ตัวแบบเครือข่ายสำหรับปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถ ภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้า 3 ลำดับขั้น

นายกันต์ เจริญชลวานิช

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
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A network based model for 3 – Tier Inventory Routing Problem

Mr. Kant Chareancholwanich

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ตัวแบบเครือข่ายสำหรับปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้า 3 ลำดับขั้น
โดย	นายกันต์ เจริญชลวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	อาจารย์ ดร. พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ ดร. พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(อาจารย์ ดร. สิรวิชญ์ สว่างนพ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กันต์ เจริญชลวานิช : ตัวแบบเครือข่ายสำหรับปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้า 3 ลำดับขั้น (A network based model for 3 – Tier Inventory Routing Problem) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์, 81 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาการแก้ไขปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางการเดินรถ (Inventory Routing Problem) ที่มีรูปแบบการกระจายสินค้า 3 ลำดับขั้น (3 – Tier Inventory Routing Problem, 3 – Tier IRP) และผนวกรวมเข้ากับปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery) ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (Time Window) ทั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้แก้ปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางการเดินรถด้วยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Time – Expanded Network Optimization Model ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาด้วยการใช้หลักการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Method)

อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางการเดินรถนั้น จัดเป็นปัญหาประเภท NP – Hard กล่าวคือ เป็นปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ภายในระยะเวลาที่เป็นฟังค์ชั่นพหุนาม ดังนั้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจึงใช้เวลาในการแก้ปัญหาเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการสร้างแนวทางเพื่อลดเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยผู้ดำเนินงานวิจัยเสนอแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบจำนวน 3 แนวทางที่แตกต่างกัน ซึ่งประกอบด้วย แนวทางการลดจำนวนจุดในตัวแบบ, แนวทางการตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็น และแนวทางการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง ทั้งนี้การทดสอบประสิทธิภาพของแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ เกิดจากการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบและคุณภาพของคำตอบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุงในปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9, 10, 11 และ 12 จุด โดยตัวแบบที่เพิ่มแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ 91% โดยเฉลี่ย แลกเปลี่ยนกับคุณภาพของคำตอบที่ลดลง 2%

อีกทั้งผู้ดำเนินงานวิจัยได้ใช้ตัวแบบที่เพิ่มแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ ในการหาคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRP ที่แตกต่างกันออกไป เพื่อทบสอบความไว (Sensitivity Analysis) ของตัวแบบ โดยทดสอบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงขนาดของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง และผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผนวกปัญหาที่แบ่งการขนส่งได้ โดยหากปัญหาที่เกิดขึ้นมีปริมาณความต้องการที่เกินรถบรรทุกหนึ่งคันจัดส่งและมีกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งที่กว้าง ปัญหาดังกล่าวจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด

นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยนำตัวแบบ Time – Expanded Network ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยางมะตอย โดยตัวแบบดังกล่าวสามารถลดต้นทุนจากการดำเนินงานลงได้ 32.2% และเพิ่มปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่งได้อีก 47.5% เมื่อเทียบกับแนวทางการขนส่งยางมะตอยแบบเดิม

ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....
ปีการศึกษา	2559		

5770116721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: INVENTORY ROUTING PROBLEM / SPLIT DELIVERY PROBLEM / 3 ECHELON DISTRIBUTION

KANT CHAREANCHOLWANICH: A network based model for 3 – Tier Inventory Routing Problem. ADVISOR: PISIT JARUMANEEROJ, Ph.D., 81 pp.

This research proposes an application of the Time – Expanded Network Optimization Model for solving the Three – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery and Time Window, or 3 – Tier IRPSDTW. This Time – Expanded Network Optimization Model could be considered one exact method that solves such a problem to optimality.

However, since the Inventory Routing Problem is long known to be one of NP – Hard problems — there is no such an algorithm capable of solving this problem to optimality in polynomial time — as a result, the computational time, spent by the model, dramatically increases when we increase the size of instances. Therefore, three computational time reduction mechanisms are tested and proposed, that is, (i) node reduction, (ii) arc reduction, and (iii) time window restriction. Our proposed mechanisms show significantly improvement in terms of computational time for networks with nine, 10, 11, and 12 locations, where we could reduce the time spent by the model by 91% on average at an average price of 2% on operational costs.

A sensitivity analysis, focusing on the effects of time window and split delivery demands, on the computational time is also conducted. Based on our results, it is evident that the computational time increases when the problem has wide time window range and/or too many split delivery demands.

Lastly, we use the Time – Expanded Network Optimization Model for solving a real world Three – Tier Inventory Routing Problem with split delivery encountered by a case study company within the asphalt industry. The numerical results indicate considerable improvement on both total operational costs and delivery quantity per travelled distance, a wildly used performance index in fluid transportation industries; approximately 32.2% and 47.5%, respectively.

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	....
Academic Year:	2016		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากปราศจากบุคคลต่างๆ ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ดังต่อไปนี้

ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ บิดา – มารดา ผู้ให้กำเนิด อบรม และสอนสั่งผู้ดำเนินงานวิจัยด้วยความรักและความหวังดีอย่างยิ่งเสมอมา อีกทั้งยังคอยเป็นแรงกระตุ้นและแรงผลักดันระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ อ.ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ทุ่มเทเสียสละแรงกายและเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษาและช่วยเหลือ อันรวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาระหว่างการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเปิดกว้างและรับฟังความคิดเห็นในการทำงานวิจัย ให้อิสระในการทำงาน ตลอดจนให้แนวคิด แนวทางและคติเตือนใจแก่ผู้ดำเนินงานวิจัยด้วยดีเสมอมา ผู้ดำเนินงานวิจัยสัมผัสได้ถึงความรัก ความเอาใจใส่ ในการดูแลนิสิตภายใต้การปรึกษาของอาจารย์อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ประธานกรรมการสอบ ผู้มอบโอกาสให้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้พิจารณาปรับปรุงแก้ไข และพิสูจน์ตัวเองใหม่ อีกทั้งได้สละเวลาพิจารณาวิทยานิพนธ์ และมอบคำแนะนำเพื่อให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการสอบ และ ดร. สิรวิชญ์ สว่างนพ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย สำหรับคำแนะนำต่างๆ ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มา ณ โอกาสนี้ด้วยเช่นกัน

ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ (ว่าที่) ดร. นพปฎล สกุลสม ที่ได้สละเวลาสำหรับแนะนำและช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยขอขอบพระคุณ คุณศรินทร์ ชานวิทิตกุล รวมไปถึงเพื่อนๆ พี่น้อง และผู้เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ที่มิได้กล่าวถึงไว้ในที่นี้ สำหรับความช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย...ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...จ

กิตติกรรมประกาศ...ฉ

สารบัญ...ช

สารบัญรูปภาพ...ญ

สารบัญตาราง...ฏ

บทที่ 1 บทนำ...1

1.1 ที่มาและความสำคัญ...1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย...3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย...3

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ...4

1.5 แนวทางการหาคำตอบ...4

บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม...5

2.1 ประเภทของปัญหา IRP...5

2.1.1 ความต้องการสินค้า...5

2.1.2 รูปแบบการกระจายสินค้า...5

2.1.3 ข้อจำกัดของการดำเนินการ...6

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง...7

2.2.1 การสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง...8

2.2.2 การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบ...10

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง...12

2.3.1 Fixed Partition Policy (FPP)...12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

2.3.2 Power of two (POT).. 15
2.3.3 Time – Expanded Network Optimization Model... 17
2.3.4 การเปรียบเทียบ ข้อดี – ข้อเสีย ระหว่างการสร้างนโยบายสำหรับจัดส่งและการสร้างตัวแบบ.. 21
บทที่ 3 แนวทางการแก้ปัญหา.. 22
3.1 ปัญหาในงานวิจัย (Problem Description).. 22
3.2 สมมติฐาน (Assumptions).. 23
3.3 ค่าคงที่ (Parameters).. 23
3.4 ข้อจำกัด (Limitations).. 24
3.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น (Mathematical Model).. 24
3.6 แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ.. 29
3.6.1 การลดจำนวนจุดในตัวแบบ.. 29
3.6.2 การลดจำนวนเส้นเชื่อมในตัวแบบ.. 33
3.6.2.1 แนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถ.. 33
3.6.2.2 แนวทางการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง.. 41
3.7 ตัวแบบอ้างอิง.. 45
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.. 47
4.1 คำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSD ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network 47
4.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบก่อนและหลังปรับปรุง 48
4.3 ผลการแสดงเวลาและคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ในรูปแบบต่างๆ 56
4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจากการกำหนดค่า n 61
4.5 ตัวอย่างการประยุกต์ปัญหา IRP ในกลุ่มอุตสาหกรรม.. 64
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ 75

หน้า

5.1 สรุปผลการวิจัย.. 75

5.2 การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (Discussion and Future work)................................. 77

5.2.1 จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในตัวแบบ 77

5.2.2 ขนาดและเวลาเริ่มต้นของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง 78

5.2.3 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ 78

รายการอ้างอิง 80

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 ลักษณะของ 3 – Tier Inventory Routing Problem ... 6

รูปที่ 2.2 การแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อยๆ (Clustering) ... 13

รูปที่ 2.3 เส้นทางการเดินรถในแต่ละส่วนย่อย ... 13

รูปที่ 2.4 วิธีการหาคำตอบจากงานวิจัยของ Li (2011) ... 16

รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10 ... 18

รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของรถบรรทุกหนึ่งไปยังจุดต่างๆ ใน Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10 ... 20

รูปที่ 3.1 แผนภาพตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10 ที่มีปริมาณความต้องการในทุกช่วงเวลา ... 31

รูปที่ 3.2 แผนภาพตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ที่ขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยจนเหลือเวลาของระบบที่ 5 ช่วงเวลา ... 32

รูปที่ 3.3 ภาพประกอบสำหรับแนวทางการตัดเส้นทางเดินรถที่ไม่จำเป็น ... 35

รูปที่ 3.4 ภาพประกอบสำหรับแนวทางการตัดเส้นทางเดินรถเพิ่มเติม ... 36

รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตัวอย่างการตัดเส้นทางของปัญหา IRP ด้วยสมการ (22) ... 39

รูปที่ 3.6 ภาพแสดงตัวอย่างการตัดเส้นทางของปัญหา IRP ด้วยสมการ (23) ... 40

รูปที่ 3.7 เส้นทางการเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยที่สามารถตัดออกได้ ด้วยวิธีการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งแสดงได้ด้วยเส้นประ ... 42

รูปที่ 4.1 gap ของคำตอบ ... 50

รูปที่ 4.2 ผังการทำงานของกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน ... 65

รูปที่ 4.3 ระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงจากตารางที่ 4.14 69

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ตั้งและเส้นทางการเดินรถระหว่างจุดต่างๆ 71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการเดินทางไปยังลูกค้ารายย่อยแต่ละราย 44

ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายยินยอมให้จัดส่งได้ 44

ตารางที่ 3.3 เส้นทางเดินรถที่สามารถตัดออกได้ในตัวแบบของปัญหาตัวอย่าง 46

ตารางที่ 4.1 คำตอบจาก Time – Expanded Network Optimization Model ก่อนปรับปรุง ในปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery Problem) สำหรับผู้ประกอบการ 9 – 12 ราย 48

ตารางที่ 4.2 คำตอบจาก Time – Expanded Network Optimization Model ก่อนปรับปรุง ที่ไม่พิจารณาปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery Problem) สำหรับ ผู้ประกอบการ 9 – 12 ราย 48

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 9 ราย 51

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 10 ราย 52

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 11 ราย 53

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 12 ราย 54

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาในการหาคำตอบที่ลดลงและคุณภาพของคำตอบ ที่ลดลงโดยเฉลี่ย ในแต่ละตัวแบบ 56

ตารางที่ 4.8 กรณีการทดลองของ 3 – Tier IRPSDTW ทั้งหมดที่พิจารณา 57

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 ราย 58

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 10 ราย 59

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 11 ราย 59

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 12 ราย 59

ตารางที่ 4.13 คำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ จากการเปลี่ยนแปลงค่า n 63

ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงระหว่างจังหวัดต่างๆ 68

ตารางที่ 4.15 ต้นทุนการเดินทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเส้นทางหมายเลขต่างๆ 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.16 ปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อยแต่ละรายในระยะเวลา 7 วัน 73

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งระหว่างตัวแบบ Time – Expanded Network กับ วิธีการขนส่งทางตรง 74

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่งระหว่างตัวแบบ Time – Expanded Network กับ วิธีการขนส่งทางตรง 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบัน ประเทศไทยจัดเป็นฐานการผลิตที่สำคัญแห่งหนึ่งของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของอุตสาหกรรม รวมไปถึงการขยายตัวของห่วงโซ่อุปทานในหลากหลายกลุ่มอุตสาหกรรม ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการดำเนินการภายใต้ห่วงโซ่อุปทานในทุกอุตสาหกรรม คือ การลดต้นทุนจากการดำเนินการลง ซึ่งงานวิจัยของ Cavinato (1992) ได้แบ่งต้นทุนที่เกิดขึ้นภายในห่วงโซ่อุปทานออกเป็น 10 ประเภท และต้นทุนจากการจัดส่ง (transportation costs) ถือเป็นต้นทุนหลักที่มีงานวิจัยให้ความสนใจกันอย่างแพร่หลายมากที่สุด สำหรับงานวิจัยที่มุ่งเน้นการลดต้นทุนด้านการจัดส่ง มักถูกดำเนินการภายใต้ชื่อ ปัญหาการวางแผนจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicles Routing Problem, VRP)

ปัญหาการวางแผนจัดเส้นทางการเดินรถนั้น เป็นปัญหาที่ได้ที่รับความสนใจอย่างมากในกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ อุตสาหกรรมแก้วและกระจก (Henke et al., 2015) อุตสาหกรรมขยะ (Wy et al., 2013) อุตสาหกรรมเวชภัณฑ์และโรงพยาบาล (Talarico et al., 2015) โดยเริ่มแรกนั้นปัญหาการวางแผนจัดเส้นทางการเดินรถจะมุ่งเน้นไปที่การสร้างแผนดำเนินการจัดเส้นทางการเดินรถที่ก่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขการดำเนินการที่แตกต่างกันออกไป ในภายหลัง ปัญหาดังกล่าวได้ถูกขยายและเพิ่มความซับซ้อนให้มากขึ้นด้วยการบูรณาการองค์ความรู้ด้านการจัดการสินค้าคงคลังเข้ากับการจัดเส้นทาง ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อ ปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถ (Inventory Routing Problem, IRP) สำหรับกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีความเหมาะสมในการนำปัญหา IRP ไปใช้เพื่อแก้ปัญหานั้นควรมีลักษณะการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการเดินรถ และการจัดเก็บสินค้าคงคลังควบคู่กันไป เช่น กลุ่มอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ (Campbell and Savelsbergh, 2004) ที่พิจารณาถึงเส้นทางการขนส่งน้ำมันไปยังปั๊มน้ำมันรอบข้าง ตลอดจนมีการพิจารณาปริมาณน้ำมันที่จะจัดเก็บในแต่ละจุด หรือกลุ่มอุตสาหกรรมตู้กดของอัตโนมัติ (Huang and Lin, 2010) ที่พิจารณาเส้นทางการเดินรถสำหรับเติมสินค้าในตู้กดของอัตโนมัติ ตลอดจนปริมาณสินค้าภายในตู้กด เป็นต้น

