a_i, b_i]$

เงื่อนไขที่ (2.7) กำหนดว่าตัวแปร y_{ij} เป็นตัวแปรที่มีค่า 0 หรือ 1

เงื่อนไขที่ (2.8) กำหนดว่าตัวแปร t_i ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

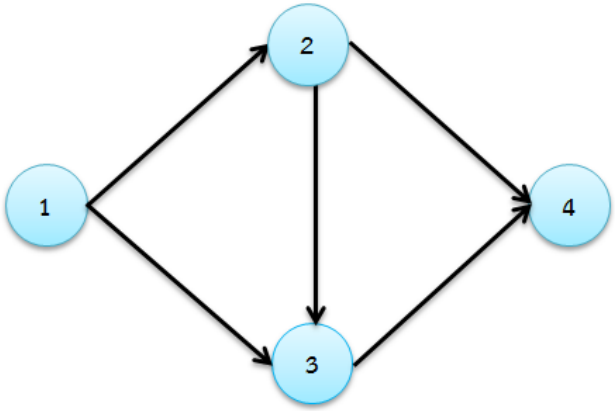
2.1.2 ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Multi-commodity Flow Problem)

ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นถือเป็นปัญหาที่สำคัญทางการขนส่งอย่างหนึ่ง วัตถุประสงค์ของปัญหาคือหาเส้นทางการขนส่งสินค้าแต่ละชนิดผ่านโครงข่ายการขนส่งให้มีต้นทุนต่ำที่สุดและไม่ละเมิดข้อจำกัดต่าง ๆ เช่นในเส้นทางการขนส่งดังกล่าวต้องบรรทุกสินค้าเกินน้ำหนักบรรทุกเป็นต้น สำหรับการนิยามชนิดของสินค้าในปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นสามารถนิยามได้ 2 รูปแบบคือ

1. นิยามตามลักษณะทางกายภาพของชนิดสินค้า เช่น สินค้า A และสินค้า B มีน้ำหนักหรือปริมาตรต่างกันเป็นต้น
2. นิยามสินค้าแต่ละชนิดแยกตามต้นทาง (Origin) ปลายทาง (Destination) ของการขนส่ง เช่นสินค้าที่ต้องการขนส่งจากกรุงเทพไปยังเชียงใหม่เป็นสินค้าคนละชนิดกับสินค้าที่ต้องการขนส่งจากกรุงเทพไปยังภูเก็ตถือว่าเป็นสินค้าคนละชนิดกันแม้ว่าจะมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกันเป็นต้น

การจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นสามารถทำได้โดยการใช้แผนภาพจุดยอด (Node) และเส้นเชื่อมต่อ (Arc) จะขอยกตัวอย่างปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลาย

ชนิดบนโครงข่ายดังรูปที่ 2.2 โดยข้อมูลของชนิดสินค้าซึ่งนิยามโดยต้นทางปลายทางการขนส่ง และข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดของเส้นเชื่อมต่อต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.2 แผนภาพจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อแสดงตัวอย่างของโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด
ที่มา: Ahuja R.K. et al. (1993)

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลชนิดสินค้าแยกตามต้นทางปลายทางการขนส่ง

ชนิดของสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า
A	1	3	5
B	1	4	15
C	2	4	5
D	3	4	10

ที่มา: Ahuja R.K. et al. (1993)

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อบนตัวอย่างโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด

เส้นเชื่อมต่อ	ต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่อหน่วย	ปริมาณการขนส่งสูงสุดที่ยอมให้
จุด 1 ไปจุด 2	1	20
จุด 1 ไปจุด 3	2	10
จุด 2 ไปจุด 3	3	20
จุด 2 ไปจุด 4	4	10
จุด 3 ไปจุด 4	5	40

ที่มา: Ahuja R.K. et al. (1993)

จากรูปที่ 2.2 ตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 แสดงแผนภาพและข้อมูลชนิดสินค้าและเส้นเชื่อมต่อในปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด ซึ่งวัตถุประสงค์ของปัญหาโครงข่ายนี้คือต้องการหาเส้นทางการขนส่งสินค้าทั้ง 4 สินค้าชนิดคือสินค้า A, B, C, และ D ผ่านโครงข่ายดังกล่าวให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดและสามารถทำการขนส่งได้จริงโดยไม่บรรทุกสินค้าเกินจำนวนสินค้าที่ยอมให้ส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ

การพิจารณาต้นทุนการขนส่งในปัญหาโครงข่ายนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้ เช่น ในกรณีของสินค้าชนิด A ต้องทำการขนส่งจากจุดยอด 1 ไปยังปลายทางที่จุดยอด 3 มีปริมาณสินค้าทั้งหมด 5 หน่วย ซึ่งในการขนส่งสินค้าชนิด A นี้นั้นสามารถเลือกเส้นทางในการขนส่งได้สองรูปแบบคือ

ทางเลือกที่หนึ่ง ขนส่งจากจุดยอด 1 ไปยังจุดยอด 2 จากนั้นจึงขนส่งไปยังจุดยอด 3

ทางเลือกที่สอง ขนส่งตรงจากจุดยอด 1 ไปจุดยอด 3 โดยตรง

กรณีทางเลือกที่หนึ่งมีการขนส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อ 12 และเส้นเชื่อมต่อ 23 ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งสินค้าเป็น 1 และ 3 ตามลำดับดังนั้นต้นทุนเป็น (1x5) + (3x5) = 16 ขณะที่ทางเลือกที่ 2 นั้นมีการขนส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อ 13 ซึ่งมีต้นทุนต่อหน่วยของการขนส่งคือ 2 จึงมีต้นทุนเป็น 2x5 = 10 ดังนั้นเมื่อพิจารณาต้นทุนพบว่าการขนส่งสินค้า A ดังทางเลือกที่สองมีความเหมาะสมกว่าเนื่องจากมีต้นทุนในการขนส่งต่ำกว่า

การพิจารณาข้อจำกัดด้านการปริมาณสินค้าสูงสุดนั้นยกตัวอย่างได้ดังนี้เช่น เส้นเชื่อมต่อ 13 นั้นยอมให้มีสินค้าไหลผ่านรวมได้ไม่เกิน 10 หน่วย โดยสินค้าที่มีความเป็นได้ที่จะขนส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อ 13 นี้ได้แก่สินค้าชนิด A และชนิด B ซึ่งมีปริมาณสินค้าเป็น 5 และ 15 หน่วยตามลำดับ เมื่อพิจารณาพบว่าปริมาณรวมของสินค้า A และ B คือ 20 หน่วยซึ่งไม่สามารถขนส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อ 13 ได้ทั้งหมดเนื่องจากเกินปริมาณการไหลของสินค้าสูงสุดที่ยอมให้ขนส่งเป็นต้น

จากตัวอย่างของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดขนาดเล็กที่ยกตัวอย่างมาจะพบว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการคำนวณโดยตรงนั้นมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องพิจารณาทั้งต้นทุนและข้อจำกัดของปริมาณสินค้าที่ยอมให้ขนส่งผ่านเส้นเชื่อมต่อต่าง ๆ ดังนั้นในทางปฏิบัติในการแก้ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นจะแก้ปัญหาโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองคณิตศาสตร์รูปแบบมาตรฐานปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดในงานวิจัยนี้

จะนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสองรูปแบบคือ แบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (Node - Arc Based Formulation) และ แบบจำลองตามเส้นทาง (Path Based Formulation)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จุดยอดและเส้นเชื่อมต่อสำหรับปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Node - Arc Based Formulation for Multi - commodity Flow Problem)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

N คือเซตของจุดยอดทั้งหมดมีดัชนีคือ i และ j

O คือเซตของจุดยอดที่เป็นต้นทางการขนส่ง

D คือเซตของจุดยอดที่แสดงปลายทางการขนส่ง

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อทั้งหมด

K คือเซตของชนิดสินค้าทั้งหมดมีดัชนีคือ k

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_{ij} คือต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าชนิดใด ๆ ผ่านเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

Q^k คือปริมาณของสินค้าชนิด k ใด ๆ ที่ต้องทำการขนส่ง

Cap_{ij} คือความสามารถในการบรรทุกสูงสุดในหน่วยกิโลกรัมที่ให้ยอมให้ใช้งานบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

x_{ij}^k คือตัวแปรเชิงเส้นแสดงปริมาณการไหลของสินค้าชนิดที่ k บนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ Z = \sum_k \sum_i \sum_j C_{ij} x_{ij}^k \tag{2.9}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_j x_{ij}^k = Q^k \qquad \forall k \in K, \forall i \in O \qquad (2.10)$$

$$\sum_j x_{ij}^k - \sum_j x_{ji}^k = 0 \qquad \forall k \in K \in N \setminus (O \cup D) \qquad (2.11)$$

$$\sum_i x_{ij}^k = Q^k \qquad \forall k \in K, \forall j \in D \qquad (2.12)$$

$$\sum_k x_{ij}^k \leq Cap_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \qquad (2.13)$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \qquad (2.14)$$

เงื่อนไขที่ (2.9) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการต้นทุนการขนส่งผ่านโครงข่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ (2.10) แสดงการไหลของสินค้า k จากต้นทางผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ ต้องมีปริมาณเท่ากับ Q^k

เงื่อนไขที่ (2.11) แสดงการไหลผ่านของสินค้า k ผ่านจุดยอดใด ๆ ซึ่งไม่ใช่ต้นทางและปลายทางต้องมีค่าเท่ากับ 0

เงื่อนไขที่ (2.12) แสดงการไหลของสินค้า k ไปยังปลายทางผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ ต้องมีปริมาณเท่ากับ Q^k

เงื่อนไขที่ (2.13) แสดงปริมาณการไหลผ่านของสินค้า k รวมต้องไม่เกิน Cap_{ij}

เงื่อนไขที่ (2.14) กำหนดว่าตัวแปร x_{ij}^k ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามเส้นทางสำหรับปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Path Based Formulation for Multi - commodity Flow Problem)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

$P(k)$ คือเซตของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับสินค้าชนิดที่ k

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อทั้งหมด

K คือเซตของชนิดสินค้าทั้งหมดมีดัชนีคือ k

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_p คือต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งสินค้าผ่านเส้นทาง p ($C_p = \sum_{ij \in p} c_{ij}$)

δ_{ij}^p มีค่า 1 เมื่อเส้นทางที่ p มีเส้นเชื่อมต่อ (i,j) เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง มิฉะนั้นแสดงค่าเป็น 0

Q^k คือปริมาณของสินค้าชนิด k ใด ๆ ที่ต้องทำการขนส่ง

Cap_{ij} คือความสามารถในการบรรทุกสูงสุดในหน่วยกิโลกรัมที่ให้ยอมให้ใช้งานบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

f_p คือตัวแปรเชิงเส้นแสดงสัดส่วนของสินค้าชนิดที่ k บนเส้นทาง p

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ z = \sum_{k \in K} \sum_{p \in P(k)} C_p Q^k f_p \tag{2.15}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_{k \in K} \sum_{p \in P(k)} \delta_{ij}^p Q^k f_p \leq Cap_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.16}$$

$$\sum_{p \in P(k)} f_p = 1 \qquad \forall k \in K \tag{2.17}$$

$$f_p \geq 0 \qquad \forall p \in P(k), \forall k \in K \tag{2.18}$$

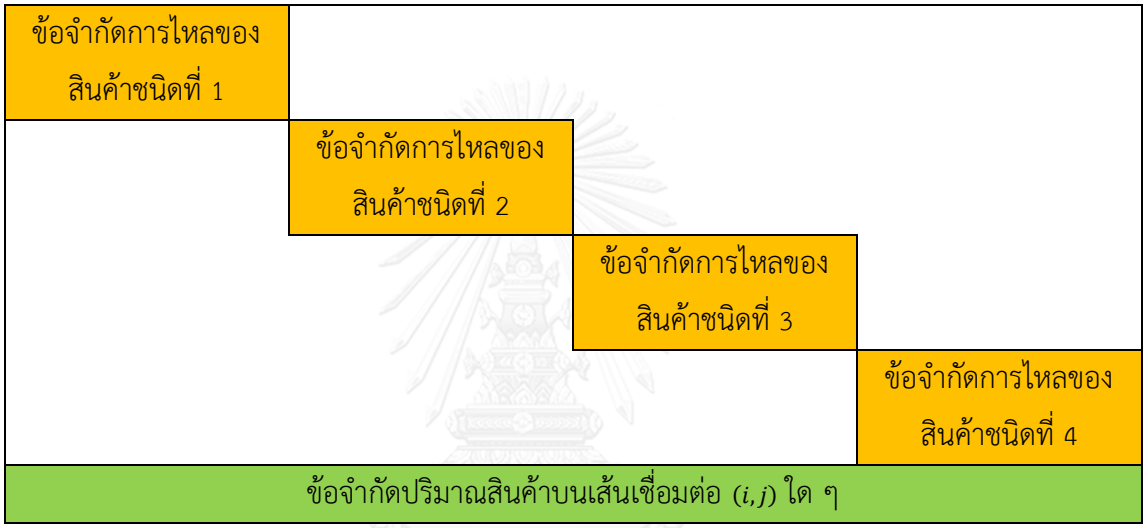
เงื่อนไขที่ (2.15) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการต้นทุนการขนส่งผ่านโครงข่ายที่ต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ (2.16) แสดงข้อจำกัดว่าปริมาณการขนส่งสินค้าบนเส้นเชื่อมต่อ (i,j) ใด ๆ ต้องไม่เกิน Cap_{ij}

เงื่อนไขที่ (2.17) แสดงข้อจำกัดสำหรับสินค้าชนิดที่ k ใด ๆ สัดส่วนของสินค้าที่กระจายไปบนเส้นทางต่าง ๆ ต้องมีผลรวมกันเท่ากับ 1 หรือคือ 100%

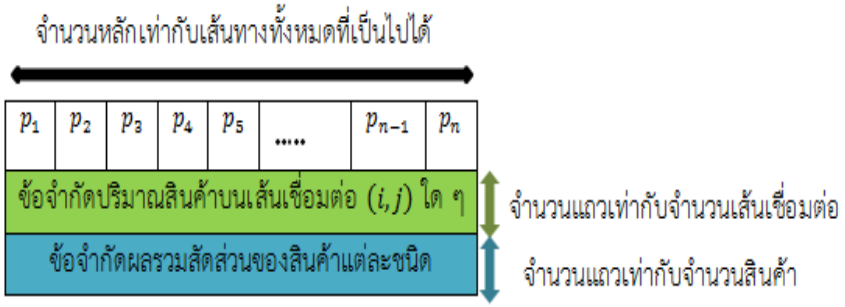
เงื่อนไขที่ (2.18) กำหนดว่าตัวแปร f_p ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดที่นำเสนอทั้งสองรูปแบบคือ แบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และแบบจำลองตามเส้นทางนั้นจะพบว่ามีความแตกต่างกัน ทั้งการนิยามตัวแปรและข้อจำกัดต่าง ๆ ซึ่งทำให้โครงสร้างเมทริกซ์ของแบบจำลองมีความแตกต่างกันกล่าวคือ แบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อจะมีโครงสร้างเมทริกซ์เป็นลักษณะเป็นกล่อง (Block Structure) ในขณะที่แบบจำลองตามเส้นทางจะมีเมทริกซ์ซึ่งมีลักษณะจำนวนหลัก (Column) มากกว่าจำนวนแถวเป็นจำนวนมากดังแสดงในรูปที่ 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 รูปแสดงโครงสร้างเมทริกซ์ของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างเมทริกซ์ของแบบจำลองตามเส้นทาง

จากการทบทวนแนวทางในการสร้างแบบจำลองทั้งแนวคิดของปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยพิจารณากรอบเวลาและแนวคิดของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดของปัญหาทั้งสองมาพิจารณาร่วมกันเพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองสำหรับปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งจะได้นำเสนอต่อไปในบทที่ 3

2.1.3 การกำเนิดสดมภ์ (Column Generation)

การกำเนิดสดมภ์นั้นเป็นวิธีการในการแก้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นการนำความรู้ทางด้านการวิจัยดำเนินการ (Operation Research) มาประยุกต์ใช้ แนวคิดเบื้องต้นของการกำเนิดสดมภ์คือเมื่อแบบจำลองมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนตัวแปร (หลัก) และจำนวนเงื่อนไข (แถว) ในแบบจำลองย่อมมีมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งเมื่อแบบจำลองมีขนาดใหญ่มากนั้นทำให้ในบางครั้งจำเป็นต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหาเป็นเวลานานหรือในบางกรณีไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์เต็มอันเนื่องมาจากการเก็บตัวแปรจำนวนมาก อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาในส่วนของตัวแปรในแบบจำลองจะพบว่าในความเป็นจริงแล้วในการจะได้มาซึ่งผลเฉลยนั้นไม่จำเป็นต้องพิจารณาตัวแปรทุกตัวในแบบจำลองหากแต่พิจารณาตัวแปรที่ถูกรวมอยู่ในผลเฉลยสุดท้ายเท่านั้นก็เพียงพอในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งหากสามารถเลือกพิจารณาตัวแปรที่จะส่งผลต่อผลเฉลยสุดท้ายเท่านั้น (โดยไม่สนใจตัวแปรที่ไม่มีผลต่อผลเฉลย) ก็จะสามารถทำให้ขนาดของแบบจำลองเล็กลงได้โดยในแต่ละหลักของแบบจำลองหมายความถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อผลเฉลยสุดท้ายเท่านั้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าแนวคิดของการกำเนิดสดมภ์คือหลักคิดหรือระเบียบวิธีในการพิจารณาคัดเลือกตัวแปรที่ดีที่ส่งผลต่อผลเฉลยมาเก็บไว้ในแบบจำลองนั้นเอง

การอภิปรายขั้นตอนของการกำเนิดสดมภ์นั้นผู้วิจัยขอนำเสนอโดยการยกตัวอย่างจากปัญหาการตัดแท่งเหล็ก (Cutting Stock Problem) ซึ่งเป็นปัญหามาตรฐานซึ่งมีรูปแบบของปัญหาคือ เมื่อกำหนดแท่งเหล็กซึ่งมีความยาวคงที่เป็น W ให้ตัดแท่งเหล็กดังกล่าวออกเป็นแท่งเหล็กขนาดต่าง ๆ กันคือ W_i เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการใช้งานแท่งเหล็กขนาดต่าง ๆ d_i โดยในการตัดแท่งเหล็กขนาดความยาวคงที่ W ชิ้นหนึ่ง ๆ นั้นสามารถเลือกตัดแท่งเหล็กออกได้เป็นหลายรูปแบบด้วยกัน เช่นแท่งเหล็กมีความยาวคงที่ 16 นิ้ว อาจสามารถเลือกตัดเป็นรูปแบบคือ (4, 4, 4, 4) หรือ (5, 5, 2)

ก็ได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาว่าจำนวนของแท่งเหล็กซึ่งถูกตัดในรูปแบบที่ j เป็นตัวแปร x_j แล้วจะสามารถพิจารณาฟังชั่นวัตถุประสงค์ของปัญหาการตัดแท่งเหล็กได้เป็นการหาจำนวนแท่งเหล็กซึ่งมีความยาวคงที่ W จำนวนน้อยที่สุดที่ถูกตัดออกเป็นรูปแบบต่าง ๆ กันโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานสำหรับปัญหาการตัดแท่งเหล็กเป็นดังแสดง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการตัดแท่งเหล็ก (Mathematical Formulation for Cutting Stock Problem)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

I คือเซตของขนาดความยาวแท่งเหล็กมีดัชนีคือ i

J คือเซตของรูปแบบการตัดแท่งเหล็กใด ๆ โดยมีดัชนีคือ j

พารามิเตอร์ (Parameter)

A_{ij} คือจำนวนการตัดแท่งเหล็กเป็นขนาดที่ i สำหรับรูปแบบการตัดที่ j

d_i คือปริมาณความต้องการในการใช้งานแท่งเหล็กขนาดที่ i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

x_j คือตัวแปรจำนวนเต็มแสดงจำนวนของแท่งเหล็กที่มีความยาวคงที่ W ซึ่งถูกตัดในรูปแบบการตัดที่ j

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ Z = \sum_j x_j \tag{2.19}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_i A_{ij} x_j \geq d_i \qquad \forall i \in I \tag{2.20}$$

$$x_j \in I^+ \qquad \forall j \in J \tag{2.21}$$

เงื่อนไขที่ (2.19) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือหาจำนวนการตัดแท่งเหล็กรวมทุกรูปแบบจำนวนน้อยที่สุดที่เป็นไปได้

เงื่อนไขที่ (2.20) แสดงเงื่อนไขว่าผลรวมในการตัดแท่งเหล็กขนาดความที่ i จากทุกรูปแบบการตัดรวมกันต้องมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณความต้องการใช้งานแท่งเหล็กที่ i

เงื่อนไขที่ (2.21) กำหนดว่าตัวแปร x_j เป็นจำนวนเต็มมีค่ามากกว่า 0

จากการพิจารณาโครงสร้างของแบบจำลองคณิตศาสตร์มาตรฐานสำหรับปัญหาการตัดแท่งเหล็กพบว่าแบบจำลองของปัญหาการตัดแท่งเหล็กนี้จะมีโครงสร้างในลักษณะที่จำนวนตัวแปรซึ่งในที่นี้คือรูปแบบการตัดแท่งเหล็กมากกว่าจำนวนของเงื่อนไขเป็นจำนวนมาก ซึ่งในการพิจารณาจำนวนของตัวแปรทั้งหมดในแบบจำลองอาจทำได้ยาก กล่าวคือ ถ้ากำหนดแท่งเหล็กมีความยาวคงที่เท่ากับ 16 นิ้ว อาจสามารถตัดออกได้เป็นหลายรูปแบบเช่น อาจตัดเป็น 1 นิ้ว 16 แท่ง หรือตัดเป็นแท่งละ 2 นิ้ว 8 แท่งเป็นต้น จากที่กล่าวมาจะสังเกตได้ว่าการหารูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการตัดอาจทำได้ยากมากและนอกจากนี้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดแท่งเหล็กนั้นไม่มีความจำเป็นต้องพิจารณาทุกรูปแบบของการตัด ดังนั้นปัญหาการตัดแท่งเหล็กนี้จึงเหมาะสมอย่างมากในการประยุกต์ใช้แนวคิดของการกำเนิดสดมภ์เพื่อที่จะได้พิจารณาเฉพาะรูปแบบการตัดแท่งเหล็กที่เหมาะสมเท่านั้น

การประยุกต์ใช้แนวคิดของการกำเนิดสดมภ์จำเป็นต้องใช้ความรู้ทางการวิจัยดำเนินการในส่วนของการพิจารณาต้นทุนส่วนลด (Reduced Cost) และราคาเงา (Shadow Price) โดยต้นทุนส่วนลดและราคาเงาสำหรับปัญหาการตัดแท่งเหล็กมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\bar{C}_j = 1 - \sum_i \pi_i \qquad \forall j \in J \tag{2.22}$$

โดย $\bar{C}_j$ คือต้นทุนส่วนลดสำหรับรูปแบบการตัดแท่งเหล็กรูปแบบที่ j

π_i คือราคาเงาสำหรับเงื่อนไขความต้องการใช้งานแท่งเหล็กขนาด W_i

จากสมการที่ 2.22 แสดงความสัมพันธ์ของต้นทุนส่วนลดและราคาเงาสำหรับแต่ละรูปแบบของการตัดแท่งเหล็ก สมการที่ 2.22 นี้สามารถใช้พิจารณาหาได้ว่ารูปแบบการตัดเหล็กที่ j .ใด ๆ นั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ที่จะไปเป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลย กล่าวคือเมื่อพิจารณาว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการตัดแท่งเหล็กเป็นปัญหาการหาค่าที่น้อยที่สุด (Minimization Problem) ดังนั้นต้นทุนส่วนลดของรูปแบบที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลยจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้เองจึงกล่าวได้ว่าถ้าเราสามารถพิจารณาหาเฉพาะรูปแบบการตัดแท่งเหล็กที่มีต้นทุนส่วนลดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 มาเก็บไว้ในแบบจำลองก็จะสามารถพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่เหมาะสมและลดขนาดของปัญหาลงได้

ขั้นตอนในการประยุกต์แนวคิดของการกำเนิดสดมภ์ของปัญหาการตัดแท่งเหล็กสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

1. แบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาหลัก (Restricted Master Problem: RMP) และ ปัญหารอง (Subproblem) โดยลักษณะทั่วไปของปัญหาหลักนี้จะเหมือนกับแบบจำลองมาตรฐานของปัญหาการตัดแท่งเหล็กทุกประการยกเว้นแต่จะทำการผ่อนคลายในส่วนของเงื่อนไขการเป็นตัวแปรจำนวนเต็มของตัวแปร x_j (เนื่องด้วยต้องการหาต้นทุนส่วนลดและราคาเงา) และจะทำการZเบื้องต้นที่เป็นไปได้ (Feasible Solution)
2. หาผลเฉลยจากปัญหาหลักและเก็บค่าราคาเงาของแต่ละเงื่อนไขในปัญหาหลัก
3. นำราคาเงาของปัญหาหลักซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2 มาสร้างเป็นปัญหารองดังแสดง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ \bar{C}_j = 1 - \sum_i \pi_i A_i \tag{2.23}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_i W_i A_i \ \leq W \tag{2.24}$$

$$A_i \in I^+ \qquad \forall i \in I \tag{2.25}$$

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหารองของปัญหาการตัดแท่งเหล็กมีลักษณะคือ

เงื่อนไขที่ (2.23) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าที่น้อยที่สุดของต้นทุนส่วนลดของรูปแบบการตัดแท่งเหล็กที่ j ใด ๆ

เงื่อนไขที่ (2.24) แสดงเงื่อนไขว่าการตัดแท่งเหล็กรูปแบบหนึ่ง ๆ จะต้องตัดได้ไม่เกินความยาวรวมของแท่งเหล็ก

เงื่อนไขที่ (2.25) กำหนดว่าตัวแปรในแบบจำลองของปัญหารองคือ A_i (จำนวนของชิ้นของการตัดแท่งเหล็กขนาด W_i จากแท่งเหล็กซึ่งมีความยาวคงที่ W) เป็นตัวแปรจำนวนเต็ม

4. หาผลเฉลยของปัญหารอง โดยหากค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยกว่า 0 (รูปแบบที่ได้จากปัญหารองเหมาะสมที่เป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลย) หมายความว่าคำตอบของปัญหาหลักยังไม่เป็นค่าที่ดีที่สุดดังนั้นนำรูปแบบการตัดแท่งเหล็กซึ่งเป็นผลเฉลยจากปัญหารองเพิ่มลงไปเป็นตัวแปรตัวใหม่ในปัญหาหลักและย้อนกลับไปยังขั้นตอนที่ 2 ในทางกลับกันหากค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหารองมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่ารูปแบบการตัดแท่งเหล็กหรือตัวแปรที่มีอยู่ในปัญหาหลักในปัจจุบันเพียงพอที่จะสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาดั้งเดิม (Original Problem) ของปัญหาการตัดแท่งเหล็กได้ ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 5
5. จากขั้นตอนที่ 4 ทำการแก้ปัญหาหลักโดยเพิ่มเงื่อนไขการเป็นจำนวนเต็มของตัวแปร x_j โดยผลเฉลยที่ได้นี้จะเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาดั้งเดิม

จากขั้นตอนการประยุกต์หลักการกำเนิดสดมภ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการตัดแท่งเหล็กดังแสดงนั้นจะเห็นได้ว่าการกำเนิดสดมภ์นั้นเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองที่มีโครงสร้างที่เป็นลักษณะที่จำนวนหลักมากกว่าจำนวนแถว โดยต้องทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ปัญหาหลักและปัญหารอง โดยในกรณีของปัญหาการตัดแท่งเหล็กนั้นมีปัญหาหลักคือปัญหาที่มีการผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Relaxation) ของปัญหาดั้งเดิม และมีปัญหารองคือปัญหาซึ่งมี

ลักษณะเทียบเคียงได้กับปัญหากระเป๋าเป้ (Knapsack Problem) อย่างไรก็ดีการจำแนกประเภทของปัญหาหลักและปัญหารองนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหาที่ทำการพิจารณา

การอภิปรายแนวคิดของการกำเนิดสดมภ์ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ในส่วนของการทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยจะนำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้หลักการกำเนิดสดมภ์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด โดยพบว่าหลักการของการกำเนิดสดมภ์มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาแก้แบบจำลองตามเส้นทางเนื่องจากแบบจำองตามเส้นทางจะมีลักษณะที่จำนวนของตัวแปรในแบบจำลองมีจำนวนมากกว่าเงื่อนไขเป็นจำนวนมาก

การพิจารณาการกำเนิดสดมภ์ของแบบจำลองตามเส้นทางนี้เริ่มต้นจากการพิจารณาปัญหาหลักคือ แบบจำลองตามเส้นทางซึ่งมีจำนวนหลักเก็บเฉพาะตัวแปรบางส่วนซึ่งเพียงพอต่อการหาผลเฉลยที่เป็นเป็นได้ จากนั้นจะทำการพิจารณาปัญหารองซึ่งในกรณีของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดนั้นจะมีจำนวนของปัญหารองเท่ากับจำนวนของสินค้า (นิยามโดยคู่ต้นทางปลายทาง) โดยโครงสร้างของปัญหารองของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดจะมีลักษณะของปัญหาเทียบเคียงได้กับปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุดโดยปัญหารองของสินค้าแต่ละชนิดของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดเป็นดังแสดงด้านล่าง

แบบจำลองของปัญหารองของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด (Subproblem of Multi-commodity Flow Problem)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อทั้งหมด

N คือเซตของจุดยอดทั้งหมดมีดัชนีคือ i และ j

O คือเซตของจุดยอดที่เป็นต้นทางการขนส่ง

D คือเซตของจุดยอดที่แสดงปลายทางการขนส่ง

พารามิเตอร์ (Parameter)

C_{ij} คือต้นทุนในการเดินทางผ่านเส้นเชื่อมต่อที่ (i,j) ใด ๆ

Q คือปริมาณสินค้าที่ต้องทำการขนส่ง

π_{ij} คือราคาเงาของเงื่อนไขปริมาณการขนส่งสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อ (i,j) ใด ๆ (ได้จากการแก้ปัญหาหลัก)

σ คือราคาเงาของเงื่อนไขสัดส่วนรวมของการกระจายสินค้าไปบนเส้นทางต่าง ๆ (Mass Balance Constraint) โดยค่า σ จะมีเพียงหนึ่งค่าต่อหนึ่งชนิดสินค้า

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

δ_{ij} คือตัวแปรไบนารี่ซึ่งใช้ในการตัดสินใจว่านำเส้นเชื่อมต่อ (i,j) มาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางใหม่ที่จะสร้างขึ้นจากปัญหารองที่พิจารณานี้หรือไม่ โดยหากเส้นเชื่อมต่อ (i,j) เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางจะมีค่าเป็น 1 มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize \quad \bar{C}_p = Q \sum_{ij} \delta_{ij}(c_{ij} - \pi_{ij}) - \sigma \tag{2.26}$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\delta_{Oj} = 1 \tag{2.27}$$

$$\sum_{j} \delta_{ij} - \sum_{j} \delta_{ji} = 0 \qquad \forall i \in N \backslash (O \cup D) \tag{2.28}$$

$$\delta_{jD} = 1 \tag{2.29}$$

$$\delta_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.30}$$

เงื่อนไขที่ (2.26) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าที่น้อยที่สุดของต้นทุนส่วนลดของเส้นทางที่ p สำหรับสินค้าชนิดที่ k ใด ๆ

เงื่อนไขที่ (2.28) - (2.29) แสดงเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหลซึ่งในส่วนนี้จะคล้ายคลึงกับเงื่อนไขการไหลของปัญหาการเส้นทางที่สั้นที่สุด