วัตถุประสงค์หลักของการแก้ปัญหา IRP มักเป็นไปเพื่อลดต้นทุนจากการดำเนินการ 2 ประเภทหลัก อันประกอบไปด้วย ต้นทุนจากการจัดส่งสินค้า และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บสินค้าลง อย่างไรก็ตามปัญหา IRP นั้น มีความหลากหลายและสามารถพิจารณาได้ในหลายแง่มุม ตามรูปแบบ

และลักษณะของการดำเนินงาน หรือวิธีการในการแก้ปัญหาที่พิจารณาอยู่ และเนื่องจากปัญหา IRP เป็นปัญหาที่ต่อขยายมาจากปัญหา VRP จึงส่งผลทำให้ปัญหา IRP จัดเป็นปัญหาในกลุ่ม NP – Hard กล่าวคือ เป็นปัญหาที่ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ ภายในช่วงเวลาที่เป็นฟังค์ชั่นพหุนาม ดังนั้น ความพยายามในการออกแบบวิธีการในการแก้ปัญหา IRP ที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับนักวิจัยในปัจจุบันเป็นอย่างมาก

แม้ว่าปัจจุบันจะมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากศึกษาเกี่ยวกับปัญหา IRP แต่งานวิจัยส่วนใหญ่กลับมุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหา IRP ที่พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคเพียงอย่างเดียว กล่าวคือ งานวิจัยโดยส่วนมากมุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหา IRP แบบ 2 – Echelon Distribution หรือ 2 – Tier Distribution (Anily and Bramel, 2004, Jung and Mathur, 2007, Moin et al., 2011)

อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัย IRP ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น จะมีการพิจารณาบทบาทของศูนย์กระจายสินค้าในเครือข่ายเพิ่มเติมเข้าไป ทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต – ศูนย์กระจายสินค้า – ผู้บริโภค ซึ่งเป็นที่รู้จักภายใต้ชื่อ 3 – Echelon Distribution หรือ 3 – Tier Distribution ทั้งนี้เมื่อนำปัญหา IRP ผนวกรวมเข้ากับปัญหา 3 – Tier Distribution เราจะเรียกปัญหาดังกล่าวว่า 3 – Tier Inventory Routing Problem (3 – Tier IRP)

เนื่องจากปัญหา 3 – Tier IRP มีความซับซ้อนมากกว่าปัญหา IRP ทั่วไป งานวิจัยส่วนมากจึงมักหลีกเลี่ยงที่จะพิจารณาปัญหาการแบ่งสินค้าขนส่ง (Split Delivery Problem) เพื่อลดขอบเขตของการวิจัยลง

ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า ปัญหา 3 – Tier IRP ที่พิจารณาปัญหา Split Delivery Problem และ Time Window ควบรวมไปพร้อมๆ กันนั้น เป็นปัญหาเชิงวิชาการที่ยังเปิดกว้าง โดยมีการศึกษาและวิจัยอย่างจำกัด ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงมีความสนใจในการค้นหาวิธีในการแก้ปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถ ภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 3 ลำดับขั้นที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ในกรอบเวลาที่จำกัด (3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery and Time Window, 3 – Tier IRPSDTW) โดยผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Time – Expanded Network สำหรับแก้ปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ซึ่งวิธีการดังกล่าวจัดเป็นแนวทางการแก้ปัญหาด้วยหลักการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization method) วิธีหนึ่ง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากปัญหา IRP จัดเป็นปัญหาหนึ่งในประเภท NP – Hard ส่งผลทำให้ตัวแบบดังกล่าว ใช้เวลาในการหาคำตอบค่อนข้างนาน การสร้างแนวทางเพื่อลดเวลาในการหาคำตอบ

และการวิเคราะห์ความไวของตัวแบบ (Sensitivity Analysis) เพื่อบ่งชี้ถึงลักษณะของคำตอบที่ได้จากรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปจึงเป็นสิ่งที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

ทั้งนี้เนื้อหาส่วนอื่นๆ ภายในงานวิจัยฉบับนี้จะประกอบไปด้วย การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ซึ่งอธิบายไว้ได้ในบทที่ 2, แนวทางการแก้ปัญหาในงานวิจัยตลอดจนรายละเอียดของตัวแบบ Time – Expanded Network อธิบายได้ในบทที่ 3, บทที่ 4 กล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งรวมถึงการวิเคราะห์ความไวของตัวแบบและการประยุกต์ใช้ปัญหา 3 –Tier IRP ในอุตสาหกรรมจริงและ บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยฉบับนี้เป็นไปเพื่อนำเสนอตัวแบบสำหรับแก้ไขปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถ ภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 3 ลำดับขั้นที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ในกรอบเวลาที่จำกัด (3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery Problem and Time Window, 3 – Tier IRPSDTW) โดยมุ่งเน้นการหาแผนปฏิบัติงานที่ผนวกการจัดเส้นทางของรถบรรทุกและการจัดการปริมาณคงคลังที่มีต้นทุนต่ำที่สุด ตลอดจนพิจารณาการหาแนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาดังกล่าว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ขอบเขตด้านปัญหาของงานวิจัย

ปัญหาของงานวิจัยฉบับนี้ คือ ปัญหาการบริหารคลังและจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัดภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 3 ลำดับขั้นที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ในกรอบเวลาที่จำกัด ซึ่งมีองค์ประกอบของปัญหาดังต่อไปนี้ ผู้ผลิตจำนวน 1 โรง, ศูนย์กระจายสินค้า จำนวน n โรง และกลุ่มของลูกค้ารายย่อยจำนวน m ราย ทั้งนี้อัตราความต้องการของลูกค้าไม่มีความแปรผัน และเป็นข้อมูลที่ทราบล่วงหน้า (Deterministic Demand) โดยไม่มีการพิจารณาถึงความต้องการของศูนย์กระจายสินค้า การจัดส่งถูกดำเนินการโดยรถบรรทุก k แบบที่แตกต่างกัน อีกทั้งไม่ยินยอมให้ลูกค้าเกิดกรณีสินค้าขาดมือ (Shortage) ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยฉบับนี้ คือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่หารูปแบบเส้นทางและปริมาณจัดส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดการดำเนินการต่างๆ ที่สำคัญ นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยยังได้นำตัวแบบดังกล่าว ไปทดลองกับชุดข้อมูลของปัญหา IRP ในอุตสาหกรรมยางมะตอย ซึ่งมีองค์ประกอบของปัญหาคล้ายคลึงกับปัญหาที่พิจารณาในงานวิจัยฉบับนี้ โดยใช้ข้อมูลจริงในการแก้ปัญหา

2. ขอบเขตด้านคำตอบของงานวิจัย

คำตอบของปัญหาที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือ

1. เส้นทางการจัดส่งของรถบรรทุกแต่ละคัน
2. ปริมาณที่จัดส่งในรถบรรทุกแต่ละคัน
3. แนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก่อนปรับปรุง
4. การวิเคราะห์ความไวของตัวแบบ (Sensitivity Analysis) เพื่อบ่งชี้ถึงลักษณะของคำตอบที่ได้จากรูปแบบของปัญหาที่แตกต่างกันออกไป

3. ขอบเขตด้านผลลัพธ์ของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการพัฒนาตัวแบบเพื่อค้นหารูปแบบเส้นทางและปริมาณจัดส่งที่มีต้นทุนต่ำที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความจุจำกัด ภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 3 ลำดับขั้นที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ในกรอบเวลาที่จำกัด (3 – Tier IRPSDTW) โดยไม่พิจารณาการสร้างระบบสารสนเทศเพื่อใช้ในการทำงานจริง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ตัวแบบเครือข่ายสำหรับหาคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSDTW
2. แนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ
3. ผลวิเคราะห์ความไวของตัวแบบ (Sensitivity Analysis)

1.5 แนวทางการหาคำตอบ

งานวิจัยฉบับนี้ มุ่งเน้นการหาคำตอบของปัญหา IRP ที่มีลักษณะของการดำเนินงานแบบ 3 – Tier Distribution ผนวกรวมเข้ากับปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery) ภายในกรอบเวลาที่จำกัด (Time Window) เพื่อลดต้นทุนการดำเนินการจากการบริหารคลังสินค้าและ การจัดส่งทางการเดินรถ ผ่านตัวแบบเครือข่าย Time – Expanded Network

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม

เนื้อหาภายในบทนี้จะกล่าวถึงประเภทของปัญหา IRP รวมถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ทั้งแง่มุมของรูปแบบลักษณะปัญหาและแนวทางในการแก้ปัญหา

2.1 ประเภทของปัญหา IRP

หากพิจารณาจากรูปแบบและลักษณะของการดำเนินการก่อนนำปัญหา IRP ไปประยุกต์ใช้ พบว่า รูปแบบและลักษณะของการดำเนินการที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อลักษณะของปัญหา IRP ที่นำไปใช้ด้วย ทั้งนี้เราสามารถแบ่งประเภทของปัญหา IRP ออกได้เป็น 3 ประเภทหลักตามประเด็นของลักษณะการดำเนินงานต่างๆ ดังนี้

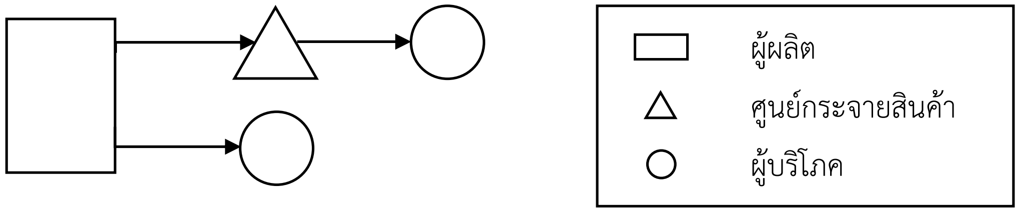
2.1.1 ความต้องการสินค้า

เมื่อพิจารณาในมุมมองของปริมาณความต้องการ หากลักษณะของปริมาณความต้องการมีความไม่แน่นอน (Stochastic Demand) รูปแบบของปัญหา IRP จะถูกเรียกว่า Stochastic Inventory Routing Problem (SIRP) แต่หากลักษณะของปริมาณความต้องการมีความแน่นอน (Deterministic Demand) รูปแบบของปัญหา IRP จะถูกเรียกว่า (Deterministic Inventory Routing Problem (DIRP) (Zhao et al., 2008) โดยทั่วไปปัญหา SIRP จะมีขนาดของปัญหาใหญ่กว่าปัญหา DIRP ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา SIRP นานกว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ไขปัญหา DIRP (Bard and Nananukul, 2008)

2.1.2 รูปแบบการกระจายสินค้า

แง่มุมของการกระจายสินค้า ปัญหา IRP สามารถแบ่งออกได้ตามรูปแบบของห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) กล่าวคือ ในห่วงโซ่อุปทานที่พิจารณาเฉพาะความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต – ผู้บริโภค รูปแบบของการกระจายสินค้าภายใต้ห่วงโซ่อุปทานนี้ เรียกว่า 2 – Echelon Distribution หรือ 2 – Tier Distribution แต่หากปัญหาดังกล่าวพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิต – ศูนย์กระจายสินค้า – ผู้บริโภค รูปแบบของการกระจายสินค้าภายใต้ห่วงโซ่อุปทานนี้ เรียกว่า 3 – Echelon Distribution หรือ 3 – Tier Distribution ทั้งนี้เมื่อนำรูปแบบของปัญหา IRP มาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีรูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 2 – Tier Distribution ปัญหา IRP ดังกล่าว จะถูกเรียกว่า 2 – Tier IRP และ

3 – Tier IRP ในกรณีที่รูปแบบการกระจายสินค้าเป็นแบบ 3 – Tier Distribution ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.1 (Li et al., 2011)



รูปที่ 2.1 ลักษณะของ 3 – Tier Inventory Routing Problem

จากการศึกษาปัญหา IRP ภายใต้รูปแบบการกระจายสินค้าแบบ 2 – Tier และ 3 – Tier พบข้อแตกต่างสำคัญประการหนึ่งคือ ปัญหา 2 – Tier IRP จะพิจารณาเส้นทางการเดินรถเฉพาะเพียง ผู้ผลิต – ผู้รับสินค้า เท่านั้นหากแต่ ปัญหา 3 – Tier IRP จะมีการพิจารณาเส้นทางในส่วนของ ผู้ผลิต – ศูนย์กระจายสินค้า และ ศูนย์กระจายสินค้า – ผู้รับสินค้าเพิ่มเติม ทั้งนี้ ในงานวิจัยของ Li (2011) ได้ขยายขอบเขตของเส้นทางการเดินรถออกไปอีก โดยผนวกเส้นทางการเดินรถจากผู้ผลิต – ผู้รับสินค้าเข้าในปัญหาด้วย

2.1.3 ข้อจำกัดของการดำเนินการ

สำหรับข้อจำกัดในการดำเนินการจัดเป็นข้อบ่งชี้สำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างในแต่ละปัญหา แม้ว่าจะพิจารณารูปแบบของปัญหาที่มีลักษณะของความต้องการสินค้า หรือรูปแบบของการกระจายสินค้าลักษณะเดียวกันก็ตาม กล่าวคือ แม้ปัญหาสองปัญหาจะมีรูปแบบของปัญหาเป็น 3 – Tier DIRP (3 – Tier Deterministic Inventory Routing Problem) หากแต่มีข้อจำกัดในการดำเนินการที่แตกต่างกัน ลักษณะของปัญหารวมถึงวิธีการในการแก้ปัญหาทั้งสองก็อาจแตกต่างกันออกไป

หากพิจารณาถึงข้อจำกัดของการดำเนินการในแง่มุมของการรับส่งสินค้า พบว่า ในกรณีที่ลูกค้ายินยอมให้มีรถขนส่งเข้า – ออก เพื่อขนส่งสินค้าได้หลายครั้งในช่วงเวลาหนึ่ง (ปริมาณความต้องการในสถานที่นั้นๆ เกินกว่าความสามารถในการจัดส่งของรถบรรทุกหนึ่งคัน) เราจะเรียกปัญหาดังกล่าวว่าปัญหาที่สามารถแบ่งการจัดส่งได้ (Split Delivery Problem) นอกจากนี้ หากรูปแบบของการรับสินค้ามีการกำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้า เราจะเรียกปัญหาดังกล่าวว่า ปัญหาที่มีกรอบระยะเวลาจำกัด (Time Window)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบัน กลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ มีแนวคิดในการลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดเก็บสินค้าภายในคลังด้วยการบูรณาการองค์ความรู้ด้านการจัดการสินค้าคงคลังและการจัดเส้นทางเข้าด้วยกัน ซึ่ง Vendor Managed Inventory (VMI) นับเป็นหนึ่งในเครื่องมือสำคัญที่ช่วยให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ (Kleywegt et al., 2002) โดยทั่วไป VMI จะพิจารณาหาเส้นทางการเดินรถและปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสม ซึ่งปัญหาในงานวิจัยที่สามารถนำ VMI ไปประยุกต์ใช้ส่วนใหญ่ เป็นที่รู้จักกันดีในชื่อปัญหา Inventory Routing Problem (IRP)

IRP เป็นปัญหาที่ต่อขยายมาจาก Vehicle Routing Problem (VRP) โดยปัญหา IRP ไม่ได้พิจารณาเฉพาะเพียงการจัดเส้นทางการเดินรถเท่านั้น หากแต่ยังพิจารณารวมถึงปริมาณในการจัดส่งและอาจรวมไปถึงกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งด้วย (Andersson et al., 2010) โดยทั่วไปแล้วงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา IRP มักเป็นปัญหาประเภท 2 – Tier Inventory Routing Problem (2 – Tier IRP) (Anily and Bramel, 2004, Jung and Mathur, 2007, Moin et al., 2011) กล่าวคือ เป็นการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตหรือกลุ่มของผู้ผลิตไปยังกลุ่มของลูกค้ารายย่อย โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดต้นทุนจากการจัดส่งและการจัดเก็บสินค้าลง ทั้งนี้ประเด็นที่สำคัญที่จำเป็นต้องพิจารณาในปัญหา IRP นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายประเด็น เช่น รูปแบบของความต้องการสินค้าและวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่พิจารณาเป็นสำคัญ

สำหรับวิธีการในการแก้ปัญหา IRP นั้นสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง และ การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบ

เนื่องจากปัญหา IRP จัดเป็นหนึ่งในปัญหากลุ่ม NP – Hard (ไม่มีอัลกอริทึ่ม (Algorithm) ใดที่สามารถหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวได้ในช่วงเวลาที่เป็นฟังก์ชั่นพหุนาม (Polynomial – time)) ดังนั้นการให้ได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้กรอบเวลาที่จำกัดนั้นจึงเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้นักวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การสร้างฮิวริสติก (Heuristic) ที่เหมาะสมขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทั้งนี้ ฮิวริสติก คือ กระบวนการหาคำตอบที่ต้องการผลเฉลยซึ่งยอมรับได้ ภายในระยะเวลาที่จำกัด (Toffolo et al., 2017)

2.2.1 การสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง

โดยทั่วไปแล้วการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งมีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก 2 ขั้นตอน คือ การจัดหมวดหมู่ของลูกค้ารายย่อย (Clustering) และการสร้างเส้นทางการเดินรถ (Routing) ภายในกลุ่มของลูกค้ารายย่อยที่สร้างขึ้น ทั้งนี้การจัดหมวดหมู่และการสร้างเส้นทางเดินรถเริ่มต้น (Initial Solution) นิยมเริ่มจากอัลกอริทึ่มที่เป็นที่รู้จักและสามารถใช้งานได้ง่าย แล้วจึงนำฮิวริสติกเฉพาะที่พัฒนาขึ้น ไปใช้ในการพัฒนาเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

งานวิจัยที่เริ่มนำนโยบายสำหรับการจัดส่งมาพิจารณาในปัญหา IRP คือ งานวิจัยของ Chan and Levi (1998) โดย Chan and Levi (1998) ได้ขยายขอบเขตของปัญหา IRP ดั้งเดิมที่มีเพียงการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิต (Supplier) ไปยังลูกค้ารายย่อย โดยเพิ่มการพิจารณาศูนย์กระจายสินค้าสำหรับใช้เป็นตัวกลางในการขนส่งระหว่างผู้ผลิตและลูกค้ารายย่อย ส่งผลทำให้ปัญหาที่ต้องพิจารณามีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากต้องพิจารณาการจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า และการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย งานวิจัยของ Chan and Levi (1998) นับเป็นงานวิจัยฉบับแรกๆ ที่พิจารณาปัญหา IRP โดยควบรวมตั้งแต่ผู้ผลิต, ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อยเข้าด้วยกัน ทั้งนี้ปัญหา IRP ดังกล่าว มักถูกอ้างอิงถึงในวรรณกรรมว่าเป็นปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem (3 – Tier IRP)

องค์ประกอบหลักในงานวิจัยของ Chan and Levi (1998) ประกอบไปด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวนหนึ่งซึ่งเป็นค่าคงที่ ลูกค้ารายย่อยอีกจำนวนหนึ่งที่มีปริมาณความต้องการที่แน่นอน (Deterministic Demand) และมีรถเพียงชนิดเดียวที่ใช้ในการจัดส่ง Chan and Levi (1998) แก้ปัญหาดังกล่าวโดยแบ่งปัญหาที่ซับซ้อนนี้ออกเป็น 2 ปัญหาย่อย คือ ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถและปริมาณที่ต้องจัดเก็บภายในศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้ารายย่อย และปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถและปริมาณที่ต้องจัดเก็บภายในผู้ผลิตและศูนย์กระจายสินค้า แล้วจึงสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งที่เรียกว่า Zero – Inventory Ordering Policy ขึ้นสำหรับหาคำตอบของปัญหาข้างต้น โดยนโยบาย Zero – Inventory Ordering นี้ประกอบไปด้วยนโยบายย่อย 2 นโยบาย คือ Fixed Partition Policy (FPP) และ Power of Two (POT) ซึ่ง Chan and Levi (1998) ค้นพบว่า หากศูนย์กระจายสินค้าไม่จัดเก็บสินค้าใดๆ และประพฤติตัวเป็นเพียงสถานที่ที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อยเท่านั้นจึงจะเกิดความคุ้มค่าสูงสุด

Jung and Mathur (2007) ได้พัฒนางานวิจัยของ Chan and Levi (1998) โดยแสดงให้เห็นว่า หากจำนวนของลูกค้ารายย่อยมีจำนวนจำกัดและค่าการจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้ามีค่าต่ำเมื่อเทียบกับการจัดเก็บที่ลูกค้ารายย่อย การจัดเก็บสินค้าภายในศูนย์กระจายสินค้านับเป็นทางเลือกการดำเนินงานที่สามารถยอมรับได้

Zhao (2008) ได้ขยายประเด็นปัญหา 3 - Tier IRP โดยพิจาณาเพิ่มประเภทของรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าที่มีมากกว่า 1 ชนิด (Heterogeneous fleet) องค์ประกอบปัญหาในงานวิจัยของ Zhao (2008) ประกอบไปด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวนหนึ่งศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อยอีกจำนวนหนึ่ง การจัดส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า สามารถเลือกใช้รถขนส่งได้สองประเภท คือ รถบรรทุกที่มีค่าความจุขนาดเล็กหรือรถไฟที่มีค่าความจุขนาดใหญ่ หากแต่การจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อยจะใช้รถบรรทุกขนาดเล็กในการขนส่งเท่านั้น งานวิจัยของ Zhao (2008) ยินยอมให้มีการจัดเก็บสินค้าได้ทั้งในศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้ารายย่อย ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวถูกแก้ด้วยการใช้ FPP ในการแบ่งกลุ่มลูกค้ารายย่อย จากนั้นจึงนำหลักการ POT มาใช้ในการสร้างเส้นทางการขนส่งเริ่มแรก และใช้ Variable Large Neighborhood Search (VLNS) ซึ่งเป็น Meta – Heuristic ประเภทหนึ่งมาใช้ในการพัฒนาเส้นทางในการขนส่งในลำดับถัดมา

Li (2011) เป็นงานวิจัยที่มีลักษณะปัญหาคล้ายคลึงกับงานวิจัยฉบับนี้ที่สุด กล่าวคือ ในขณะที่งานวิจัยข้างต้นพิจารณาเส้นทางการขนส่งสินค้าเพียง 2 รูปแบบ (การขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า และการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย) งานวิจัยของ Li (2011) ได้เพิ่มเส้นทางการขนส่งขึ้นอีกรูปแบบหนึ่ง คือ การขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อยโดยตรง ส่งผลทำให้มีเส้นทางการเดินรถถึง 3 รูปแบบ ทั้งนี้องค์ประกอบของปัญหาในงานวิจัยของ Li (2011) ประกอบไปด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวนหนึ่งที่เป็นค่าคงที่ และลูกค้ารายย่อยจำนวนหนึ่ง ในการขนส่งสินค้าสามารถเลือกรถบรรทุกได้สองขนาดที่มีค่าความจุแตกต่างกัน อีกทั้งยังยินยอมให้มีการจัดเก็บสินค้าได้ในทุกบริเวณ กล่าวคือ ที่ผู้ผลิต, ที่ศูนย์กระจายสินค้า และที่ลูกค้ารายย่อย วิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยของ Li (2011) เลือกที่จะแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วย FPP จากนั้นจึงแบ่งการจัดเส้นทางการเดินรถออกเป็นสามปัญหาย่อย คือ ปัญหาการจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า, ปัญหาการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย และปัญหาการจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อย โดยใช้ Genetic Algorithm ในการสร้างคำตอบเริ่มต้นและปรับปรุงเส้นทางการเดินรถ

2.2.2 การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบ

แม้ว่าปัญหา Inventory Routing Problem ถูกจัดไว้อยู่ในกลุ่มปัญหา NP – Hard เมื่อพิจารณาจากตัวแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นจากปัญหา VRP อย่างไรก็ตามปัญหา IRP สามารถออกแบบให้อยู่ในรูปของปัญหาประเภทเครือข่าย (Network Problem) ได้ เช่น ในงานวิจัยของ Song (2004) และ Gaur and Fisher (2004) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา การสร้างตัวแบบในการหาคำตอบปัญหา IRP มักมุ่งเน้นไปที่ปัญหาประเภท 2 - Tier เป็นส่วนใหญ่

Song (2004) แก้ปัญหา 2 – Tier IRP ด้วยการสร้างตัวแบบที่เรียกว่า Time – Expanded Network ขึ้น โดยพิจารณาปัญหา IRP ในมุมมองปัญหาเครือข่าย (Network Problem) ทั้งนี้การเชื่อมต่อกันระหว่างจุดสองจุดเปรียบได้กับการเคลื่อนย้ายรถบรรทุกจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งเราสามารถแบ่งการเคลื่อนย้ายรถเหล่านี้ได้ออกเป็น 3 ประเภท คือ การขนย้ายสินค้า, การหยุดรถอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่ง และการเคลื่อนย้ายรถเปล่า วัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยของ Song (2004) คือ การหาต้นทุนการดำเนินงานที่ต่ำที่สุดที่เกิดจากการเดินรถทั้งสามรูปแบบ โดยมีข้อจำกัดหลัก (Constraints) ที่การจัดเก็บสินค้า

ในทำนองเดียวกัน Guar and Fisher (2004) ได้สร้างตัวแบบเครือข่ายที่มีความคล้ายคลึงกับตัวแบบของ Song (2004) เพื่อหาคำตอบของปัญหา 2 – Tier IRP ในอุตสาหกรรมห้างสรรพสินค้า อย่างไรก็ตามเนื่องจากปัญหา IRP เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ จึงส่งผลทำให้ตัวแบบที่ถูกสร้างขึ้นมีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการแก้ปัญหานาน Gaur and Fisher (2004) จึงได้ออกแบบวิธีการลดเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบลง โดยจัดแบ่งประเภทลูกค้ารายย่อย แล้วจึงนำตัวแบบที่สร้างขึ้นในการหาคำตอบในลำดับถัดมา

สังเกตได้ว่างานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้นนั้น ไม่พิจารณาถึงประเด็นของปัญหาที่ยินยอมให้ลูกค้ารายหนึ่งๆ สามารถรับสินค้าจากรถบรรทุกได้หลายคัน (Split Delivery Problem) ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับงานวิจัยอื่นที่เสนอแนวทางการแก้ปัญหา Split Delivery Problem เพิ่มเติม โดยงานวิจัยของ Yan et al. (2015) นับเป็นหนึ่งในงานวิจัยที่นำเสนอเสนอแนวทางที่มีประสิทธิภาพสำหรับแก้ปัญหา Split Delivery

ในงานวิจัยของ Yan (2015) ได้มีการนำ Time – Expanded Network Optimization Model มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหา VRP ที่ผนวกกับปัญหา Split Delivery โดยแบ่งการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกสินค้าออกเป็น 3 แบบ เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Song (2004) กล่าวคือ การขนย้ายสินค้า, การหยุดรถอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่ง และการเคลื่อนย้ายรถเปล่า หากแต่ Yan (2015) ยินยอมให้จุดๆ หนึ่ง มีรถบรรทุกเข้าส่งสินค้าได้

มากกว่า 1 ครั้ง กล่าวคือ Yan (2015) ได้สร้างตัวแบบ Time – Expanded Network ของรถบรรทุกแต่ละคันซ้อนกันอยู่บนช่วงเวลาเดียวกันส่งผลทำให้แผนการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกคันใดๆ เป็นอิสระต่อกันและเป็นการเคลื่อนที่อยู่บนชั้นๆ หนึ่งของตัวแบบดังกล่าว ที่ถูกเชื่อมโยงด้วยจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเดียวกัน

เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยของ Yan (2015) ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า งานวิจัยดังกล่าวมีลักษณะการดำเนินงานที่คล้ายคลึงกับงานวิจัยฉบับนี้ กล่าวคือ เป็นการสร้างตัวแบบ Time – Expanded Network ของรถบรรทุกแต่ละคันซ้อนกันอยู่บนช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อหาคำตอบของปัญหา Split Delivery ได้ หากแต่เมื่อพิจารณาจากงานวิจัยของ Yan (2015) โดยละเอียด จะพบว่าขนาดของปัญหา VRP ที่ผนวกเข้ากับปัญหา Split Delivery นั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าปัญหา VRP ทั่วไป ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ ซึ่ง Yan (2015) แก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างอัลกอริทึ่ม (Algorithm) เพิ่มเติมเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลง

จากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหา 2 – Tier IRP, 3 – Tier IRP และ Split Delivery ข้างต้น พบว่ายังไม่มีงานวิจัยฉบับใดที่นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหา 3 – Tier IRP ที่ผนวกรวมเข้ากับปัญหา Split Delivery อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด ซึ่งมีปริมาณความต้องการแน่นอน (Deterministic Demand) ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network โดยมีองค์ประกอบของปัญหา คือ ผู้ผลิตจำนวนหนึ่งราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวนหนึ่ง และกลุ่มของลูกค้ารายย่อยจำนวนหนึ่ง และมีเส้นทางการในการจัดส่งสินค้าทั้งสิ้น 3 รูปแบบ คือ

1. การจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า
2. การจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย
3. การจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อยโดยตรง

ทั้งนี้งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการจัดส่งในระยะยาว โดยต้องจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าได้ตรงเวลา และไม่เกิดการขาดสินค้า (Shortage) ผ่านตัวแบบ Time – Expanded Network