เงื่อนไขที่ (2.30) แสดงว่า δ_{ij} ใด ๆ เป็นตัวแปรไบนารี

พิจารณาปัญหารองของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดที่แสดงนั้นพบว่าปัญหารองของสินค้าแต่ละชนิดในโครงข่ายจะทำหน้าที่ในการพิจารณาสร้างเส้นทางใหม่ในการขนส่งสินค้าแต่ละชนิดหรือคือการสร้างตัวแปรใหม่นั้นเอง โดยเส้นทางใหม่ที่สร้างขึ้นจากปัญหารองนี้ก่อนที่จะนำไปเพิ่มเป็นตัวแปรเส้นทางใหม่ในปัญหาหลักนั้นจะต้องพิจารณาว่าค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยกว่า 0 หรือไม่ โดยหากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหารองมีค่าน้อยกว่า 0 ย่อมหมายความว่าควรเพิ่มเส้นทางใหม่ที่ถูกสร้างจากปัญหารองนี้ลงไปในปัญหาหลักและแก้ปัญหาหลักอีกครั้งเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น โดยในทางกลับกันหากพิจารณาปัญหารองทั้งหมดแล้วพบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของทุกปัญหารองมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 นั้นหมายความว่าปัญหาหลักในปัจจุบันมีจำนวนตัวแปรเพียงพอแล้วต่อการแก้ปัญหาหลักเพื่อจะได้มาซึ่งผลเฉลยที่ดีที่สุด

จากการอภิปรายข้างต้นจะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้แนวคิดของการกำเนิดสดมภ์ในการแก้แบบจำลองตามเส้นทางของปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดมีความเหมาะสมอย่างมาก อย่างไรก็ดีแบบจำลองในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการนำเสนอแบบจำลองซึ่งผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นซึ่งจะเป็นแบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้าดังนั้นในการนำแนวคิดของการกำเนิดสดมภ์ไปประยุกต์ใช้ทั้งในการพิจารณาปัญหาหลักและปัญหารองของแบบจำลองที่นำเสนอย่อมแตกต่างกัน โดยรายละเอียดของการประยุกต์ใช้แนวคิดของการกำเนิดสดมภ์เข้ากับแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะอธิบายไว้โดยละเอียดในบทที่ 3

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบถือเป็นหัวใจสำคัญต่อระบบการขนส่งสินค้าสมัยใหม่ ซึ่งในการดำเนินการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้นมีผู้ที่เกี่ยวข้องอยู่หลากหลาย ดังนั้น Bontekoning Y.M. and Macharis C. (2004) จึงได้นำเสนอแนวทางในการแบ่งกลุ่มของผู้เกี่ยวข้องกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบโดยพิจารณาประเภทของผู้ปฏิบัติการ และระดับของการตัดสินใจที่ผู้ปฏิบัติการ เหล่านี้ต้องเจอ โดยผู้ประกอบการที่กล่าวถึงเหล่านี้นั้นคือบุคคลหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องกับการประกอบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบซึ่งได้แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. **ผู้ปฏิบัติการขนส่งโดยรถบรรทุก (Drayage Operators)** คือผู้ที่ดำเนินการในการวางแผนในการจัดการเกี่ยวกับการขนส่งโดยรถบรรทุก
2. **ผู้ดูแลสถานีเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Terminal Operators)** คือผู้ที่ดูแลจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าเช่นการเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากรถบรรทุกมายังรถไฟ เป็นต้น
3. **ผู้ดูแลโครงข่ายระบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Network Operators)** คือผู้รับผิดชอบในการดูแลการวางแผนที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างพื้นฐานและการจัดการองค์กรด้านการขนส่ง
4. **ผู้ปฏิบัติการการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Operators)** คือผู้ใช้งานโครงสร้างพื้นฐานที่สนับสนุนการขนส่งหลายรูปแบบโดยเป็นผู้ตัดสินใจเลือกรูปแบบการบริการการขนส่ง

ผู้ปฏิบัติการ ทั้ง 4 กลุ่มมีส่วนเกี่ยวข้องและต้องเผชิญกับปัญหาทางด้านการวางแผนที่ต้องทำการตัดสินใจในระดับที่แตกต่างกัน คือ ระดับกลยุทธ์ (Strategic), ระดับยุทธวิธี (Tactical), และระดับปฏิบัติการ (Operational) ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาและทำการวิจัยเพื่อจะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติการในระดับการตัดสินใจที่แตกต่างกันดังแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงหัวข้องานวิจัยด้านระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่เคยมีการศึกษาในอดีต

Decision Maker	Time Horizon		
	Strategic	**Tactical**	**Operational**
Drayage Operator	Co – Operation Between Drayage Companies Truck and Chassis Fleet Size	Allocation of Shippers and Receiver Locations to a Terminal Pricing Strategies	Redistribution of Trailer Chassis and Load Units Scheduling of Truck Trips
Terminal Operator	Terminal Design	Capacity Levels of Equipment and Labour	Allocation of Capacity to Jobs Scheduling of Jobs

		Redesign of Operational Routines and Layout Structures	
Network Operator	Infrastructure Network Configuration Location of Terminals	Configuration Consolidation Network Type of Production Model Pricing Strategy	Load Order of Trains Redistribution of Railcars, Barges and Load Units
Intermodal Operator	n.a.	n.a.	Selection of Routing and Service

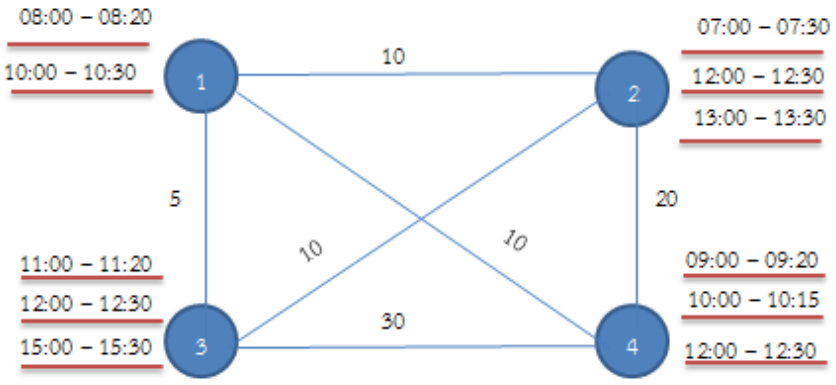
ที่มา : (Bontekoning Y.M. & Macharis C., 2004)

จากตารางที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าปัญหาในวางแผนการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีมากมายหลายปัญหา ซึ่งในงานวิจัยนี้จัดอยู่ในปัญหาประเภทที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติการการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในการตัดสินใจระดับปฏิบัติการโดยปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้คือปัญหาการเลือกเส้นทางและรูปแบบของการขนส่งที่จะใช้งานในการขนส่งสินค้า

นอกจากงานวิจัยของ Bontekoning Y.M. and Macharis C. (2004) แล้วในปีเดียวกันนั้นเอง Bontekoning Y.M. et al. (2004) ได้ทำการทบทวนเพิ่มเติมโดยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งหลายรูปแบบที่มีลักษณะเป็นการผสมกันระหว่างการขนส่งทางถนนโดยรถบรรทุกและการขนส่งทางรางโดยรถไฟ โดยได้ทำการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อดังกล่าวจำนวนทั้งสิ้น 92 งานวิจัย โดยเป็นงานวิจัยที่ตีพิมพ์ระหว่างปี 1997-2001 โดยจากทั้งหมด 92 งานวิจัยเป็นงานที่มาจากอเมริกาและแคนาดา 44 งานวิจัย มาจากทางฝั่งยุโรป 42 งานวิจัย ในขณะที่เป็นงานวิจัยจากประเทศทางเอเชียเพียงแค่ 1 งานวิจัย คือ จากประเทศไต้หวัน จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบนั้นในทวีปเอเชียยังได้รับความสนใจอยู่น้อยมาก

จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยเพิ่มเติมโดยผู้วิจัยเองพบว่าประเด็นที่สำคัญที่ผู้วิจัยต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือ ประเด็นเรื่องของเวลาและต้นทุนในการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยในประเด็นของเวลานั้นเนื่องจากการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยต้องทำการพิจารณาการควบรวมสินค้าที่สถานีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากการขนส่งรูปแบบหนึ่งไปยังอีกรูปแบบหนึ่งนั้น จะเห็นได้ว่าการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ มีลักษณะการให้บริการการขนส่งที่แตกต่างกันในแง่ของเวลาการให้บริการ เช่นการขนส่งโดยรถบรรทุกนั้นสามารถเริ่มใช้งานเมื่อใดก็ได้ ในขณะที่การขนส่งเช่น เรือสินค้าหรือรถไฟนั้นจะเป็นการให้บริการตามตารางเวลาที่แน่นอน ดังนั้นจากความแตกต่างในด้านของเวลาในการเข้าใช้งานการขนส่งดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาเป็นหลายกรอบเวลา (Multiple Time Windows) ซึ่งเป็นแนวคิดซึ่งปรากฏอยู่ในงานวิจัยของ Xu H. et al. (2003) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการเดินรถโดยพิจารณาการรับและส่ง (Pickup and Delivery) ของลูกค้าแต่ละรายนั้นมีหลายกรอบเวลาที่สามารถเข้าไปให้บริการได้ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Caramia M. et al. (2007) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าภายในย่านธุรกิจซึ่งพิจารณาว่าที่จุดรับสินค้าคือร้านค้าขนาดกลางย่านธุรกิจดังนั้นจึงมีพื้นที่จอดรถที่จำกัดจึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้บริการส่งสินค้าในหลายช่วงเวลาทำให้จำเป็นต้องพิจารณาการรับสินค้ามากกว่าหนึ่งกรอบของเวลา ซึ่งภายในงานวิจัยของ Caramia M. et al. (2007) ได้ทำการอธิบายแนวคิดของการพิจารณาการรับสินค้าหลายกรอบเวลานี้โดยการยกตัวอย่างและอธิบายเป็นรูปภาพดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



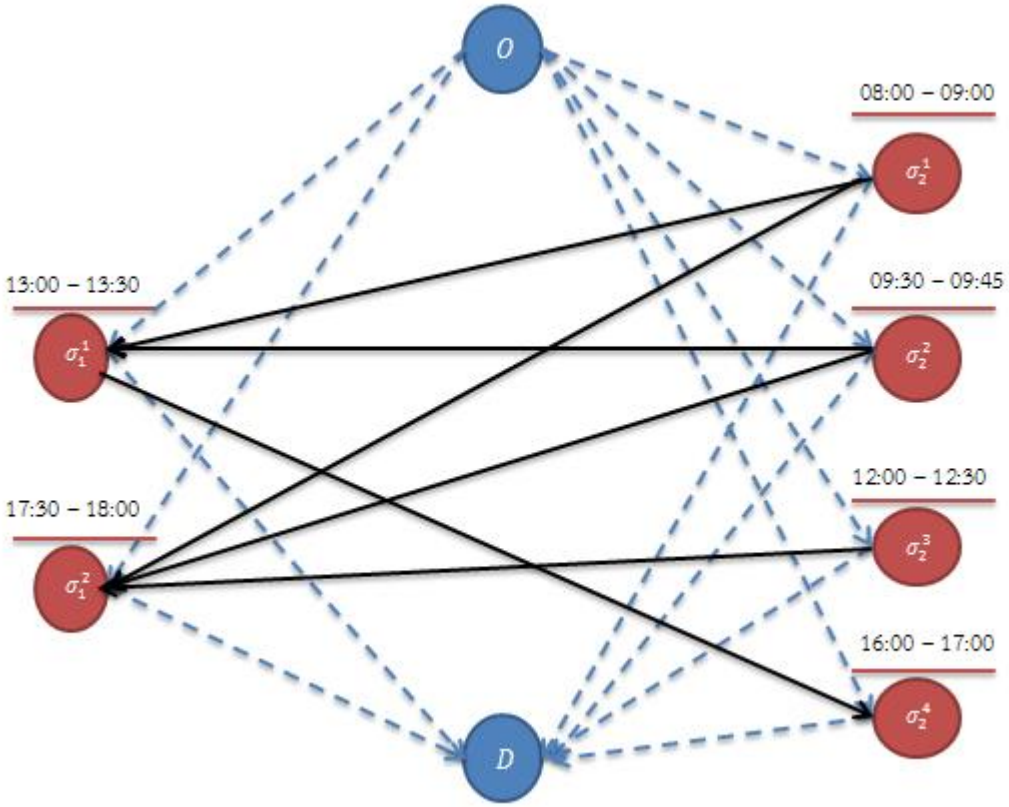
รูปที่ 2.5 แสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา

ที่มา : Caramia M. et al. (2007)

จากรูปที่ 2.5 จุดยอดที่ 1, 2, 3, และ 4 แสดงถึงจุดรับสินค้าซึ่งคือร้านค้าและแต่ละจุดยอดจะมีกรอบเวลาที่สามารถเข้าไปให้บริการส่งสินค้าได้ เช่น จุดยอดที่ 1 นั้นมีกรอบเวลาที่ยอมให้เข้าไปส่งสินค้าอยู่สองกรอบเวลาด้วยกันคือ 08:00 - 08:20 และ 10:00 – 10:30

การพิจารณากรอบเวลาในการให้บริการหลายกรอบเวลาพร้อมกันสำหรับจุดบริการหนึ่ง ๆ สามารถพิจารณาโดยละเอียดได้ตามรูปประกอบที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

รูปที่ 2.6 แสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา (2)
ที่มา : Caramia M. et al. (2007)



รูปที่ 2.7 รูปแสดงการพิจารณาการส่งสินค้าหลายกรอบของเวลา (3)
ที่มา : Caramia M. et al. (2007)

รูปที่ 2.6 เป็นแผนภาพแสดงการส่งสินค้าระหว่างจุดยอดที่ 1 และจุดยอดที่ 2 ซึ่งจุดยอดทั้งสองใช้เวลาในการเดินทางไปหากันเป็นเวลา 40 นาที โดยจุดยอดที่ 1 และจุดยอดที่ 2 มีกรอบเวลาที่สามารถเข้าไปให้บริการได้สองกรอบเวลาและสี่กรอบเวลาตามลำดับ

รูปที่ 2.7 เป็นแผนภาพที่ขยายความจากรูปที่ 2.6 จุดยอดที่ σ_1^1 และ σ_1^2 แสดงถึงการพิจารณากรอบเวลาที่สามารถเข้าไปให้บริการได้สองกรอบเวลาของจุดยอดที่ 1 ในรูปที่ 2.6 จุดยอดที่ σ_2^1, σ_2^2, σ_2^3, และ σ_2^4 แสดงถึงการพิจารณากรอบเวลาของจุดยอดที่ 2 ในรูปที่ 2.6 จุดยอด O และ D คือจุดยอดสมมติแสดงจุดเริ่มต้นการขนส่งและจุดสิ้นสุดการขนส่งตามลำดับ สำหรับเส้นเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ เส้นทึบ แสดงถึงเส้นเชื่อมต่อที่สามารถขนส่งได้จริง และเส้นประที่แสดงถึงเส้นสมมติโดยจะเชื่อมต่อกับจุดยอดสมมติ O และ D

งานวิจัยที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกับงานวิจัยฉบับนี้นั้นประกอบไปด้วย Min H. (1991), Chang T-S. (2008) และ Moccia L. et al. (2008) ซึ่งรายละเอียดในงานวิจัยเหล่านี้จะอธิบายต่อไป

Min H. (1991) ได้ทำการวิจัยการเลือกรูปแบบการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบข้ามทวีประหว่างประเทศญี่ปุ่นกับอเมริกา โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองที่มีสมการวัตถุประสงค์อยู่หลายสมการวัตถุประสงค์ (Multiple Objective) คือลดต้นทุนการขนส่งและเวลาในการขนส่งให้ต่ำที่สุด โดยในแบบจำลองดังกล่าวยังพิจารณาการมีอยู่ของ Foreign Trade Zone (FTZ) ด้วย ซึ่งแบบจำลองนี้มีลักษณะเป็น Chance-Constrained Goal Programming สำหรับในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง ถูกนำไปทดลองบทกรณีศึกษาของบริษัทผลิต คอมพิวเตอร์ หลายหนึ่งที่ตั้งอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยบริษัทดังกล่าวมีความจำเป็นต้องสั่งสินค้าจาก ผู้จำหน่าย 3 หลายที่อยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยบริษัทดังกล่าวสามารถใช้การขนส่งรูปแบบต่าง ๆ กัน เช่น การขนส่งโดยรถบรรทุก, การขนส่งทางอากาศ, การขนส่งโดยเรือสินค้า, การขนส่งโดยรถไฟ และการขนส่งต่อเนื่องระหว่างรถบรรทุกและเรือเป็นต้น

Chang T-S. (2008) ได้ทำงานวิจัยที่มีลักษณะของปัญหาใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Min H. (1991) กล่าวคือในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างทวีปคือระหว่าง ผู้จำหน่าย 3 รายที่ต้องการส่งสินค้าไปยังเดนเวอร์ สหรัฐอเมริกา โดยการส่งสินค้าไปนั้นสามารถเลือกรูปแบบการเดินทางได้ทั้ง 4 รูปแบบคือ ทางถนน ทางราง ทางน้ำ และทางอากาศ โดยลักษณะของแบบจำลองในงานวิจัยนี้มีทั้งความคล้ายคลึงและแตกต่างกับของ Min H. (1991) คือ ใน

ส่วนที่คล้ายกันคือ เป็นแบบที่มีสมการวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่งสมการ โดยต้องการลดต้นทุนการขนส่งและเวลาการขนส่งให้ต่ำที่สุด แต่สิ่งที่ต่างออกไปคือ งานวิจัยนี้จะพิจารณาตารางเวลาของการใช้งานของรูปแบบการขนส่งที่มีกำหนดเวลาการให้บริการเช่น การขนส่งทางอากาศ ทางราง และทางทะเล ที่มีตารางเวลาแน่นอน นอกจากนี้ยังพิจารณาว่ามีการประหยัดเนื่องมาจากขนาดการผลิต ด้วยกล่าวคือ ฟังชั่นต้นทุนของการขนส่งสินค้ามีลักษณะเป็นฟังชั่นแบบลักษณะโค้งเว้าคว่ำ (Piecewise Linear Concave Function) และสำหรับวิธีแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ก็มีลักษณะที่ต่างออกไปคือ ใช้วิธีฮิวริสติกโดยการใช้วิธีการผ่อนคลายลากรานเจี้ยน (Lagarngian Relaxation) เพื่อย่อยปัญหาหลักออกเป็นหลายปัญหาย่อยแล้วจึงหาผลเฉลยในแต่ละปัญหาย่อยเพื่อนำไปสู่การหาคำตอบ

Moccia L. et al. (2008) ได้ทำการศึกษาการเส้นทางการขนส่งสินค้าของโรงงานจำนวน 10 โรงงานที่ตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศอิตาลีไปยังคลังสินค้าระดับภูมิภาคทั้ง 10 แห่งซึ่งตั้งอยู่ทางตอนกลางถึงทางใต้ของประเทศอิตาลี โดยมีการรูปแบบการขนส่งให้เลือกอยู่ 2 รูปแบบ คือ การขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทางโดยตรงโดยรถบรรทุก (Dedicated Service) และการขนส่งโดยผ่านระบบการขนส่งต่อเนื่องระหว่างรถบรรทุกและรถไฟซึ่งจะมีการทำการควบรวมสินค้า (Consolidation Service) ในงานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณากรอบเวลาในการขนส่งแบบหลายกรอบเวลาและพิจารณาผลของการประหยัดจากการผลิตจากการควบรวมสินค้าโดยฟังชั่นเชิงเส้นแบบเป็นช่วง ซึ่งการแก้ปัญหานั้นเป็นการหาผลเฉลยโดยวิธีการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

บทที่ 3 นี้จะกล่าวถึงภาพรวมของงานวิจัยโดยจะประกอบไปด้วย ที่มาของข้อมูลในงานวิจัย แนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมทั้งวิธีการในการหาผลเฉลย และในส่วนสุดท้ายคือแผนงานการดำเนินงานวิจัย

3.1 ที่มาของข้อมูลในงานวิจัย

ข้อมูลในงานวิจัยฉบับนี้อ้างอิงมาจากบริษัท A ซึ่งเป็นบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศไทยที่มีธุรกิจหลักคือการให้บริการขนส่งพัสดุ ซึ่งมีจุดให้บริการกระจายอยู่หลายสาขาตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ บริการในการรับฝากขนส่งพัสดุนั้นมีบริการหลายรูปแบบ ในส่วนของงานวิจัยจะสนใจเฉพาะส่วนของบริการขนส่งพัสดุแบบด่วนพิเศษที่มีการขนส่งข้ามภูมิภาคเท่านั้น

บริการการขนส่งพัสดุแบบด่วนพิเศษในกรณีที่ต้นทางปลายทางอยู่ต่างภูมิภาคกันเช่น รับฝากพัสดุจากเชียงใหม่เพื่อขนส่งไปยังปลายทางที่ภูเก็ตนั้นบริษัท A ได้มีข้อกำหนดว่าพัสดุจะต้องขนส่งถึงที่หมายภายใน 2 - 3 วันหลังจากที่ได้รับฝากพัสดุ ณ จุดบริการ ดังนั้นในกรณีของบริการรับฝากขนส่งพัสดุด่วนพิเศษซึ่งต้นทางปลายทางอยู่ต่างภูมิภาคกัน บริษัท A จึงมีความจำเป็นต้องขนส่งผ่านระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบคือ การขนส่งทางถนนร่วมกับการขนส่งทางอากาศเพื่อที่จะสามารถขนส่งพัสดุไปยังที่หมายให้ทันเวลา

การปฏิบัติการในปัจจุบันของบริษัท A คือ หลังจากที่รับฝากพัสดุ ณ จุดให้บริการย่อยตามภูมิภาคต่าง ๆ แล้ว บริษัท A จะทำการขนส่งพัสดุจากจุดให้บริการย่อยมารวมกันที่ศูนย์พัสดุตามภูมิภาคต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- ภาคเหนือ มีศูนย์พัสดุ 2 แห่งคือ ศูนย์พัสดุจังหวัดลำพูน และศูนย์ที่อำเภอเด่นชัยจังหวัดแพร่
- ภาคอีสาน มีศูนย์พัสดุ 3 แห่งคือ ศูนย์พัสดุจังหวัดขอนแก่น ศูนย์พัสดุจังหวัดอุบลราชธานี และศูนย์พัสดุจังหวัดอุดรธานี

- ภาคใต้ มีศูนย์พัสดุ 3 แห่งคือ ศูนย์พัสดุอำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ศูนย์พัสดุอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และศูนย์พัสดุจังหวัดภูเก็ต

หลังจากรวบรวมพัสดุมายังศูนย์พัสดุตามภูมิภาคต่าง ๆ แล้ว บริษัท A จะทำการขนส่งพัสดุจากศูนย์พัสดุไปยังสนามบินตามภูมิภาคต่าง ๆ ดังนี้

- ศูนย์พัสดุลำพูนและเด่นชัยจะทำการขนส่งพัสดุทางถนนไปยังสนามบินเชียงใหม่
- ศูนย์พัสดุขอนแก่น ศูนย์พัสดุอุบลราชธานี และศูนย์พัสดุอุดรธานี จะทำการขนส่งพัสดุทางถนนไปยังสนามบินขอนแก่น สนามบินอุบลราชธานี และสนามบินอุดรธานีตามลำดับ
- ศูนย์พัสดุทุ่งสง ศูนย์พัสดุหาดใหญ่ และศูนย์พัสดุภูเก็ต จะทำการขนส่งพัสดุทางถนนไปยังสนามบินนครศรีธรรมราช สนามบินหาดใหญ่ และสนามบินภูเก็ตตามลำดับ

เมื่อพัสดุถูกนำมาถึงสนามบินแล้วจะทำการบรรทุกใต้ท้องเครื่องบินเพื่อขนส่งมายังสนามบินดอนเมืองโดยเที่ยวบินโดยสารของสายการบินเชิงพาณิชย์จากนั้น ณ ศูนย์รวบรวมคัดแยกพัสดุที่สนามบินดอนเมืองพัสดุจากภูมิภาคต่าง ๆ จะถูกคัดแยกตามปลายทางเพื่อทำการขนส่งผ่านการขนส่งทางอากาศ (การขนส่งทางถนนในกรณีที่ปลายทางอยู่ในภาคตะวันออก) ไปยังสนามบินตามภูมิภาคต่าง ๆ และขนส่งทางถนนไปยังศูนย์รวบรวมพัสดุตามภูมิภาคเพื่อทำการกระจายพัสดุไปยังปลายทางต่อไป ซึ่งกระบวนการตั้งแต่รับพัสดุเข้าสู่ระบบจนถึงมือผู้รับจะต้องเสร็จสิ้นภายใน 2 - 3 วัน ดังนั้นในการพิจารณาในแบบจำลองที่จะนำเสนอต่อไปผู้วิจัยจะทำการพิจารณาที่กรอบเวลาทั้งหมด 48 ชั่วโมง หรือ 2 วัน

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการจัดการวางแผนการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในโครงข่ายการให้บริการขนส่งพัสดุด่วนพิเศษข้ามภูมิภาคของบริษัท A โดยขอบเขตของงานวิจัยจะคลอบคลุมเฉพาะการขนส่งจากศูนย์รวมพัสดุจากภูมิภาคหนึ่งไปยังอีกภูมิภาคหนึ่งผ่านโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเท่านั้นโดยจะมุ่งเน้นการจัดเส้นทางและตารางเวลาของการขนส่งให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดและขนส่งถึงที่หมายได้ทันเวลาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ช่วยในการตัดสินใจ

3.2 แนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ภาพรวมของโครงข่ายของบริษัท A ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.1 สามารถอธิบายเป็นแผนภาพดังแสดงในรูปที่ 3.1

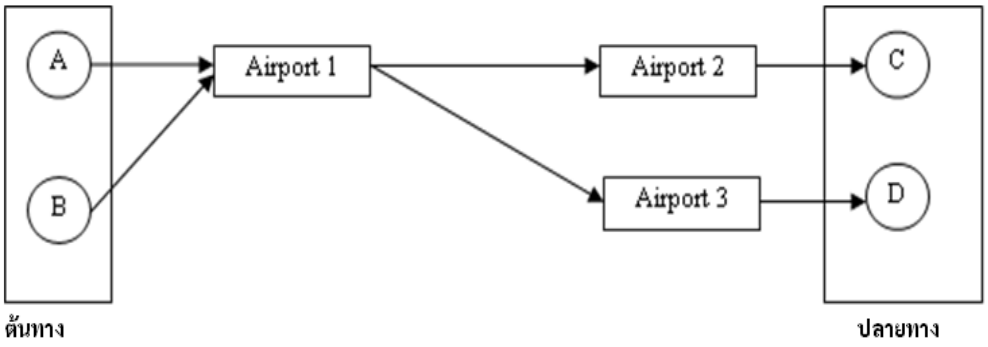
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการขนส่งบนโครงข่ายตัวอย่าง

จากรูปที่ 3.1 จุดยอด O แสดงจุดต้นทางการขนส่ง (Origin) คือศูนย์ควบรวมพัสดุตามภูมิภาคต่าง ๆ โดยจากจุดยอด O นี้พัสดุจะถูกทำการขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังจุด Airport A ในแผนภาพซึ่งแสดงถึงสนามบินตามภูมิภาคต่าง ๆ ซึ่งจากจุดนี้พัสดุจะถูกดำเนินการขนส่งอีกครั้งโดยการขนส่งทางอากาศไปยังจุดยอด Hub (ในโครงข่ายนี้คือ สนามบินดอนเมือง (DMK)) เพื่อทำการควบรวมสินค้าและพัสดุที่มีจุดหมายปลายทางเดียวกันทำการขนส่งทางอากาศไปยังจุดยอด Airport B ซึ่งแสดงสนามบินตามภูมิภาคปลายทางจากนั้นจึงดำเนินการขนส่งโดยรถบรรทุกเป็นขั้นตอนสุดท้ายไปยังจุดยอด D ซึ่งแสดงถึงศูนย์ควบรวมพัสดุปลายทาง (Destination)

พิจารณากระบวนการที่อธิบายตามรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าในการจะลดต้นทุนการขนส่งของโครงข่ายนี้นั้นจะต้องทำการควบรวมพัสดุจากศูนย์พัสดุตามภูมิภาคมารวมกันอยู่ที่ศูนย์รวบรวมและคัดแยกพัสดุที่ท่าอากาศยานดอนเมืองเพื่อที่จะได้รวบรวมพัสดุที่มีปลายทางอยู่ที่เดียวกันให้สามารถขนส่งคราวละมาก ๆ ได้ ซึ่งการจะทำการจัดระบบการควบรวมสินค้านี้ให้มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการจัดตารางของการขนส่งที่ดี กล่าวคือตารางเวลาในการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งทางอากาศต้องมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งและตารางเวลาบนโครงข่ายดังกล่าวเพื่อให้สามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปฏิบัติงานได้จริง

แนวทางในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจสำหรับปัญหาดังที่กล่าวมานี้ ผู้วิจัยได้พิจารณามองปัญหาบนโครงข่ายการกระจายสินค้าที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดซึ่งมีลักษณะพิเศษแตกต่างจากปัญหาโครงข่ายการไหลของ

สินค้าหลายชนิดแบบดั้งเดิมซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 คือ ปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดของโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องระหว่างการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งทางอากาศนี้ จะต้องนำแนวคิดของการพิจารณากรอบของเวลามาพิจารณาด้วยเพื่อที่จะสามารถจำลองรูปแบบการให้บริการซึ่งเป็นไปตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศได้ (โดยการพิจารณาว่า ตารางเวลาออกเดินทางและเวลาการมาถึงเป็นกรอบเวลา) ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นแบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดร่วมกับการพิจารณากรอบของเวลา (Multi - commodity Flow Problem with Time windows) เพื่อให้เกิดความเข้าใจแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะนำเสนอต่อไปจึงข้ออธิบายแนวคิดเบื้องต้นด้วยตัวอย่างของปัญหาบนโครงข่ายทางกายภาพ (Physical Network) ขนาดเล็กดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงโครงข่ายทางกายภาพขนาดเล็กเพื่อใช้อธิบายแบบจำลอง

จากรูปที่ 3.2 แสดงโครงข่ายทางกายภาพขนาดเล็กซึ่งประกอบไปด้วยจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ โดยจุดยอดในแผนภาพแสดงถึงสถานที่ซึ่งในที่นี้แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มหลัก ๆ คือ กลุ่มของจุดยอดซึ่งแสดงต้นทางการขนส่งประกอบไปด้วยจุดยอด A และจุดยอด B กลุ่มของจุดยอดแสดงสนามบินต้นทางประกอบด้วยจุดยอด Airport 1 กลุ่มของจุดยอดแสดงสนามบินปลายทางประกอบด้วยจุดยอด Airport 2 และ Airport 3 และกลุ่มจุดยอดแสดงปลายทางการขนส่งประกอบด้วยจุดยอด C และจุดยอด D

เส้นเชื่อมต่อในแผนภาพดังรูปที่ 3.2 แสดงบริการการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งในโครงข่ายดังแสดงนี้มีรูปแบบการขนส่งสองรูปแบบคือการขนส่งโดยรถบรรทุกแสดงโดยเส้นเชื่อมต่อจากจุดยอดใน

กลุ่มต้นทางไปยังสนามบินต้นทางและเส้นเชื่อมต่อจากสนามบินปลายทางไปยังจุดยอดปลายทาง และการขนส่งทางอากาศซึ่งแสดงโดยเส้นเชื่อมต่อจุดยอดสนามบินต้นทางไปยังจุดยอดสนามบินปลายทาง

โครงข่ายในรูปที่ 3.2 มีพัสดุที่จะต้องทำการขนส่งอยู่ 4 ชนิดซึ่งถูกจำแนกโดยการพิจารณาสินค้าแต่ละชนิดตามต้นทางปลายทางของการขนส่ง ดังนั้นจึงสามารถพิจารณาปัญหาการวางแผนการกระจายสินค้าทั้ง 4 ชนิดบนโครงข่ายนี้เป็นปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดได้ โดยข้อมูลของสินค้าทั้ง 4 ชนิดในโครงข่ายนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลชนิดสินค้าบนโครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 3.2

ประเภทสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า (หน่วย)
k1	A	C	10
k2	A	D	15
k3	B	C	20
k4	B	D	12

สินค้าทั้ง 4 ชนิดบนโครงข่ายนี้จะต้องถูกทำการขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางผ่านบริการการขนส่งซึ่งแสดงในรูปของเส้นเชื่อมต่อ โดยเส้นเชื่อมต่อแต่ละเส้นมีพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาคือ เวลาในการเดินทาง, ต้นทุนซึ่งเกิดจากการใช้บริการการขนส่ง, และความจุหรือปริมาณการบรรทุกสูงสุดที่ยอมให้บนเส้นเชื่อมต่อ ข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อบนโครงข่ายตัวอย่างนี้ สามารถชี้แจงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลของเส้นเชื่อมต่อของโครงข่ายตัวอย่างในรูปที่ 3.2

เส้นเชื่อมต่อ	รูปแบบบริการการขนส่ง	เวลาการเดินทาง	ต้นทุนการขนส่ง (ต้นทุนคงที่)	ความจุ
(A, Airport 1)	รถบรรทุก	4	70	40
(B, Airport 1)	รถบรรทุก	6	80	40
(Airport 1, Airport 2)	การขนส่งทางอากาศ	1	100	30
(Airport 1, Airport 3)	การขนส่งทางอากาศ	1.5	120	30
(Airport 2, C)	รถบรรทุก	1	20	40
(Airport 3, D)	รถบรรทุก	0.5	10	40

จากตารางที่ 3.2 เส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2) และเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3) ซึ่งแสดงถึงการขนส่งทางอากาศนั้นในความเป็นจริงมีเที่ยวบินที่สามารถให้บริการบนเส้นเชื่อมต่อดังกล่าวมากกว่าหนึ่งเที่ยวบิน โดยเที่ยวบินบนเส้นเชื่อมต่อทั้งสองจะให้บริการตามตารางการบินที่แน่นอนดังแสดงในตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.3 แสดงตารางการบินบนเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2)

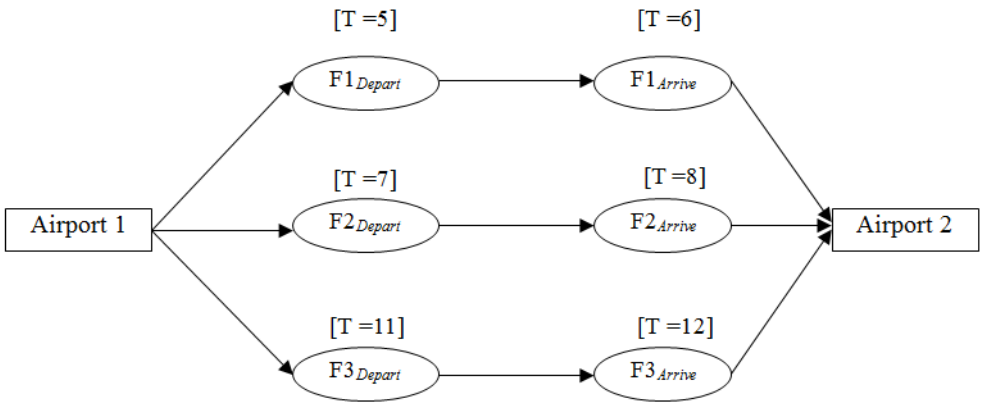
เที่ยวบิน	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง
F1	5	6
F2	7	8
F3	11	12

ตารางที่ 3.4 แสดงตารางการบินบนเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3)

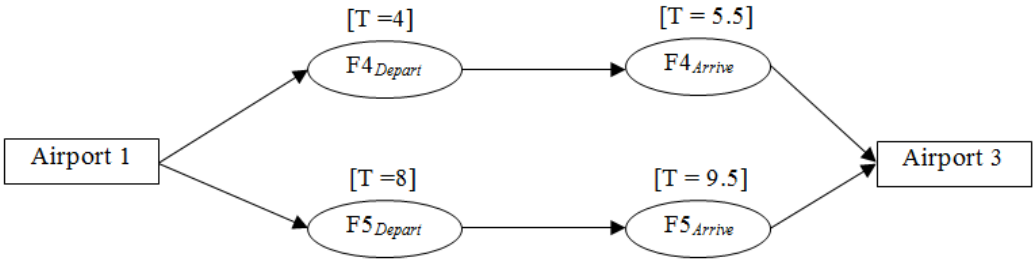
เที่ยวบิน	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง
F4	4	5.5
F5	8	9.5

เมื่อพิจารณาแผนภาพในรูปที่ 3.2 ซึ่งแสดงโครงข่ายทางกายภาพนั้นพบว่า แผนภาพที่ 3.2 สามารถแสดงถึงการมีอยู่ของเที่ยวบินต่าง ๆ ได้ ซึ่งทำให้การพิจารณาโครงข่ายในรูปที่ 3.2 โดยการจำลองปัญหาเป็นเพียงปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะจำลองความเป็นจริงที่ว่าในแต่ละในการปฏิบัติงานจริงนั้นมีเที่ยวบินให้เลือกใช้มากกว่าหนึ่งเที่ยวบินได้

การจำลองปัญหาโครงข่ายที่มีผลของตารางการบินเข้ามาเกี่ยวข้องนี้ให้ใกล้เคียงความเป็นจริงนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์นำแนวคิดของการพิจารณากรอบเวลาหลายกรอบเวลาซึ่งปรากฏอยู่ในงานวิจัยของ Caramia et al. (2007) และ Xu et al. (2003) ผู้วิจัยได้นำแนวคิดการพิจารณาหลายกรอบเวลามาแปลงโครงข่ายกายภาพในรูปที่ 3.2 มาเป็นโครงข่ายเสมือน (Virtual Network) โดยรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2) และเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3) ตามลำดับ



รูปที่ 3.3 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2)



รูปที่ 3.4 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3)

รูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงโครงข่ายเสมือนสำหรับเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 2) และเส้นเชื่อมต่อ (Airport 1, Airport 3) โดยการเพิ่มจุดยอดเสมือนคือจุดยอดแสดงการออกเดินทาง (Departure Node) และจุดยอดแสดงการมาถึง (Arrival Node) สำหรับแต่ละเที่ยวบิน นอกจากนี้จุดยอดเสมือนทั้งจุดยอดที่แสดงการออกเดินทางและจุดยอดที่แสดงการมาถึงแต่ละจุดจะมีกรอบเวลาที่จะต้องพิจารณาเป็นจุดของเวลาซึ่งกรอบเวลาดังกล่าวจะสอดคล้องกับตารางเวลาของแต่ละเที่ยวบิน เมื่อนำแนวคิดของการพิจารณาหลายกรอบเวลาบนโครงข่ายเสมือนนี้ร่วมกับการจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดจะทำให้แบบจำลองที่จะพัฒนาขึ้นสามารถสะท้อนความเป็นจริงจากผลของตารางเวลาการบินได้ดียิ่งขึ้น

3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการหาผลเฉลย

แบบจำลองที่จะนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำแนวคิดซึ่งถูกพัฒนาขึ้นดังอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2 โดยเนื่องจากแบบจำลองที่จะนำเสนอต่อไปนั้นจะมีโครงสร้างหลักมาจากปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอแบบจำลองในสองลักษณะคือ แบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และแบบจำลองตามเส้นทาง ในหัวข้อที่ 3.3.1 และ 3.3.2 นอกจากนี้ในหัวข้อสุดท้ายจะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้หลักการของการกำเนิดสดมภ์กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในหัวข้อที่ 3.3.3

3.3.1 แบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดโดยพิจารณากรอบเวลารูปแบบจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (Multi - commodity Flow Problem with Time Windows: Node Arc Based Formulation)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

N คือเซตของจุดยอดโดยมีดัชนีคือ i และ j

O คือเซตของจุดยอดแสดงจุดต้นทางของการขนส่ง

D คือเซตของจุดยอดแสดงจุดปลายทางของการขนส่ง

N^d คือเซตของจุดยอดแสดงการออกเดินทางตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศ

N^a คือเซตของจุดยอดแสดงการถึงจุดหมายปลายทางตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศ

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อมีดัชนีคือ i, j

K คือเซตของสินค้าซึ่งนิยามสินค้าชนิดหนึ่งพิจารณาจากคู่ของต้นทางและปลายทางการขนส่ง มีดัชนีคือ k

พารามิเตอร์ (Parameter)

F_{ij} คือต้นทุนคงที่การขนส่งบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

Q^k คือปริมาณของสินค้าชนิด k ใด ๆ ที่ต้องทำการขนส่ง

Cap_{ij} คือความสามารถในการบรรทุกสูงสุดในหน่วยกิโลกรัมที่ให้ยอมให้ใช้งานบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

T_{ij} คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางจาก i ไปยัง j ใด ๆ

$Departure_i$ คือเวลาการออกเดินทางตามตารางเวลา ณ จุดยอด i ใด ๆ

$Arrival_i$ คือเวลาการมาถึงตามตารางเวลา ณ จุดยอด i ใด ๆ

a_i คือเวลาที่สามารถเริ่มทำการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางการขนส่ง (เพราะฉะนั้น $\forall i \in O$)

b_i คือเวลาที่สินค้าจะต้องมาถึงจุดยอด i โดยอาจจะมาถึงก่อนเวลา b_i ได้

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

x_{ij}^k คือตัวแปรเชิงเส้นซึ่งแสดงปริมาณของสินค้าชนิดที่ k บนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ในหน่วยกิโลกรัม

y_{ij} คือตัวแปรไบนารี่โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อมีปริมาณการไหลของสินค้าชนิดที่ k ใด ๆบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j มิฉะนั้น แสดงค่าเป็น 0

t_i^k คือตัวแปรเชิงเส้นแสดงเวลาการมาถึงของสินค้าชนิดที่ k ณ จุดที่ i ในหน่วยชั่วโมง

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ z = \sum_i \sum_j F_{ij} y_{ij} \tag{3.1}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_j x_{ij}^k = Q^k \qquad \forall k \in K, \forall i \in O \tag{3.2}$$

$$\sum_j x_{ij}^k - \sum_j x_{ji}^k = 0 \qquad \forall k \in K, i \in N \backslash (O \cup D) \tag{3.3}$$

$$\sum_i x_{ij}^k = Q^k \qquad \forall k \in K, \forall j \in D \tag{3.4}$$

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k Q^k \leq Cap_{ij} y_{ij} \qquad \forall\ (i,j) \in A \tag{3.5}$$

$$t_i^k + T_{ij} - t_j^k \leq (1 - y_{ij}) M_{ij}\ \forall k \in K, (i,j) \in A \tag{3.6}$$

$$t_i^k = Departure_i y_{ij} \quad \forall k \in K, \forall i \in N^d \tag{3.7}$$

$$t_i^k = Arrival_i y_{ij} \quad \forall k \in K, \forall i \in N^a \tag{3.8}$$

$$t_i^k = a_i^k \quad \forall k \in K, \forall i \in O \tag{3.9}$$

$$t_i^k \leq b_i^k y_{ij} \quad \forall k \in K, \forall i \in N \backslash (O \cup N^d \cup N^a) \tag{3.10}$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \tag{3.11}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \tag{3.12}$$

$$t_i^k \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in N \tag{3.13}$$

เงื่อนไขที่ (3.1) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ (3.2) แสดงการไหลของสินค้า k จากต้นทางผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ ต้องมีผลรวมเท่ากับปริมาณสินค้าชนิดนั้น ๆ

เงื่อนไขที่ (3.3) แสดงการไหลผ่านของสินค้า k ผ่านจุดยอดใด ๆ ซึ่งไม่ใช่ต้นทางและปลายทางต้องมีค่าเท่ากับ 0

เงื่อนไขที่ (3.4) แสดงการไหลของสินค้า k ไปยังปลายทางผ่านเส้นเชื่อมต่อใด ๆ ต้องมีผลรวมเท่ากับปริมาณสินค้าชนิดนั้น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เงื่อนไขที่ (3.5) แสดงปริมาณการไหลผ่านของสินค้า k ใด ๆ รวมกันต้องไม่เกิน Cap_{ij}

เงื่อนไขที่ (3.6) แสดงความสัมพันธ์ทางด้านเวลาในการเดินทางบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ โดย M_{ij} คือ $b_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N \backslash (O \cup N^d \cup N^a)$, $Departure_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N^d$, $Arrival_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N^a$ และ $a_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in O$

เงื่อนไขที่ (3.7) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการออกเดินทางโดยการขนส่งทางอากาศตามตารางเวลา คือ $Departure_i$

เงื่อนไขที่ (3.8) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการมาถึงตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศคือ $Arrival_i$

เงื่อนไขที่ (3.9) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาเริ่มต้นการขนส่งจากต้นทางของสินค้าชนิด k คือ a_i

เงื่อนไขที่ (3.10) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการขนส่งสินค้าชนิด k สามารถมาถึงจุดยอดใด ๆได้ภายในกรอบเวลา b_i

เงื่อนไขที่ (3.11) กำหนดว่าตัวแปร x_{ij}^k ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

เงื่อนไขที่ (3.12) กำหนดว่าตัวแปร y_{ij} เป็นตัวแปรไบนารี่

เงื่อนไขที่ (3.13) กำหนดว่าตัวแปร t_i^k ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

3.3.2 แบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดโดยพิจารณากรอบเวลารูปแบบตามเส้นทาง (Multi - commodity Flow Problem with Time Windows: Path Based Formulation)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อมีดัชนีคือ i, j

K คือเซตของสินค้าซึ่งนิยามสินค้าชนิดหนึ่งพิจารณาจากคู่ของต้นทางและปลายทางการขนส่ง มีดัชนีคือ k

$P(k)$ คือเซตของเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้สำหรับสินค้าชนิดที่ k

พารามิเตอร์ (Parameter)

F_{ij} คือต้นทุนคงที่การขนส่งบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

Q^k คือปริมาณของสินค้าชนิด k ใด ๆ ที่ต้องทำการขนส่ง

Cap_{ij} คือความสามารถในการบรรทุกสูงสุดในหน่วยกิโลกรัมที่ให้ยอมให้ใช้งานบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ

δ_{ij}^p คือตัวแปรที่ทราบค่าซึ่งมีค่าเป็น 1 เมื่อเส้นเชื่อมต่อ i ไปยัง j เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง p มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

ตัวแปรตัดสินใจ (Variable)

f_k^p คือตัวแปรเชิงเส้น มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แสดงสัดส่วนของสินค้าชนิด k ซึ่งใช้เส้นทางในการขนส่งคือเส้นทาง p โดยหากสินค้าชนิดที่ k ไม่ถูกขนส่งผ่านบนเส้นทาง p แสดงค่าเป็น 0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

y_{ij} คือตัวแปรไบนารี่ โดยมีค่าเป็น 1 เมื่อมีปริมาณการไหลของสินค้าชนิดที่ k ใด ๆบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j มิฉะนั้น แสดงค่าเป็น 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ z = \sum_{(i,j)\in A} F_{ij} y_{ij} \tag{3.14}$$

สมการและอสมการข้อจำกัด (Equality and Inequality Constraint)

$$\sum_{p} f_k^p = 1 \qquad \forall k \in K \tag{3.15}$$

$$\sum_{k}\sum_{p} \delta_{ij}^p f_k^p Q_k \leq Cap_{ij}\, y_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{3.16}$$

$$f_k^p \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall (i,j) \in A \tag{3.17}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{3.18}$$

เงื่อนไขที่ (3.14) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด

เงื่อนไขที่ (3.15) กำหนดว่าสัดส่วนรวมทั้งหมดของสินค้าชนิดที่ k ซึ่งกระจายไปบนแต่ละเส้นทางเมื่อรวมกันต้องเท่ากับ 1

เงื่อนไขที่ (3.16) กำหนดว่าบนเส้นเชื่อมต่อ i ไปยัง j ใด ๆ ผลรวมของปริมาณสินค้าต้องไม่เกินความจุของเส้นเชื่อมต่อนั้น ๆ

เงื่อนไขที่ (3.17) กำหนดว่าตัวแปร f_k^p เป็นตัวแปรเชิงเส้น

เงื่อนไขที่ (3.18) กำหนดว่าตัวแปร y_{ij} เป็นตัวแปรไบนารี่

3.3.3 การประยุกต์หลักของการกำเนิดสดมภ์กับแบบจำลองที่นำเสนอ

หัวข้อที่ 3.3.3 นี้จะอธิบายแนวคิดของการประยุกต์หลักการกำเนิดสดมภ์ซึ่งได้ยกตัวอย่างไว้ในบทที่ 2 เข้ากับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น โดยจากการพิจารณาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองรูปแบบนั้นพบว่าแบบจำลองตามเส้นทางมีความเหมาะสมมากกว่าในการที่ประยุกต์หลักการของการกำเนิดเพื่อใช้แก้ปัญหา เนื่องจากมีลักษณะของโครงสร้างปัญหาเป็นลักษณะจำนวนหลักมากกว่าจำนวนแถวเป็นจำนวนมาก

แบบจำลองตามเส้นทางที่นำเสนอในหัวข้อที่ 3.3.2 นั้นเมื่อพิจารณาจะเห็นความแตกต่างจากแบบตามเส้นทางสำหรับปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดมาตรฐานดังนี้คือ ในแบบจำลองที่นำเสนอนี้มีจำนวนกลุ่มของตัวแปรสองกลุ่มที่ต้องทำการพิจารณาคือตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับกำหนดเส้นทางการขนส่งสำหรับสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ (f_k^p) และตัวแปรไบนารี่ (y_{ij}) ทำหน้าที่ในการตัดสินใจว่าจะใช้เส้นเชื่อมต่อใดบ้างเพื่อทำการขนส่งสินค้าในการโครงข่าย ซึ่งจะแตกต่างจากแบบจำลองตามเส้นทางของปัญหาโครงข่ายการไหลมาตรฐานที่มีตัวแปรเพียงกลุ่มเดียวคือตัวแปรซึ่งเกี่ยวข้องกับกำหนดเส้นทางการขนส่งสำหรับสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ นอกจากนี้การพิจารณาในส่วนของเส้นทางที่จะนำมาเป็นตัวแปรในแบบจำลองนี้เส้นทางดังกล่าวจะต้องเป็นเส้นทางสามารถทำการขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทางได้ทันเวลาภายใต้กรอบเวลาที่กำหนดเท่านั้น จากเหตุที่กล่าวมานี้ทำให้การพิจารณาในส่วนของปัญหาหลักและปัญหารองซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของหลักการกำเนิดสดมภ์นั้นย่อมมีความแตกต่างกัน

การพิจารณาโครงสร้างปัญหาหลักของแบบจำลองตามเส้นทางที่นำเสนอนี้จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบจำลองตามเส้นทางของปัญหาดั้งเดิมซึ่งแสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 ที่ทำการผ่อนปรนโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับตัวแปรไบนารี่ (เพื่อจะนำค่าของราคาเงาของแต่ละเงื่อนไขมาพิจารณาในปัญหารอง) โดยในเบื้องต้นปัญหาหลักนี้จะต้องมีจำนวนของตัวแปร f_k^p และ y_{ij} ที่เพียงพอต่อการหาผลเฉลยเบื้องต้นที่เป็นไปได้กล่าวคือจำนวนตัวแปร f_k^p อย่างน้อยเท่ากับจำนวนสินค้าซึ่งนิยามตามคู่ต้นทางปลายทางการขนส่งหรือคือมีตัวแปรเส้นทางอย่างน้อย 1 เส้นทางสำหรับสินค้าแต่ละชนิด และในส่วนของตัวแปร y_{ij} นั้นผู้วิจัยจะพิจารณาตัวแปร y_{ij} ทั้งหมดในโครงข่าย (ตัวแปร y_{ij} นี้จะไม่ถูกพิจารณาในการกำเนิดสดมภ์)

การพิจารณาในส่วนของปัญหารองในแบบจำลองตามเส้นทางนั้น ในเบื้องต้นจะต้องพิจารณาสมการความสัมพันธ์ของต้นทุนส่วนลดและราคาเงาของตัวแปร f_k^p ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3.19

$$\bar{C}_k^p = -\delta_{ij} Q_k \pi_{ij} - \sigma_k \tag{3.19}$$

โดย $\bar{C}_k^p$ คือต้นทุนส่วนลดของหลักซึ่งเกี่ยวข้องกับตัวแปร f_k^p ใด ๆ

π_{ij} คือราคาเงาจากเงื่อนไขซึ่งเกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อใด ๆ

σ_k คือราคาเงาจากเงื่อนไขที่เกี่ยวกับสัดส่วนการกระจายสินค้าชนิดที่ k ใดๆ ไปบนเส้นทางใด ๆ

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนส่วนลดและราคาเงาดังสมการที่ 3.19 นั้นจะเห็นได้ว่า σ_k นั้นขึ้นกับชนิดของสินค้า ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสมการที่ 3.19 นี้จะเป็นสมการในรูปทั่วไปสำหรับแต่ละชนิดสินค้าซึ่งจะมีสมการดังกล่าวเท่ากับจำนวนชนิดสินค้าทั้งหมดที่ทำการพิจารณา

จากการพิจารณาค่าของ $\bar{C}_k^p$ ในสมการที่ 3.19 สามารถแปลความได้ว่าหากค่า $\bar{C}_k^p$ มีค่าน้อยกว่า 0 ย่อมหมายความว่าเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าชนิดที่ k ที่สัมพันธ์กับต้นทุนส่วนลด $\bar{C}_k^p$ มีความเหมาะสมที่ทำการขนส่งและควรจะนำไปพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลย ในทางกับกันหากค่าของต้นทุนส่วนลด $\bar{C}_k^p$ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 หมายความว่าเส้นทางสำหรับสินค้าชนิดที่ k ไม่เหมาะสมที่จะนำมาพิจารณาเป็นส่วนหนึ่งของผลเฉลย จากข้อสรุปนี้เองจึงสามารถนำมาพิจารณาสร้างเป็นปัญหารองเพื่อใช้ในการพิจารณาหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับทำการขนส่งสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ เพื่อจะใช้เป็นตัวแปรในปัญหาหลักต่อไป

ปัญหารองที่นำเสนอต่อไปนี้จะเป็นปัญหาซึ่งลักษณะเทียบเคียงได้กับ ปัญหาการหาเส้นทางยาวที่ซึ่งพิจารณากรอบของเวลา (Shortest Path Problem with Time Window) ดังแสดง

ปัญหารองของแบบจำลองตามเส้นทาง (Subproblem of Path Based Formulation)

การนิยามเซตและดัชนี (Set and Index)

N คือเซตของจุดยอดทั้งหมดมีดัชนีคือ i และ j

O คือเซตของจุดยอดที่เป็นต้นทางการขนส่ง

D คือเซตของจุดยอดที่แสดงปลายทางการขนส่ง

N^d คือเซตของจุดยอดแสดงการออกเดินทางตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศ

N^a คือเซตของจุดยอดแสดงการถึงจุดหมายปลายทางตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศ

A คือเซตของเส้นเชื่อมต่อมีดัชนีคือ (i,j)

พารามิเตอร์ (Parameter)

Q^k คือปริมาณของสินค้าชนิด k ใด ๆ ที่ต้องทำการขนส่ง

T_{ij} คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางจาก i ไปยัง j ใด ๆ

$Departure_i$ คือเวลาการออกเดินทางตามตารางเวลา ณ จุดยอด i ใด ๆ

$Arrival_i$ คือเวลาการมาถึงตามตารางเวลา ณ จุดยอด i ใด ๆ

a_i คือเวลาที่สามารถเริ่มทำการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางการขนส่ง (เพราะฉะนั้น $\forall i \in O$)

b_i คือเวลาที่สินค้าจะต้องมาถึงจุดยอด i โดยอาจจะมาถึงก่อนเวลา b_i ได้

π_{ij} คือราคาเงาจากเงื่อนไขซึ่งเกี่ยวข้องกับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อใด ๆ

σ_k คือราคาเงาจากเงื่อนไขที่เกี่ยวกับสัดส่วนการกระจายสินค้าชนิดที่ k ใดๆ ไปบนเส้นทางใด ๆ

ตัวแปรตัดสินใจ (Variable)

δ_{ij} คือตัวแปรไบนารี่ซึ่งใช้ในการตัดสินใจว่านำเส้นเชื่อมต่อ (i,j) มาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางใหม่ที่จะสร้างขึ้นจากปัญหารองที่พิจารณานี้หรือไม่ โดยหากเส้นเชื่อมต่อ (i,j) เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางจะมีค่าเป็น 1 มิฉะนั้นมีค่าเป็น 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Minimize\ \bar{C}_k^p = -\sum_{(i,j)\in A} \delta_{ij} Q_k \pi_{ij} - \sigma_k \qquad (3.20)$$

สมการและอสมการเงื่อนไข (Equality and Inequality Constraint)

$$\delta_{Oj} = 1 \qquad (3.21)$$

$$\sum_j \delta_{ij} - \sum_j \delta_{ji} = 0 \qquad \forall i \in N\backslash(O \cup D) \qquad (3.22)$$

$$\delta_{jD} = 1 \tag{3.23}$$

$$t_i + T_{ij} - t_j \leq (1 - \delta_{ij})M_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{3.24}$$

$$t_i = Departure_i \delta_{ij} \qquad \forall i \in N^d \tag{3.25}$$

$$t_i = Arrival_i \delta_{ij} \qquad \forall i \in N^a \tag{3.26}$$

$$t_i = a_i \delta_{ij} \qquad \forall i \in O \tag{3.27}$$

$$t_i \leq b_i \delta_{ij} \qquad \forall i \in N \backslash (O \cup N^d \cup N^a) \tag{3.28}$$

$$\delta_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{3.29}$$

$$t_i \geq 0 \qquad \forall i \in N \tag{3.30}$$

เงื่อนไขที่ (3.20) แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือต้องการหาค่าที่น้อยที่สุดของต้นทุนส่วนลดของเส้นทางที่ p

เงื่อนไขที่ (3.21) - (3.23) แสดงเงื่อนไขการอนุรักษ์การไหลซึ่งในส่วนนี้จะคล้ายคลึงกับเงื่อนไขการไหลของปัญหาการเส้นทางที่สั้นที่สุด

เงื่อนไขที่ (3.24) แสดงความสัมพันธ์ทางด้านเวลาในการเดินทางบนเส้นเชื่อมต่อจาก i ไปยัง j ใด ๆ โดย M_{ij} คือ $b_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N \backslash (O \cup N^d \cup N^a)$, $Departure_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N^d$, $Arrival_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in N^a$ และ $a_i + T_{ij}$ เมื่อ $\forall i \in O$

เงื่อนไขที่ (3.25) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการออกเดินทางโดยการขนส่งทางอากาศตามตารางเวลาคือ $Departure_i$

เงื่อนไขที่ (3.26) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการมาถึงตามตารางเวลาของการขนส่งทางอากาศคือ $Arrival_i$

เงื่อนไขที่ (3.27) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาเริ่มต้นการขนส่งจากต้นทาง คือ a_i

เงื่อนไขที่ (3.28) แสดงความสัมพันธ์ของเวลาการมาถึง โดยสามารถมาถึงจุดยอดใด ๆ ได้ภายในกรอบเวลา b_i

เงื่อนไขที่ (3.29) แสดงว่า δ_{ij} ใด ๆ เป็นตัวแปรไบนารี

เงื่อนไขที่ (3.30) กำหนดว่าตัวแปร t_i ใด ๆ ต้องมีค่าไม่ติดลบ

3.4 แผนงานการดำเนินงานวิจัย

การจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงไว้ข้างต้นนี้จะต้องใช้ซอฟท์แวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ซอฟท์แวร์ ILOG CPLEX V.12.1 ซึ่งเป็นซอฟแวร์สำหรับการหาค่าที่ดีที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการเรียกใช้งานนั้นจะกระทำผ่านซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ภาษา Java โดยมีโปรแกรม Eclipse Lunar เป็นเครื่องมือในการคอมไพล์รหัสคำสั่ง โดยโปรแกรมจะทำการประมวลผลหาผลเฉลยบนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน่วยความจำขนาด (RAM) 4.00 GB และหน่วยประมวลผล (Processor) คือ Intel(R) Core(TM)i5-3210M CPU @ 2.50GHz

แผนงานในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาลักษณะของปัญหา และศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. รวมรวมข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังนี้
    ก. ศูนย์พัสดุต้นทางและปลายทางของโครงข่าย
    ข. ปริมาณพัสดุที่ต้องทำการขนส่งในแต่ละวันแยกตามต้นทางปลายทาง
    ค. ระยะห่างและเวลาในการเดินทางของศูนย์พัสดุแต่ละแห่ง
    ง. ข้อมูลตารางเวลาการขนส่งทางอากาศที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย
    จ. ข้อมูลต้นทุนการขนส่งพัสดุ แจกแจงตามรูปแบบการขนส่ง
3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า

4. พัฒนาซอฟท์แวร์ที่จะนำมาหาผลเฉลยจากแบบจำลอง
5. ตรวจสอบข้อผิดพลาดของแบบจำลอง และทำการปรับปรุงแก้ไข
6. วิเคราะห์ผลที่ได้และทำการสรุปเป็นข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การวิเคราะห์ผลจากงานวิจัย

บทที่ 4 จะเป็นบทที่นำเสนอผลเฉลยจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นโดยในบทนี้ผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาหาผลเฉลยจากสองปัญหาคือ ปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 สำหรับบทที่ 4 นี้จะมีลำดับของการนำเสนอเป็นดังนี้ 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย 4.2 ขนาดของแบบจำลอง 4.3 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลย และ 4.4 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหา 4.5 การเปรียบเทียบต้นทุนแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบัน

4.1 ข้อมูลของชุดปัญหา

งานวิจัยนี้นำเสนอข้อมูลซึ่งจะใช้เป็นพารามิเตอร์ในแบบจำลอง โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับปัญหาทั้งหมดสองปัญหาซึ่งจะเป็นข้อมูลซึ่งใช้ข้อมูลอ้างอิงจากโครงข่ายการขนส่งการขนส่งดังได้อธิบายไว้ดังหัวข้อที่ 3.1 โดยข้อมูลของปัญหาทั้งสองนั้นจะมีรายละเอียดบางส่วนที่แตกต่างกันโดยในหัวข้อที่ 4.1 นี้จะอธิบายความแตกต่างของข้อมูลของปัญหาทั้งสองชุดที่จะพิจารณาโดยละเอียดซึ่งจะแยกอธิปรายเป็นหัวข้อย่อยคือ ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับชนิดของสินค้า ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุก และข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.1 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับชนิดของสินค้า

ชนิดของสินค้าที่จะทำการทดสอบภายในงานวิจัยฉบับนี้ได้ถูกนิยามตามหลักการของการสร้างแบบจำลองปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิดคือเป็นการนิยามชนิดขอสินค้าตามคู่ต้นทางปลายทางที่จะทำการขนส่ง ซึ่งสำหรับโครงข่ายที่จะทำการพิจารณานั้นสามารถพิจารณาออกได้เป็น 42 ชนิดสินค้า โดยในการพิจารณาปริมาณความต้องการขนส่งสินค้านั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าทั้งหมด 9 เดือน คือตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2557 - เดือนมกราคม 2558 ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ กรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติคือในช่วงเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 และกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงคือในเดือนพฤษภาคม 2557 ซึ่งในบทที่ 4 นี้ ผู้วิจัยได้เลือกปริมาณความ

ต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยรายวันของเดือนตุลาคม 2557 และเดือนพฤษภาคม 2557 มานำเสนอสำหรับกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ และกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ โดยปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยรายวันของเดือนอื่น ๆ นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

ตารางที่ 4.1 แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557)