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

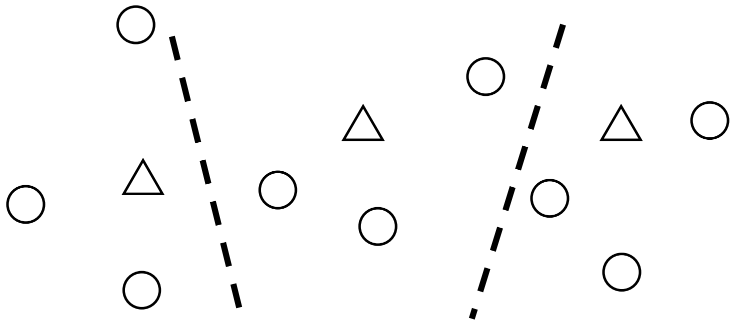
โดยทั่วไป ปัญหา Inventory Routing Problem (IRP) เป็นปัญหาที่พิจารณาประเด็นหลัก 2 ประเด็น คือ ปริมาณสินค้าที่จัดส่งให้กับลูกค้าแต่ละราย และแผนการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อจัดส่งสินค้าดังกล่าว โดยคำตอบของปัญหา IRP ที่ดีจะต้องเป็นคำตอบที่มีประสิทธิภาพในทั้ง 2 ประเด็น จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า เราสามารถแบ่งทฤษฎีที่ใช้ในการหาคำตอบปัญหา IRP ได้เป็น 2 ประเภท คือ การสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง และการสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบ

การสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง เกิดจากการนำวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน 2 วิธีมาใช้ร่วมกัน เพื่อค้นหาคำตอบสำหรับปัญหา IRP โดยวิธีการแรกถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบของปัญหา IRP ในแง่มุมของการจัดเส้นทางการเดินรถ ส่วนอีกวิธีการหนึ่งนั้นถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบในแง่มุมของเวลาที่ใช้ในการจัดส่งสำหรับลูกค้าแต่ละราย ทั้งนี้วิธีการที่เป็นที่นิยมในการหาคำตอบของปัญหา IRP ในประเด็นของการจัดเส้นทางการเดินรถ คือ Fixed Partition Policy (FPP) ในขณะที่วิธีการที่เป็นที่นิยมนำมาใช้เพื่อค้นหาคำตอบของกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย คือ Power of Two (POT) อย่างไรก็ตามทฤษฎีที่กล่าวถึงข้างต้น เป็นเพียงทฤษฎีที่งานวิจัยในปัจจุบันนิยมเลือกใช้ แต่มิได้จัดว่าเป็นวิธีการที่เฉพาะเจาะจงสำหรับการแก้ปัญหา IRP แต่อย่างใด

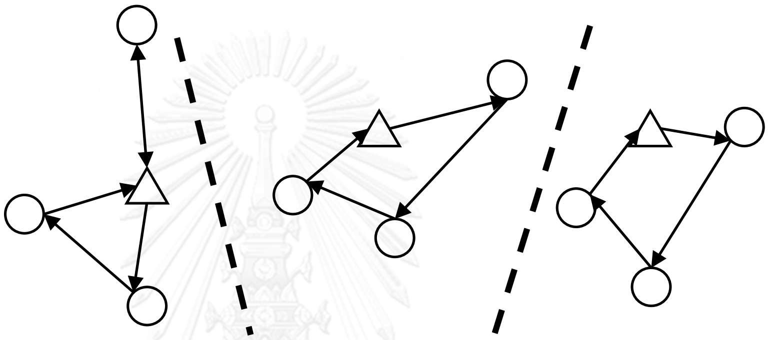
2.3.1 Fixed Partition Policy (FPP)

งานวิจัยส่วนใหญ่ที่พิจารณาการแก้ปัญหา IRP โดยการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง (Chan and Levi, 1998, Zhoa et al, 2008) จะเริ่มแก้ปัญหาด้วยการจัดหมวดหมู่ของปัญหาโดยแบ่งขนาดของปัญหาที่ประกอบไปด้วย ผู้ผลิต และลูกค้ารายย่อย (สำหรับกรณีปัญหาแบบ 2 – Tier IRP) ออกเป็นส่วนย่อยๆ (Clustering) ก่อนเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการหาเส้นทางการเดินรถ ผลงานวิจัยของ Marín (2013) ซึ่งเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดการรถโดยสารบริเวณสนามบินที่มีลักษณะของปัญหาเป็นแบบ Multi – Commodity Flow บ่งชี้ว่าการแบ่งขนาดของปัญหาออกเป็นส่วนย่อยๆ จะช่วยลดขอบเขตของปัญหาลง ส่งผลให้เกิดเป็นปัญหาย่อยที่สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างการแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อยนี้สามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.2 และการสร้างเส้นทางเดินรถภายในส่วนย่อยสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.2 การแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อยๆ (Clustering)



รูปที่ 2.3 เส้นทางการเดินรถในแต่ละส่วนย่อย

การสร้างเส้นทางการเดินรถและกรอบเวลาในการจัดส่ง จะถูกสร้างขึ้นภายหลังจากการจัดหมวดหมู่ระบบ ซึ่งการแบ่งระบบออกเป็นส่วนย่อยๆ นี้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่สนใจ อาทิ หากปัญหาที่สนใจมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน (Traveling Salesman Problem, TSP) ที่ทราบความต้องการของลูกค้าล่วงหน้า (Deterministic Demand) เราสามารถสร้างเส้นทางการเดินรถได้ด้วยอัลกอริทึ่ม (Algorithm) พื้นฐานต่างๆ เช่น Lin – Kernighan's Algorithm (Lin and Kernighan, 1971) หรือ Insertion Heuristic (Gendreau et al., 1992)

เราอาจกล่าวได้ว่างานวิจัยที่พิจารณาการแก้ปัญหา IRP ด้วยวิธีการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งนั้นจะแบ่งปัญหาขนาดใหญ่ให้กลายเป็นปัญหาขนาดเล็กหลายๆ ปัญหาก่อน แล้วจึงสร้างเส้นทางการเดินรถในภายในปัญหาขนาดเล็กนั้นๆ ด้วยอัลกอริทึ่มพื้นฐาน ในลำดับถัดมา

ทั้งนี้ Fixed Partition Policy (FPP) จัดเป็นวิธีการสำหรับหาเส้นทางการเดินรถที่ทำการแบ่งขนาดของปัญหาก่อน แล้วจึงสร้างเส้นทางการเดินรถขึ้นภายหลัง โดยเริ่มต้นจากการแบ่งปัญหาขนาดใหญ่ออกเป็นปัญหาย่อยที่มีขนาดเล็ก เพื่อใช้สร้างชุดคำตอบเบื้องต้น (Initial Solution) จากนั้นจึงสร้างเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมในแต่ละปัญหาย่อย แล้วค่อยๆ ปรับเปลี่ยนลักษณะของปัญหาย่อยๆ ซึ่งนำไปสู่การปรับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถในแต่ละปัญหาย่อย จนนำไปสู่คำตอบสุดท้าย ทั้งนี้หากพิจารณาการแก้ปัญหาด้วย FPP เราอาจกล่าวได้ว่า FPP นับเป็นหนึ่งใน 2 – Phase Heuristic ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน กล่าวคือ เป็นวิธีการที่เริ่มจากการสร้างชุดคำตอบเบื้องต้น แล้วจึงใช้ ฮิวริสติกแบบต่างๆ เช่น Tabu Search, Variable Neighborhood Search (VNS) ในการปรับปรุงชุดคำตอบเบื้องต้นให้ดียิ่งขึ้นภายในข้อกำหนดต่างๆ ของปัญหา

ผู้ดำเนินงานวิจัยยกตัวอย่างจากงานวิจัยของ Li (2011) ซึ่งใช้ FPP ในการแบ่งขอบเขตของปัญหาขนาดใหญ่ออกเป็น 3 ปัญหาย่อย โดยประกอบไปด้วย

1. ปัญหาการจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อยโดยตรง
2. ปัญหาการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย
3. ปัญหาการจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้า

Li (2011) พบว่าคำตอบที่ได้จากปัญหาที่ 1 คือ จำนวนลูกค้ารายย่อยที่สามารถจัดส่งจากผู้ผลิตได้โดยตรงจะถูกนำไปใช้เป็นค่าคงที่ (parameter) สำหรับปัญหาการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย และคำตอบจากปัญหาที่ 2 คือ ปริมาณการใช้รวมของลูกค้ารายย่อยในขอบเขตของศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นค่าคงที่ ให้กับปัญหาการจัดส่งจากศูนย์กระจายสินค้าผู้ผลิตไปยังศูนย์กระจายสินค้าเช่นกัน

เมื่อ Li (2011) แบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้ว จึงได้เริ่มหาแผนการจัดส่งรวมถึงกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งแต่ละรายภายในปัญหาย่อยนั้นๆ โดยใช้อัลกอริทึ่มต่างๆ ในการสร้างคำตอบเริ่มต้น แล้วจึงนำฮิวริสติกต่างๆ มาใช้เพื่อพัฒนาเส้นทางการเดินรถนั้น และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการดังกล่าว จึงนำฮิวริสติกต่างๆ มาใช้ปรับปรุงการแบ่งปัญหาย่อย และทำการปรับปรุงเส้นทางการเดินรถในปัญหาย่อยใหม่ จากนั้นจึงทำการรวมต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในแต่ละปัญหาย่อยเข้าด้วยกันเพื่อเป็นคำตอบสำหรับปัญหา IRP

2.3.2 Power of two (POT)

POT เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Management) ที่มุ่งเน้นการคำนวณหารอบการสั่งที่เหมาะสม โดยเราสามารถนำทฤษฎี POT มาประยุกต์ใช้กับปัญหา IRP เพื่อหารอบการสั่งที่เหมาะสมของรถขนส่งในแต่ละระบบย่อยๆ ภายหลังจากการแบ่งปัญหาด้วย FPP แล้ว ทฤษฎี POT ได้ระบุไว้ว่า รอบของการสั่งที่ส่งผลต่อต้นทุนในการจัดเก็บที่เหมาะสมจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่เป็นพหุคูณของ 2 และต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการปรับรอบการสั่งให้เป็นพหุคูณของ 2 นั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับกรณีที่เลวร้ายที่สุดซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (1)

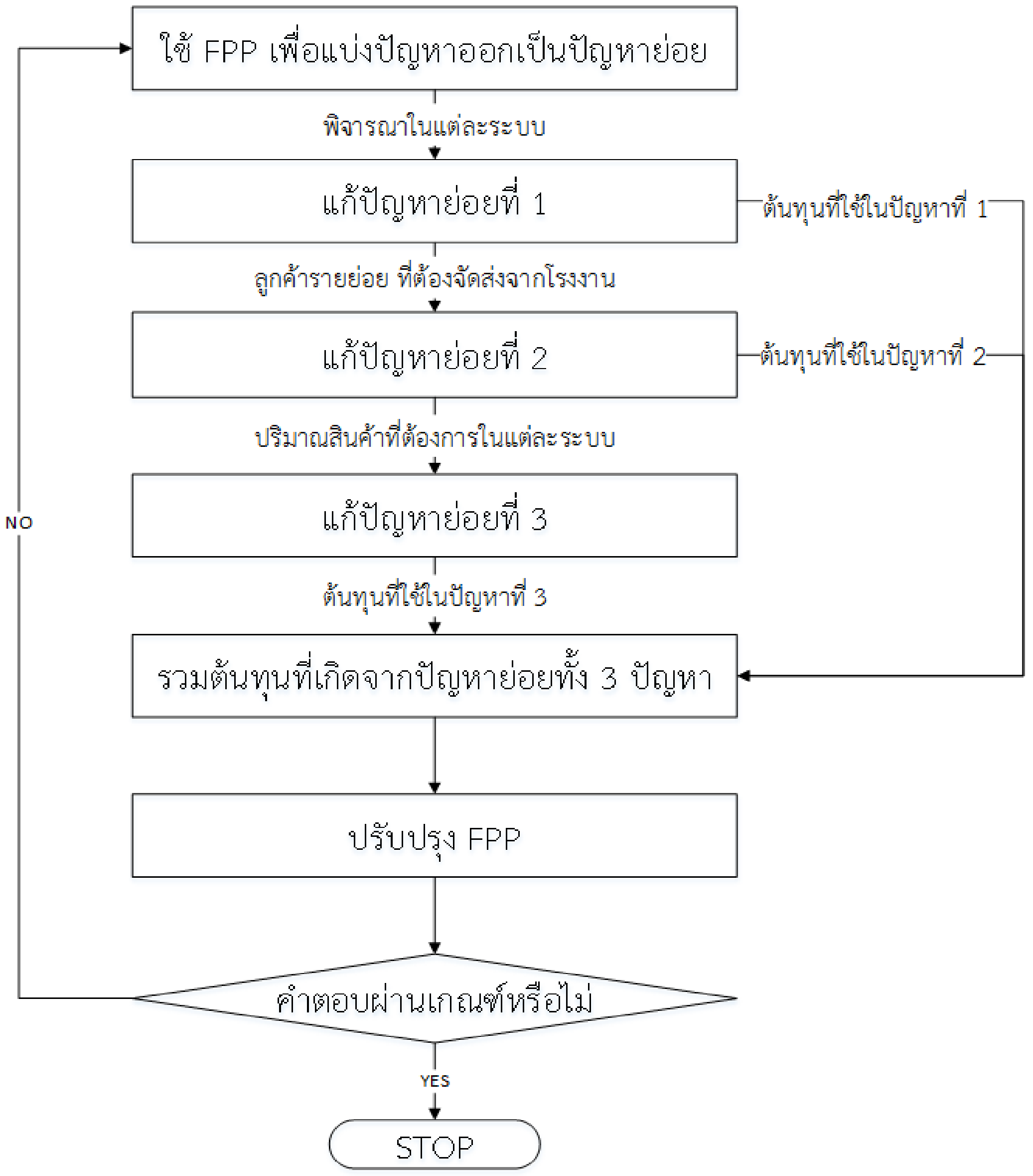
$$POT = 2^m \times T^* \qquad (1)$$

โดย T^* หมายถึงรอบการสั่งที่เหมาะสมเดิม

งานวิจัยของ Zhao (2008) ได้คำนวณหารอบการสั่งปกติของรถแต่ละคัน ในแต่ละปัญหาย่อยด้วย POT จากนั้นจึงคำนวณหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดซึ่งเกิดจากรอบการสั่งที่เหมาะสมภายในแต่ละปัญหาย่อย แล้วจึงปรับรอบการสั่งให้อยู่ในขอบเขตของพหุคูณกำลังสอง

สังเกตได้ว่าการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งเพื่อแก้ปัญหา IRP นั้นจำเป็นต้องใช้ทั้งทฤษฎี FPP และ POT ผนวกรวมกัน ตัวอย่างของกระบวนการหาคำตอบอย่างเป็นขั้นตอนโดยใช้ทฤษฎีทั้งสองนี้ในการแก้ปัญหา (อ้างอิงจากกงานวิจัยของ Li (2011)) ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