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	145	22	หาดใหญ่	อุดร	286
2	อุบล	หาดใหญ่	188	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	294
3	อุบล	ภูเก็ต	100	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	251
4	อุบล	เด่นชัย	148	25	หาดใหญ่	ลำพูน	199
5	อุบล	ลำพูน	118	26	ภูเก็ต	อุบล	97
6	อุดร	ทุ่งสง	227	27	ภูเก็ต	อุดร	152
7	อุดร	หาดใหญ่	293	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	157
8	อุดร	ภูเก็ต	156	29	ภูเก็ต	เด่นชัย	134
9	อุดร	เด่นชัย	232	30	ภูเก็ต	ลำพูน	106
10	อุดร	ลำพูน	184	31	เด่นชัย	อุบล	117
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	234	32	เด่นชัย	อุดร	183
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	302	33	เด่นชัย	ขอนแก่น	189
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	161	34	เด่นชัย	ทุ่งสง	158
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	239	35	เด่นชัย	หาดใหญ่	204
15	ขอนแก่น	ลำพูน	189	36	เด่นชัย	ภูเก็ต	108
16	ทุ่งสง	อุบล	142	37	ลำพูน	อุบล	93
17	ทุ่งสง	อุดร	221	38	ลำพูน	อุดร	145
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	228	39	ลำพูน	ขอนแก่น	150
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	195	40	ลำพูน	ทุ่งสง	125
20	ทุ่งสง	ลำพูน	154	41	ลำพูน	หาดใหญ่	161
21	หาดใหญ่	อุบล	183	42	ลำพูน	ภูเก็ต	86

ตารางที่ 4.2 แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2558)

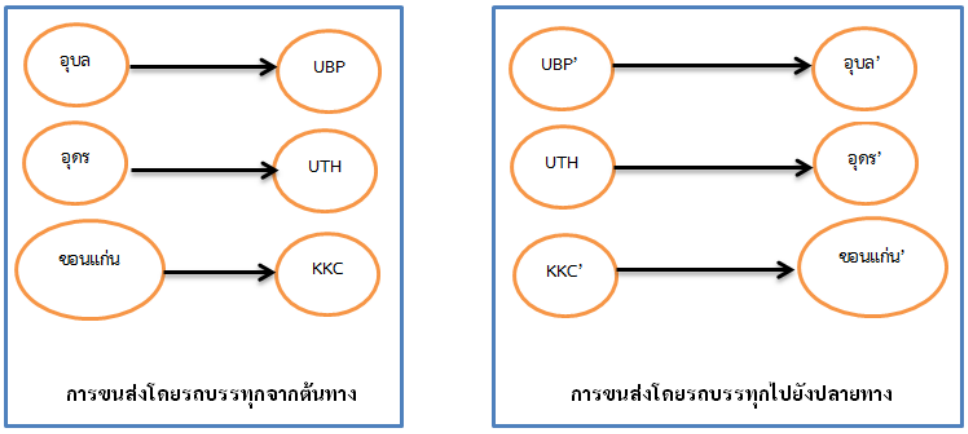
ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	149	22	หาดใหญ่	อุดร	248
2	อุบล	หาดใหญ่	220	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	211
3	อุบล	ภูเก็ต	163	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	549
4	อุบล	เด่นชัย	466	25	หาดใหญ่	ลำพูน	162
5	อุบล	ลำพูน	138	26	ภูเก็ต	อุบล	158
6	อุดร	ทุ่งสง	173	27	ภูเก็ต	อุดร	183
7	อุดร	หาดใหญ่	256	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	156
8	อุดร	ภูเก็ต	189	29	ภูเก็ต	เด่นชัย	406
9	อุดร	เด่นชัย	542	30	ภูเก็ต	ลำพูน	120
10	อุดร	ลำพูน	160	31	เด่นชัย	อุบล	481
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	147	32	เด่นชัย	อุดร	558
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	218	33	เด่นชัย	ขอนแก่น	475
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	161	34	เด่นชัย	ทุ่งสง	396
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	461	35	เด่นชัย	หาดใหญ่	585
15	ขอนแก่น	ลำพูน	136	36	เด่นชัย	ภูเก็ต	432
16	ทุ่งสง	อุบล	144	37	ลำพูน	อุบล	142
17	ทุ่งสง	อุดร	168	38	ลำพูน	อุดร	165
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	143	39	ลำพูน	ขอนแก่น	140
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	372	40	ลำพูน	ทุ่งสง	117
20	ทุ่งสง	ลำพูน	110	41	ลำพูน	หาดใหญ่	173
21	หาดใหญ่	อุบล	213	42	ลำพูน	ภูเก็ต	128

ตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงรายชื่อของชนิดของสินค้าที่จะทำการพิจารณาซึ่งนิยามตามคู่ต้นทางปลายทางที่จะทำการขนส่งในกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ และกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้ามากตามลำดับ การพิจารณาปริมาณความต้องการการขนส่งสินค้าในทั้งสองกรณีที่แสดงในตารางนั้นจะพิจารณาในหน่วยของกิโลกรัม (เนื่องด้วยสินค้าที่พิจารณาคือพัสดุภัณฑ์)

และปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าที่แสดงในตารางทั้งสองนั้นเป็นปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยรายวัน

4.1.2 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุก

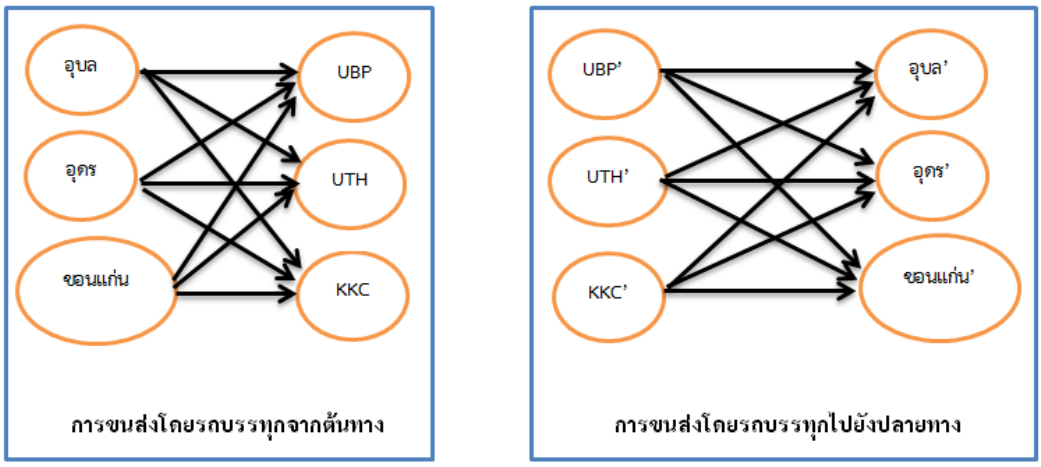
ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกนี้จะเป็นการอธิบายในส่วนของต้นทุนในการขนส่งโดยรถบรรทุกจากต้นทางการขนส่งไปยังสนามบินต้นทาง และจากสนามบินปลายทางไปยังปลายทางการขนส่ง นอกจากนี้จะยังแสดงในส่วนของเวลาในการขนส่งโดยรถบรรทุก ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้เองที่ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 กล่าวคือ ในปัญหาที่ 1 นั้นสำหรับศูนย์ควบรวมสินค้าหนึ่ง ๆ จะสามารถทำการขนส่งทางอากาศได้ผ่านทางสนามบินได้เพียงสนามบินเดียว เช่น ศูนย์ควบรวมในภาคอีสานซึ่งประกอบด้วยศูนย์ควบรวมสินค้าอุบลราชธานี ศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานี และศูนย์ควบรวมสินค้าขอนแก่น จะต้องทำการขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังสนามบินอุบลราชธานี สนามบินอุดรธานี และสนามบินขอนแก่นเพื่อใช้บริการการขนส่งทางอากาศตามลำดับ โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นเช่นเดียวกันในกรณีของการขนส่งโดยรถบรรทุกจากสนามบินไปยังปลายทางดังแสดงในที่ 4.1 ซึ่งเป็นตัวอย่างของกระบวนการดังกล่าวในภาคอีสาน



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างของการวางแผนการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 1 (ภาคอีสาน)

ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 2 นั้นจะมีความแตกต่างจากปัญหาที่ 1 ซึ่งสามารถยกอธิบายเปรียบเทียบโดยยกตัวอย่างของแผนการเดินรถบรรทุกในภาคอีสาน

กล่าวคือ ในปัญหาที่ 2 จะไม่กำหนดตายตัวว่าศูนย์ควบรวมสินค้าหนึ่ง ๆ จะต้องทำการขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังสนามบินใดสนามหนึ่งเท่านั้นเพื่อใช้การบริการการขนส่งทางอากาศ โดยจะยอมให้สามารถวิ่งรถจากต้นทางไปยังสนามบินใด ๆ ก็ได้ในภูมิภาค เช่น พัสดุชิ้นมีต้นทางการขนส่งอยู่ที่ศูนย์ควบรวมสินค้าอุบลราชธานีสามารถที่จะเลือกได้ว่าจะทำการขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังสนามบินอุบลราชธานี สนามบินอุดรธานี หรือสนามบินขอนแก่นได้โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นเช่นเดียวกันกับขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังปลายทาง ซึ่งในการจะเลือกว่าจะขนส่งสินค้าศูนย์ควบรวมสินค้าใด ไปยังสนามบินใดนั้นจะใช้ผลเฉลยจากแบบจำลองที่พัฒนาเป็นเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจ โดยตัวอย่างของแนวทางการเดินรถที่เสนอนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงตัวอย่างสำหรับภาคอีสาน



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างของการวางแผนการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 2 (ภาคอีสาน)

ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ 1 สามารถได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องการขนส่งโดยรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ 1

ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาการเดินทาง (ชั่วโมง)	ต้นทุนคงที่ (บาท)
อุบล	UBP	2.6	0:10	116
อุดร	UTH	17.1	0:20	762
ขอนแก่น	KKC	13.9	0:15	620
ทุ่งสง	NST	67.6	1:00	3,014

ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาการเดินทาง (ชั่วโมง)	ต้นทุนคงที่ (บาท)
หาดใหญ่	HDY	8.7	0:15	388
ภูเก็ต	HKT	31.9	0:30	1,422
เด่นชัย	CNX	191	2:30	8,515
ลำพูน	CNX	22.9	0:25	1,020

จากความแตกต่างของแนวทางในการเดินรถระหว่างศูนย์ควบรวมสินค้าและสนามบินของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 นั้นทำให้ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกของปัญหาที่ 2 จะต้องทำการพิจารณาข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องการขนส่งโดยรถบรรทุกในตารางที่ 4.3 รวมกับข้อมูลที่เพิ่มเติมดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ 2 (เพิ่มเติมจากตารางที่ 4.3)

ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลาการเดินทาง (ชั่วโมง)	ต้นทุนคงที่ (บาท)
อุบล	UTH	410	5:30	18,278
อุบล	KKC	297	4:15	13,240
อุดร	UBP	395	5:15	17,609
อุดร	KKC	118	1:30	5,260
ขอนแก่น	UBP	294	4:00	13,106
ขอนแก่น	UTH	117	1:30	5,215
ทุ่งสง	HDY	194	2:30	8,648
ทุ่งสง	HKT	243	3:15	10,833
หาดใหญ่	NST	207	2:30	9,228
หาดใหญ่	HKT	428	5:30	19,080
ภูเก็ต	NST	350	4:30	15,603
ภูเก็ต	HDY	458	6:00	20,417

จากตารางที่ 4.3 และ 4.4 ซึ่งแสดงข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยรถบรรทุกทั้งในกรณีของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ในส่วนของต้นทุนคงที่ทำการพิจารณานั้นผู้วิจัยได้พิจารณาบนพื้นฐานว่ารถบรรทุกซึ่งทำการขนส่งเป็นรถตู้บรรทุก 6 ล้อมีน้ำหนักบรรทุกสินค้าสูงสุดไม่เกิน 4 ตัน ซึ่งมีต้นทุนค่าขนส่งโดยการใช้น้ำมันดีเซลเป็น 22.29 บาท/กิโลเมตร โดยในการพิจารณาต้นทุนคงที่นี้

ผู้วิจัยพิจารณาการวิ่งรถทั้งไปและกลับและพิจารณาว่าระยะทางดังแสดงในตารางนั้นเป็นระยะทางสมมาตร

นอกจากข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับต้นทุนและเวลาในการเดินทางของการขนส่งโดยรถบรรทุกที่ต้องพิจารณาในปัญหาที่ 1 และ 2 แล้วยังมีเวลาที่สามารถเริ่มต้นทำการขนส่งโดยรถบรรทุกจากต้นทางการขนส่งด้วยที่ต้องพิจารณาซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะเหมือนกันสำหรับทั้งสองปัญหาซึ่งสำหรับแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาที่สามารถเริ่มต้นการขนส่งได้ ณ ศูนย์ควบรวมสินค้าต่าง ๆ

ศูนย์ควบรวมสินค้า	เวลาที่สามารถเริ่มการขนส่งได้
อุบลราชธานี	03:30 (วันที่ 2)
อุดรธานี	04:00 (วันที่ 2)
ขอนแก่น	04:00 (วันที่ 2)
ทุ่งสง	20:30 (วันที่ 1)
หาดใหญ่	04:00 (วันที่ 2)
ภูเก็ต	19:30 (วันที่ 1)
เด่นชัย	00:00 (วันที่ 2)
ลำพูน	23:00 (วันที่ 1)

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลาที่สามารถเริ่มทำการขนส่งสินค้าสำหรับแต่ละศูนย์ควบรวมสินค้าซึ่งข้อมูลซึ่งแสดงในตารางที่ 4.5 นี้จะถูกพิจารณาเป็นพารามิเตอร์ในส่วนของเวลาที่เริ่มต้นทำการขนส่งออกจากศูนย์ควบรวมสินค้าของแต่ละสินค้าในแบบจำลอง

4.1.3 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศ

ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศที่จะแสดงต่อไปนั้นจะเป็นข้อมูลซึ่งเหมือนกันสำหรับทั้งปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ข้อมูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งทางอากาศนี้เป็นข้อมูลของสายการบินเชิงพาณิชย์แห่งหนึ่งซึ่งบริษัทที่พิจารณาได้ทำสัญญาไว้ด้วย สายการบินดังกล่าวจะให้บริการโดยการบรรทุกพัสดุในบริเวณใต้ท้องเครื่องบินซึ่งให้บริการในการขนส่งผู้โดยสารเป็นหลัก ดังนั้นการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกสำหรับการบรรทุกพัสดุสูงสุดในแต่ละเที่ยวบินจึงขึ้นอยู่กับในเที่ยวบินนั้น ๆ มี

ปริมาณผู้โดยสารมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ดีโดยเฉลี่ยแล้วต่อหนึ่งเที่ยวบินสามารถบรรทุกสินค้าของบริษัทที่พิจารณาได้สูงสุดอยู่ที่ 2.4 ตัน

โครงข่ายที่จะทำการพิจารณาสำหรับทั้งสองปัญหานั้นมีสนามบินที่สามารถให้บริการการขนส่งทางอากาศได้ทั้งหมด 8 สนามบินซึ่งรายชื่อของสนามบินดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงสนามบินที่ให้บริการการขนส่งทางอากาศบนโครงข่ายในงานวิจัย

ลำดับ	สนามบิน	ชื่อย่อ	คำอธิบาย
1	สนามบินอุบลราชธานี	UBP	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุอุบลราชธานี
2	สนามบินอุดรธานี	UTH	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุอุดรธานี
3	สนามบินขอนแก่น	KKC	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุขอนแก่น
4	สนามบินนครศรีธรรมราช	NST	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุทุ่งสง
5	สนามบินหาดใหญ่	HDY	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุหาดใหญ่
6	สนามบินภูเก็ต	HKT	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุภูเก็ต
7	สนามบินเชียงใหม่	CNX	ให้บริการการขนส่งทางอากาศกับชนิดสินค้าที่เกี่ยวข้องศูนย์ควบรวมพัสดุเด่นชัยและลำพูน
8	สนามบินดอนเมือง	DMK	ทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบรวมพัสดุจากแต่ละภูมิภาค

จากตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงรายชื่อของทั้ง 8 สนามบินที่สามารถให้บริการการขนส่งทางอากาศนั้นมีเที่ยวบินที่สามารเลือกใช้งานการขนส่งได้ทั้งหมด 90 เที่ยวบินที่ต้องพิจารณา ในส่วนของต้นทุนค่าขนส่งสำหรับแต่ละเที่ยวบินนั้นจะพิจารณาเป็นต้นทุนคงที่เนื่องด้วยเป็นการเช่าเหมาพื้นที่ ซึ่งต้นทุนการขนส่งทางอากาศนี้ผู้วิจัยจะทำการสมมติขึ้นโดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าของต้นทุนการขนส่งทางอากาศและพิจารณาว่าต้นทุนการขนส่งทางอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปนี้มีผลอย่างไรต่อผลเฉลยของปัญหาโดยจะทำการเปลี่ยนแปลค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาทสำหรับทั้งสองชุดปัญหา

4.2 ขนาดของแบบจำลอง

หัวข้อที่ 4.2 จะนำเสนอในส่วนของขนาดของแบบจำลองทั้งแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อและแบบจำลองตามเส้นทางสำหรับทั้งสองชุดปัญหา โดยลำดับการนำเสนอคือ ขนาดของโครงข่ายที่ทำการพิจารณา ขนาดของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และขนาดของแบบจำลองตามเส้นทางตามลำดับ

4.2.1 ขนาดของโครงข่ายที่จะทำการพิจารณา

ขนาดของโครงข่ายที่จะพิจารณานี้เกิดจากการพิจารณาโครงข่ายทางกายภาพซึ่งคือเส้นเชื่อมต่อซึ่งแทนบริการขนส่งเช่น รถบรรทุกหรือการขนส่งทางอากาศ และจุดยอดซึ่งแสดงถึงสถานที่ที่มีอยู่จริงเช่นศูนย์ควบรวมสินค้าหรือสนามบินต่าง ๆ รวมกับโครงข่ายเสมือนซึ่งมีความจำเป็นต้องพิจารณาในส่วนของเที่ยวบินทั้ง 90 เที่ยวบิน ซึ่งหลักการในการพิจารณาโครงข่ายเสมือนนั้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.2

ขนาดของโครงข่ายที่พิจารณาสำหรับปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 นั้นมีความแตกต่างกัน เนื่องด้วยการพิจารณาในส่วนของการเดินรถบรรทุกมีความแตกต่างกัน โดยตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของโครงข่ายสำหรับทั้งสองชุดปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.7 แสดงขนาดของโครงข่าย

ปัญหา	จำนวนจุดยอด	จำนวนเส้นเชื่อมต่อ
ปัญหาที่ 1	211	286
ปัญหาที่ 2	211	310

จากตารางที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าทั้งสองปัญหามีจำนวนจุดยอดเท่ากันในขณะที่จำนวนของเส้นเชื่อมต่อแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการพิจารณาการเดินรถในกรณีของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ต่างกันนั้นเอง

4.2.2 ขนาดของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ

การพิจารขนาดของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อนี้จะแสดงจำนวนของตัวแปรและจำนวนของสมการหรืออสมการเงื่อนไขซึ่งจะทำการเปรียบเทียบสำหรับทั้งปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 โดยในส่วนของจำนวนตัวแปรสำหรับแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงจำนวนตัวแปรในแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ

ชนิดของตัวแปร	จำนวนตัวแปร	
	ปัญหาที่ 1	ปัญหาที่ 2
x_{ij}^{k}	1,938	4,038
y_{ij}	286	310
t_{i}^{k}	1,440	2,886
รวม	3,664	7,234

จากตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาตัวแปร y_{ij} ซึ่งคือตัวแปรไบนารี่ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเส้นเชื่อมต่อ (i,j) ถูกเลือกใช้งานในการการขนส่งมิฉะนั้นแสดงค่าเป็น 0 พบว่าตัวแปร y_{ij} มีจำนวนเท่ากับจำนวนของเส้นเชื่อมต่อทั้งหมดที่จะต้องทำการพิจารณาบนโครงข่ายซึ่งคือ 286 ตัวแปรสำหรับปัญหาที่ 1 และ 310 ตัวแปรสำหรับปัญหาที่ 2 ซึ่งตัวแปรดังกล่าวสำหรับทั้งสองปัญหามีจำนวนเท่ากับจำนวนเส้นเชื่อมต่อบนโครงข่ายที่ต้องพิจารณา ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตัวแปร y_{ij} มีความสัมพันธ์เกี่ยวพันโดยตรงกับจำนวนของเส้นเชื่อมต่อในโครงข่าย

เงื่อนไขของแบบจำลองแบบจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อสามารถจำแนกออกได้เป็น 6 กลุ่ม คือ เงื่อนไขการอนุรักษ์การไหล, เงื่อนไขความสัมพันธ์ของเวลาในการเดินทาง, เงื่อนไขแสดงเวลาการออกเดินทางตามตารางบิน, เงื่อนไขแสดงเวลาการเดินทางมาถึงตามตารางบิน, เงื่อนไขแสดงเวลาที่สามารถขนส่งสินค้าได้, เงื่อนไขแสดงกำหนดเวลาในการส่งสินค้าถึงปลายทาง, และเงื่อนไขปริมาณการบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อ ซึ่งมีจำนวนรวมกันทั้งสิ้น 4,984 ข้อจำกัดสำหรับกรณีฐาน และ 9,874 ข้อจำกัดสำหรับแนวทางการปฏิบัติใหม่ที่นำเสนอโดยสามารถแจกแจงตามประเภทของข้อจำกัดกลุ่มต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนของเงื่อนไขในแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ

ข้อจำกัดเงื่อนไข	จำนวนเงื่อนไข	
	ปัญหาที่ 1	ปัญหาที่ 2
การอนุรักษ์การไหลของสินค้า	1,440	2,886
ความสัมพันธ์ของเวลาในการเดินทาง	1,938	4,038
เงื่อนไขแสดงเวลาการออกเดินทางตามตารางบิน	618	1,278
เงื่อนไขแสดงเวลาการเดินทางมาถึงตามตารางบิน	618	1,278
เงื่อนไขแสดงเวลาที่สามารถเริ่มทำการขนส่งสินค้าได้	42	42
เงื่อนไขแสดงกำหนดเวลาในการส่งสินค้าถึงปลายทาง	42	42
เงื่อนไขปริมาณการบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อ	286	310
รวม	4,984	9,874

4.2.3 ขนาดของแบบจำลองตามเส้นทาง

แบบจำลองตามเส้นทางมีตัวแปรที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 กลุ่มตัวแปรคือ ตัวแปร f_k^p และตัวแปร y_{ij} โดยจำนวนของตัวแปรทั้งสองประเภทสำหรับทั้งสองชุดปัญหาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงจำนวนตัวแปรในแบบจำลองตามเส้นทาง

ชนิดของตัวแปร	จำนวนตัวแปร	
	ปัญหาที่ 1	ปัญหาที่ 2
f_k^p	535	1,219
y_{ij}	286	310
รวม	821	1,529

จากตารางที่ 4.10 จำนวนตัวแปร f_k^p นั้นเกิดจากการพิจารณาว่าแต่ละชนิดสินค้านั้นมีเส้นทางใดบ้างที่เป็นไปได้กล่าวคือสามารถขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทางใดภายในเวลาที่กำหนด การได้มาซึ่งจำนวนของเส้นทางที่เป็นไปได้นี้ผู้วิจัยได้มาจากการทำการแจกแจงสมบูรณ์ (Complete Enumeration) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานและไม่มีประสิทธิภาพ โดยจำนวนของเส้นทางที่เป็นไปได้ 535 เส้นทางและ 1,219 เส้นทาง มาจากการพิจารณาเส้นทางทั้งหมด 1,984

เส้นทาง และ 7,258 เส้นทางสำหรับปัญหาที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนในกรณีของตัวแปร y_{ij} มีจำนวนเท่ากับจำนวนเส้นเชื่อมต่อในโครงข่ายที่พิจารณา เช่นเดียวกับแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ

เงื่อนไขของแบบจำลองตามเส้นทางนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ เงื่อนไขซึ่งเกี่ยวข้องสัดส่วนของสินค้าซึ่งกระจายไปบนแต่ละเส้นทาง และเงื่อนไขซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณการบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อ โดยจำนวนของเงื่อนไขในแบบจำลองตามเส้นทางสามารถแจกแจงได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงจำนวนของข้อจำกัดเงื่อนไขในแบบจำลองตามเส้นทาง

ข้อจำกัดเงื่อนไข	จำนวนข้อจำกัดเงื่อนไข	
	ปัญหาที่ 1	ปัญหาที่ 2
เงื่อนไขสัดส่วนของสินค้าซึ่งกระจายไปบนแต่ละเส้นทาง	42	42
เงื่อนไขปริมาณการบรรทุกสูงสุดบนเส้นเชื่อมต่อ	286	310
รวม	328	352

จากการพิจารณาตารางที่ 4.11 ทั้งสองปัญหามีจำนวนของเงื่อนไขสัดส่วนการกระจายสินค้าเท่ากัน 42 เงื่อนไข ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนสินค้าที่ต้องพิจารณาทั้งหมดในโครงข่าย ส่วนในกรณีของเงื่อนไขปริมาณการบรรทุกสูงสุดจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของเส้นเชื่อมต่อในโครงข่าย

แบบจำลองตามเส้นทางในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้ทำการหาผลเฉลยโดยการกำเนิดสดมภ์ซึ่งในการแก้ปัญหาโดยการกำเนิดสดมภ์มีลักษณะคือจำนวนของตัวแปรจะไม่คงที่โดยขึ้นกับค่าของราคาเงาปัญหาหลักที่จะพิจารณาดังนั้นในส่วนของขนาดของแบบจำลองตามเส้นทางซึ่งได้จากการแก้ปัญหาโดยวิธีการกำเนิดสดมภ์จะถูกนำไปเสนอรวมในหัวข้อของการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ซึ่งจะได้อธิบายต่อไป

4.3 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลย

หัวข้อที่ 4.3 นี้จะทำการนำเสนอในส่วนของเวลาซึ่งใช้ในการหาผลเฉลยของแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อเปรียบเทียบกับเวลาในการผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางซึ่งทำการหาผล

เฉลยโดยวิธีกำเนิดสดมภ์ ซึ่งจะพิจารณาเปรียบเทียบเวลาของการหาผลเฉลยสำหรับทั้งปัญหาที่ 1 และ ปัญหาที่ 2

หัวข้อที่ 4.3 นี้สามารถแยกเป็นหัวข้อย่อยคือ 4.3.1 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557) และ 4.3.2 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557) ในส่วนของเวลาการหาผลเฉลยในเดือนอื่น ๆ ได้ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ข.

4.3.1 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ

หัวข้อที่ 4.3.1 นำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ณ ราคาของต้นทุนการขนส่งทางอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท โดยเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับแบบจำลองทั้งสองรูปแบบของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 กรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.19	0.77	412	328
2,000	0.17	0.73	412	328
3,000	0.18	0.89	412	328
4,000	0.28	0.93	412	328
5,000	0.10	1.02	412	328
6,000	0.19	0.78	412	328
7,000	0.20	1.09	412	328
8,000	0.23	1.08	412	328
9,000	0.21	0.70	412	328
10,000	0.17	0.81	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.19	0.88		

ตารางที่ 4.13 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.64	0.97	427	352
2,000	0.71	1.02	427	352
3,000	0.75	1.01	427	352
4,000	0.67	0.97	427	352
5,000	0.67	0.98	430	352
6,000	0.70	1.01	434	352
7,000	0.66	1.02	434	352
8,000	0.55	1.12	434	352
9,000	0.70	0.87	434	352
10,000	0.57	1.00	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.66	1.00		

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยโดยเปรียบเทียบเวลาการหาผลเฉลยจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อกับเวลาการหาผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางของปัญหาที่ 1 และ 2 ตามลำดับในกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ซึ่งทั้งปัญหาที่ 1 และ 2 ในกรณีนี้เมื่อพิจารณาเวลาการหาผลเฉลยของทั้งสองปัญหาจะพบว่าแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อนั้นมีเวลาการหาผลเฉลยเฉลี่ยน้อยกว่าแบบจำลองตามเส้นทาง อย่างไรก็ดีผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองสามารถหาผลเฉลยได้ค่าที่ดีที่สุดโดยมีค่าเท่ากันทั้งสองแบบจำลอง

4.3.2 การนำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง

หัวข้อที่ 4.3.2 นำเสนอเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง ณ ราคาของต้นทุนการขนส่งทางอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท โดยเวลาในการหาผลเฉลยสำหรับแบบจำลองทั้งสองรูปแบบของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 กรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.14 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสตมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.21	1.10	420	328
2,000	0.31	0.88	420	328
3,000	0.28	0.78	420	328
4,000	0.22	0.81	420	328
5,000	0.29	0.94	420	328
6,000	0.17	1.07	420	328
7,000	0.38	0.96	420	328
8,000	0.30	0.87	420	328
9,000	0.29	0.96	420	328
10,000	0.21	0.98	420	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.27	0.94		

ตารางที่ 4.15 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสตมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.84	1.21	442	328
2,000	0.77	1.00	442	328
3,000	0.80	1.01	442	328
4,000	0.81	0.98	442	328
5,000	0.92	0.99	442	328
6,000	0.78	0.99	442	328
7,000	0.79	1.00	442	328
8,000	0.80	1.00	442	328
9,000	0.82	1.08	442	328
10,000	0.91	0.99	442	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.82	1.03		

จากตารางที่ 4.14 และ 4.15 แสดงเวลาในการหาผลเฉลยโดยเปรียบเทียบเวลาการหาผลเฉลยจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อกับเวลาการหาผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางของปัญหาที่ 1 และ 2 ตามลำดับในกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง ซึ่งทั้งปัญหาที่ 1 และ 2 ในกรณีนี้เมื่อพิจารณาเวลาการหาผลเฉลยของทั้งสองปัญหาจะพบว่าแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อนั้นมีเวลาการหาผลเฉลยเฉลี่ยน้อยกว่าแบบจำลองตามเส้นทางเช่นเดียวกับในกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ อย่างไรก็ดีผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองสามารถหาผลเฉลยได้ค่าที่ดีที่สุดโดยมีค่าเท่ากับทั้งสองแบบจำลอง

จากรายงานผลการวิจัยที่เคยมีมาในอดีต โดยทั่วไปได้มีการรายงานผลว่าปกติแล้วนั้นการหาผลเฉลยโดยวิธีการกำเนิดสดมภ์จะมีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่าแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ กล่าวคือเมื่อแบบจำลองมีขนาดใหญ่มาก การหาผลเฉลยจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อโดยวิธีแม่นตรงจะใช้เวลาการหาผลเฉลยนานมากเมื่อเทียบกับการหาผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางโดยวิธีกำเนิดสดมภ์ หรือในบางกรณีอาจไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ อย่างไรก็ดีสำหรับโครงข่ายและขนาดของแบบจำลองในงานวิจัยฉบับนี้ เมื่อพิจารณาขนาดของแบบจำลองจะพบว่าเป็นแบบจำลองที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นเวลาในการหาผลเฉลยเฉลี่ยโดยวิธีกำเนิดสดมภ์จึงอาจจะใช้เวลามากกว่าวิธีแม่นตรง ซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการในการหาเฉลยโดยวิธีกำเนิดสดมภ์จะมีกระบวนการที่มากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสำหรับปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งมีขนาดเล็กการจำลองปัญหาโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อจะมีความเหมาะสมกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหา

หัวข้อที่ 4.4 แสดงการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ทั้งในกรณีของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ และกรณีของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง โดยหัวข้อที่ 4.4 สามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยได้คือ 4.4.1 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ 4.4.2 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง

4.4.1 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ

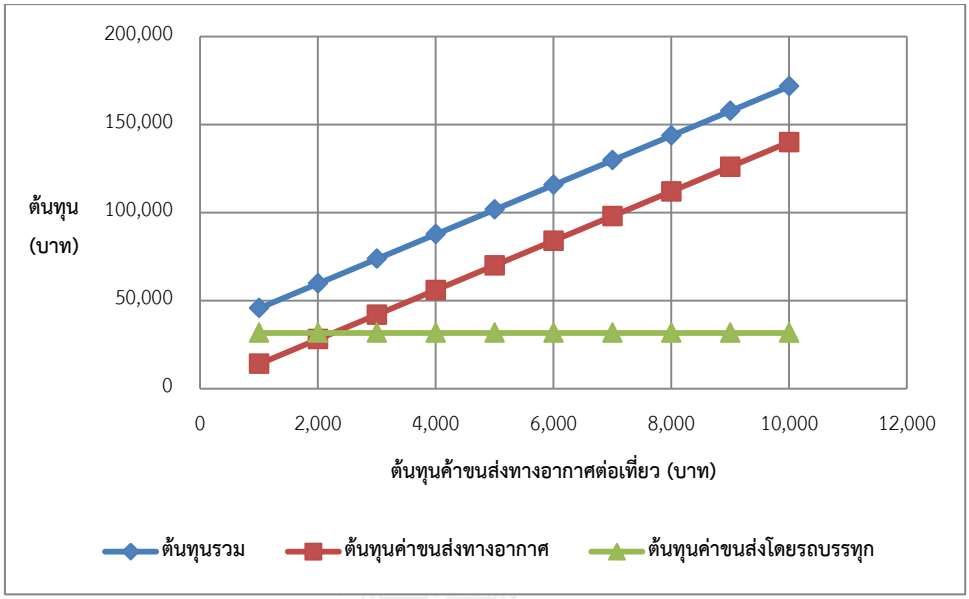
หัวข้อที่ 4.4.1 นำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ณ ราคาของต้นทุนการขนส่งทางอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท พบว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายที่สามารถหาได้จากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบมีค่าเท่ากัน ซึ่งผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.16 (ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายของปัญหาที่ 1 สำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติสำหรับเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 มีค่าเท่ากัน)

ตารางที่ 4.16 แสดงผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่าย (บาท)
1,000	45,714	14,000	31,714
2,000	59,714	28,000	31,714
3,000	73,714	42,000	31,714
4,000	87,714	56,000	31,714
5,000	101,714	70,000	31,714
6,000	115,714	84,000	31,714
7,000	129,714	98,000	31,714
8,000	143,714	112,000	31,714
9,000	157,714	126,000	31,714
10,000	171,714	140,000	31,714

ตารางที่ 4.16 แสดงต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย ณ ราคาค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท โดยต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายดังกล่าวนี้เป็นผลลัพธ์ซึ่งได้จากการหาผลเฉลยจากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ซึ่งเมื่อพิจารณาจะพบว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายนั้นเกิดจากผลรวมของต้นทุนค่า

ขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่ายและต้นทุนค่าขนส่งทางรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายนั่นเอง ซึ่งความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ในตารางที่ 4.16 นั้นจะสามารถวิเคราะห์โดยทำการสร้างกราฟดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 1 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าปกติ

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาจะพบว่าเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะพบว่าต้นทุนรวมทั้งโครงข่ายจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันหรือแปรผันโดยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับความสัมพันธ์ของค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวกับค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งระบบ ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวกับต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายนั้นจะพบว่าไม่ว่าต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศจะเปลี่ยนไปอย่างไรต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายจะคงที่เสมอ

จากความสัมพันธ์ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถตีความได้ว่าไม่ว่าต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เส้นทางการขนส่งโดยรถบรรทุกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (จากกราฟเป็นค่าคงที่) ส่วนในส่วนของการขนส่งทางอากาศจะสามารถตีความได้ว่าไม่ว่าต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร จำนวนเที่ยวบินที่ใช้ในการปฏิบัติงานจะไม่เปลี่ยนแปลง หรือสามารถกล่าวโดยสรุปได้ว่าสำหรับปัญหาที่ 1 ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินั้น

สามารถใช้แผนงานเพียงแผนงานเดียวในทุกช่วงของราคาที่เปลี่ยนแปลงไปของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่พิจารณา

จากการหาผลเฉลยดังแสดงในตารางที่ 4.16 นั้นผู้วิจัยจะทำการนำคำตอบของผลเฉลยมาแปรความเป็นแผนตารางการปฏิบัติงานการขนส่งโดยแนวทางการแปรความจากผลเฉลยจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อสามารถอธิบายดังนี้

- พิจารณาคำตอบของผลเฉลยตัวแปร x_{ij}^{k} เพื่อพิจารณาว่าสินค้าชนิดใดขนส่งอยู่บนเส้นเชื่อมต่อใดบ้าง
- พิจารณาคำตอบของผลเฉลยตัวแปร y_{ij} เพื่อพิจารณาว่าเส้นเชื่อมต่อใดบ้างที่จะถูกใช้งาน หรือกล่าวคือมีเที่ยวบินใดในโครงข่ายที่จะถูกเลือกใช้งาน และจะต้องทำการขนส่งโดยรถบรรทุกจากที่ใดไปที่ใดบ้าง
- พิจารณาคำตอบของผลเฉลยตัวแปร t_{i}^{k} เพื่อพิจารณาว่าสินค้าที่ k จะเดินทางมาถึงจุดยอด i ณ เวลาใด โดยคำตอบในส่วนนี้จะถูกนำไปพิจารณาเป็นตารางเวลา

แนวทางการพิจารณานำคำตอบของผลเฉลยจากแบบจำลองตามเส้นทางเพื่อนำไปสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งสำหรับการขนส่งโดยรถบรรทุกและตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศสามารถอธิบายได้ดังนี้

- พิจารณาคำตอบของผลเฉลยตัวแปร f_{k}^{p} เพื่อพิจารณาว่าสินค้าชนิดใดถูกกระจายออกไปยังเส้นทางใดบ้างในและในสัดส่วนเท่าใด
- พิจารณาคำตอบของผลเฉลยตัวแปร y_{ij} เพื่อพิจารณาว่าเส้นเชื่อมต่อใดบ้างที่จะถูกใช้งาน หรือกล่าวคือมีเที่ยวบินใดในโครงข่ายที่จะถูกเลือกใช้งาน และจะต้องทำการขนส่งโดยรถบรรทุกจากที่ใดไปที่ใดบ้าง

จากการแปรความผลเฉลยซึ่งได้จากแบบจำลองทั้งแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อและแบบจำลองตามเส้นทางนั้นพบว่า ในทุกช่วงของต้นทุนการขนส่งทางอากาศตั้งแต่ 1,000 ถึง 10,000 บาท นั้นสามารถแปรความผลเฉลยจากแบบจำลองเพื่อมาสร้างเป็นแผนการปฏิบัติการขนส่งได้เป็นลักษณะเดียวกันทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ดังได้อธิบายไว้ในรูปที่ 4.3 โดยพบว่าผลเฉลยของปัญหาที่ 1 กรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินี้มีได้ด้วยกันหลาย

คำตอบ (Multiple Optimal Solutions) กล่าวคือ ผลเฉลยที่ได้ให้ค่าที่ดีที่สุดคือต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายเท่ากันหากแต่มีการเลือกรูปแบบการไหลของสินค้าต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้คือเที่ยวบินที่เลือกใช้อาจแตกต่างกัน (หากแต่จำนวนเที่ยวบินที่เลือกใช้รวมคงที่) โดยผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองมีทั้งหมด 4 ผลเฉลยด้วยกัน อย่างไรก็ดีจากการคัดกรองของผู้วิจัยจากแง่มุมของความเหมาะสมในการดำเนินงานจึงเหลือผลเฉลยที่จะนำเสนอเป็นการปฏิบัติงานเพียง 2 แผนงานเท่านั้น คือแผนงานที่ 1 และ 2 (แผนงานที่ 1 และ 2 นี้สามารถใช้รองรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยรายวันในช่วงเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 ในการพิจารณาแบบปัญหาที่ 1 หากแต่จะแตกต่างกันในส่วนของ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ ซึ่งสำหรับ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของเดือนอื่น ๆ นั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค.)

<u>ตารางเวลาการขนส่งรูปแบบที่ 1</u>

จากการพิจารณาเฉลยจากแบบจำลองสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศในรูปแบบที่ 1 ได้ดังตารางที่ 4.17 ถึง 4.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 1 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	03:30 (วันที่ 2)	05:10 (วันที่ 2)	699	17%
อุดร	UTH	04:00 (วันที่ 2)	05:50 (วันที่ 2)	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,124	28%
ทุ่งสง	NST	20:30 (วันที่ 1)	23:00 (วันที่ 1)	940	24%
หาดใหญ่	HDY	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	19:30 (วันที่ 1)	21:30 (วันที่ 1)	646	16%
เด่นชัย	CNX	00:00 (วันที่ 2)	04:00 (วันที่ 2)	960	24%
ลำพูน	CNX	23:00 (วันที่ 1)	00:55 (วันที่ 2)	760	19%
UBP	อุบล	19:50 (วันที่ 2)	20:00 (วันที่ 2)	632	16%
UTH	อุดร	18:50 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	988	25%
KKC	ขอนแก่น	18:05 (วันที่ 2)	18:20 (วันที่ 2)	1,017	25%
NST	ทุ่งสง	16:10 (วันที่ 2)	17:10 (วันที่ 2)	890	22%

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
HDY	หาดใหญ่	15:15 (วันที่ 2)	15:30 (วันที่ 2)	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	14:30 (วันที่ 2)	15:00 (วันที่ 2)	611	15%
CNX	เด่นชัย	15:30 (วันที่ 2)	18:00 (วันที่ 2)	1,198	30%
CNX	ลำพูน	15:30 (วันที่ 2)	15:55 (วันที่ 2)	950	24%
				เฉลี่ย	23%

ตารางที่ 4.18 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 1 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	09:20	10:25	699	29%
UTH	DMK	09:05	10:00	1,092	46%
KKC	DMK	08:35	09:30	1,124	47%
NST	DMK	08:35	09:50	940	39%
HDY	DMK	08:30	09:55	1,212	50%
HKT	DMK	07:50	09:10	646	27%
CNX	DMK	08:20	09:35	1,720	72%
DMK	UBP	18:15	19:20	632	26%
DMK	UTH	17:15	18:20	988	41%
DMK	KKC	16:40	17:35	1,017	42%
DMK	NST	14:20	15:40	890	37%
DMK	HDY	13:30	14:45	1,147	48%
DMK	HKT	12:45	14:00	611	25%
DMK	CNX	13:45	15:00	2,148	89%
				เฉลี่ย	44%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ตารางเวลาการขนส่งรูปแบบที่ 2</u>

จากการพิจารณาเฉลยจากแบบจำลองสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศในรูปแบบที่ 2 ได้ดังตารางที่ 4.19 ถึง 4.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 2 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	03:30 (วันที่ 2)	05:10 (วันที่ 2)	699	17%
อุดร	UTH	04:00 (วันที่ 2)	05:50 (วันที่ 2)	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,124	28%
ทุ่งสง	NST	20:30 (วันที่ 1)	23:00 (วันที่ 1)	940	24%
หาดใหญ่	HDY	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	19:30 (วันที่ 1)	21:30 (วันที่ 1)	646	16%
เด่นชัย	CNX	00:00 (วันที่ 2)	04:00 (วันที่ 2)	960	24%
ลำพูน	CNX	23:00 (วันที่ 1)	00:55 (วันที่ 2)	760	19%
UBP	อุบล	19:50 (วันที่ 2)	20:00 (วันที่ 2)	632	16%
UTH	อุดร	18:50 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	988	25%
KKC	ขอนแก่น	20:05 (วันที่ 2)	20:20 (วันที่ 2)	1,017	25%
NST	ทุ่งสง	20:35 (วันที่ 2)	21:35 (วันที่ 2)	890	22%
HDY	หาดใหญ่	19:20 (วันที่ 2)	19:35 (วันที่ 2)	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	18:40 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	611	15%
CNX	เด่นชัย	18:40 (วันที่ 2)	21:10 (วันที่ 2)	1,198	30%
CNX	ลำพูน	18:40 (วันที่ 2)	19:05 (วันที่ 2)	950	24%
				เฉลี่ย	23%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.20 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 2 (เดือนตุลาคม 2557)

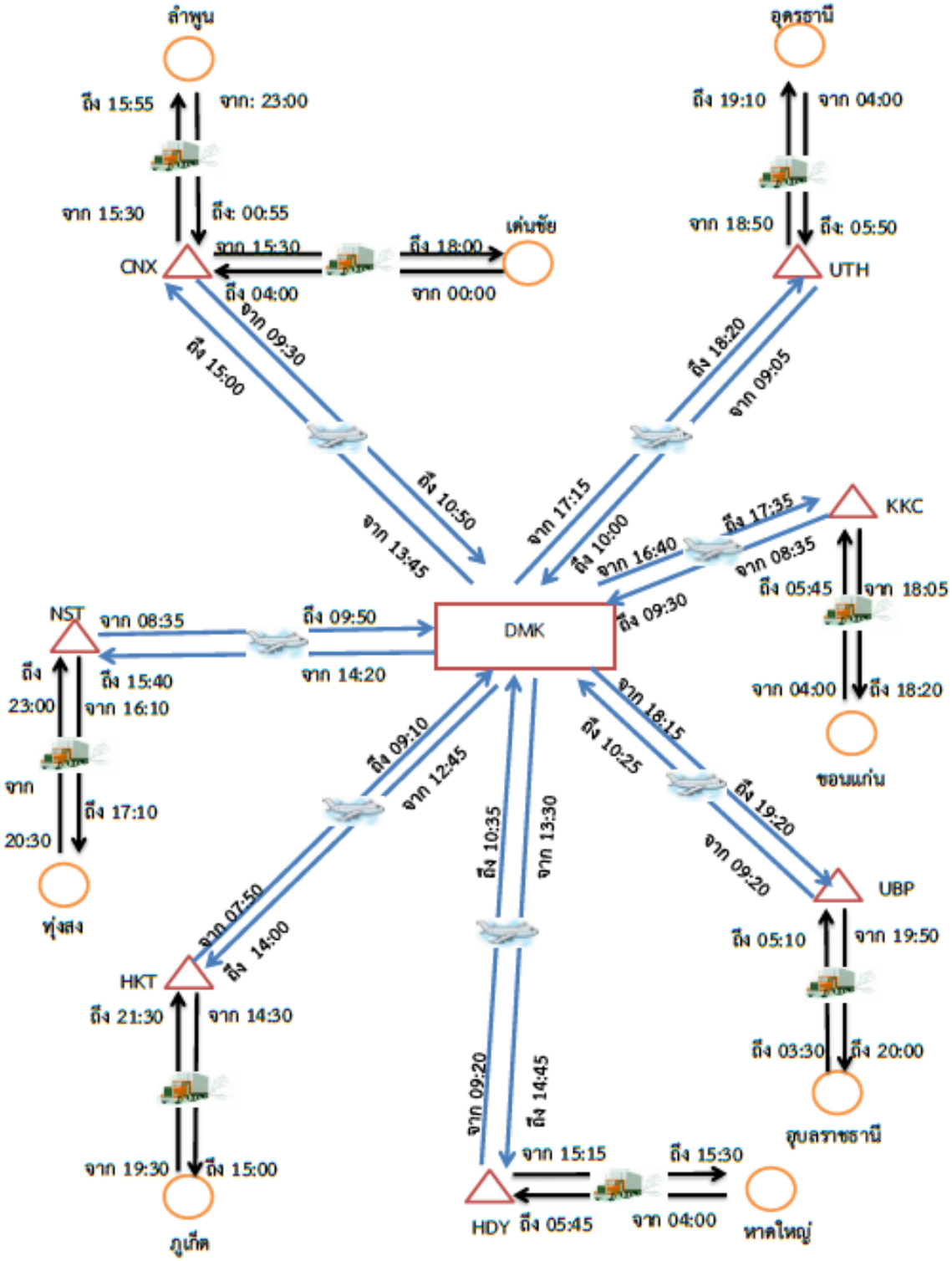
จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	09:20	10:25	699	29%
UTH	DMK	09:05	10:00	1,092	46%
KKC	DMK	08:35	09:30	1,124	47%
NST	DMK	08:35	09:50	940	39%
HDY	DMK	09:20	10:35	1,212	50%
HKT	DMK	08:40	10:10	646	27%
CNX	DMK	09:30	10:50	1,720	72%
DMK	UBP	18:15	19:20	632	26%
DMK	UTH	17:15	18:20	988	41%
DMK	KKC	18:40	19:35	1,017	42%

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	NST	18:45	20:05	890	37%
DMK	HDY	17:25	18:50	1,147	48%
DMK	HKT	16:55	18:10	611	25%
DMK	CNX	16:55	18:10	2,148	89%
				เฉลี่ย	44%

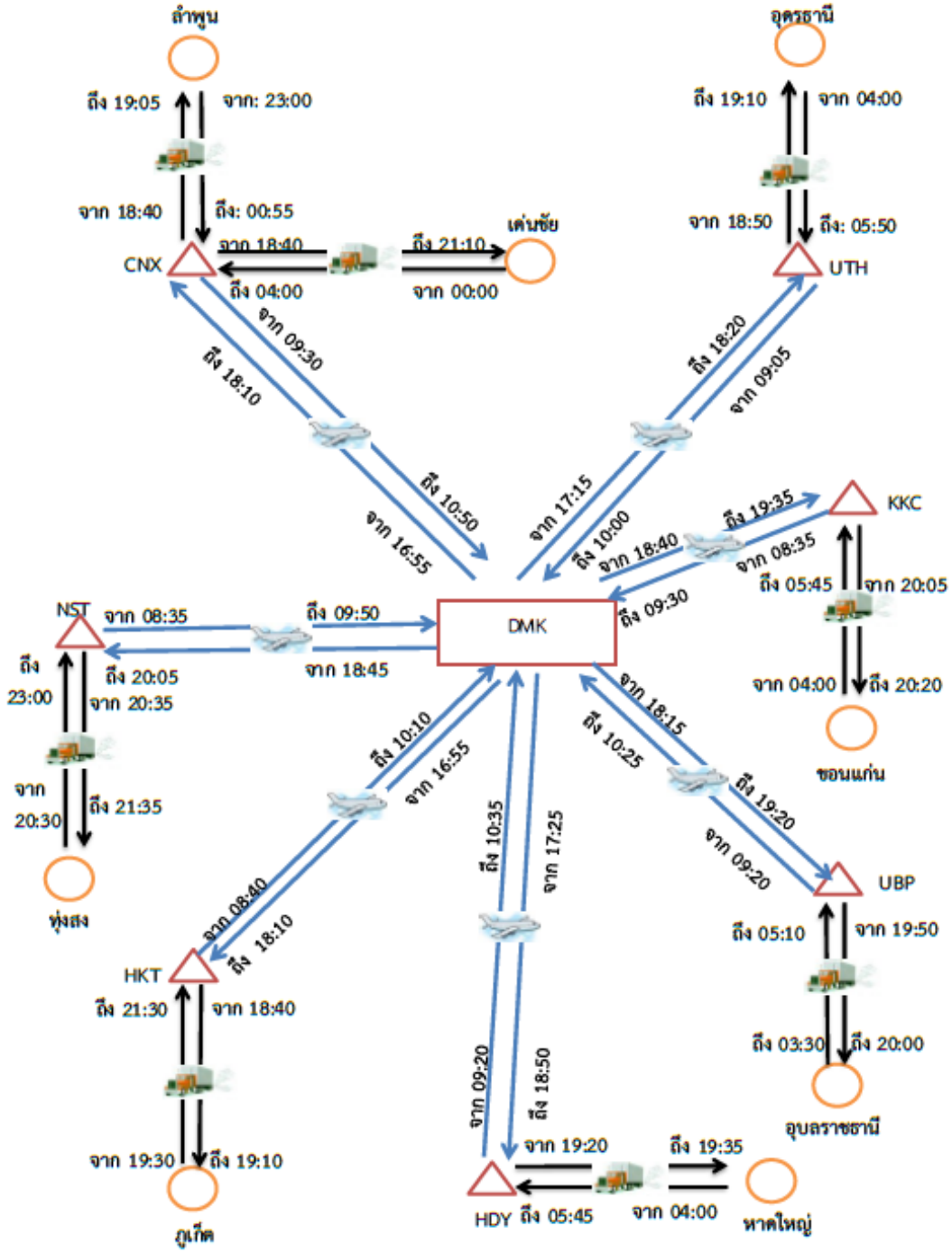
จากการพิจารณาตารางการเดินรถทั้งการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งทางอากาศทั้งสองรูปแบบซึ่งได้จากการแปรความผลเฉลยของปัญหาที่ 1 นี้ มีข้อสังเกตคือ ทั้งสองรูปแบบจำเป็นต้องมีการวิ่งเที่ยวของรถบรรทุกทั้งสิ้น 16 เที่ยว (ขาไปกลับอย่างละ 8 เที่ยว) และจำนวนของเที่ยวบินที่ต้องใช้ในการขนส่งทั้งหมด 14 เที่ยวบิน (ขาไปกลับอย่างละ 7 เที่ยวบิน) โดยเมื่อพิจารณาในส่วนของ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ (Utilization) ทั้งรถบรรทุกและเครื่องบินพบว่ามีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 50% ซึ่งหมายความในการวิ่งรถแต่ละเที่ยวหรือการใช้บริการการขนส่งทางอากาศแต่ละเที่ยวบินนั้นมีพื้นที่ว่างเหลืออยู่มาก

ตารางการเดินรถทั้งสองรูปแบบเมื่อทำการปรับเป็นแผนภาพจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ซึ่งแสดงในหน้าถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 1



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 2

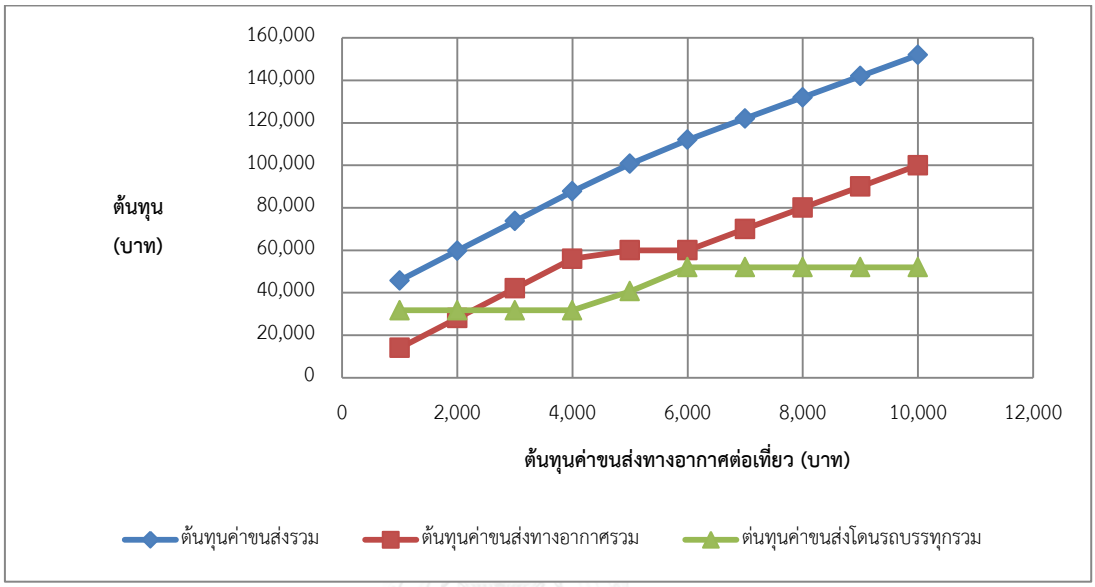
ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายของปัญหาที่ 2 สำหรับกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ณ ราคาของต้นทุนการขนส่งทางอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท พบว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายที่สามารถหาได้จากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบมีค่าเท่ากัน ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายของปัญหาที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.21 (ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายของปัญหาที่ 2 สำหรับกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติสำหรับเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 มีค่าเท่ากัน)

ตารางที่ 4.21 แสดงการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่าย (บาท)
1,000	45,714	14,000	31,714
2,000	59,714	28,000	31,714
3,000	73,714	42,000	31,714
4,000	87,714	56,000	31,714
5,000	100,710	60,000	40,710
6,000	111,978	60,000	51,978
7,000	121,978	70,000	51,978
8,000	131,978	80,000	51,978
9,000	141,978	90,000	51,978
10,000	151,978	100,000	51,978

ตารางที่ 4.21 แสดงต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย ณ ราคาค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท โดยต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายดังกล่าวนี้เป็นผลลัพธ์ซึ่งได้จากการหาผลเฉลยจากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ ซึ่งเมื่อพิจารณาจะพบว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายนั้นเกิดจากผลรวมของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่ายและต้นทุนค่าขนส่งทางรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายนั่นเอง ซึ่ง

ความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ในตารางที่ 4.21 นั้นจะสามารถวิเคราะห์โดยทำการสร้างกราฟดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 2 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าปกติ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวมีการเปลี่ยนแปลงไป ในช่วงแรกต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายแปรผันตรงกันกับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเช่นเดียวกับในปัญหาที่ 1 จากนั้นจะมีความชันลดต่ำลงซึ่งหมายความว่าเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวสูงขึ้นถึงระดับหนึ่งการพิจารณาวางแผนปฏิบัติงานบนโครงข่ายในลักษณะของปัญหาที่ 2 กรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินั้นจะมีต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายต่ำกว่า ซึ่งเมื่อพิจารณาลงไปในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่ายกับต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวจะพบว่าในช่วงแรกจะแปรผันตรงกันจากนั้นจะคงที่และแปรผันตรงกันอีกครั้งหนึ่ง ส่วนในกรณีของความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายกับต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวพบว่าในช่วงแรกต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายจะเป็นคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นและคงที่อีกครั้ง

จากความสัมพันธ์ทั้งหมดที่กล่าวมาสามารถตีความได้ว่าเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวเปลี่ยนแปลงไปในช่วงแรกคือ 1,000 - 4,000 บาท นั้นเส้นทางการขนส่งโดยรถบรรทุกจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงและจำนวนเที่ยวบินที่ใช้ในการขนส่งทางอากาศจะเท่ากันทั้งหมดในช่วงต้นทุนนี้ (เหตุผลเช่นเดียวการพิจารณาปัญหาที่ 1) ในช่วงที่สองคือเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศเท่ากับ 5,000 บาท เส้นทางการขนส่งโดยรถบรรทุกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงและจำนวนเที่ยวบินสำหรับการขนส่งทางอากาศจะลดลง และในช่วงสุดท้ายคือเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวคือ 6,000 - 10,000 บาท จะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งซึ่งเป็นลักษณะเช่นเดียวกับในช่วงที่สอง ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศและต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่ายคือในช่วงต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวดังกล่าวนั้นแบบจำลองได้ตัดสินใจทำการควบรวมสินค้าภายในแต่ละภูมิภาคโดยพิจารณาที่จะทำการขนส่งโดยรถบรรทุกเป็นระยะทางไกลขึ้น เช่นจากเดิมสินค้าซึ่งมีต้นทางอยู่ที่ศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานีจะต้องไปใช้บริการขนส่งทางอากาศผ่านทางสนามบินอุดรธานีเท่านั้นหากแต่ในกรณีนี้แบบจำลองอาจเปลี่ยนเส้นทางการวิ่งมายังสนามบินขอนแก่นแทนเพื่อนำสินค้าจากอุดรธานีมาใช้งานการขนส่งทางอากาศในเที่ยวบินกันกับสินค้าที่มีต้นทางการขนส่งอยู่ที่ศูนย์ควบรวมขอนแก่นเป็นต้น ซึ่งเหตุดังกล่าวนี้เองจึงเป็นสาเหตุของการที่การตัดสินใจจากแบบจำลองในลักษณะของปัญหาที่ 2 ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินี้มีต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายต่ำกว่าปัญหาที่ 1 นั้นเอง ดังนั้นเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทั้งสามช่วงนั้นจึงสรุปได้ว่าในช่วงของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่พิจารณานี้ควรจะมีอย่างน้อยสามรูปแบบของการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน

จากการหาผลเฉลยดังแสดงในตารางที่ 4.21 นั้นผู้วิจัยจะทำการนำคำตอบของผลเฉลยมาแปรความเป็นแผนตารางการปฏิบัติงานการขนส่งโดยแนวทางการแปลความจากผลเฉลยจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อและแบบจำลองตามเส้นทางสามารถพิจารณาได้เช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้า

จากการแปลความผลเฉลยของปัญหาที่ 2 ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินั้น พบว่าในช่วงที่ต้นทุนการขนส่งทางอากาศอยู่ระหว่าง 1,000 - 4,000 บาทนั้นสามารถแปรความจากผลเฉลยได้เหมือนกับผลเฉลยจากปัญหาที่ 1 กล่าวคือผลเฉลยในช่วงของต้นทุนการขนส่งทางอากาศดังกล่าวจะสามารถนำมาจัดเป็นตารางการเดินรถของการขนส่งโดยรถบรรทุกการขนส่งทางอากาศได้เป็น รูปแบบที่ 1 และ 2

เมื่อต้นทุนการขนส่งทางอากาศเท่ากับ 5,000 บาท ผลเฉลยจะเปลี่ยนไปทำให้ตารางการดำเนินการขนส่งจะปรับเปลี่ยนไปโดยจากการแปรความจะสามารถจัดเป็นตารางการขนส่งรูปแบบที่ 3 และผลเฉลยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศอยู่ในช่วง 6,000 บาท ถึง 10,000 ซึ่งสามารถสรุปเป็นแผนงานได้ดังแผนงานการขนส่งรูปแบบที่ 4 (แผนงานที่ 3 และ 4 นี้สามารถใช้รองรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเฉลี่ยรายวันในช่วงเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 ในการพิจารณาแบบปัญหาที่ 2 หากแต่จะแตกต่างกันในส่วนของ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ ซึ่งสำหรับ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของเดือนอื่น ๆ นั้นได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค.)