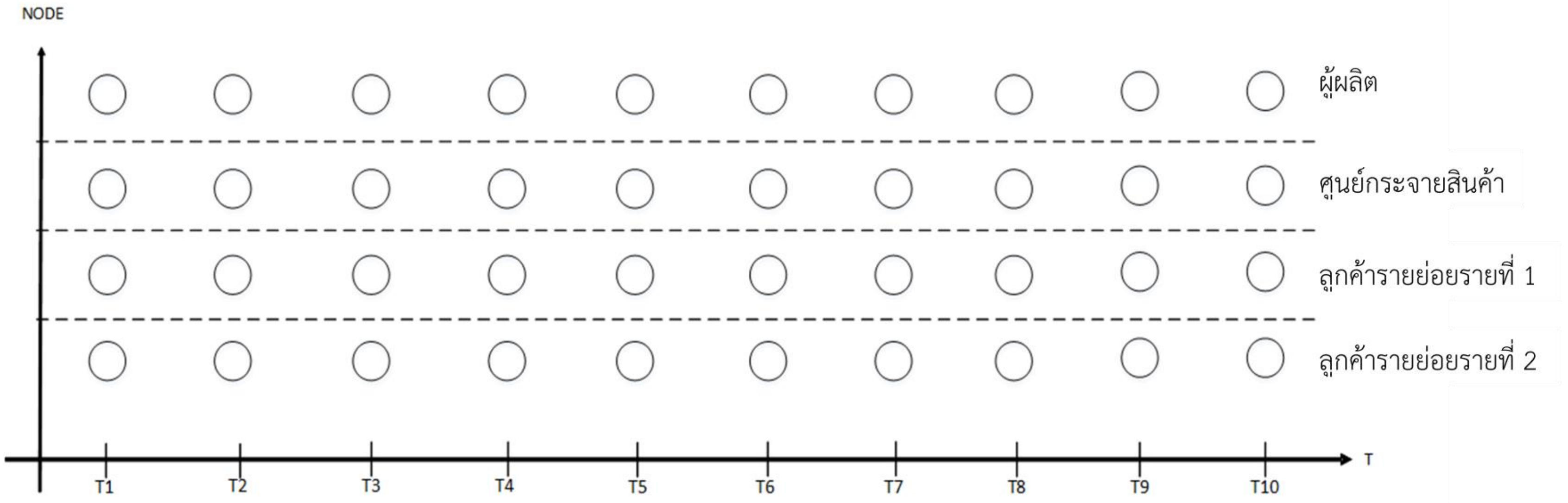
รูปที่ 2.4 วิธีการหาคำตอบจากงานวิจัยของ Li (2011)

2.3.3 Time – Expanded Network Optimization Model

ตัวแบบ Time – Expanded Network นั้นเป็นตัวแบบที่พิจารณาการเชื่อมต่อกันระหว่างจุด (Node) ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา กล่าวคือ Time – Expanded Network Optimization Model จะพิจารณาจุดๆ หนึ่งของตัวแบบในเวลาที่แตกต่างกันเป็นจุดที่ต่างกัน ตัวแบบดังกล่าวเดิมเป็นตัวแบบที่นิยมใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักร (Scheduling Problem) แต่อย่างไรก็ตามปัญหา IRP นั้นเป็นปัญหาที่สามารถนำ Time – Expanded Network Optimization Model ไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบได้ (Song, 2004) องค์ประกอบที่สำคัญของตัวแบบ Time – Expanded Network นั้นประกอบด้วย จุดภายในตัวแบบ (Nodes) และเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุด (Arcs)

ทั้งนี้ระยะเวลาที่แตกต่างกันระหว่างจุดสองจุดย่อยจะถูกเรียกว่า ช่วงเวลาย่อย โดยขนาดของช่วงเวลาย่อยนี้ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายรถ ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของปัญหา เช่น หากรถบรรทุกใช้เวลาในหน่วยวันในการขนส่ง ขนาดของช่วงเวลาย่อยในตัวแบบสามารถแบ่งให้อยู่ในหน่วยวันได้ ในทำนองเดียวกันขนาดของช่วงเวลาย่อยนี้ อาจถูกแบ่งให้อยู่ในหน่วย วัน, ชั่วโมง หรือนาที ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่พิจารณา โดยขนาดของตัวแบบจะแปรผันตามความละเอียดของช่วงเวลาย่อย กล่าวคือ ขนาดของตัวแบบที่แบ่งขนาดของเวลาย่อยทุกๆ 5 นาที จะมีขนาดใหญ่กว่าตัวแบบที่แบ่งขนาดของเวลาย่อยทุกๆ 1 ชั่วโมง เมื่อกำหนดกรอบเวลาของระบบที่ 1 วันเท่ากัน นอกจากนี้ ระยะเวลาสุดท้ายที่ถูกพิจารณาด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network จะถูกเรียกว่า เวลาทั้งหมดของระบบ สำหรับปัญหา IRP นั้นการจัดส่งทั้งหมดจะต้องอยู่ภายในเวลาของระบบ

รูปที่ 2.5 แสดงจุดตัวอย่างใน Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 ราย และลูกค้าจำนวน 2 ราย ในเวลาที่แตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณา รูปที่ 2.5 ค่า T10 เป็นค่าที่แสดงเวลาทั้งหมดของระบบ และระยะห่างระหว่าง T1 – T2, T2 – T3, T3 – T4 จนถึงช่วงเวลา T9 – T10 คือ ช่วงเวลาย่อย



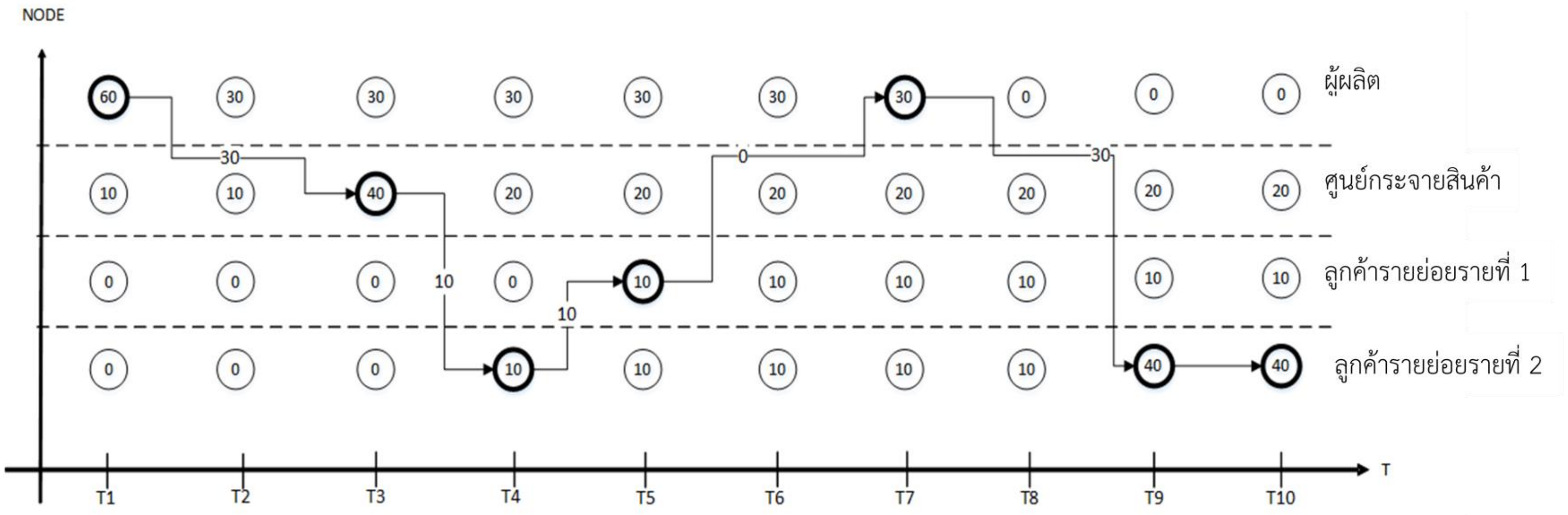
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10

การเชื่อมโยงระหว่างจุด 2 จุด ในตัวแบบ Time – Expanded Network สามารถเปรียบได้กับการเคลื่อนที่ของรถบรรทุก สังเกตได้ว่าจากจุดๆ หนึ่ง จะมีเส้นทางที่ใช้ในการตัดสินใจเพื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่นใน รูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงตัวอย่างในการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกคันหนึ่งไปยังจุดต่างๆ โดยเมื่อเริ่มต้นวัน เนื่องจากรถบรรทุกอยู่ ณ บริเวณผู้ผลิต และสินค้ามีที่สามารถนำไปใช้จัดส่งได้อยู่ 60 ชิ้น รถบรรทุกคันดังกล่าวจึงสามารถรับสินค้าจากผู้ผลิตแล้วเคลื่อนที่ไปยังศูนย์กระจายสินค้า โดยใช้รถบรรทุกที่มีขนาดความจุ 30 ชิ้น เพื่อจัดเก็บสินค้าบางส่วนไว้ที่ศูนย์กระจายสินค้า จากนั้นจึงบรรทุกสินค้าจำนวน 20 ชิ้นเพื่อจัดส่งให้กับลูกค้ารายที่ 1 และ 2 อย่างไรก็ดี เนื่องจากความต้องการของลูกค้ารายที่ 2 ยังไม่ได้รับการเติมเต็ม ประกอบกับยังมีสินค้าคงเหลืออยู่ที่ผู้ผลิตอีก 30 ชิ้น จึงต้องทำการย้ายรถเปล่าเพื่อไปรับสินค้าจากผู้ผลิตแล้วจึงขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายที่ 2 ในเวลา T9 เมื่อพิจารณาถึงเวลาทั้งระบบจะพบว่า เราไม่สามารถเคลื่อนย้ายรถบรรทุกไปยังจุดอื่นๆ ได้อีก จึงทำการหยุดรถ ณ ตำแหน่งดังกล่าว ทั้งนี้จากรูปที่ 2.6 ตัวเลขที่อยู่ในวงกลม แสดงถึงปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละจุด และวงกลมที่มีกรอบเข้ม แสดงจุดที่รถบรรทุกนำส่งหรือรับสินค้าจากจุดนั้นๆ

จากการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกในรูปที่ 2.6 เราสามารถสรุปลักษณะการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. การเคลื่อนย้ายรถที่บรรทุกสินค้าสำหรับจัดส่งไปยังจุดต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้ช่วงเวลา T1 – T3, T3 – T4, T4 – T5 และ T7 – T9
2. การเคลื่อนย้ายรถบรรทุกเปล่าไปยังจุดต่างๆ ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้ช่วงเวลา T5 – T7
3. การหยุดรถ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งชั่วคราว ซึ่งเกิดขึ้นภายใต้ช่วงเวลา T9 – T10

เนื่องจากในแต่ละเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกมีต้นทุนที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจุดมุ่งหมายของตัวแบบ Time-Expanded Network จึงมุ่งเน้นไปที่การหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดอันเกิดจากการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกไปยังจุดต่างๆ



รูปที่ 2.6 การเคลื่อนที่ของรถบรรทุกหนึ่งไปยังจุดต่างๆ ใน Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10

2.3.4 การเปรียบเทียบ ข้อดี – ข้อเสีย ระหว่างการสร้างนโยบายสำหรับจัดส่งและการสร้างตัวแบบ

เมื่อพิจารณาถึง ข้อดี - ข้อเสีย ในการหาคำตอบของปัญหา IRP ระหว่างการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง และการสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบพบว่า การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบมีความยืดหยุ่น (flexibility) ในการหาคำตอบสูงกว่าการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งที่สร้างขึ้นจาก FPP และ POT เนื่องจากการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่ง มีการจัดหมวดหมู่ของระบบเพื่อแบ่งปัญหาใหม่ออกเป็นปัญหาย่อยๆ หากปริมาณความต้องการของลูกค้ามีความแปรปรวน (variation) สูงในแต่ละวัน อาจส่งผลทำให้ปัญหาที่ถูกแบ่งส่วน (Clustering) ไปแล้วไม่รองรับกับลักษณะปริมาณความต้องการ ส่งผลทำให้ต้องแบ่งขนาดของปัญหาใหม่ทุกครั้งที่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณความต้องการ ในขณะที่การหาคำตอบด้วยวิธีการสร้างตัวแบบสามารถรองรับต่อความแปรปรวนของปริมาณความต้องการได้ นอกจากนี้ การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบยังสามารถรองรับการแก้ปัญหา Split Delivery ได้ด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณจุด (Nodes) ในขณะที่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างนโยบายสำหรับการจัดส่งส่วนใหญ่ มักจะไม่พิจารณาปัญหา Split Delivery Problem ร่วมด้วย เนื่องจากการเพิ่มประเด็นปัญหา Split Delivery Problem นั้น จะขยายขอบเขตของปัญหาเดิมออกส่งผลให้นโยบายการจัดส่งเดิมที่สร้างขึ้นสำหรับปัญหา IRP ไม่สามารถใช้หาในการคำตอบได้

แม้ว่า การสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบจะมีความยืดหยุ่นสูงกว่าการสร้างนโยบายการจัดส่ง อย่างไรก็ตามการสร้างตัวแบบเพื่อหาคำตอบได้แลกเปลี่ยน (Trade off) ความยืดหยุ่นในการแก้ปัญหากับความรวดเร็วที่ใช้ในการแก้ปัญหา เนื่องจากการสร้างตัวแบบมีเส้นทางที่เชื่อมกันระหว่างจุดเป็นจำนวนมาก ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องพิจารณาหาแนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาลงด้วย

บทที่ 3
แนวทางการแก้ปัญหา

แนวทางแก้ปัญหาภายในงานวิจัยฉบับนี้ มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้ Time – Expanded Network Optimization Model ในการหาคำตอบของปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem ที่ผนวกกับปัญหา Split Delivery ภายในกรอบเวลาที่จำกัด (3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery Problem and Time Window, 3 – Tier IRPSDTW)

3.1 ปัญหาในงานวิจัย (Problem Description)

ปัญหาภายในงานวิจัยฉบับนี้ มีลักษณะเป็นปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem ที่ผนวกกับปัญหา Split Delivery ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (3 – Tier IRPSDTW) ที่ประกอบไปด้วยผู้ประกอบการทั้งหมด 3 แบบ คือ ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน n แห่ง และลูกค้ารายย่อยจำนวน m ราย โดยมีเส้นทางในการขนส่งทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ การจัดส่งจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อยโดยตรง, การจัดส่งจากผู้ผลิตไปจัดเก็บไว้ในคลังจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้าและการจัดส่งจากคลังจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายย่อย ทั้งนี้การจัดส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปจัดเก็บไว้ภายในคลังจัดเก็บของศูนย์กระจายสินค้าก่อนเป็นไปเพื่อลดต้นทุนในการกระจายสินค้าดังแสดงไว้ในบทที่ 1 อย่างไรก็ตามงานวิจัยฉบับนี้จะไม่พิจารณาปริมาณความต้องการของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อลดขอบเขตของปัญหา นอกจากนี้ เราจะไม่ยินยอมให้เกิดกรณีสินค้าขาดมือที่ลูกค้ารายย่อยอย่างเด็ดขาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวแบบ Time – Expanded Network เบื้องต้นที่ใช้ในการแก้ปัญหา มีความคล้ายคลึงกับตัวแบบในงานวิจัยของ Song (2013) โดย Time – Expanded Network Optimization Model หากแต่ภายในงานวิจัยฉบับนี้มีข้อแตกต่างที่เด่นชัด คือ งานวิจัยฉบับนี้พิจารณาปัญหาที่ความต้องการของลูกค้าจะต้องถูกเติมเต็มภายในขอบเขตของวันที่กำหนด และเพิ่มประเด็นการพิจารณาค่าจัดเก็บสินค้าในแต่ละตำแหน่งเมื่อสิ้นสุดวัน อีกทั้งยังมีการเพิ่มประเด็นค่ารับและจัดส่งสินค้าในแต่ละตำแหน่งด้วย