ตารางเวลาการขนส่งรูปแบบที่ 3

จากการพิจารณาเฉลยจากแบบจำลองสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศรูปแบบที่ 3 ได้ดังตารางที่ 4.22 ถึง 4.23

ตารางที่ 4.22 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 3 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	03:30 (วันที่ 2)	05:10 (วันที่ 2)	699	17%
อุดร	KKC	04:00 (วันที่ 2)	07:00 (วันที่ 2)	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,124	28%
ทุ่งสง	NST	20:30 (วันที่ 1)	23:00 (วันที่ 1)	940	24%
หาดใหญ่	HDY	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	19:30 (วันที่ 1)	21:30 (วันที่ 1)	646	16%
เด่นชัย	CNX	00:00 (วันที่ 2)	04:00 (วันที่ 2)	960	24%
ลำพูน	CNX	23:00 (วันที่ 1)	00:55 (วันที่ 2)	760	19%
UBP	อุบล	19:50 (วันที่ 2)	20:00 (วันที่ 2)	632	16%
KKC	อุดร	18:05 (วันที่ 2)	19:35 (วันที่ 2)	988	25%
KKC	ขอนแก่น	18:05 (วันที่ 2)	18:20 (วันที่ 2)	1,017	25%
NST	ทุ่งสง	20:35 (วันที่ 2)	21:35 (วันที่ 2)	890	22%
HDY	หาดใหญ่	17:40 (วันที่ 2)	17:55 (วันที่ 2)	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	18:40 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	611	15%
CNX	เด่นชัย	18:40 (วันที่ 2)	21:10 (วันที่ 2)	1,198	30%
CNX	ลำพูน	18:40 (วันที่ 2)	19:05 (วันที่ 2)	950	24%
				เฉลี่ย	23%

ตารางที่ 4.23 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 3 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	09:20	10:25	699	29%
KKC	DMK	12:25	13:10	2,216	92%
NST	DMK	08:35	09:50	940	39%
HDY	DMK	08:30	09:55	1,212	50%
HKT	DMK	07:50	09:10	646	27%
CNX	DMK	08:20	09:35	1,720	72%
DMK	UBP	18:15	19:20	632	26%
DMK	KKC	16:40	17:35	2,005	84%
DMK	NST	18:45	20:05	890	37%
DMK	HDY	15:45	17:10	1,147	48%
DMK	HKT	16:55	18:10	611	25%
DMK	CNX	16:55	18:10	2,148	89%
				เฉลี่ย	52%

ตารางเวลาการขนส่งรูปแบบที่ 4

จากการพิจารณาเฉลยจากแบบจำลองสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศรูปแบบที่ 4 ได้ดังตารางที่ 4.24 ถึง 4.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.24 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 4 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	03:30 (วันที่ 2)	05:10 (วันที่ 2)	699	17%
อุดร	KKC	04:00 (วันที่ 2)	07:00 (วันที่ 2)	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,124	28%
ทุ่งสง	HDY	20:30 (วันที่ 1)	00:30 (วันที่ 2)	940	24%
หาดใหญ่	HDY	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	19:30 (วันที่ 1)	21:30 (วันที่ 1)	646	16%
เด่นชัย	CNX	00:00 (วันที่ 2)	04:00 (วันที่ 2)	960	24%
ลำพูน	CNX	23:00 (วันที่ 1)	00:55 (วันที่ 2)	760	19%
UBP	อุบล	19:50 (วันที่ 2)	20:00 (วันที่ 2)	632	16%
KKC	อุดร	18:05 (วันที่ 2)	19:35 (วันที่ 2)	988	25%

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
KKC	ขอนแก่น	18:05 (วันที่ 2)	18:20 (วันที่ 2)	1,017	25%
HDY	ทุ่งสง	17:40 (วันที่ 2)	20:10 (วันที่ 2)	890	22%
HDY	หาดใหญ่	17:40 (วันที่ 2)	17:55 (วันที่ 2)	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	18:40 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	611	15%
CNX	เด่นชัย	18:40 (วันที่ 2)	21:10 (วันที่ 2)	1,198	30%
CNX	ลำพูน	18:40 (วันที่ 2)	19:05 (วันที่ 2)	950	24%
				เฉลี่ย	23%

ตารางที่ 4.25 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 4 (เดือนตุลาคม 2557)

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	09:20	10:25	699	29%
KKC	DMK	12:25	13:10	2,216	92%
HDY	DMK	08:30	09:55	2,152	90%
HKT	DMK	07:50	09:10	646	27%
CNX	DMK	08:20	09:35	1,720	72%
DMK	UBP	18:15	19:20	632	26%
DMK	KKC	16:40	17:35	2,005	84%
DMK	HDY	15:45	17:10	2,037	85%
DMK	HKT	16:55	18:10	611	25%
DMK	CNX	19:20	20:45	2,148	89%
				เฉลี่ย	62%

จากการพิจารณาแผนการดำเนินงานรูปแบบที่ 3 และ 4 ซึ่งได้จากการแปรความผลเฉลยของปัญหาที่ 2 ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ เมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศเป็น 5,000 บาท หรืออยู่ในช่วง 6,000 - 10,000 นั้นสามารถอภิปรายทั้งสองแผนงานได้ดังนี้

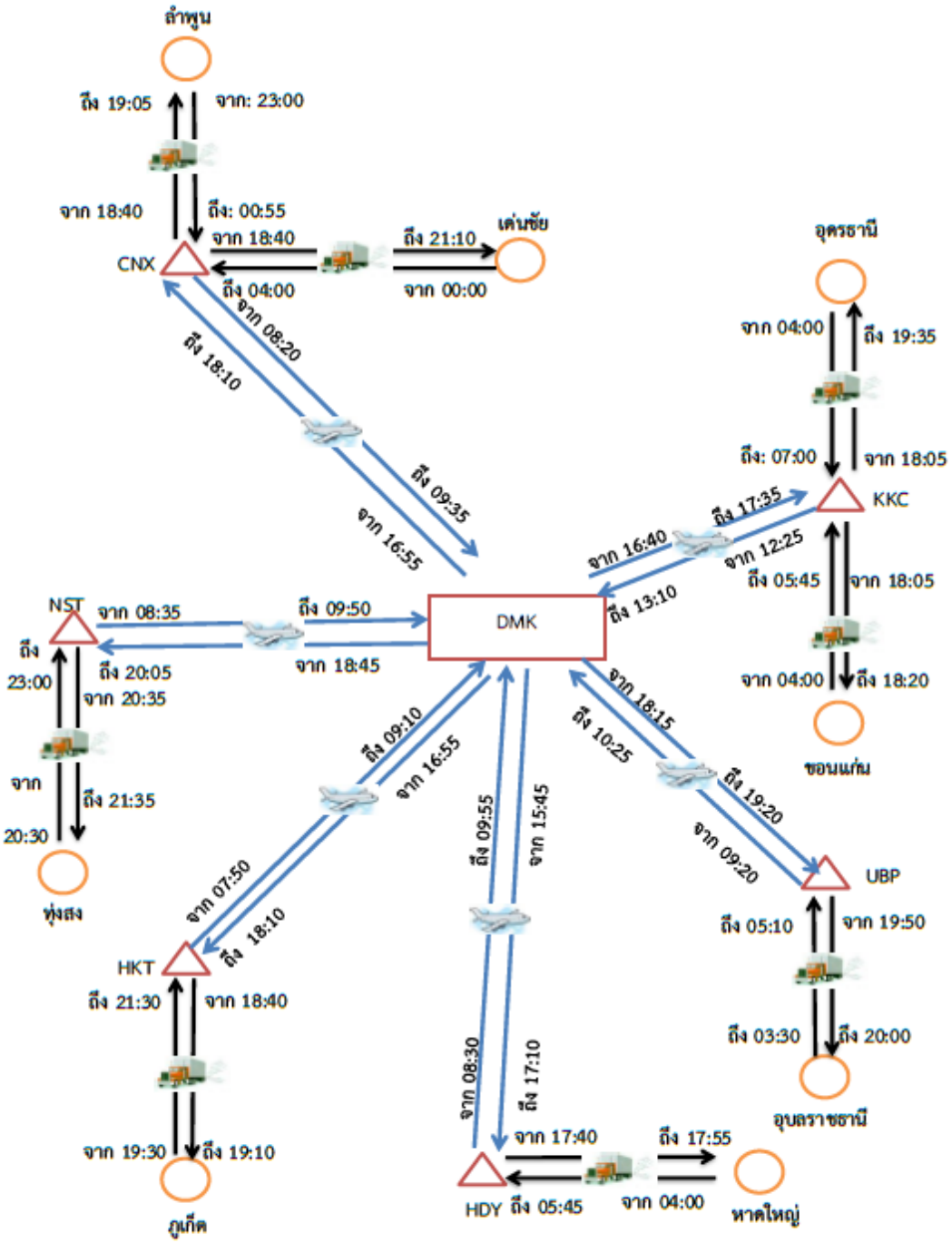
- แผนงานรูปแบบที่ 3 เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าจะมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถในส่วนของภาคอีสานคือจากเดิมในแผนงานที่ 1 และ 2 นั้นจะต้องเดินรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานีไปยังสนามบินอุดรธานีเท่านั้น (หรือกลับกัน) หากแต่แผนงานที่ 3 จะวิ่งรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานีไปยังสนามบินขอนแก่น ซึ่งสิ่งที่ตามมาคือสินค้าที่มีต้นทางที่ศูนย์ควบ

รวมสินค้าอุดรธานีจะทำการขนส่งทางอากาศผ่านทางสนามบินขอนแก่น ทำให้จำนวนเที่ยวบินซึ่งต้องใช้ในการขนส่งในโครงข่ายลดลงจาก 14 เที่ยวบินเหลือเพียง 12 เที่ยวบินเท่านั้นซึ่งทำให้ต้นทุนรวมลดลงและนอกจากนี้ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ในการขนส่งทางอากาศยังเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากการควบรวมสินค้านั้นเอง

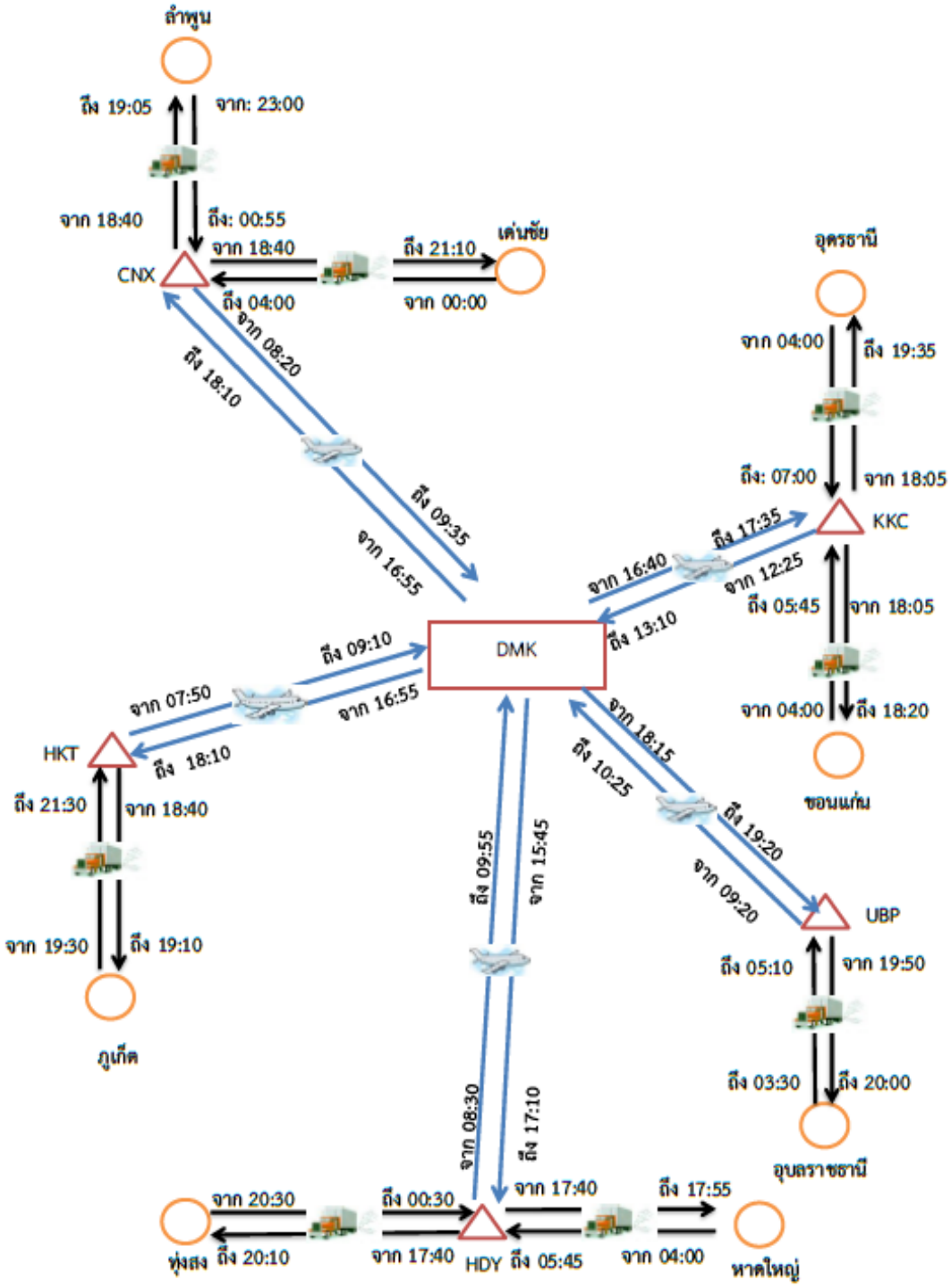
- แผนงานรูปแบบที่ 4 เมื่อพิจารณาจะเห็นได้ว่าจะมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถในส่วนของภาคอีสาน และใต้ จากเดิมในแผนงานที่ 1 และ 2 นั้นจะต้องเดินรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานีไปยังสนามบินอุดรธานีเท่านั้น (หรือกลับกัน) ในกรณีของภาคอีสาน และจะต้องเดินรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าทุ่งสงไปยังสนามบินนครศรีธรรมราช ในกรณีของภาคใต้ หากแต่แผนงานที่ 5 จะวิ่งรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าอุดรธานีไปยังสนามบินขอนแก่นและ วิ่งรถจากศูนย์ควบรวมสินค้าทุ่งสงไปยังสนามบินหาดใหญ่แทน ทำให้จำนวนเที่ยวบินซึ่งต้องใช้ในการขนส่งในโครงข่ายลดลงจาก 14 เที่ยวบินเหลือเพียง 10 เที่ยวบินเท่านั้นซึ่งทำให้ต้นทุนรวมลดลงและนอกจากนี้ % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ในการขนส่งทางอากาศยังเพิ่มขึ้นอันเป็นผลมาจากการควบรวมสินค้านั้นเอง

ตารางการดำเนินงานรูปแบบที่ 3 และ 4 เมื่อทำการปฏิบัติเป็นแผนภาพจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 3



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 4

จากการพิจารณาหาผลเฉลยและแปลความผลเฉลยดังกล่าวเป็นแผนการดำเนินงานในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติสำหรับทั้งในลักษณะการปฏิบัติงานดังปัญหาที่ 1 และ ปัญหาที่ 2 นั้นสามารถพิจารณาออกมาได้เป็นแผนงานที่ 1, 2, 3, และ 4 ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 4 แผนงานสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงความแตกต่างของแผนงานต่าง ๆ ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนตุลาคม 2557)

	จำนวน สนามบิน	**จำนวน เที่ยวบิน**	**% การใช้ประโยชน์จาก พื้นที่ (รถบรรทุก)**	**% การใช้ประโยชน์จาก พื้นที่ (การขนส่งทางอากาศ)**
แผนที่ 1 และ 2	8	14	23%	44%
แผนที่ 3	7	12	23%	52%
แผนที่ 4	6	10	23%	62%

4.4.2 การนำเสนอผลเฉลยของปัญหากรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง

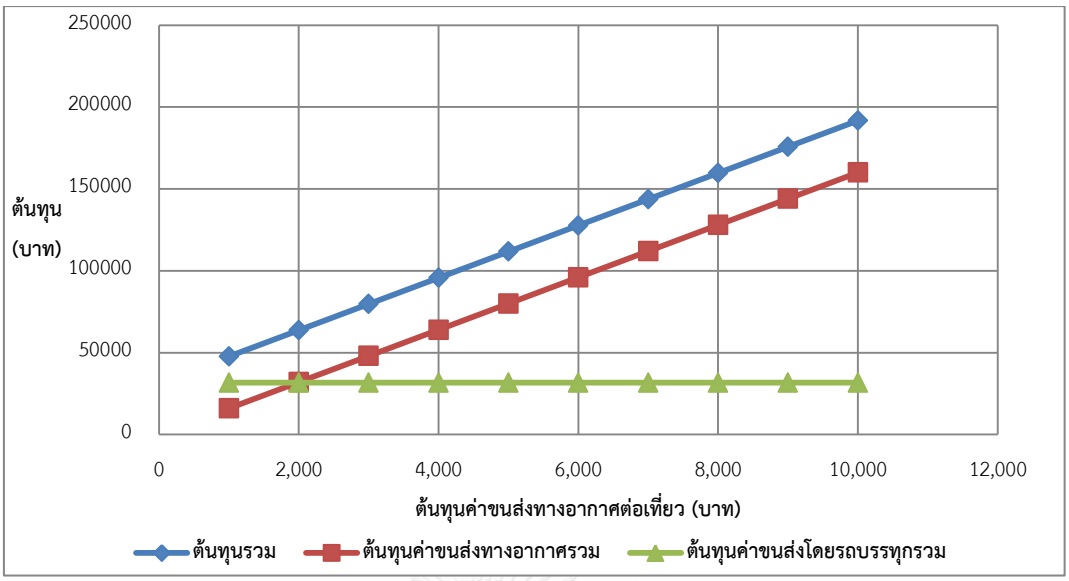
หัวข้อที่ 4.4.2 นำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 สำหรับกรณีที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง ณ ราคาของต้นทุนการขนส่งทางอากาศซึ่งเปลี่ยนแปลงค่าตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท พบว่าผลเฉลยที่สามารถหาได้จากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบมีค่าเท่ากันทั้งปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ซึ่งผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 แสดงการนำเสนอผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง (เดือนพฤษภาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ รวมทั้งโครงข่าย (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งโดยรถบรรทุก รวมทั้งโครงข่าย (บาท)
1,000	47,714	16,000	31,714
2,000	63,714	32,000	31,714
3,000	79,714	48,000	31,714
4,000	95,714	64,000	31,714
5,000	111,714	80,000	31,714
6,000	127,714	96,000	31,714
7,000	143,714	112,000	31,714
8,000	159,714	128,000	31,714
9,000	175,714	144,000	31,714
10,000	191,714	160,000	31,714

ตารางที่ 4.27 แสดงต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่าย ณ ราคาค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่แตกต่างกันตั้งแต่ 1,000 - 10,000 บาท โดยต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายดังกล่าวนี้เป็นผลลัพธ์ซึ่งได้จากการหาผลเฉลยจากแบบจำลองทั้งสองรูปแบบของปัญหาที่ 1 และ 2 กรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง เมื่อพิจารณาจะพบว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายเกิดจากผลรวมของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศรวมทั้งโครงข่ายและต้นทุนค่าขนส่งทางรถบรรทุกรวมทั้งโครงข่าย ซึ่งความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ในตารางที่ 4.27 สามารถวิเคราะห์โดยทำการสร้างกราฟดังรูปที่ 4.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 1 และ 2 กรณีปริมาณความต้องการสินค้าสูง

จากการพิจารณารูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงกราฟความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ของปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง พบว่าความสัมพันธ์ของต้นทุนต่าง ๆ ในกราฟเป็นไปในลักษณะเดียวกับในกราฟดังรูปที่ 4.3 ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันคือ ในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงนี้ทั้งผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 นั้นเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวเปลี่ยนแปลงไป เส้นทางการขนส่งโดยรถบรรทุกในโครงข่ายจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่จำนวนเที่ยวบินจะคงที่

เมื่อพิจารณานำผลเฉลยของปัญหาที่ 1 และ 2 มาแปลความเป็นแผนการปฏิบัติงานจะสามารถพิจารณาได้เป็นแผนงานที่ 5

ตารางเวลาการขนส่งรูปแบบที่ 5

จากการพิจารณาผลเฉลยจากแบบจำลองสามารถนำมาสร้างเป็นตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศรูปแบบที่ 5 ได้ดังตารางที่ 4.28 ถึง 4.29

ตารางที่ 4.28 ตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุก รูปแบบที่ 5

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	03:30 (วันที่ 2)	05:10 (วันที่ 2)	1,136	28%
อุดร	UTH	04:00 (วันที่ 2)	05:50 (วันที่ 2)	1,320	33%
ขอนแก่น	KKC	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,122	28%
ทุ่งสง	NST	20:30 (วันที่ 1)	23:00 (วันที่ 2)	936	23%
หาดใหญ่	HDY	04:00 (วันที่ 2)	05:45 (วันที่ 2)	1,383	35%
ภูเก็ต	HKT	19:30 (วันที่ 1)	21:30 (วันที่ 1)	1,022	26%
เด่นชัย	CNX	00:00 (วันที่ 2)	04:00 (วันที่ 2)	2,927	73%
ลำพูน	CNX	23:00 (วันที่ 1)	00:55 (วันที่ 2)	864	22%
UBP	อุบล	19:50 (วันที่ 2)	20:00 (วันที่ 2)	1,137	28%
UTH	อุดร	18:50 (วันที่ 2)	19:10 (วันที่ 2)	1,322	33%
KKC	ขอนแก่น	18:05 (วันที่ 2)	18:20 (วันที่ 2)	1,124	28%
NST	ทุ่งสง	20:35 (วันที่ 2)	21:35 (วันที่ 2)	983	25%
HDY	หาดใหญ่	17:40 (วันที่ 2)	17:55 (วันที่ 2)	1,451	36%
HKT	ภูเก็ต	17:30 (วันที่ 2)	18:00 (วันที่ 2)	1,073	27%
CNX	เด่นชัย	18:40 (วันที่ 2)	21:10 (วันที่ 2)	2,796	70%
CNX	ลำพูน	18:40 (วันที่ 2)	19:05 (วันที่ 2)	825	21%
				เฉลี่ย	33%

ตารางที่ 4.29 ตารางเวลาการขนส่งโดยการขนส่งทางอากาศ รูปแบบที่ 5

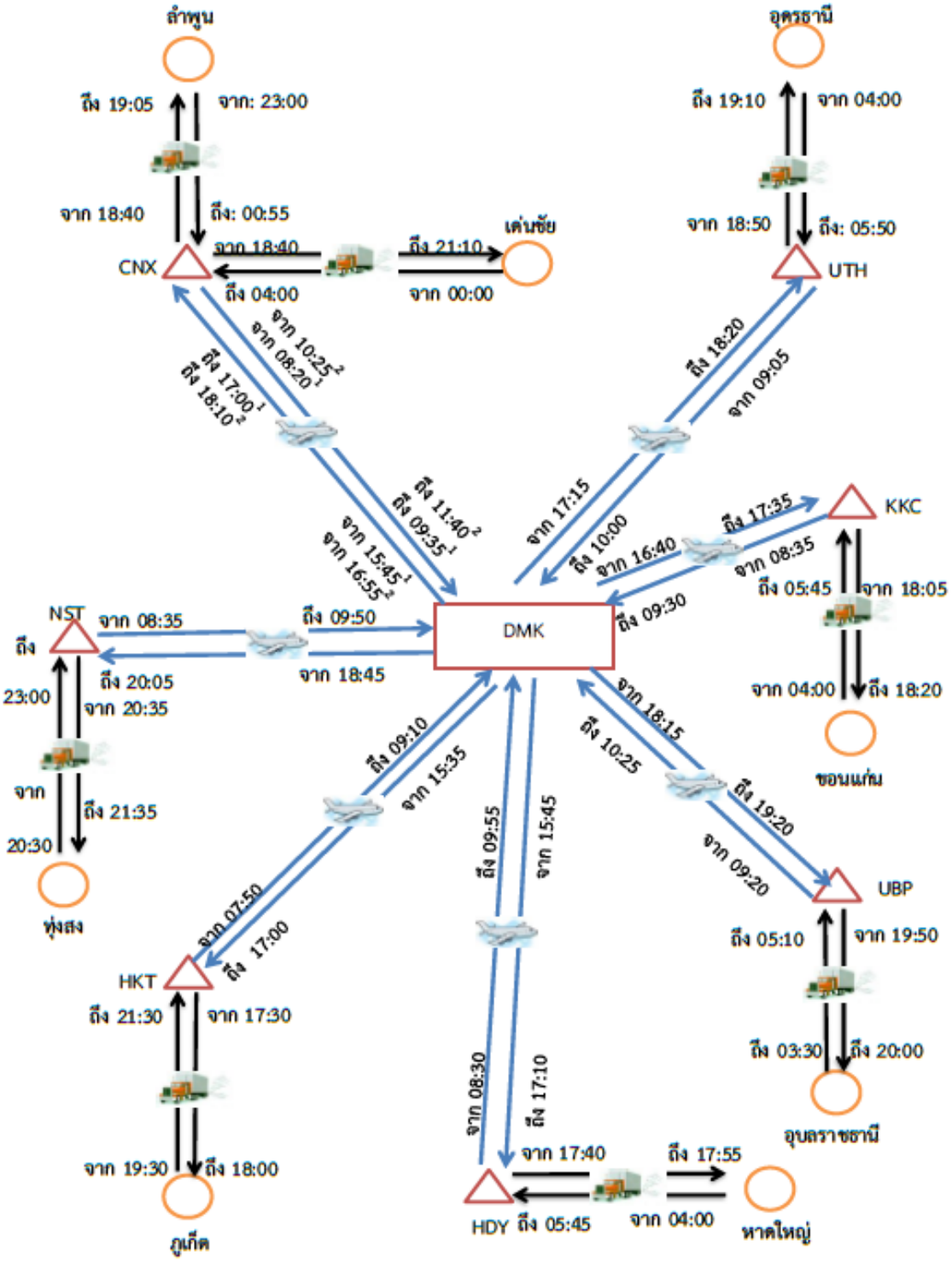
จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	09:20	10:25	1,136	47%
UTH	DMK	09:05	10:00	1,320	55%
KKC	DMK	08:35	09:30	1,122	47%
NST	DMK	08:35	09:50	936	39%
HDY	DMK	08:30	09:55	1,383	58%
HKT	DMK	07:50	09:10	1,022	43%
CNX	DMK	08:20	09:35	2,218	92%
		10:25	11:40	1,573	66%
DMK	UBP	18:15	19:20	1,137	47%
DMK	UTH	17:15	18:20	1,322	55%
DMK	KKC	16:40	17:35	1,124	47%
DMK	NST	18:45	20:05	983	41%

จาก	ถึง	เวลาออกเดินทาง	เวลามาถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	HDY	15:45	17:10	1,451	60%
DMK	HKT	15:35	17:00	1,073	45%
DMK	CNX	15:45	17:00	2,123	88%
		16:55	18:10	1,498	62%
				เฉลี่ย	56%

จากตารางที่ 4.28 และ 4.29 แสดงตารางเวลาการขนส่งโดยรถบรรทุกและตารางเวลาการขนส่งทางอากาศของแผนงานที่ 5 สามารถสังเกตได้ว่าจำนวนเที่ยวบินที่จำเป็นต้องใช้ในแผนงานที่ 5 คือ 16 เที่ยวบิน ซึ่งจากตารางที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าเที่ยวบินในเส้นทางจากสนามบินเชียงใหม่มายังสนามบินดอนเมืองและเส้นทางจากสนามบินดอนเมืองมายังสนามบินเชียงใหม่จำเป็นต้องใช้เที่ยวบินทั้งหมด 2 เที่ยวบินในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากปริมาณสินค้าที่จำนวนต้องใช้เส้นทางดังกล่าวไม่สามารถขนส่งได้หมดโดยเที่ยวบินเดียวนั่นเอง

ตารางการดำเนินงานรูปแบบที่ 5 เมื่อทำการปฏิบัติเป็นแผนภาพจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งได้แสดงไว้ในหน้าถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงแผนงานการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ รูปแบบที่ 5

4.5 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบัน

หัวข้อที่ 4.5 นำเสนอการเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4.4 เทียบกับต้นทุนเฉลี่ยในการปฏิบัติงานต่อวันของระบบการปฏิบัติงานในโครงข่ายในงานวิจัยฉบับนี้ในปัจจุบัน โดยในหัวข้อที่ 4.5 นี้แบ่งออกเป็นหัวข้อย่อย 4.5.1 และ 4.5.2 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงตามลำดับ

4.5.1 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบันกรณีกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ

หัวข้อที่ 4.5.1 นำเสนอการเปรียบต้นทุนของปัญหาที่ 1 และ 2 เทียบกับต้นทุนการปฏิบัติงานเฉลี่ยรายวันกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (ต้นทุนนี้พิจารณาโดยใช้โครงสร้างต้นทุนในงานวิจัยฉบับนี้เท่านั้น) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงกรณีปริมาณความต้องการปกติ (เดือนตุลาคม 2557)

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	46,181	45,714	45,714
2,000	60,647	59,714	59,714
3,000	75,114	73,714	73,714
4,000	89,581	87,714	87,714
5,000	104,047	101,714	100,710
6,000	118,514	115,714	111,978
7,000	132,981	129,714	121,978
8,000	147,447	143,714	131,978
9,000	161,914	157,714	141,978
10,000	176,381	171,714	151,978

จากตารางที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมเฉลี่ยรายวันของการปฏิบัติงานจริงในเดือนตุลาคม 2557 ซึ่งคือในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินั้นจะสูงกว่าต้นทุนค่าขนส่งรวมซึ่งได้จากปัญหาที่ 1 และ 2 อย่างไรก็ดี ในช่วงเดือนมิถุนายน 2557 - เดือนมกราคม 2558 จะมีบางเดือนที่ต้นทุนค่าขนส่งรวมเฉลี่ยรายวันของการปฏิบัติงานจริงเท่ากับต้นทุนค่าขนส่งรวมจากปัญหาที่ 1 อย่างไรก็ดีสำหรับปัญหาที่ 2 นั้นในช่วงที่ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศอยู่ในช่วง 5,000 - 10,000 บาทนั้นจะมีต้นทุนค่าขนส่งรวมต่ำกว่าต้นทุนจากการปฏิบัติงานจริงเสมอ ซึ่งสามารถอภิปรายได้ว่าการปฏิบัติงานจริงบนโครงข่ายในงานวิจัยนี้ซึ่งได้พิจารณาเส้นทางการเดินรถบรรทุกในลักษณะเดียวกับนั้นในบางเดือนซึ่งมีต้นทุนเท่ากับต้นทุนจากปัญหาที่ 1 ในทุกช่วงของการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศเที่ยวนั้นผู้วางแผนระบบขนส่งได้ตัดสินใจเลือกเที่ยวบินที่ทำการขนส่งสินค้าได้เหมาะสมดีแล้วนั้นเอง อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาเทียบกับการพิจารณาเส้นทางการเดินรถในลักษณะของปัญหาที่ 2 แล้วเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทาอากาศต่อเที่ยวสูงถึงระดับหนึ่งควรปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถบรรทุกให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการควบรวมสินค้าและลดจำนวนเที่ยวบินในการขนส่งสินค้าซึ่งเป็นผลให้สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายลงได้นั้นเอง โดยตารางแสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการปฏิบัติงานในเดือนอื่น ๆ ที่พิจารณาได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

4.5.2 การเปรียบเทียบต้นทุนของแผนงานที่นำเสนอกับระบบการปฏิบัติงานในปัจจุบันกรณีกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง

หัวข้อที่ 4.5.2 นำเสนอการเปรียบต้นทุนของปัญหาที่ 1 และ 2 เทียบกับต้นทุนการปฏิบัติงานเฉลี่ยรายวันกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (หรือปัญหาที่ 2) (บาท)
1,000	47,647	47,714
2,000	63,581	63,714

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (หรือปัญหาที่ 2) (บาท)
3,000	79,514	79,714
4,000	95,447	95,714
5,000	111,381	111,714
6,000	127,314	127,714
7,000	143,247	143,714
8,000	159,181	159,714
9,000	175,114	175,714
10,000	191,047	191,714

จากตารางที่ 4.31 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบต้นทุนเฉลี่ยรายวันจากการปฏิบัติงานจริงในเดือนพฤษภาคม 2557 ซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูง จะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งรายวันเฉลี่ยรวมทั้งโครงข่ายในการปฏิบัติงานจริงจะมีค่าต่ำกว่าต้นทุนรวมทั้งโครงข่ายจากการตัดสินใจวางแผนโดยใช้แบบจำลองเพียงเล็กน้อย ซึ่งที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองนั้นข้อมูลนำเข้าในส่วนของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้านั้นในงานวิจัยฉบับนี้เกิดจากการพิจารณาปริมาณความต้องการเฉลี่ยรายวันในแต่ละเดือน แต่การปฏิบัติงานในโครงข่ายนี้นั้นเป็นการวางแผนในระดับรายวัน ดังนั้นในกรณีของเดือนพฤษภาคมซึ่งเป็นเดือนที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงซึ่งเมื่อพิจารณาผลเฉลยจากแบบจำลองพบว่าจะได้เป็นการปฏิบัติงานในแผนงานรูปแบบที่ 5 ซึ่งต้องใช้เที่ยวบินจำนวนทั้งหมด 16 เที่ยวบิน อย่างไรก็ดี ในเดือนพฤษภานี้อาจมีบางวันที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยมากซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้งานเที่ยวบินถึง 16 เที่ยวบินในการขนส่งสินค้าทำให้ต้นทุนเฉลี่ยรายวันรวมทั้งโครงข่ายในการปฏิบัติจริงต่ำกว่าที่ต้นทุนรวมทั้งโครงข่ายที่พิจารณาจากแบบจำลองได้ ดังนั้นในการจะพิจารณาใช้งานแบบจำลองให้เหมาะสมจึงควรใช้ข้อมูลรายวันเป็นข้อมูลนำเข้า

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการในการประยุกต์ความรู้ทางด้านการวิจัยดำเนินการเพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการปฏิบัติงานการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยในงานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณาโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างรถบรรทุกและการขนส่งทางอากาศ ซึ่งประเด็นที่ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญคือการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเป็นเครื่องมือเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการปฏิบัติงาน ซึ่งภาพรวมของงานวิจัยฉบับนี้สามารถอธิบายได้ดังนี้

บทที่ 1 ผู้วิจัยได้ชี้แจ้งถึงประเด็นความสำคัญของปัญหาการวางแผนการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ซึ่งมีความซับซ้อนในการวางแผนเนื่องมาจากลักษณะที่แตกต่างกันของรูปแบบการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแง่เวลาการให้บริการ ซึ่งสำหรับการขนส่งโดยรถบรรทุกซึ่งเป็นรูปแบบการขนส่งหลักจะมีลักษณะของเวลาที่สามารถใช้บริการที่ยืดหยุ่น ซึ่งจะแตกต่างจากการขนส่งรูปแบบอื่น ๆ ที่เป็นการให้บริการตามตารางเวลาที่แน่นอน

บทที่ 2 ผู้วิจัยได้ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องรวมถึงงานวิจัยต่าง ๆ ที่เคยมีมาในอดีต โดยในบทที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานต่าง ๆ ซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบและควบรวมสินค้า รวมทั้งวิธีการในแก้แบบจำลองดังกล่าว ซึ่งจากการทบทวนในบทที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้ข้อสรุปว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะนำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้จะประยุกต์จากแนวคิดของปัญหาการหาเส้นทางสั้นที่สุด และปัญหาโครงข่ายการไหลของสินค้าหลายชนิด

บทที่ 3 แนวทางในการดำเนินงานวิจัย ในบทที่ 3 นี้ ผู้วิจัยได้อธิบายแนวคิดซึ่งผู้วิจัยใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อีกทั้งได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในสองลักษณะคือแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และแบบจำลองตามเส้นทาง โดยในส่วนของแบบจำลองตามเส้นทางผู้วิจัยได้ทำการหาผลเฉลยโดยการกำเนิดสดมภ์ ซึ่งรายละเอียดของการประยุกต์หลักการกำเนิดสดมภ์เพื่อหาผลเฉลยนั้นผู้วิจัยได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 นี้ด้วย

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอผลเฉลยซึ่งได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งพัฒนาขึ้นในบทที่ 3 ซึ่งผู้วิจัยได้นำแบบจำลองมาทำการหาผลเฉลยกับปัญหาที่ 1 และปัญหาที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการหาผลเฉลยทั้งจากวิธีแม่นตรงสำหรับแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และวิธีกำเนิดสดมภ์สำหรับแบบจำลองตามเส้นทาง โดยได้ทำการพิจารณาแปลผลเฉลยเพื่อพัฒนาเป็นแผนงานสำหรับรองรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนต่าง ๆ ทั้งหมด 9 เดือน ซึ่งสามารถพิจารณาออกได้เป็นสองกรณีย่อยคือ กรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติ (เดือนมิถุนายน 2557 - มกราคม 2558) และกรณีที่ปริมาณความต้องการสูง (เดือนพฤษภาคม 2557)

ข้อสรุปซึ่งได้จากงานวิจัยคือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบในระดับปฏิบัติการได้ทั้งแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ และแบบจำลองตามเส้นทาง โดยในส่วนของเวลาในการหาผลเฉลยพบว่าสำหรับโครงข่ายที่พิจารณานั้นเป็นโครงข่ายขนาดเล็กดังนั้นการหาผลเฉลยโดยวิธีแม่นตรงจากแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อจึงสามารถหาผลเฉลยได้เร็วกว่า อย่างไรก็ดีหากนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้กับการหาผลเฉลยบนโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การหาผลเฉลยโดยวิธีการกำเนิดสดมภ์จากแบบจำลองตามเส้นทางจะมีประโยชน์อย่างมาก

จากการพิจารณาแปลความผลเฉลยในบทที่ 4 พบว่าในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกตินั้นจะสามารถพิจารณาออกได้เป็น 4 แผนงานด้วยกัน ซึ่งความเหมาะสมในการเลือกใช้แผนงานนั้นจะขึ้นอยู่กับต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวที่พิจารณาโดยแผนงานที่ 1 และ 2 เหมาะสมในช่วงที่ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวอยู่ในช่วง 1,000 - 4,000 บาท, แผนงานที่ 3 เหมาะสมเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวคือ 5,000 บาท และแผนงานที่ 4 เหมาะสมเมื่อต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศต่อเที่ยวอยู่ในช่วง 6,000 บาท - 10,000 บาท ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายที่ได้จากแบบจำลองนี้เมื่อเทียบกับต้นทุนเฉลี่ยรายวันของการปฏิบัติในช่วงเดือนที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเป็นปกติจะต่ำกว่าหรือเทียบเท่าในบางกรณี อันเนื่องมาจากการที่แบบจำลองได้พิจารณาเปลี่ยนเส้นทางการขนส่งโดยรถบรรทุกและเที่ยวบินที่จะให้เหมาะสมซึ่งให้ก่อให้เกิดการควบรวมสินค้าและสามารถขนส่งถึงที่หมายได้ทันภายในกำหนดเวลา

การพิจารณาผลเฉลยในกรณีที่ปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงนั้น จากการแปลความผลเฉลยได้เป็นแผนงานที่ 5 ซึ่งสามารถรองรับสถานการณ์ที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าสูงได้ โดยในแผนงานที่ 5 จำเป็นต้องเที่ยวบินในเส้นทางระหว่างสนามบินดอนเมืองและสนามบินเชียงใหม่เพื่อ

รองรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าที่มากขึ้นและสามารถขนส่งได้ถึงจุดหมายได้ทันเวลา อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งรวมทั้งโครงข่ายซึ่งได้จากแบบจำลองสำหรับแผนงานที่ 5 นี้จะพบว่าสูงกว่าต้นทุนรวมทั้งโครงข่ายเฉลี่ยรายวันจากการปฏิบัติงานจริงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ข้อมูลนำเข้าในส่วนของปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายวัน ในส่วนนี้จึงถือเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยเนื่องจากข้อมูล ดังนั้นเพื่อที่จะนำแผนงานทั้งหมดไปใช้ได้อย่างครอบคลุมจึงควรพิจารณาเลือกใช้แผนงานที่ 1 ถึง 4 ที่นำเสนอในกรณีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าปกติเป็นหลัก (โดยพิจารณาความเหมาะสมตาม) และหากการปฏิบัติงานในวันใด ๆ มีปริมาณความต้องการสูงจึงพิจารณาเลือกใช้แผนงานที่ 5 ในการดำเนินงาน

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตต่อไป ผู้วิจัยมีความเห็นโดยเปรียบเทียบกับงานวิจัยฉบับนี้ กล่าวคือ ในส่วนของงานวิจัยฉบับนี้ได้อ้างอิงโครงข่ายการขนส่งระหว่างรถบรรทุก และการขนส่งทางอากาศ ซึ่งการขนส่งทางอากาศนั้นผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาเวลาการเดินทางต่าง ๆ ตามตารางเที่ยวบิน โดยพิจารณาว่าเวลาการเดินทางนั้นไม่มีผลของความล่าช้า อย่างไรก็ดีในทางการปฏิบัติงานจริงนั้นเที่ยวบินต่าง ๆ อาจเกิดความล่าช้าได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเที่ยวบินช่วงดึกซึ่งอาจมีผลของล่าช้ามาก ดังนั้นแบบจำลองซึ่งสามารถช่วยตัดสินใจวางแผนการขนส่งบนโครงข่ายการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบที่พิจารณาความล่าช้าที่อาจเกิดขึ้นจากการขนส่งจึงเป็นหัวข้อที่ผู้วิจัยเสนอแนะในการทำวิจัยในลำดับถัดไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

Ahuja R.K., Magnanti T.L., & Orlin J.B. (Eds.). (1993). *Network Flows: Theory, Algorithms, and Applications*: Prentice Hall.

Bontekoning Y.M., & Macharis C. (2004). Opportunities for OR in Intermodal Freight Transportation Research: A Review. *European Journal of Operation Research, 153*, 400-416.

Bontekoning Y.M., Macharis C., & Trip J.J. (2004). Is a New Applied Transportation Research Field Emerging? A Review of Intermodal Rail-Truck Freight Transport Literature. *Transportation research part A, 38*, 1-34.

Brewer A.M., Button K.J., & Hensher D.A. (Eds.). (2001). *Handbook of Logistics and Supply Chain Management Vol.2* (1 ed. Vol. 2). Netherlands: Pergamon.

Caramia M., Dell'Olmo P., Gentili M., & Mirchandani P.B. (2007). Delivery Itineraries and Distribution Capacity of a Freight Network with Time Slots. *Computer & Operation Research, 34*(6), 1585 - 1600.

Chang T-S. (2008). Best Route Selection in International Intermodal Networks. *Computer & Operation Research, 35*, 2877-2891.

Desaulniers G., Desrosiers J., & Solomon M.M. (Eds.). (2005). *Column Generation*. 233 Spring Street, New York NY 10013, USA Springer.

Janic M. (2007). Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network. *Transportation Research Part D, 12*, 33–44.

Min H. (1991). International Intermodal Choices Via Chance-Constrained Goal Programming. *Transportation research part A, 25*, 351-362.

Moccia L., Cordeau J-F., Laporte G., Ropke S., & Valentini M.P. (2008). *Modeling and Solving a Multimodal Routing Problem with Timetables and Times Windows.* .

Xu H., Chen Z-L., Rajagopal S., & Arunapuram S. (2003). Solving a Practical Pickup and Delivery Problem. *Transportation Science, 37*(3), 347 - 364.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก1. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนพฤษภาคม 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	149	22	หาดใหญ่	อุดร	248
2	อุบล	หาดใหญ่	220	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	211
3	อุบล	ภูเก็ต	163	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	549
4	อุบล	เด่นชัย	466	25	หาดใหญ่	ลำพูน	162
5	อุบล	ลำพูน	138	26	ภูเก็ต	อุบล	158
6	อุดร	ทุ่งสง	173	27	ภูเก็ต	อุดร	183
7	อุดร	หาดใหญ่	256	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	156
8	อุดร	ภูเก็ต	189	29	ภูเก็ต	เด่นชัย	406
9	อุดร	เด่นชัย	542	30	ภูเก็ต	ลำพูน	120
10	อุดร	ลำพูน	160	31	เด่นชัย	อุบล	481
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	147	32	เด่นชัย	อุดร	558
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	218	33	เด่นชัย	ขอนแก่น	475
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	161	34	เด่นชัย	ทุ่งสง	396
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	461	35	เด่นชัย	หาดใหญ่	585
15	ขอนแก่น	ลำพูน	136	36	เด่นชัย	ภูเก็ต	432
16	ทุ่งสง	อุบล	144	37	ลำพูน	อุบล	142
17	ทุ่งสง	อุดร	168	38	ลำพูน	อุดร	165
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	143	39	ลำพูน	ขอนแก่น	140
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	372	40	ลำพูน	ทุ่งสง	117
20	ทุ่งสง	ลำพูน	110	41	ลำพูน	หาดใหญ่	173
21	หาดใหญ่	อุบล	213	42	ลำพูน	ภูเก็ต	128

ตารางที่ ก2. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนมิถุนายน 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	118	22	หาดใหญ่	อุดร	156
2	อุบล	หาดใหญ่	119	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	167

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
3	อุบล	ภูเก็ต	99	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	203
4	อุบล	เด่นชัย	186	25	หาดใหญ่	ลำพูน	139
5	อุบล	ลำพูน	128	26	ภูเก็ต	อุบล	91
6	อุดร	ทุ่งสง	169	27	ภูเก็ต	อุดร	131
7	อุดร	หาดใหญ่	170	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	140
8	อุดร	ภูเก็ต	143	29	ภูเก็ต	เด่นชัย	170
9	อุดร	เด่นชัย	266	30	ภูเก็ต	ลำพูน	117
10	อุดร	ลำพูน	183	31	เด่นชัย	อุบล	165
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	181	32	เด่นชัย	อุดร	237
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	182	33	เด่นชัย	ขอนแก่น	254
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	153	34	เด่นชัย	ทุ่งสง	196
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	286	35	เด่นชัย	หาดใหญ่	197
15	ขอนแก่น	ลำพูน	196	36	เด่นชัย	ภูเก็ต	165
16	ทุ่งสง	อุบล	108	37	ลำพูน	อุบล	113
17	ทุ่งสง	อุดร	155	38	ลำพูน	อุดร	162
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	166	39	ลำพูน	ขอนแก่น	174
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	202	40	ลำพูน	ทุ่งสง	134
20	ทุ่งสง	ลำพูน	138	41	ลำพูน	หาดใหญ่	135
21	หาดใหญ่	อุบล	109	42	ลำพูน	ภูเก็ต	113

ตารางที่ ก3. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนกรกฎาคม 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	88	22	หาดใหญ่	อุดร	135
2	อุบล	หาดใหญ่	124	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	159
3	อุบล	ภูเก็ต	128	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	187
4	อุบล	เด่นชัย	212	25	หาดใหญ่	ลำพูน	137
5	อุบล	ลำพูน	156	26	ภูเก็ต	อุบล	111

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
6	อุดร	ทุ่งสง	111	27	ภูเก็ต	อุดร	139
7	อุดร	หาดใหญ่	156	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	164
8	อุดร	ภูเก็ต	162	29	ภูเก็ต	เด่นชัย	194
9	อุดร	เด่นชัย	267	30	ภูเก็ต	ลำพูน	142
10	อุดร	ลำพูน	196	31	เด่นชัย	อุบล	189
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	131	32	เด่นชัย	อุดร	238
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	184	33	เด่นชัย	ขอนแก่น	280
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	190	34	เด่นชัย	ทุ่งสง	138
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	314	35	เด่นชัย	หาดใหญ่	194
15	ขอนแก่น	ลำพูน	231	36	เด่นชัย	ภูเก็ต	200
16	ทุ่งสง	อุบล	76	37	ลำพูน	อุบล	139
17	ทุ่งสง	อุดร	96	38	ลำพูน	อุดร	175
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	113	39	ลำพูน	ขอนแก่น	206
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	133	40	ลำพูน	ทุ่งสง	101
20	ทุ่งสง	ลำพูน	98	41	ลำพูน	หาดใหญ่	142
21	หาดใหญ่	อุบล	107	42	ลำพูน	ภูเก็ต	147

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก4. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนสิงหาคม 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)	ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	152	22	หาดใหญ่	อุดร	91
2	อุบล	หาดใหญ่	55	23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	102
3	อุบล	ภูเก็ต	99	24	หาดใหญ่	เด่นชัย	105
4	อุบล	เด่นชัย	153	25	หาดใหญ่	ลำพูน	77
5	อุบล	ลำพูน	112	26	ภูเก็ต	อุบล	91
6	อุดร	ทุ่งสง	272	27	ภูเก็ต	อุดร	163
7	อุดร	หาดใหญ่	99	28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	182

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
8	อุดร	ภูเก็ต	177
9	อุดร	เด่นชัย	274
10	อุดร	ลำพูน	200
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	303
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	110
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	198
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	305
15	ขอนแก่น	ลำพูน	223
16	ทุ่งสง	อุบล	140
17	ทุ่งสง	อุดร	251
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	279
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	288
20	ทุ่งสง	ลำพูน	211
21	หาดใหญ่	อุบล	51

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	188
30	ภูเก็ต	ลำพูน	137
31	เด่นชัย	อุบล	132
32	เด่นชัย	อุดร	236
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	263
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	270
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	98
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	176
37	ลำพูน	อุบล	97
38	ลำพูน	อุดร	173
39	ลำพูน	ขอนแก่น	193
40	ลำพูน	ทุ่งสง	198
41	ลำพูน	หาดใหญ่	72
42	ลำพูน	ภูเก็ต	129

ตารางที่ ก5. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนกันยายน 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	112
2	อุบล	หาดใหญ่	118
3	อุบล	ภูเก็ต	79
4	อุบล	เด่นชัย	149
5	อุบล	ลำพูน	95
6	อุดร	ทุ่งสง	183
7	อุดร	หาดใหญ่	194
8	อุดร	ภูเก็ต	129
9	อุดร	เด่นชัย	244

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
22	หาดใหญ่	อุดร	206
23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	200
24	หาดใหญ่	เด่นชัย	285
25	หาดใหญ่	ลำพูน	182
26	ภูเก็ต	อุบล	83
27	ภูเก็ต	อุดร	136
28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	132
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	189
30	ภูเก็ต	ลำพูน	120

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
10	อุดร	ลำพูน	155
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	178
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	188
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	125
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	237
15	ขอนแก่น	ลำพูน	151
16	ทุ่งสง	อุบล	118
17	ทุ่งสง	อุดร	194
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	188
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	269
20	ทุ่งสง	ลำพูน	171
21	หาดใหญ่	อุบล	126

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
31	เด่นชัย	อุบล	140
32	เด่นชัย	อุดร	230
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	223
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	239
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	253
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	168
37	ลำพูน	อุบล	89
38	ลำพูน	อุดร	146
39	ลำพูน	ขอนแก่น	142
40	ลำพูน	ทุ่งสง	152
41	ลำพูน	หาดใหญ่	161
42	ลำพูน	ภูเก็ต	107

ตารางที่ ก6. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนตุลาคม 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า /วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	145
2	อุบล	หาดใหญ่	188
3	อุบล	ภูเก็ต	100
4	อุบล	เด่นชัย	148
5	อุบล	ลำพูน	118
6	อุดร	ทุ่งสง	227
7	อุดร	หาดใหญ่	293
8	อุดร	ภูเก็ต	156
9	อุดร	เด่นชัย	232
10	อุดร	ลำพูน	184
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	234

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/ วัน (กิโลกรัม)
22	หาดใหญ่	อุดร	286
23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	294
24	หาดใหญ่	เด่นชัย	251
25	หาดใหญ่	ลำพูน	199
26	ภูเก็ต	อุบล	97
27	ภูเก็ต	อุดร	152
28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	157
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	134
30	ภูเก็ต	ลำพูน	106
31	เด่นชัย	อุบล	117
32	เด่นชัย	อุดร	183

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	302
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	161
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	239
15	ขอนแก่น	ลำพูน	189
16	ทุ่งสง	อุบล	142
17	ทุ่งสง	อุดร	221
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	228
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	195
20	ทุ่งสง	ลำพูน	154
21	หาดใหญ่	อุบล	183

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	189
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	158
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	204
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	108
37	ลำพูน	อุบล	93
38	ลำพูน	อุดร	145
39	ลำพูน	ขอนแก่น	150
40	ลำพูน	ทุ่งสง	125
41	ลำพูน	หาดใหญ่	161
42	ลำพูน	ภูเก็ต	86

ตารางที่ ก7. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนพฤศจิกายน 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	143
2	อุบล	หาดใหญ่	197
3	อุบล	ภูเก็ต	111
4	อุบล	เด่นชัย	108
5	อุบล	ลำพูน	153
6	อุดร	ทุ่งสง	195
7	อุดร	หาดใหญ่	268
8	อุดร	ภูเก็ต	151
9	อุดร	เด่นชัย	146
10	อุดร	ลำพูน	208
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	230
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	316
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	178

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
22	หาดใหญ่	อุดร	255
23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	301
24	หาดใหญ่	เด่นชัย	164
25	หาดใหญ่	ลำพูน	234
26	ภูเก็ต	อุบล	106
27	ภูเก็ต	อุดร	144
28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	170
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	93
30	ภูเก็ต	ลำพูน	132
31	เด่นชัย	อุบล	82
32	เด่นชัย	อุดร	111
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	131
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	95

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	172
15	ขอนแก่น	ลำพูน	245
16	ทุ่งสง	อุบล	137
17	ทุ่งสง	อุดร	186
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	219
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	120
20	ทุ่งสง	ลำพูน	170
21	หาดใหญ่	อุบล	188

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	131
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	74
37	ลำพูน	อุบล	116
38	ลำพูน	อุดร	158
39	ลำพูน	ขอนแก่น	186
40	ลำพูน	ทุ่งสง	136
41	ลำพูน	หาดใหญ่	186
42	ลำพูน	ภูเก็ต	105

ตารางที่ ก8. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนธันวาคม 2557

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	126
2	อุบล	หาดใหญ่	216
3	อุบล	ภูเก็ต	103
4	อุบล	เด่นชัย	80
5	อุบล	ลำพูน	118
6	อุดร	ทุ่งสง	211
7	อุดร	หาดใหญ่	362
8	อุดร	ภูเก็ต	172
9	อุดร	เด่นชัย	134
10	อุดร	ลำพูน	198
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	214
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	368
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	175
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	137
15	ขอนแก่น	ลำพูน	201

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
22	หาดใหญ่	อุดร	354
23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	360
24	หาดใหญ่	เด่นชัย	161
25	หาดใหญ่	ลำพูน	237
26	ภูเก็ต	อุบล	100
27	ภูเก็ต	อุดร	168
28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	171
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	77
30	ภูเก็ต	ลำพูน	113
31	เด่นชัย	อุบล	57
32	เด่นชัย	อุดร	96
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	97
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	68
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	117
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	56

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
16	ทุ่งสง	อุบล	123
17	ทุ่งสง	อุดร	206
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	209
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	94
20	ทุ่งสง	ลำพูน	138
21	หาดใหญ่	อุบล	211

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
37	ลำพูน	อุบล	84
38	ลำพูน	อุดร	141
39	ลำพูน	ขอนแก่น	143
40	ลำพูน	ทุ่งสง	100
41	ลำพูน	หาดใหญ่	173
42	ลำพูน	ภูเก็ต	82

ตารางที่ ก9. แสดงชนิดสินค้านิยามตามคู่ต้นทางปลายทางและปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าในเดือนมกราคม 2558

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
1	อุบล	ทุ่งสง	126
2	อุบล	หาดใหญ่	192
3	อุบล	ภูเก็ต	124
4	อุบล	เด่นชัย	88
5	อุบล	ลำพูน	116
6	อุดร	ทุ่งสง	214
7	อุดร	หาดใหญ่	326
8	อุดร	ภูเก็ต	211
9	อุดร	เด่นชัย	150
10	อุดร	ลำพูน	197
11	ขอนแก่น	ทุ่งสง	225
12	ขอนแก่น	หาดใหญ่	343
13	ขอนแก่น	ภูเก็ต	222
14	ขอนแก่น	เด่นชัย	158
15	ขอนแก่น	ลำพูน	207

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
22	หาดใหญ่	อุดร	324
23	หาดใหญ่	ขอนแก่น	341
24	หาดใหญ่	เด่นชัย	169
25	หาดใหญ่	ลำพูน	221
26	ภูเก็ต	อุบล	123
27	ภูเก็ต	อุดร	209
28	ภูเก็ต	ขอนแก่น	220
29	ภูเก็ต	เด่นชัย	109
30	ภูเก็ต	ลำพูน	143
31	เด่นชัย	อุบล	64
32	เด่นชัย	อุดร	109
33	เด่นชัย	ขอนแก่น	114
34	เด่นชัย	ทุ่งสง	81
35	เด่นชัย	หาดใหญ่	123
36	เด่นชัย	ภูเก็ต	80

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
16	ทุ่งสง	อุบล	125
17	ทุ่งสง	อุดร	212
18	ทุ่งสง	ขอนแก่น	223
19	ทุ่งสง	เด่นชัย	111
20	ทุ่งสง	ลำพูน	145
21	หาดใหญ่	อุบล	191

ชนิดสินค้า	ต้นทาง	ปลายทาง	ปริมาณสินค้า/วัน (กิโลกรัม)
37	ลำพูน	อุบล	84
38	ลำพูน	อุดร	143
39	ลำพูน	ขอนแก่น	150
40	ลำพูน	ทุ่งสง	106
41	ลำพูน	หาดใหญ่	162
42	ลำพูน	ภูเก็ต	105

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข1. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนพฤษภาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.21	1.10	420	328
2,000	0.31	0.88	420	328
3,000	0.28	0.78	420	328
4,000	0.22	0.81	420	328
5,000	0.29	0.94	420	328
6,000	0.17	1.07	420	328
7,000	0.38	0.96	420	328
8,000	0.30	0.87	420	328
9,000	0.29	0.96	420	328
10,000	0.21	0.98	420	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.27	0.94		

ตารางที่ ข2. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนพฤษภาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.84	1.21	442	328
2,000	0.77	1.00	442	328
3,000	0.80	1.01	442	328
4,000	0.81	0.98	442	328
5,000	0.92	0.99	442	328
6,000	0.78	0.99	442	328
7,000	0.79	1.00	442	328
8,000	0.80	1.00	442	328
9,000	0.82	1.08	442	328
10,000	0.91	0.99	442	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.82	1.03		

ตารางที่ ข3. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนมิถุนายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.13	0.90	412	328
2,000	0.17	0.78	412	328
3,000	0.17	0.80	412	328
4,000	0.22	0.71	412	328
5,000	0.21	0.84	412	328
6,000	0.16	1.17	412	328
7,000	0.18	0.76	412	328
8,000	0.19	0.75	412	328
9,000	0.20	1.26	412	328
10,000	0.18	0.88	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.18	0.89		

ตารางที่ ข4. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนมิถุนายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.74	1.00	427	352
2,000	0.57	0.94	427	352
3,000	0.73	0.86	427	352
4,000	0.71	1.05	427	352
5,000	0.82	0.92	430	352
6,000	0.56	1.09	434	352
7,000	0.74	1.01	434	352
8,000	0.78	0.88	434	352
9,000	0.79	0.92	434	352
10,000	0.79	0.85	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.72	0.95		

ตารางที่ ข5. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนกรกฎาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.23	0.76	412	328
2,000	0.14	0.82	412	328
3,000	0.21	0.76	412	328
4,000	0.14	0.72	412	328
5,000	0.20	0.74	412	328
6,000	0.15	0.87	412	328
7,000	0.21	0.86	412	328
8,000	0.14	0.95	412	328
9,000	0.16	1.16	412	328
10,000	0.18	0.88	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.18	0.85		

ตารางที่ ข6. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนกรกฎาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.66	0.87	427	352
2,000	0.74	0.90	427	352
3,000	0.73	0.87	427	352
4,000	0.71	0.87	427	352
5,000	0.71	1.02	430	352
6,000	0.80	0.92	434	352
7,000	0.62	0.92	434	352
8,000	0.77	0.97	434	352
9,000	0.76	0.96	434	352
10,000	0.79	0.95	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.73	0.93		

ตารางที่ ข7. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนสิงหาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.18	1.05	412	328
2,000	0.24	1.02	412	328
3,000	0.16	0.69	412	328
4,000	0.17	0.77	412	328
5,000	0.24	0.84	412	328
6,000	0.24	0.75	412	328
7,000	0.13	0.76	412	328
8,000	0.17	0.75	412	328
9,000	0.19	0.86	412	328
10,000	0.20	0.86	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.19	0.84		

ตารางที่ ข8. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนสิงหาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.75	0.92	427	352
2,000	0.77	1.08	427	352
3,000	0.74	1.17	427	352
4,000	0.82	0.97	427	352
5,000	0.61	0.92	430	352
6,000	0.64	0.94	434	352
7,000	0.72	1.12	434	352
8,000	0.73	1.07	434	352
9,000	0.81	0.86	434	352
10,000	0.80	0.92	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.74	1.00		

ตารางที่ ข9. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนกันยายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.24	0.90	412	328
2,000	0.13	0.72	412	328
3,000	0.16	0.89	412	328
4,000	0.18	0.73	412	328
5,000	0.14	0.74	412	328
6,000	0.14	0.75	412	328
7,000	0.22	0.96	412	328
8,000	0.20	0.78	412	328
9,000	0.17	0.66	412	328
10,000	0.17	1.06	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.18	0.82		

ตารางที่ ข10. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนกันยายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.81	1.16	427	352
2,000	0.72	1.18	427	352
3,000	0.72	0.87	427	352
4,000	0.72	0.87	427	352
5,000	0.71	0.96	430	352
6,000	0.80	0.97	434	352
7,000	0.82	0.97	434	352
8,000	0.76	1.02	434	352
9,000	0.71	0.96	434	352
10,000	0.67	1.02	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.74	1.00		

ตารางที่ ข11. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนตุลาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.19	0.77	412	328
2,000	0.17	0.73	412	328
3,000	0.18	0.89	412	328
4,000	0.28	0.93	412	328
5,000	0.10	1.02	412	328
6,000	0.19	0.78	412	328
7,000	0.20	1.09	412	328
8,000	0.23	1.08	412	328
9,000	0.21	0.70	412	328
10,000	0.17	0.81	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.19	0.88		

ตารางที่ ข12. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนตุลาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.64	0.97	427	352
2,000	0.71	1.02	427	352
3,000	0.75	1.01	427	352
4,000	0.67	0.97	427	352
5,000	0.67	0.98	430	352
6,000	0.70	1.01	434	352
7,000	0.66	1.02	434	352
8,000	0.55	1.12	434	352
9,000	0.70	0.87	434	352
10,000	0.57	1.00	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.66	1.00		

ตารางที่ ข13. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนพฤศจิกายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.14	1.02	412	328
2,000	0.20	0.78	412	328
3,000	0.18	0.74	412	328
4,000	0.23	0.93	412	328
5,000	0.13	1.02	412	328
6,000	0.19	0.78	412	328
7,000	0.21	1.10	412	328
8,000	0.17	0.76	412	328
9,000	0.22	0.70	412	328
10,000	0.17	0.94	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.18	0.88		

ตารางที่ ข14. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนพฤศจิกายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.70	0.87	427	352
2,000	0.74	0.97	427	352
3,000	0.77	0.97	427	352
4,000	0.77	0.97	427	352
5,000	0.77	1.08	430	352
6,000	0.71	0.97	434	352
7,000	0.56	1.07	434	352
8,000	0.66	0.98	434	352
9,000	0.76	0.97	434	352
10,000	0.77	0.98	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.72	0.98		

ตารางที่ ข15. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนธันวาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.21	0.72	412	328
2,000	0.16	1.08	412	328
3,000	0.14	0.64	412	328
4,000	0.19	0.89	412	328
5,000	0.23	1.04	412	328
6,000	0.19	0.88	412	328
7,000	0.18	0.75	412	328
8,000	0.27	0.72	412	328
9,000	0.22	0.96	412	328
10,000	0.16	0.77	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.20	0.85		

ตารางที่ ข16. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนธันวาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.79	0.93	427	352
2,000	0.77	1.04	427	352
3,000	0.80	1.06	427	352
4,000	0.69	1.00	427	352
5,000	0.71	0.98	430	352
6,000	0.74	0.89	434	352
7,000	0.80	1.00	434	352
8,000	0.78	0.94	434	352
9,000	0.69	0.94	434	352
10,000	0.59	0.99	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.74	0.98		

ตารางที่ ข17. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 1 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนมกราคม 2558

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.19	1.02	412	328
2,000	0.15	1.08	412	328
3,000	0.21	0.74	412	328
4,000	0.17	0.73	412	328
5,000	0.18	0.74	412	328
6,000	0.19	0.88	412	328
7,000	0.18	1.12	412	328
8,000	0.19	0.67	412	328
9,000	0.19	0.86	412	328
10,000	0.24	0.87	412	328
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.19	0.87		

ตารางที่ ข18. แสดงเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ 2 สำหรับปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าเดือนมกราคม 2558

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ (บาท)	เวลาการหาผลเฉลยโดยแบบจำลองจุดยอดและเส้นเชื่อมต่อ (วินาที)	การหาคำตอบโดยการกำเนิดสดมภ์		
		เวลา (วินาที)	จำนวนหลัก (Columns)	จำนวนแถว (Rows)
1,000	0.69	1.03	427	352
2,000	0.72	1.14	427	352
3,000	0.77	0.96	427	352
4,000	0.81	0.95	427	352
5,000	0.78	1.04	430	352
6,000	0.75	0.99	434	352
7,000	0.72	0.98	434	352
8,000	0.58	0.97	434	352
9,000	0.69	0.88	434	352
10,000	0.79	0.89	434	352
เวลาหาผลเฉลยเฉลี่ย	0.73	0.98		

ภาคผนวก ค.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค1. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนพฤษภาคม 2557 โดยแผนงานที่ 5

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	1,136	28%
อุดร	UTH	1,320	33%
ขอนแก่น	KKC	1,122	28%
ทุ่งสง	NST	936	23%
หาดใหญ่	HDY	1,383	35%
ภูเก็ต	HKT	1,022	26%
เด่นชัย	CNX	2,927	73%
ลำพูน	CNX	864	22%
UBP	อุบล	1,137	28%
UTH	อุดร	1,322	33%
KKC	ขอนแก่น	1,124	28%
NST	ทุ่งสง	983	25%
HDY	หาดใหญ่	1,451	36%
HKT	ภูเก็ต	1,073	27%
CNX	เด่นชัย	2,796	70%
CNX	ลำพูน	825	21%
		เฉลี่ย	33%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค2. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนพฤษภาคม 2557 โดยแผนงานที่ 5