เนื่องจากปัญหา IRP เป็นปัญหาในกลุ่ม NP – Hard การหาคำตอบของปัญหา IRP ส่วนใหญ่จึงใช้เวลานาน ดังนั้นเราจึงต้องพิจารณาหาแนวทางในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวด้วยแนวคิดที่จำกัดเส้นทางการเดินรถ หรือการลดเส้นทางการเดินรถที่ไม่จำเป็นออกในช่วงก่อนการหาคำตอบ (Preprocessing) แล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้ในการหาคำตอบในตัวแบบต่อไป

3.2 สมมติฐาน (Assumptions)

เพื่อให้ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพ การแก้ไขปัญหาภายในงานวิจัยฉบับนี้จึงจำเป็นต้องตั้งสมมุติฐานบางประการ โดยสมมุติฐานของงานวิจัยฉบับนี้ ประกอบด้วย

1. ที่ตั้งและปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเป็นข้อมูลที่ทราบล่วงหน้า
2. เส้นทางระหว่าง ผู้ผลิต, ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้า มีเพียงเส้นทางเดียวและมีระยะทางที่แน่นอน
3. เวลาที่ใช้ในการเดินทางขาไปและขากลับ มีขนาดเท่ากัน
4. ไม่พิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการรับและจัดส่งสินค้า โดยพิจารณาเฉพาะเวลาที่ใช้ในการเดินทางเพียงเท่านั้น

3.3 ค่าคงที่ (Parameters)

1. ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับผู้ผลิต, ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้า
   - อัตราปริมาณสินค้าที่ผู้ผลิตสามารถผลิตได้ (Production Rate) ในหน่วย จำนวนชิ้นต่อวัน
   - อัตราความต้องการของลูกค้า (Demand Rate) ในหน่วย จำนวนชิ้นต่อวัน
   - ความจุของคลังจัดเก็บสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้า
2. ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับรถบรรทุก
   - จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด
   - ตำแหน่งเริ่มต้นของรถบรรทุก
   - ประเภทของรถบรรทุก
   - ความจุของรถบรรทุกแต่ละประเภท

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่ง
   - ต้นทุนของการเคลื่อนที่รถบรรทุกจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง
   - ต้นทุนของการรับสินค้าหรือส่งสินค้า ณ ตำแหน่งใดๆ
   - ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่รถบรรทุกจากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง
   - ระยะเวลาที่ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้
   - ค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บ
   - ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้าในแต่ละตำแหน่ง

3.4 ข้อจำกัด (Limitations)

- ไม่ยินยอมให้ลูกค้าเกิดสภาวะสินค้าขาดมือ (No Shortage)
- ไม่มีของในรถเมื่อสิ้นวัน

3.5 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น (Mathematical Model)

- ค่าดัชนี (Index)

$t = 1, 2, .., nT, nT+1$	T =	ช่วงเวลาย่อยทั้งหมดที่สนใจในช่วงเวลาหนึ่งวันของตัวแบบ โดยค่า n บ่งบอกถึงจำนวนวัน ที่พิจารณาในตัวแบบ
$d = T, 2T, .., (n-1)T, nT$	d =	ช่วงเวลาที่สนใจในหน่วยวัน โดยค่า n บ่งบอกถึงจำนวนวัน ที่พิจารณาในตัวแบบ

หากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหา IRP ต้องการหาคำตอบทุกๆ 2 วัน ค่า d จะถูกกำหนดให้มีค่าสูงสุดเพียง nT เท่านั้น อย่างไรก็ตาม หากขอบเขตของการหาคำตอบสำหรับปัญหา IRP ถูกขยายออกไปเกินกว่า 2 วัน ค่า d สามารถปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูป nT ได้

- เซต (Sets)

P = จำนวนของผู้ผลิตทั้งหมด

F = จำนวนของศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด

C = จำนวนของลูกค้าทั้งหมด

v = จำนวนรถบรรทุกที่สนใจทั้งหมด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- เครือข่าย (Networks)

กำหนดให้เครือข่าย (Network) $G=(N_r, A^k)$ โดย $\mathrm{N}_r = N \cup DN$ แสดงจุดทั้งหมดในตัวแบบ Time – Expanded Network หรือหมายถึงจำนวนจุด (Nodes) ทั้งหมดในตัวแบบ ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ดังนี้

- $N=(i,t), i \in P \cup F \cup C, t \in \{1,2,..,nT\}$ จำนวน Node ปกติในตัวแบบ โดย (i,t) บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ ที่รถบรรทุกคันหนึ่งจะเข้าไปยังตำแหน่ง i ณ เวลา t
- $DN=\{(i^0,0),(i^{nT+1}, nT+1)\}$ แสดงจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของรถบรรทุกแต่ละคัน ทั้งนี้ DN เป็นเพียงจุดสมมุติที่ใช้สำหรับอ้างอิงตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสิ้นสุดของรถบรรทุกแต่ละคันเท่านั้น

เซตของเส้นเชื่อม A^k ในเครือข่าย G แสดงถึง ความเป็นไปได้ทั้งหมดในการเชื่อมจุดสองจุดในตัวแบบเข้าด้วยกัน ซึ่ง A^k แสดงเส้นเชื่อมระหว่างจุดทั้งหมดภายในระบบสำหรับรถบรรทุกคันที่ k โดยที่ $A^k=\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}^k$ เมื่อ $(i,t),(j,t+t_{ij}) \in N_r$ และ $i \neq j$ ทั้งนี้ t_{ij} หมายถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j สำหรับรถบรรทุกคันที่ k

- ค่าคงที่ (Parameters)

c_a แสดงต้นทุนของการเดินทางเมื่อใช้เส้นเชื่อม $a \in A^k$ ทั้งนี้การเดินทางจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของรถ

- $c_a = c_{ij}$ เมื่อ $a=((i,t),(j,t+t_{ij}))$ กล่าวคือ เมื่อรถมีการเคลื่อนที่ออกจากตำแหน่ง i ไปยังตำแหน่ง j ต้นทุนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ c_{ij}
- $c_a = 0$ เมื่อ $a=((i,t),(i,t+1))$ กล่าวคือ เมื่อรถหยุดรออยู่ที่ตำแหน่งหนึ่ง ต้นทุนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0
- $c_a = 0$ เมื่อ $a=\{((i^0,t),(i,1)),((i,nT),(i^{nT+1},nT+1))\}$ กล่าวคือ เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ออกจากจุดเริ่มต้นและกลับเข้าจุดสิ้นสุด ต้นทุนดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 0

c_d = ต้นทุนของการจัดส่งสินค้า ณ ตำแหน่ง n เมื่อ $d=(n,t) \in N_r$

c_p = ต้นทุนสินค้าของการรับสินค้า ณ ตำแหน่ง n เมื่อ $p=(n,t) \in N_r$

c_n = ต้นทุนของการจัดเก็บสินค้า ณ ตำแหน่ง n เมื่อ $n=(i,t) \in N_r$

$U_{(i,t)}$ = อัตราการใช้สินค้าของลูกค้า $i \in C$ จากระยะเวลา $t-1$ ถึง t

$P_{(i,t)}$ = อัตราการผลิตสินค้าของผู้ผลิต $i \in P$ จากระยะเวลา $t-1$ ถึง t

C_i = ปริมาณถังจัดเก็บ ณ ตำแหน่ง i เมื่อ $i \in P \cup F \cup C$

v_k^0 = ปริมาณสินค้าคงคลังภายในรถบรรทุก ณ เวลาเริ่มต้น

$I_{(i,0)}$ = ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ ตำแหน่ง i เมื่อ $i \in P \cup F \cup C$ เมื่อต้นวัน

Q_k = ปริมาณถังจัดเก็บสำหรับรถบรรทุกคันที่ k โดย $k \in v$

- ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบ Time – Expanded Network นี้ ประกอบไปด้วยตัวแปร 5 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรที่แสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกแต่ละคัน, ปริมาณการรับสินค้าจากจุดรับสินค้า, ปริมาณการส่งสินค้าไปยังลูกค้า, ปริมาณสินค้าคงคลังในรถบรรทุก และปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละจุด ซึ่งอธิบายอย่างละเอียดได้ ดังนี้

x_a = 1 ถ้ารถบรรทุก k ใช้เส้นทาง a ในการขนส่ง เมื่อ $a \in A^k$
= 0 ในกรณีอื่นๆ

d_n^k = ปริมาณการส่งสินค้าที่ตำแหน่ง $n=(i,t) \in N$ โดยรถบรรทุกคัน k

u_n^k = ปริมาณการรับสินค้าที่ตำแหน่ง $n=(i,t) \in N$ โดยรถบรรทุกคัน k

v_n^k = ปริมาณสินค้าคงคลังภายในรถบรรทุก k ณ สิ้นสุดเวลา t

$I_{(i,t)}$ = ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ ตำแหน่ง i เมื่อสิ้นสุดเวลา t

- สมการจุดประสงค์ (Objective function)

วัตถุประสงค์ของตัวแบบ Time – Expanded Network นี้เป็นไปเพื่อหาต้นทุนที่ต่ำสุดที่เกิดจากการรวมกันของต้นทุนการดำเนินงาน 4 ส่วนอันประกอบไปด้วย ต้นทุนจากการจัดเส้นทางการเดินรถ, ต้นทุนในการบริหารคลังสินค้า, ต้นทุนการรับสินค้า และต้นทุนจากการส่งสินค้า ดังสมการที่ (1)

$$z = \min \sum_{k \in v} \sum_{a \in A^k} c_a x_a + \sum_{t \in d} \sum_{n \in N} c_n I_{(n,t)} + \sum_{k \in v} \sum_{d,n \in N} c_d d_n^k + \sum_{k \in v} \sum_{p,n \in N} c_p u_n^k \quad (1)$$

- ข้อจำกัด (Constraints)

รถบรรทุกทุกคัน เมื่อวิ่งเข้าหาจุดใดๆ ในตัวแบบแล้ว จะต้องออกจากจุดดังกล่าวเสมอ ยกเว้นเฉพาะจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดวันดังแสดงไว้ในสมการที่ (2) ทั้งนี้รถบรรทุกจะออกจากตำแหน่งเริ่มต้นได้เพียงครั้งเดียว (สมการที่ (3)) และวิ่งเข้าตำแหน่งสุดท้ายได้เพียงครั้งเดียวเช่นเดียวกัน (สมการที่ (4))

$$\sum_{\{a\in A^k: head\ of\ a\ is\ n\}} x_a - \sum_{\{a\in A^k: tail\ of\ a\ is\ n\}} x_a = 0 \qquad ;\forall k\in v, \forall n\in N \setminus t\in\{0, nT+1)\} \qquad (2)$$

$$\sum_{a\in A^k: tail\ of\ a\ is\ (i^0,0)} x_a = 1 \qquad ;\forall k\in v \qquad (3)$$

$$\sum_{a\in A^k: head\ of\ a\ is\ (i^{nT+1}, nT+1)} x_a = 1 \qquad ;\forall k\in v \qquad (4)$$

การรับหรือจัดส่งสินค้าจะต้องเกิดขึ้นในกรณีที่รถบรรทุกอยู่ ณ จุดใดๆ ในตัวแบบเท่านั้น และปริมาณสินค้าที่ทำการรับหรือจัดส่งต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถบรรทุกแต่ละคันที่เข้าหรือออกจากจุดนั้นๆ โดยสมการที่ (5) แสดงถึงกรณีในการรับสินค้าของรถบรรทุก และสมการที่ (6) แสดงถึงกรณีการจัดส่งสินค้าของรถบรรทุก

$$d_n^k \le Q_k \sum_{a\in A^k: a\ is\ out\ from\ n} x_a \qquad ;\forall k\in v, \forall n\in N \qquad (5)$$

$$u_n^k \le Q_k \sum_{a\in A^k: a\ is\ out\ from\ n} x_a \qquad ;\forall k\in v, \forall n\in N \qquad (6)$$

ปริมาณของสินค้าภายในรถ ณ เวลาปัจจุบัน เท่ากับ ปริมาณเดิมบวกหรือลบกับปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่ง ดังแสดงในสมการที่ (7)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$v_k^{t-1} - \sum_{n=(i,t):i\in C} d_n^k + \sum_{n=(i,t):i\in P} u_n^k = v_k^t \qquad ;\forall k\in v, \forall t\in t \qquad (7)$$

เมื่อพิจารณาที่จุดของผู้รับสินค้า ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาปัจจุบัน มีค่าเท่ากับปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาก่อนหน้า บวกกับปริมาณสินค้าที่ถูกจัดส่ง แล้วจึงลบออกด้วยปริมาณสินค้าที่ถูกใช้ไป ดังสมการที่ (8)

$$I_{(i,t-1)} + \sum_{k\in v} d_n^k - U_{(i,t)} = I_{(i,t)} \qquad ;\forall i\in C, \forall t\in t, \forall n=(i,t)\in N \qquad (8)$$

เมื่อพิจารณาที่จุดของศูนย์กระจายสินค้า ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาปัจจุบัน มีค่าเท่ากับปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาก่อนหน้า ลบออกด้วยปริมาณสินค้าที่ต้องนำไปจัดส่ง แสดงได้ในสมการที่ (9)

$$I_{(i,t-1)} + \sum_{k\in v} d_n^k - \sum_{k\in v} u_n^k = I_{(i,t)} \qquad ;\forall i\in F, \forall t\in t, \forall n=(i,t)\in N \qquad (9)$$

เมื่อพิจารณาที่จุดของผู้ผลิตสินค้า ปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาปัจจุบัน มีค่าเท่ากับปริมาณสินค้าคงคลัง ณ เวลาก่อนหน้า ลบออกด้วยปริมาณสินค้าที่ต้องนำไปจัดส่ง (ในกรณีที่ไม่มีอัตราการผลิตสินค้า เราสามารถปรับแก้ข้อจำกัดนี้ได้ โดยการตัด $P_{(i,t)}$ ออกได้) ดังแสดงในสมการที่ (10)

$$I_{(i,t-1)} - \sum_{k\in v} u_n^k + P_{(i,t)} = I_{(i,t)} \qquad ;\forall i \in P, \forall t \in t, \forall n = (i,t) \in N \qquad (10)$$

ปริมาณสินค้าคงคลังของลูกค้าจะต้องเพียงพอต่อความต้องการเสมอ และปริมาณสินค้าคงคลังของผู้ผลิตจะต้องไม่เกินคลังจัดเก็บสินค้า

$$I_{(i,t-1)} \ge U_{(i,t)} \qquad ;\forall i \in C, \forall t \in t \qquad (11)$$

$$I_{(i,t)} \le C_i \qquad ;\forall i \in P \cup F \cup C, \forall t \in t \qquad (12)$$