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	1,136	47%
UTH	DMK	1,320	55%
KKC	DMK	1,122	47%
NST	DMK	936	39%
HDY	DMK	1,383	58%
HKT	DMK	1,022	43%
CNX	DMK	2,218	92%
		1,573	66%
DMK	UBP	1,137	47%
DMK	UTH	1,322	55%
DMK	KKC	1,124	47%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	NST	983	41%
DMK	HDY	1,451	60%
DMK	HKT	1,073	45%
DMK	CNX	2,123	88%
		1,498	62%
		เฉลี่ย	56%

ตารางที่ ค3. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	649	16%
อุดร	UTH	931	23%
ขอนแก่น	KKC	998	25%
ทุ่งสง	NST	769	19%
หาดใหญ่	HDY	774	19%
ภูเก็ต	HKT	649	16%
เด่นชัย	CNX	1,213	30%
ลำพูน	CNX	832	21%
UBP	อุบล	586	15%
UTH	อุดร	840	21%
KKC	ขอนแก่น	901	23%
NST	ทุ่งสง	798	20%
HDY	หาดใหญ่	802	20%
HKT	ภูเก็ต	673	17%
CNX	เด่นชัย	1,313	33%
CNX	ลำพูน	901	23%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค4. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	649	27%
UTH	DMK	931	39%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
KKC	DMK	998	42%
NST	DMK	769	32%
HDY	DMK	774	32%
HKT	DMK	649	27%
CNX	DMK	2,045	85%
DMK	UBP	586	24%
DMK	UTH	840	35%
DMK	KKC	901	38%
DMK	NST	798	33%
DMK	HDY	802	33%
DMK	HKT	673	28%
DMK	CNX	2,214	92%
		เฉลี่ย	41%

ตารางที่ ค5. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	649	16%
อุดร	KKC	931	23%
ขอนแก่น	KKC	998	25%
ทุ่งสง	NST	769	19%
หาดใหญ่	HDY	774	19%
ภูเก็ต	HKT	649	16%
เด่นชัย	CNX	1,213	30%
ลำพูน	CNX	832	21%
UBP	อุบล	586	15%
KKC	อุดร	840	21%
KKC	ขอนแก่น	901	23%
NST	ทุ่งสง	798	20%
HDY	หาดใหญ่	802	20%
HKT	ภูเก็ต	673	17%
CNX	เด่นชัย	1,313	33%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
CNX	ลำพูน	901	23%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค6. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	649	27%
KKC	DMK	1,929	80%
NST	DMK	769	32%
HDY	DMK	774	32%
HKT	DMK	649	27%
CNX	DMK	2,045	85%
DMK	UBP	586	24%
DMK	KKC	1,741	73%
DMK	NST	798	33%
DMK	HDY	802	33%
DMK	HKT	673	28%
DMK	CNX	2,214	92%
		เฉลี่ย	47%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค7. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดนรถบรรทุก เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	649	16%
อุดร	KKC	931	23%
ขอนแก่น	KKC	998	25%
ทุ่งสง	HDY	769	19%
หาดใหญ่	HDY	774	19%
ภูเก็ต	HKT	649	16%
เด่นชัย	CNX	1,213	30%
ลำพูน	CNX	832	21%
UBP	อุบล	586	15%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
KKC	อุดร	840	21%
KKC	ขอนแก่น	901	23%
HDY	ทุ่งสง	798	20%
HDY	หาดใหญ่	802	20%
HKT	ภูเก็ต	673	17%
CNX	เด่นชัย	1,313	33%
CNX	ลำพูน	901	23%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค8. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมิถุนายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	649	27%
KKC	DMK	1,929	80%
HDY	DMK	1,543	64%
HKT	DMK	649	27%
CNX	DMK	2,045	85%
DMK	UBP	586	24%
DMK	KKC	1,741	73%
DMK	HDY	1,600	67%
DMK	HKT	673	28%
DMK	CNX	2,214	92%
		เฉลี่ย	57%

ตารางที่ ค9. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	709	18%
อุดร	UTH	891	22%
ขอนแก่น	KKC	1,050	26%
ทุ่งสง	NST	515	13%
หาดใหญ่	HDY	725	18%
ภูเก็ต	HKT	750	19%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
เด่นชัย	CNX	1,239	31%
ลำพูน	CNX	909	23%
UBP	อุบล	622	16%
UTH	อุดร	782	20%
KKC	ขอนแก่น	922	23%
NST	ทุ่งสง	569	14%
HDY	หาดใหญ่	800	20%
HKT	ภูเก็ต	828	21%
CNX	เด่นชัย	1,307	33%
CNX	ลำพูน	959	24%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค10. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	709	30%
UTH	DMK	891	37%
KKC	DMK	1,050	44%
NST	DMK	515	21%
HDY	DMK	725	30%
HKT	DMK	750	31%
CNX	DMK	2,149	90%
DMK	UBP	622	26%
DMK	UTH	782	33%
DMK	KKC	922	38%
DMK	NST	569	24%
DMK	HDY	800	33%
DMK	HKT	828	34%
DMK	CNX	2,267	94%
		เฉลี่ย	40%

ตารางที่ ค11. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	709	18%
อุดร	KKC	891	22%
ขอนแก่น	KKC	1,050	26%
ทุ่งสง	NST	515	13%
หาดใหญ่	HDY	725	18%
ภูเก็ต	HKT	750	19%
เด่นชัย	CNX	1,239	31%
ลำพูน	CNX	909	23%
UBP	อุบล	622	16%
KKC	อุดร	782	20%
KKC	ขอนแก่น	922	23%
NST	ทุ่งสง	569	14%
HDY	หาดใหญ่	800	20%
HKT	ภูเก็ต	828	21%
CNX	เด่นชัย	1,307	33%
CNX	ลำพูน	959	24%
		เฉลี่ย	21%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค12. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	709	30%
KKC	DMK	1,941	81%
NST	DMK	515	21%
HDY	DMK	725	30%
HKT	DMK	750	31%
CNX	DMK	2,149	90%
DMK	UBP	622	26%
DMK	KKC	1,704	71%
DMK	NST	569	24%
DMK	HDY	800	33%
DMK	HKT	828	34%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	CNX	2,267	94%
		เฉลี่ย	47%

ตารางที่ ค13. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	709	18%
อุดร	KKC	891	22%
ขอนแก่น	KKC	1,050	26%
ทุ่งสง	HDY	515	13%
หาดใหญ่	HDY	725	18%
ภูเก็ต	HKT	750	19%
เด่นชัย	CNX	1,239	31%
ลำพูน	CNX	909	23%
UBP	อุบล	622	16%
KKC	อุดร	782	20%
KKC	ขอนแก่น	922	23%
HDY	ทุ่งสง	569	14%
HDY	หาดใหญ่	800	20%
HKT	ภูเก็ต	828	21%
CNX	เด่นชัย	1,307	33%
CNX	ลำพูน	959	24%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค14. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกรกฎาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	709	30%
KKC	DMK	1,941	81%
HDY	DMK	1,240	52%
HKT	DMK	750	31%
CNX	DMK	2,149	90%
DMK	UBP	622	26%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	KKC	1,704	71%
DMK	HDY	1,368	57%
DMK	HKT	828	34%
DMK	CNX	2,267	94%
		เฉลี่ย	57%

ตารางที่ ค15. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	572	14%
อุดร	UTH	1,023	26%
ขอนแก่น	KKC	1,140	28%
ทุ่งสง	NST	1,168	29%
หาดใหญ่	HDY	426	11%
ภูเก็ต	HKT	761	19%
เด่นชัย	CNX	1,177	29%
ลำพูน	CNX	861	22%
UBP	อุบล	511	13%
UTH	อุดร	915	23%
KKC	ขอนแก่น	1,018	25%
NST	ทุ่งสง	1,195	30%
HDY	หาดใหญ่	435	11%
HKT	ภูเก็ต	779	19%
CNX	เด่นชัย	1,313	33%
CNX	ลำพูน	961	24%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค16. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	572	24%
UTH	DMK	1,023	43%
KKC	DMK	1,140	47%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
NST	DMK	1,168	49%
HDY	DMK	426	18%
HKT	DMK	761	32%
CNX	DMK	2,037	85%
DMK	UBP	511	21%
DMK	UTH	915	38%
DMK	KKC	1,018	42%
DMK	NST	1,195	50%
DMK	HDY	435	18%
DMK	HKT	779	32%
DMK	CNX	2,274	95%
		เฉลี่ย	42%

ตารางที่ ค17. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	572	14%
อุดร	KKC	1,023	26%
ขอนแก่น	KKC	1,140	28%
ทุ่งสง	NST	1,168	29%
หาดใหญ่	HDY	426	11%
ภูเก็ต	HKT	761	19%
เด่นชัย	CNX	1,177	29%
ลำพูน	CNX	861	22%
UBP	อุบล	511	13%
KKC	อุดร	915	23%
KKC	ขอนแก่น	1,018	25%
NST	ทุ่งสง	1,195	30%
HDY	หาดใหญ่	435	11%
HKT	ภูเก็ต	779	19%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
CNX	เด่นชัย	1,313	33%
CNX	ลำพูน	961	24%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค18. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	572	24%
KKC	DMK	2,163	90%
NST	DMK	1,168	49%
HDY	DMK	426	18%
HKT	DMK	761	32%
CNX	DMK	2,037	85%
DMK	UBP	511	21%
DMK	KKC	1,933	81%
DMK	NST	1,195	50%
DMK	HDY	435	18%
DMK	HKT	779	32%
DMK	CNX	2,274	95%
		เฉลี่ย	49%

ตารางที่ ค19. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	572	14%
อุดร	KKC	1,023	26%
ขอนแก่น	KKC	1,140	28%
ทุ่งสง	HDY	1,168	29%
หาดใหญ่	HDY	426	11%
ภูเก็ต	HKT	761	19%
เด่นชัย	CNX	1,177	29%
ลำพูน	CNX	861	22%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	อุบล	511	13%
KKC	อุดร	915	23%
KKC	ขอนแก่น	1,018	25%
HDY	ทุ่งสง	1,195	30%
HDY	หาดใหญ่	435	11%
HKT	ภูเก็ต	779	19%
CNX	เด่นชัย	1,313	33%
CNX	ลำพูน	961	24%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค20. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนสิงหาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	572	24%
KKC	DMK	2,163	90%
HDY	DMK	1,594	66%
HKT	DMK	761	32%
CNX	DMK	2,037	85%
DMK	UBP	511	21%
DMK	KKC	1,933	81%
DMK	HDY	1,630	68%
DMK	HKT	779	32%
DMK	CNX	2,274	95%
		เฉลี่ย	59%

ตารางที่ ค21. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	553	14%
อุดร	UTH	904	23%
ขอนแก่น	KKC	878	22%
ทุ่งสง	NST	940	24%
หาดใหญ่	HDY	997	25%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
ภูเก็ต	HKT	662	17%
เด่นชัย	CNX	1,253	31%
ลำพูน	CNX	798	20%
UBP	อุบล	557	14%
UTH	อุดร	912	23%
KKC	ขอนแก่น	886	22%
NST	ทุ่งสง	863	22%
HDY	หาดใหญ่	915	23%
HKT	ภูเก็ต	607	15%
CNX	เด่นชัย	1,372	34%
CNX	ลำพูน	874	22%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค22. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	553	23%
UTH	DMK	904	38%
KKC	DMK	878	37%
NST	DMK	940	39%
HDY	DMK	997	42%
HKT	DMK	662	28%
CNX	DMK	2,052	85%
DMK	UBP	557	23%
DMK	UTH	912	38%
DMK	KKC	886	37%
DMK	NST	863	36%
DMK	HDY	915	38%
DMK	HKT	607	25%
DMK	CNX	2,246	94%
		เฉลี่ย	42%

ตารางที่ ค23. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	553	14%
อุดร	KKC	904	23%
ขอนแก่น	KKC	878	22%
ทุ่งสง	NST	940	24%
หาดใหญ่	HDY	997	25%
ภูเก็ต	HKT	662	17%
เด่นชัย	CNX	1,253	31%
ลำพูน	CNX	798	20%
UBP	อุบล	557	14%
KKC	อุดร	912	23%
KKC	ขอนแก่น	886	22%
NST	ทุ่งสง	863	22%
HDY	หาดใหญ่	915	23%
HKT	ภูเก็ต	607	15%
CNX	เด่นชัย	1,372	34%
CNX	ลำพูน	874	22%
		เฉลี่ย	22%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค24. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	553	23%
KKC	DMK	1,782	74%
NST	DMK	940	39%
HDY	DMK	997	42%
HKT	DMK	662	28%
CNX	DMK	2,052	85%
DMK	UBP	557	23%
DMK	KKC	1,797	75%
DMK	NST	863	36%
DMK	HDY	915	38%
DMK	HKT	607	25%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	CNX	2,246	94%
		เฉลี่ย	49%

ตารางที่ ค25. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	553	14%
อุดร	KKC	904	23%
ขอนแก่น	KKC	878	22%
ทุ่งสง	HDY	940	24%
หาดใหญ่	HDY	997	25%
ภูเก็ต	HKT	662	17%
เด่นชัย	CNX	1,253	31%
ลำพูน	CNX	798	20%
UBP	อุบล	557	14%
KKC	อุดร	912	23%
KKC	ขอนแก่น	886	22%
HDY	ทุ่งสง	863	22%
HDY	หาดใหญ่	915	23%
HKT	ภูเก็ต	607	15%
CNX	เด่นชัย	1,372	34%
CNX	ลำพูน	874	22%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค26. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนกันยายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	553	23%
KKC	DMK	1,782	74%
HDY	DMK	1,938	81%
HKT	DMK	662	28%
CNX	DMK	2,052	85%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	UBP	557	23%
DMK	KKC	1,797	75%
DMK	HDY	1,778	74%
DMK	HKT	607	25%
DMK	CNX	2,246	94%
		เฉลี่ย	58%

ตารางที่ ค27. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	699	17%
อุดร	UTH	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	1,124	28%
ทุ่งสง	NST	940	24%
หาดใหญ่	HDY	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	646	16%
เด่นชัย	CNX	960	24%
ลำพูน	CNX	760	19%
UBP	อุบล	632	16%
UTH	อุดร	988	25%
KKC	ขอนแก่น	1,017	25%
NST	ทุ่งสง	890	22%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	611	15%
CNX	เด่นชัย	1,198	30%
CNX	ลำพูน	950	24%
		เฉลี่ย	23%

ตารางที่ ค28. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	699	29%
UTH	DMK	1,092	46%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
KKC	DMK	1,124	47%
NST	DMK	940	39%
HDY	DMK	1,212	50%
HKT	DMK	646	27%
CNX	DMK	1,720	72%
DMK	UBP	632	26%
DMK	UTH	988	41%
DMK	KKC	1,017	42%
DMK	NST	890	37%
DMK	HDY	1,147	48%
DMK	HKT	611	25%
DMK	CNX	2,148	89%
		เฉลี่ย	44%

ตารางที่ ค29. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	699	17%
อุดร	KKC	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	1,124	28%
ทุ่งสง	NST	940	24%
หาดใหญ่	HDY	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	646	16%
เด่นชัย	CNX	960	24%
ลำพูน	CNX	760	19%
UBP	อุบล	632	16%
KKC	อุดร	988	25%
KKC	ขอนแก่น	1,017	25%
NST	ทุ่งสง	890	22%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	611	15%
CNX	เด่นชัย	1,198	30%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
CNX	ลำพูน	950	24%
		เฉลี่ย	23%

ตารางที่ ค30. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	699	29%
KKC	DMK	2,216	92%
NST	DMK	940	39%
HDY	DMK	1,212	50%
HKT	DMK	646	27%
CNX	DMK	1,720	72%
DMK	UBP	632	26%
DMK	KKC	2,005	84%
DMK	NST	890	37%
DMK	HDY	1,147	48%
DMK	HKT	611	25%
DMK	CNX	2,148	89%
		เฉลี่ย	52%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค31. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์พื้นที่
อุบล	UBP	699	17%
อุดร	KKC	1,092	27%
ขอนแก่น	KKC	1,124	28%
ทุ่งสง	HDY	940	24%
หาดใหญ่	HDY	1,212	30%
ภูเก็ต	HKT	646	16%
เด่นชัย	CNX	960	24%
ลำพูน	CNX	760	19%
UBP	อุบล	632	16%
KKC	อุดร	988	25%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
KKC	ขอนแก่น	1,017	25%
HDY	ทุ่งสง	890	22%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	611	15%
CNX	เด่นชัย	1,198	30%
CNX	ลำพูน	950	24%
		เฉลี่ย	23%

ตารางที่ ค32. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนตุลาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	699	29%
KKC	DMK	2,216	92%
HDY	DMK	2,152	90%
HKT	DMK	646	27%
CNX	DMK	1,720	72%
DMK	UBP	632	26%
DMK	KKC	2,005	84%
DMK	HDY	2,037	85%
DMK	HKT	611	25%
DMK	CNX	2,148	89%
		เฉลี่ย	62%

ตารางที่ ค33. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	712	18%
อุดร	UTH	968	24%
ขอนแก่น	KKC	1,142	29%
ทุ่งสง	NST	832	21%
หาดใหญ่	HDY	1,142	29%
ภูเก็ต	HKT	645	16%
เด่นชัย	CNX	624	16%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
ลำพูน	CNX	887	22%
UBP	อุบล	628	16%
UTH	อุดร	854	21%
KKC	ขอนแก่น	1,007	25%
NST	ทุ่งสง	800	20%
HDY	หาดใหญ่	1,097	27%
HKT	ภูเก็ต	620	15%
CNX	เด่นชัย	803	20%
CNX	ลำพูน	1,142	29%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค34. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	712	30%
UTH	DMK	968	40%
KKC	DMK	1,142	48%
NST	DMK	832	35%
HDY	DMK	1,142	48%
HKT	DMK	645	27%
CNX	DMK	1,511	63%
DMK	UBP	628	26%
DMK	UTH	854	36%
DMK	KKC	1,007	42%
DMK	NST	800	33%
DMK	HDY	1,097	46%
DMK	HKT	620	26%
DMK	CNX	1,946	81%
		เฉลี่ย	41%

ตารางที่ ค35. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	712	18%
อุดร	KKC	968	24%
ขอนแก่น	KKC	1,142	29%
ทุ่งสง	NST	832	21%
หาดใหญ่	HDY	1,142	29%
ภูเก็ต	HKT	645	16%
เด่นชัย	CNX	624	16%
ลำพูน	CNX	887	22%
UBP	อุบล	628	16%
KKC	อุดร	854	21%
KKC	ขอนแก่น	1,007	25%
NST	ทุ่งสง	800	20%
HDY	หาดใหญ่	1,097	27%
HKT	ภูเก็ต	620	15%
CNX	เด่นชัย	803	20%
CNX	ลำพูน	1,142	29%
		เฉลี่ย	22%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค36. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	712	30%
KKC	DMK	2,110	88%
NST	DMK	832	35%
HDY	DMK	1,142	48%
HKT	DMK	645	27%
CNX	DMK	1,511	63%
DMK	UBP	628	26%
DMK	KKC	1,861	78%
DMK	NST	800	33%
DMK	HDY	1,097	46%
DMK	HKT	620	26%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	CNX	1,946	81%
		เฉลี่ย	48%

ตารางที่ ค37. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	712	18%
อุดร	KKC	968	24%
ขอนแก่น	KKC	1,142	29%
ทุ่งสง	HDY	832	21%
หาดใหญ่	HDY	1,142	29%
ภูเก็ต	HKT	645	16%
เด่นชัย	CNX	624	16%
ลำพูน	CNX	887	22%
UBP	อุบล	628	16%
KKC	อุดร	854	21%
KKC	ขอนแก่น	1,007	25%
HDY	ทุ่งสง	800	20%
HDY	หาดใหญ่	1,097	27%
HKT	ภูเก็ต	620	15%
CNX	เด่นชัย	803	20%
CNX	ลำพูน	1,142	29%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค38. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนพฤศจิกายน 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	712	30%
KKC	DMK	2,110	88%
HDY	DMK	1,974	82%
HKT	DMK	645	27%
CNX	DMK	1,511	63%
DMK	UBP	628	26%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
DMK	KKC	1,861	78%
DMK	HDY	1,897	79%
DMK	HKT	620	26%
DMK	CNX	1,946	81%
		เฉลี่ย	58%

ตารางที่ ค39. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	642	16%
อุดร	UTH	1,077	27%
ขอนแก่น	KKC	1,095	27%
ทุ่งสง	NST	770	19%
หาดใหญ่	HDY	1,323	33%
ภูเก็ต	HKT	630	16%
เด่นชัย	CNX	491	12%
ลำพูน	CNX	723	18%
UBP	อุบล	575	14%
UTH	อุดร	964	24%
KKC	ขอนแก่น	980	25%
NST	ทุ่งสง	719	18%
HDY	หาดใหญ่	1,236	31%
HKT	ภูเก็ต	588	15%
CNX	เด่นชัย	683	17%
CNX	ลำพูน	1,005	25%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค40. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	642	27%
UTH	DMK	1,077	45%
KKC	DMK	1,095	46%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
NST	DMK	770	32%
HDY	DMK	1,323	55%
HKT	DMK	630	26%
CNX	DMK	1,214	51%
DMK	UBP	575	24%
DMK	UTH	964	40%
DMK	KKC	980	41%
DMK	NST	719	30%
DMK	HDY	1,236	51%
DMK	HKT	588	25%
DMK	CNX	1,688	70%
		เฉลี่ย	40%

ตารางที่ ค41. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	642	16%
อุดร	KKC	1,077	27%
ขอนแก่น	KKC	1,095	27%
ทุ่งสง	NST	770	19%
หาดใหญ่	HDY	1,323	33%
ภูเก็ต	HKT	630	16%
เด่นชัย	CNX	491	12%
ลำพูน	CNX	723	18%
UBP	อุบล	575	14%
KKC	อุดร	964	24%
KKC	ขอนแก่น	980	25%
NST	ทุ่งสง	719	18%
HDY	หาดใหญ่	1,236	31%
HKT	ภูเก็ต	588	15%
CNX	เด่นชัย	683	17%
CNX	ลำพูน	1,005	25%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค42. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	642	27%
KKC	DMK	2,173	91%
NST	DMK	770	32%
HDY	DMK	1,323	55%
HKT	DMK	630	26%
CNX	DMK	1,214	51%
DMK	UBP	575	24%
DMK	KKC	1,944	81%
DMK	NST	719	30%
DMK	HDY	1,236	51%
DMK	HKT	588	25%
DMK	CNX	1,688	70%
		เฉลี่ย	47%

ตารางที่ ค43. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	642	16%
อุดร	KKC	1,077	27%
ขอนแก่น	KKC	1,095	27%
ทุ่งสง	HDY	770	19%
หาดใหญ่	HDY	1,323	33%
ภูเก็ต	HKT	630	16%
เด่นชัย	CNX	491	12%
ลำพูน	CNX	723	18%
UBP	อุบล	575	14%
KKC	อุดร	964	24%
KKC	ขอนแก่น	980	25%
HDY	ทุ่งสง	719	18%
HDY	หาดใหญ่	1,236	31%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
HKT	ภูเก็ต	588	15%
CNX	เด่นชัย	683	17%
CNX	ลำพูน	1,005	25%
		เฉลี่ย	21%

ตารางที่ ค44. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนธันวาคม 2557 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	642	27%
KKC	DMK	2,173	91%
HDY	DMK	2,092	87%
HKT	DMK	630	26%
CNX	DMK	1,214	51%
DMK	UBP	575	24%
DMK	KKC	1,944	81%
DMK	HDY	1,955	81%
DMK	HKT	588	25%
DMK	CNX	1,688	70%
		เฉลี่ย	56%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค45. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	646	16%
อุดร	UTH	1,097	27%
ขอนแก่น	KKC	1,155	29%
ทุ่งสง	NST	816	20%
หาดใหญ่	HDY	1,245	31%
ภูเก็ต	HKT	805	20%
เด่นชัย	CNX	572	14%
ลำพูน	CNX	750	19%
UBP	อุบล	587	15%
UTH	อุดร	997	25%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
KKC	ขอนแก่น	1,049	26%
NST	ทุ่งสง	752	19%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	742	19%
CNX	เด่นชัย	784	20%
CNX	ลำพูน	1,029	26%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค46. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 1 หรือ 2

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	646	27%
UTH	DMK	1,097	46%
KKC	DMK	1,155	48%
NST	DMK	816	34%
HDY	DMK	1,245	52%
HKT	DMK	805	34%
CNX	DMK	1,322	55%
DMK	UBP	587	24%
DMK	UTH	997	42%
DMK	KKC	1,049	44%
DMK	NST	752	31%
DMK	HDY	1,147	48%
DMK	HKT	742	31%
DMK	CNX	1,813	76%
		เฉลี่ย	42%

ตารางที่ ค47. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
อุบล	UBP	646	16%
อุดร	KKC	1,097	27%
ขอนแก่น	KKC	1,155	29%

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
ทุ่งสง	NST	816	20%
หาดใหญ่	HDY	1,245	31%
ภูเก็ต	HKT	805	20%
เด่นชัย	CNX	572	14%
ลำพูน	CNX	750	19%
UBP	อุบล	587	15%
KKC	อุดร	997	25%
KKC	ขอนแก่น	1,049	26%
NST	ทุ่งสง	752	19%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	742	19%
CNX	เด่นชัย	784	20%
CNX	ลำพูน	1,029	26%
		เฉลี่ย	22%

ตารางที่ ค48. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 3

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์จากพื้นที่
UBP	DMK	646	27%
KKC	DMK	2,252	94%
NST	DMK	816	34%
HDY	DMK	1,245	52%
HKT	DMK	805	34%
CNX	DMK	1,322	55%
DMK	UBP	587	24%
DMK	KKC	2,046	85%
DMK	NST	752	31%
DMK	HDY	1,147	48%
DMK	HKT	742	31%
DMK	CNX	1,813	76%
		เฉลี่ย	49%

ตารางที่ ค49. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งโดยรถบรรทุก เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
อุบล	UBP	646	16%
อุดร	KKC	1,097	27%
ขอนแก่น	KKC	1,155	29%
ทุ่งสง	HDY	816	20%
หาดใหญ่	HDY	1,245	31%
ภูเก็ต	HKT	805	20%
เด่นชัย	CNX	572	14%
ลำพูน	CNX	750	19%
UBP	อุบล	587	15%
KKC	อุดร	997	25%
KKC	ขอนแก่น	1,049	26%
HDY	ทุ่งสง	752	19%
HDY	หาดใหญ่	1,147	29%
HKT	ภูเก็ต	742	19%
CNX	เด่นชัย	784	20%
CNX	ลำพูน	1,029	26%
		เฉลี่ย	22%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค50. แสดง % การใช้ประโยชน์จากพื้นที่ของการขนส่งทางอากาศ เดือนมกราคม 2558 โดยแผนงานที่ 4

จาก	ถึง	ปริมาณสินค้า	% การใช้ประโยชน์
UBP	DMK	646	27%
KKC	DMK	2,252	94%
HDY	DMK	2,062	86%
HKT	DMK	805	34%
CNX	DMK	1,322	55%
DMK	UBP	587	24%
DMK	KKC	2,046	85%
DMK	HDY	1,899	79%
DMK	HKT	742	31%
DMK	CNX	1,813	76%
		เฉลี่ย	59%

ภาคผนวก ง.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง1. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนพฤษภาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (หรือปัญหาที่ 2) (บาท)
1,000	47,647	47,714
2,000	63,581	63,714
3,000	79,514	79,714
4,000	95,447	95,714
5,000	111,381	111,714
6,000	127,314	127,714
7,000	143,247	143,714
8,000	159,181	159,714
9,000	175,114	175,714
10,000	191,047	191,714

ตารางที่ ง2. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนมิถุนายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/ เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	45,714	45,714	45,714
2,000	59,714	59,714	59,714
3,000	73,714	73,714	73,714
4,000	87,714	87,714	87,714
5,000	101,714	101,714	100,710
6,000	115,714	115,714	111,978
7,000	129,714	129,714	121,978
8,000	143,714	143,714	131,978
9,000	157,714	157,714	141,978
10,000	171,714	171,714	151,978

ตารางที่ ง3. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนกรกฎาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	46,181	45,714	45,714
2,000	60,647	59,714	59,714
3,000	75,114	73,714	73,714
4,000	89,581	87,714	87,714
5,000	104,047	101,714	100,710
6,000	118,514	115,714	111,978
7,000	132,981	129,714	121,978
8,000	147,447	143,714	131,978
9,000	161,914	157,714	141,978
10,000	176,381	171,714	151,978

ตารางที่ ง4. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนสิงหาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	46,181	45,714	45,714
2,000	60,647	59,714	59,714
3,000	75,114	73,714	73,714
4,000	89,581	87,714	87,714
5,000	104,047	101,714	100,710
6,000	118,514	115,714	111,978
7,000	132,981	129,714	121,978
8,000	147,447	143,714	131,978
9,000	161,914	157,714	141,978
10,000	176,381	171,714	151,978

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง5. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนกันยายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	45,781	45,714	45,714
2,000	59,847	59,714	59,714
3,000	73,914	73,714	73,714
4,000	87,981	87,714	87,714
5,000	102,047	101,714	100,710
6,000	116,114	115,714	111,978
7,000	130,181	129,714	121,978
8,000	144,247	143,714	131,978
9,000	158,314	157,714	141,978
10,000	172,381	171,714	151,978

ตารางที่ ง6. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนตุลาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	46,181	45,714	45,714
2,000	60,647	59,714	59,714
3,000	75,114	73,714	73,714
4,000	89,581	87,714	87,714
5,000	104,047	101,714	100,710
6,000	118,514	115,714	111,978
7,000	132,981	129,714	121,978
8,000	147,447	143,714	131,978
9,000	161,914	157,714	141,978
10,000	176,381	171,714	151,978

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง7. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนพฤศจิกายน 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	45,714	45,714	45,714
2,000	59,714	59,714	59,714
3,000	73,714	73,714	73,714
4,000	87,714	87,714	87,714
5,000	101,714	101,714	100,710
6,000	115,714	115,714	111,978
7,000	129,714	129,714	121,978
8,000	143,714	143,714	131,978
9,000	157,714	157,714	141,978
10,000	171,714	171,714	151,978

ตารางที่ ง8. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนธันวาคม 2557

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	45,781	45,714	45,714
2,000	59,847	59,714	59,714
3,000	73,914	73,714	73,714
4,000	87,981	87,714	87,714
5,000	102,047	101,714	100,710
6,000	116,114	115,714	111,978
7,000	130,181	129,714	121,978
8,000	144,247	143,714	131,978
9,000	158,314	157,714	141,978
10,000	172,381	171,714	151,978

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ง9. แสดงต้นทุนเปรียบเทียบกับแผนการปฏิบัติงานจริงในเดือนมกราคม 2558

ต้นทุนค่าขนส่งทางอากาศ/เที่ยว (บาท)	ต้นทุนรวมปัจจุบัน (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 1 (บาท)	ต้นทุนรวมของปัญหาที่ 2 (บาท)
1,000	46,181	45,714	45,714
2,000	60,647	59,714	59,714
3,000	75,114	73,714	73,714
4,000	89,581	87,714	87,714
5,000	104,047	101,714	100,710
6,000	118,514	115,714	111,978
7,000	132,981	129,714	121,978
8,000	147,447	143,714	131,978
9,000	161,914	157,714	141,978
10,000	176,381	171,714	151,978

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธนัท รุ่งวาณิชสุขานนท์ เป็นบุตรของนายทวีศักดิ์ รุ่งวาณิชสุขานนท์และนางนิตยา รุ่งวาณิชสุขานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนฤดีศึกษา และระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนวัดสุทธิวราราม และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (โยธา) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2555 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University