ไม่มีปริมาณสินค้าคงเหลือภายในรถ เมื่อสิ้นสุดวัน

$$v_k^t = 0 \qquad ;\forall k \in v, \forall t \in d \qquad (13)$$

หากเรามีข้อกำหนดให้ไม่มีปริมาณสินค้าคงเหลือบริเวณผู้ผลิต ณ เวลาสิ้นวัน เราสามารถเพิ่มสมการที่ (14) ด้านล่างเพิ่มเติมได้ แต่หากเราพิจารณารูปแบบของปัญหา IRP ใดๆ ที่ไม่มีข้อกำหนดดังกล่าว เราสามารถตัดสมการที่ (14) ออกได้

$$I_{(i,t)} = 0 \qquad ;\forall i \in P, \forall t \in d \qquad (14)$$

รถบรรทุกไม่สามารถรับสินค้าในตำแหน่งของลูกค้า และไม่สามารถส่งสินค้าได้ในตำแหน่งของผู้ผลิต

$$u_n^k = 0 \qquad ;\forall n = (i,t) \in N, \forall i \in C, \forall t \in t, \forall k \in v \qquad (15)$$

$$d_n^k = 0 \qquad ;\forall n = (i,t) \in N, \forall i \in P, \forall t \in t, \forall k \in v \qquad (16)$$

ค่าจำกัดขอบเขตของตัวแปรตัดสินใจต่างๆ

$$x_a \in \{0,1\} \qquad ;\forall a \in A^k, \forall k \in v \qquad (17)$$

$$d_n^k \ge 0 \qquad ;\forall k \in v, \forall n = (i,t) \in N \qquad (18)$$

$$u_n^k \ge 0 \qquad ;\forall k \in v, \forall n = (i,t) \in N \qquad (19)$$

$$0 \le v_k^t \le Q_k \qquad ;\forall t \in t, \forall k \in v \qquad (20)$$

$$I_{(i,t)} \ge 0 \qquad ;\forall i \in P \cup F \cup C, \forall t \in t \qquad (21)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.6 แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เลือกที่จะสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นที่ทราบดีว่า การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาประเภท NP – Hard นั้นจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน ดังนั้นการสร้างแนวทางสำหรับการลดเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา IRP จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่ส่งผลต่อขนาดของตัวแบบ Time – Expanded Network พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของตัวแบบมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วน คือ

1. จำนวนจุด (Node) ทั้งหมดในตัวแบบ
2. จำนวนเส้นทางเชื่อม (Arc) ในตัวแบบ

งานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบ Time – Expanded Network สำหรับปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ซึ่งประกอบไปด้วย แนวทางการลดจำนวนจุดในตัวแบบ และ แนวทางการลดจำนวนเส้นเชื่อมในตัวแบบ

3.6.1 การลดจำนวนจุดในตัวแบบ

เนื่องจากจำนวนจุด (Node) ทั้งหมดในตัวแบบจัดเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อขนาดของปัญหาโดยตรง กล่าวคือ หากจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ตัวแบบจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น (เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาที่มีจุดในตัวแบบน้อยกว่า) ทั้งนี้จุดในตัวแบบ Time – Expanded Network เป็นจุดที่สร้างขึ้นโดยอ้างอิงจากตำแหน่งและเวลา ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นจำนวนจุดจะถูกกำหนดด้วยขนาดของช่วงเวลาย่อยในตัวแบบ จึงสามารถกล่าวได้ว่า การลดความละเอียดของตัวแบบลง ด้วยการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยให้กว้างขึ้น จะช่วยลดจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบลงได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาปัญหา 2 ปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการรวม 9 รายเท่ากัน แต่ปัญหาแรกแบ่งช่วงเวลาย่อยที่สนใจทุกๆ 10 นาที ปัญหาดังกล่าวจะมีจุดทั้งหมด 2,592 จุด ($9\times6\times24$) ในหนึ่งวัน แต่ในขณะที่ในอีกปัญหาหนึ่งแบ่งช่วงเวลาย่อยที่สนใจออกเป็นช่วง 1 ชั่วโมง ปัญหาดังกล่าวจะมีจุดทั้งหมดเพียง 216 จุด (9×24) ในเวลาหนึ่งวันเท่ากัน เนื่องจากการขยายช่วงเวลาย่อยให้กว้างขึ้นจะสามารถลดจำนวนจุดในตัวแบบลงได้ ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลดลงด้วยเช่นกัน

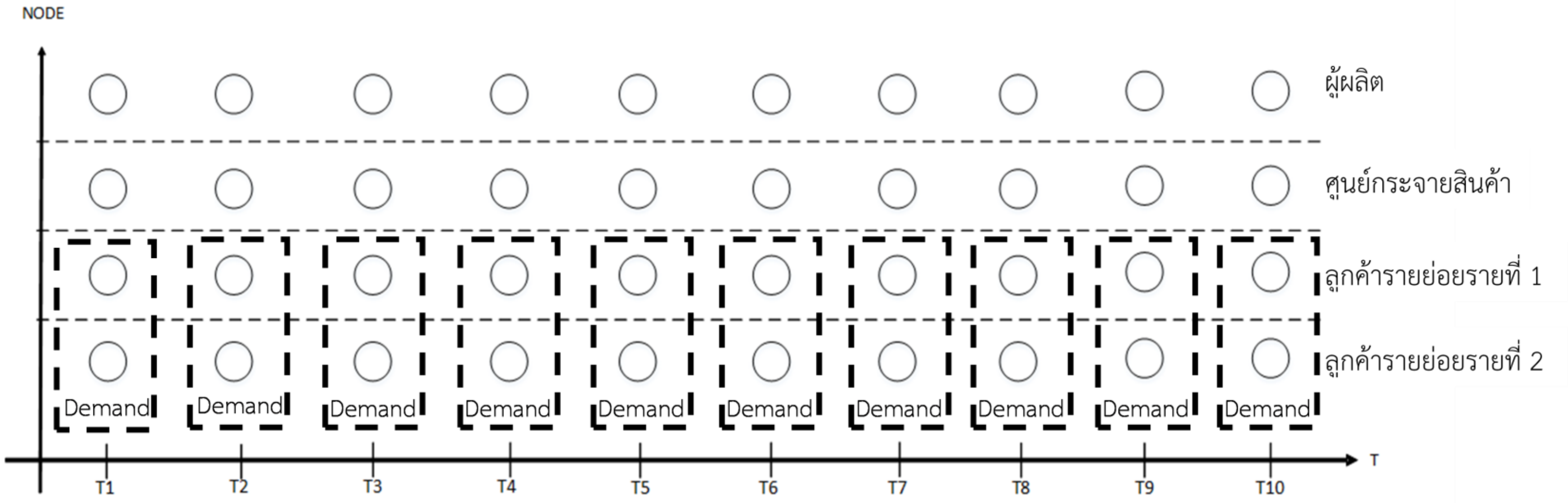
ทั้งนี้การลดจำนวนจุดในตัวแบบด้วยวิธีการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยให้กว้างขึ้นเป็นการแลกเปลี่ยนความละเอียดของคำตอบที่ได้รับ กับเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่น้อยลง อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยให้กว้างขึ้น จำเป็นจะต้องพิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

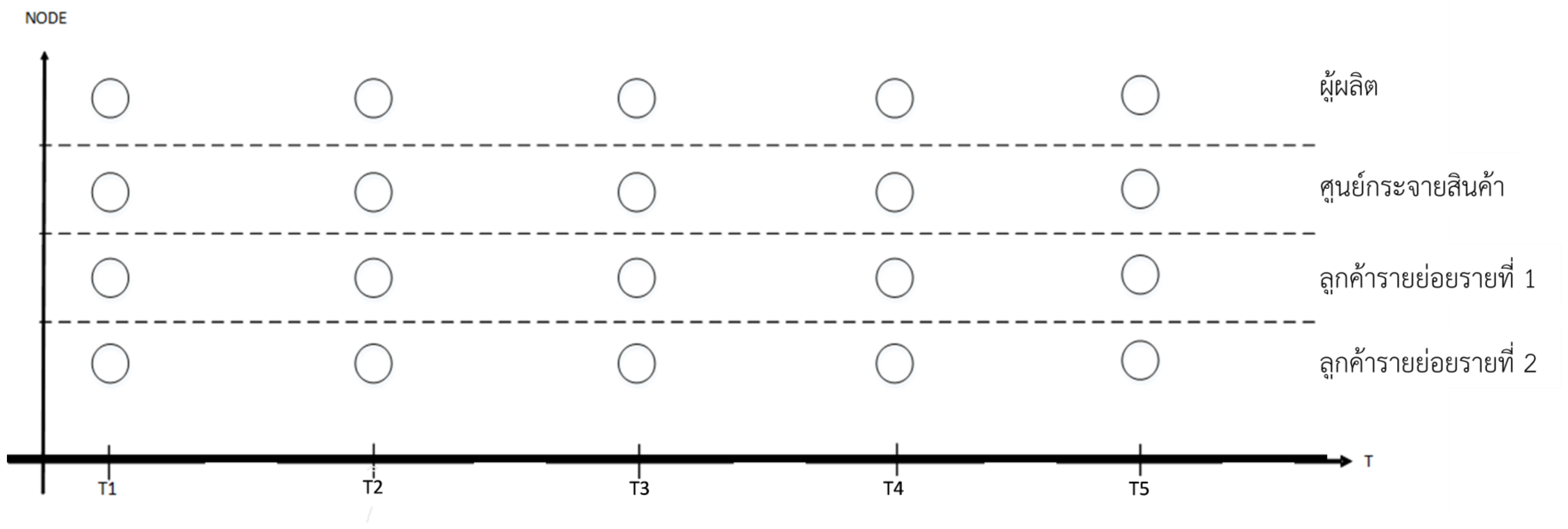
ถึงลักษณะของปัญหาเสียก่อน ในบางปัญหาการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยให้กว้างขึ้น อาจส่งผลทำให้ลักษณะปัญหาเปลี่ยนแปลงไป เช่น หากปัญหาหนึ่ง พิจารณาเวลาของระบบที่ 10 ช่วงเวลา และมีปริมาณความต้องการสินค้าในทุกช่วงเวลาย่อย อีกทั้งคิดค่าการจัดเก็บสินค้าในทุกช่วงเวลาย่อย ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.1 หากเราทำการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยออก จะส่งผลทำให้เวลาของระบบเหลือเพียง 5 ช่วงเวลา ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.2 ซึ่งการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยในปัญหาดังกล่าวส่งผลทำให้ลักษณะของปัญหานั้นเปลี่ยนแปลงไป โดยเราต้องเพิ่มปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลาย่อยเพื่อรองรับปริมาณความต้องการในช่วงเวลาย่อยที่เราตัดออก และเพิ่มต้นทุนในการจัดเก็บของในแต่ละช่วงเวลาย่อยเพื่อทดแทนการจัดเก็บในช่วงเวลาย่อยที่เราตัดออก อย่างไรก็ตาม หากลักษณะของปัญหานั้นต้องการให้เติมเต็มปริมาณความต้องการสินค้าภายในวันนั้นๆ และพิจารณาค่าจัดเก็บสินค้าที่ท้ายวัน การขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยออกนั้น ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อปัญหาโดยตรง หากแต่ส่งผลต่อความละเอียดของคำตอบที่ได้รับเพียงเท่านั้น

ในทำนองเดียวกัน การใช้ตัวแบบเพื่อแก้ปัญหาหลายวันต่อเนื่องกันจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยเช่นกัน เนื่องจากปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้มีลักษณะเป็นปัญหา NP – Hard กล่าวคือ ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการแก้ปัญหาขนาดใหญ่เพียงปัญหาเดียว จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานกว่าการแก้ปัญหาขนาดเล็กหลายๆ ปัญหา ด้วยเหตุดังกล่าวการลดเวลาในการหาคำตอบของปัญหา NP – Hard อีกวิธีหนึ่งคือ การแบ่งปัญหาที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ลง เพื่อให้เป็นปัญหาที่มีขนาดเล็กลงหลายๆปัญหาแทน

ดังนั้นหากพิจารณาตัวแบบ Time – Expanded Network ภายในงานวิจัยฉบับนี้ พบว่าเมื่อพิจารณาค่าดัชนี t เมื่อ $t = 1,2,..,nT,nT+1$ โดย n บ่งบอกจำนวนวันที่พิจารณาในตัวแบบ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อตัวแบบทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น พบว่าค่าดัชนี t ที่ถูกใช้เป็นค่าบ่งชี้เวลาทั้งหมดของระบบนั้น ขึ้นอยู่กับค่า n หรือจำนวนวันที่พิจารณาในตัวแบบ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขนาดของปัญหา กล่าวคือหากพิจารณาแก้ปัญหาที่มีจำนวนวันต่อเนื่องกันเป็นจำนวนหลายวัน ปัญหาที่พิจารณาจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลาในการแก้ปัญหานานตามไปด้วย



รูปที่ 3.1 แผนภาพตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ภายใต้กรอบเวลาของปัญหา T1 – T10 ที่มีปริมาณความต้องการในทุกช่วงเวลา



รูปที่ 3.2 แผนภาพตัวอย่าง Time – Expanded Network Optimization Model ของผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ที่ขยายขนาดของช่วงเวลาย่อยจนเหลือเวลาของระบบที่ 5 ช่วงเวลา

หากเปรียบเทียบตัวแบบ 2 ตัวแบบที่ใช้ในการแก้ปัญหา IRP ที่มีผู้ประกอบการรวม 9 ราย และแบ่งช่วงเวลาย่อยทุกๆ 1 ชั่วโมงภายใน 1 วันเท่ากัน หากแต่กำหนดจำนวนวันที่ใช้ในการแก้ปัญหาแตกต่างกัน โดยกำหนดให้จำนวนวันที่พิจารณาในการแก้ไขปัญหาต่อเนื่องกันที่ 1 วัน และ 3 วัน สำหรับกรณีที่พิจารณาจำนวนวันเพียง 1 วันนั้น ขนาดของตัวแบบที่แก้ปัญหาเพียง 1 วันจะมีจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบ 216 จุด (9×24) เท่านั้น ดังนั้นเราจึงต้องทำการหาคำตอบทีละวันรวมทั้งสิ้น 3 ครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนวันเท่ากับกรณีที่พิจารณาปัญหาต่อเนื่องกัน 3 วัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาขนาดของตัวแบบที่แก้ปัญหา 3 วันต่อเนื่องกันนั้น พบว่ามีจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบถึง 648 จุด (9×24×3) สังเกตได้ว่าการลดจำนวนวันที่พิจารณาลงนั้น สามารถลดจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบลงได้ซึ่งส่งผลให้ปัญหาขนาดใหญ่ กลายเป็นปัญหาที่มีขนาดเล็กลงจำนวนหลายปัญหา ส่งผลทำให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลดลงด้วยเช่นกัน

ทั้งนี้การลดขนาดของปัญหาด้วยการแก้ปัญหาเป็นรายวันเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในชื่อ Rolling Horizon โดย Rolling Horizon จะแบ่งปัญหาขนาดใหญ่ออกเป็นปัญหาขนาดเล็กหลายๆปัญหาปัญหา และตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) ในช่วงเวลาสุดท้ายของปัญหาก่อนหน้า จะกลายเป็นค่าคงที่ (parameter) สำหรับตัวแบบในปัญหาย่อยถัดไป

กล่าวโดยสรุปได้ว่าการลดจำนวนจุดในตัวแบบ Time – Expanded Network นั้น สามารถดำเนินการได้ด้วยการขยายระยะเวลาของช่วงเวลาย่อย และการใช้ Rolling Horizon เพื่อลดจำนวนวันที่ต่อเนื่องของการแก้ปัญหา และลดระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

3.6.2 การลดจำนวนเส้นเชื่อมในตัวแบบ

สำหรับการลดจำนวนเส้นเชื่อมในตัวแบบนี้ จะดำเนินการผ่าน 2 แนวทางที่สำคัญได้แก่

1. แนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถ
2. แนวทางการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง

3.6.2.1 แนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถ

การตัดเส้นทางจัดเป็นแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบ โดยเราอาจจะเลือกตัดเส้นทางที่ไม่สมควรมีอยู่ในชุดคำตอบที่มีผลเฉลยต่ำที่สุด (Optimal Solutions) ออก เพื่อลดขนาดของปัญหาที่ต้องการแก้ไขลง

เมื่อพิจารณาเส้นทางการเดินรถในปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ที่ประกอบไปด้วยผู้ผลิต 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า n ราย และลูกค้ารายย่อย m ราย พบว่า เราสามารถแบ่งเส้นทางการเดินรถออกได้เป็น 5 รูปแบบหลัก ดังนี้

1. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ผู้ผลิต – ศูนย์กระจายสินค้า
2. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ผู้ผลิต – ลูกค้ารายย่อย
3. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย
4. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ศูนย์กระจายสินค้า
5. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย

เนื่องจากเส้นทางแต่ละรูปแบบมีลักษณะสมมาตร (Symmetric Network) กล่าวคือระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่งใดๆ จะมีค่าคงที่และเท่ากันทั้งในเส้นทางขาไปและขากลับ ส่งผลทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางในเส้นทางทั้งสองมีขนาดเท่ากันด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงปัญหา 3 – Tier IRPSDTW โดยละเอียดแล้ว รูปแบบเส้นทางทั้งหมดในปัญหาสามารถแบ่งย่อยออกได้อีกเป็น 8 เส้นทาง โดยมีเส้นทางเพิ่มเติม ดังนี้

6. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ผู้ผลิต
7. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ลูกค้ารายย่อย – ผู้ผลิต
8. เส้นทางการเดินรถระหว่าง ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า

จากเส้นทางการเดินรถที่แสดงไว้ข้างต้น ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า หากมีผู้ผลิตเป็นจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของเส้นทาง เส้นทางดังกล่าวจัดเป็นเส้นทางที่สำคัญและไม่สามารถตัดออกได้ นอกจากนี้เส้นทางการเดินรถระหว่างศูนย์กระจายสินค้า – ศูนย์กระจายสินค้า ยังจัดเป็นเส้นทางที่จำเป็นด้วยเช่นกัน เนื่องจากเส้นทางการเดินรถระหว่างศูนย์กระจายสินค้า – ศูนย์กระจายสินค้าจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายย่อย หากตัดเส้นทางเหล่านี้ออกอาจไม่สามารถจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายย่อยได้ ดังนั้นการพิจารณาตัดเส้นทางการเดินรถจึงจะพิจารณาเฉพาะเส้นทางการเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย, ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย เพียงเท่านั้น

ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้นำเสนอแนวทางการพิจารณาตัดเส้นทางการเดินรถออก เป็น 2 กรณี คือ แนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถที่ไม่จำเป็น และแนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถเพิ่มเติม

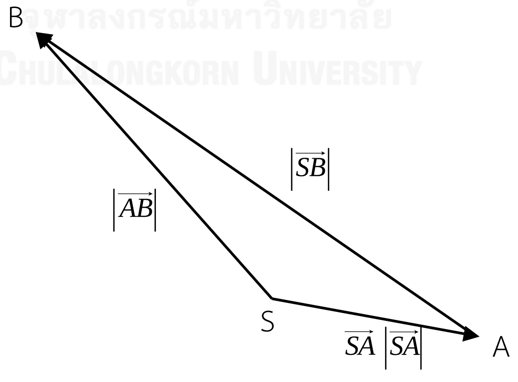
การตัดเส้นทางการเดินรถที่ไม่จำเป็นนั้นเป็นการตัดเส้นทางที่ไม่สมควรมีอยู่ในชุดคำตอบที่มีผลเฉลยต่ำที่สุดออก โดยเราสามารถตัดเส้นทางการเดินรถจากจุด A ไปยังจุด B ออกได้ หากเส้นทางดังกล่าวมีขนาดเกินกว่า ระยะทางจากผู้ผลิต (S) ไปยังจุด B เมื่อระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด B มีขนาดมากกว่าระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด A ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และอธิบายได้ด้วยสมการที่ (22)

$$\left|\overrightarrow{AB}\right| \ge \left|\overrightarrow{SB}\right| \qquad S \in P, \left|\overrightarrow{SB}\right| > \left|\overrightarrow{SA}\right| \tag{22}$$

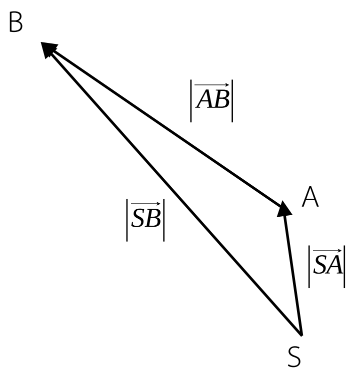
สำหรับแนวทางการตัดเส้นทางการเดินรถเพิ่มเติมนั้น เราเลือกที่จะตัดเส้นทางเพิ่มเติมได้ ในกรณีที่ระยะทางของเส้นทางเดินรถจากจุด A ไปยังจุด B มีขนาดน้อยกว่าระยะทางของเส้นทางเดินรถจากผู้ผลิตไปยังจุด B เมื่อระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด B มีขนาดมากกว่าระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด A ดังแสดงได้ในรูปที่ 3.4 โดยเราอาจเลือกตัดเส้นทางเดินรถจากจุด A ไปยังจุด B เมื่อระยะทางจากจุด A ไปยังจุด B มีขนาดเกินกว่า ผลคูณของค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งมีค่าระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง กับขนาดของระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด B เมื่อระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด B มีขนาดมากกว่าระยะทางจากผู้ผลิตไปยังจุด A ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการที่ (23)

$$\left|\overrightarrow{AB}\right| \ge n \times \left|\overrightarrow{SB}\right| \qquad 0 \le n \le 1, S \in P, \left|\overrightarrow{SB}\right| > \left|\overrightarrow{SA}\right| \tag{23}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3.3 ภาพประกอบสำหรับแนวทางการตัดเส้นทางเดินรถที่ไม่จำเป็น



รูปที่ 3.4 ภาพประกอบสำหรับแนวทางการตัดเส้นทางเดินรถเพิ่มเติม

ทั้งนี้ค่าของ n เป็นค่าคงที่ที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณเส้นทางการเดินรถที่ตัดออก โดยค่า n ที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อขนาดของปัญหา กล่าวคือ หาก n มีค่าเข้าใกล้ 1 เราไม่สามารถเลือกที่จะตัดเส้นทางการเดินรถใดๆ เพิ่มเติมได้ หากเมื่อค่า n มีค่าเข้าใกล้ 0 เราจะเลือกตัดเส้นทางเชื่อมระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย, ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย ออกทั้งหมด ส่งผลทำให้เหลือเพียงเส้นทางจัดส่งให้กับลูกค้าโดยตรง (Direct Shipping) เท่านั้น ดังนั้นการขนส่งให้กับลูกค้าโดยตรงจึงจัดเป็นขอบเขตบน (upper bound) ของปัญหาที่ตัดเส้นทางการเดินรถออก กล่าวคือ ปัญหา IRP ที่พิจารณาการตัดเส้นทางเดินรถออกแล้ว จะได้คำตอบที่แย่ที่สุดเท่ากับการขนส่งให้กับลูกค้าโดยตรงนั่นเอง ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า ค่าของ n ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยน (trade off) เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบกับคุณภาพของคำตอบที่ได้รับ ซึ่งการกำหนดค่า n ให้เหมาะสมจึงเป็นอีกหนึ่งประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาด้วย

หากพิจารณาจากสมการที่ (22) และ (23) พบว่าผู้ดำเนินงานวิจัยจะเลือกตัดเส้นทางการเดินรถที่มีขนาดยาวเมื่อเทียบกับการขนส่งทางตรงออก เนื่องจากในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดเส้นทางการเดินรถโดยส่วนมากนั้นเลือกที่จะตัดเส้นทางการเดินรถขนาดยาวออก เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (Paolo Toth and Vigo, 2003) ถึงแม้ว่าในบางกรณีเราอาจตัดเส้นทางการเดินรถขนาดยาวที่เป็นเส้นทางการเดินรถที่ควรมีอยู่ก็ตาม ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่าการตัดเส้นทางในงานวิจัยฉบับนี้จะมีประสิทธิภาพ ก็ต่อเมื่อปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อยที่เป็นจุดเริ่มต้นหรือจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเดินรถที่อาจตัดออกได้ (เส้นทางการเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย, ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย) มีค่าสูงเกินกว่ารถบรรทุกหนึ่งคันจัดส่ง เนื่องจากเราไม่มีความจำเป็นในการใช้เส้นทางการเดินรถขนาดยาวเหล่านี้สำหรับจัดส่งสินค้า

เพียงบางส่วนให้กับลูกค้ารายย่อย สำหรับกรณีเช่นนี้ การเลือกใช้เส้นทางการเดินรถจากผู้ผลิตหรือศูนย์กระจายสินค้าบริเวณใกล้เคียงโดยตรงอาจกล่าวได้ว่ามีความคุ้มค่ากว่า

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แนวทางการตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นด้วยการใช้สมการ (22) ในปัญหา IRP นั้น สามารถอธิบายได้ด้วยตัวอย่างเครือข่ายสมมุติที่ประกอบด้วยผู้ผลิตจำนวน 1 ราย (ตัวอักษร S), ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 ราย (ตัวอักษร F1) และลูกค้ารายย่อยจำนวน 2 ราย (ตัวอักษร A และ B) โดยเส้นทางเดินรถระหว่างจุดต่างๆ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.5 ทั้งนี้หากพิจารณาเส้นทางการเดินรถทั้งหมด จะพบว่ามีเส้นทางเดินรถทั้งหมด 6 เส้นทาง (หากพิจารณาเส้นทางการเดินรถแบบไป – กลับ จะมีเส้นทางเดินรถทั้งหมด 12 เส้นทาง) ซึ่งเป็นเส้นทางที่อาจตัดออกได้ (เส้นทางเดินรถระหว่าง ลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย, ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย และ ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า) 6 เส้นทาง นั่นคือเส้นทาง $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BA}, \overrightarrow{AF1}, \overrightarrow{F1A}, \overrightarrow{BF1}$ และ $\overrightarrow{F1B}$

- ก่อนการตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ เราจำเป็นต้องพิจารณาขนาดของเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SB}$ เสียก่อน โดยเราจะเลือกเส้นทางที่มีขนาดยาวกว่าเพื่อใช้เป็นเส้นทางเปรียบเทียบสำหรับการตัดเส้นทาง $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ ซึ่งจากรูปที่ 3.5 ขนาดของเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SB}$ มีค่าเท่ากับ 130 และ 300 หน่วยตามลำดับ ดังนั้นเราจะเลือกเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SB}$ ในการพิจารณาการตัดเส้นทาง $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ และเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.5 จะพบว่าเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ มีขนาด 310 หน่วย ซึ่งมีขนาดมากกว่าเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SB}$ ดังนั้นเราจึงเลือกตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ ออก

- ในการพิจารณาตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AF1}$ และ $\overrightarrow{F1A}$ เราจำเป็นต้องพิจารณาขนาดของเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SF1}$ เสียก่อนเช่นกัน โดยขนาดของเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SF1}$ มีค่าเท่ากับ 130 และ 320 หน่วยตามลำดับ ดังนั้นเราจึงเลือกเส้นทาง $\overrightarrow{SF1}$ สำหรับพิจารณาการตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AF1}$ และ $\overrightarrow{F1A}$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.5 พบว่าเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AF1}$ และ $\overrightarrow{F1A}$ มีขนาด 340 หน่วย ซึ่งมีขนาดมากกว่าเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SF1}$ ดังนั้นเราจึงสามารถตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{AF1}$ และ $\overrightarrow{F1A}$ ออกได้

- สำหรับการพิจารณาการตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{BF1}$ และ $\overrightarrow{F1B}$ นั้น เราจำเป็นต้องเปรียบเทียบขนาดของเส้นทางดังกล่าวกับเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SF1}$ และ $\overrightarrow{SB}$ โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.5 พบว่าเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SF1}$ และ $\overrightarrow{SB}$ มีขนาด 320 และ

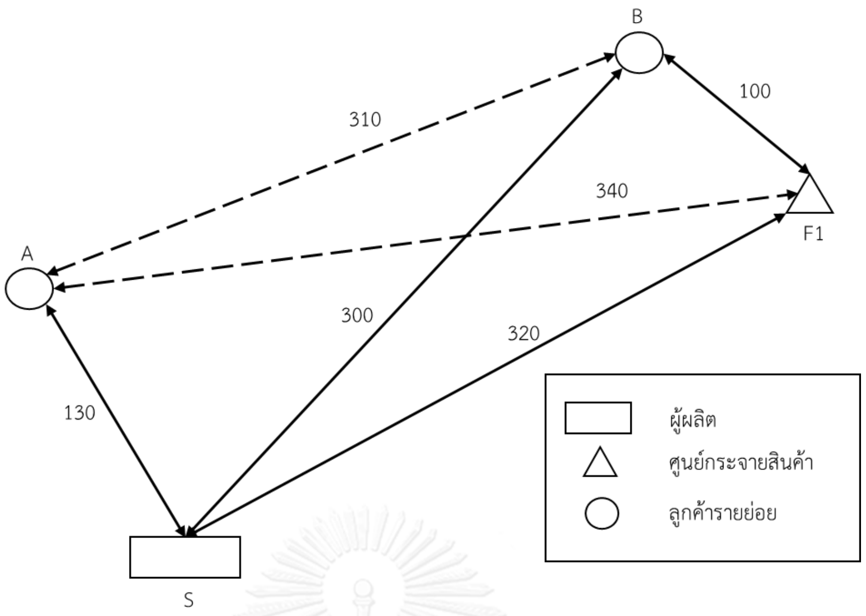
300 หน่วยตามลำดับ ทั้งนี้หากพิจารณาเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{BF1}$ และ $\overrightarrow{F1B}$ จะพบว่า เส้นทางดังกล่าวมีขนาดเพียง 100 หน่วยเท่านั้น ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SF1}$ และ $\overrightarrow{SB}$ ทั้งสองเส้นทาง ดังนั้นเราจึงไม่สามารถตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{BF1}$ และ $\overrightarrow{F1B}$ ออกได้

จากตัวอย่างข้างต้น เราสามารถตัดเส้นทางการเดินรถออกได้ทั้งสิ้น 4 เส้นทางดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.5 ด้วยเส้นประ ซึ่งประกอบด้วยเส้นทางต่อไปนี้

1. เส้นทางเดินรถจากจุด A ไปยังจุด B ($\overrightarrow{AB}$)
2. เส้นทางเดินรถจากจุด B ไปยังจุด A ($\overrightarrow{BA}$)
3. เส้นทางเดินรถจากจุด A ไปยังจุด F ($\overrightarrow{AF1}$)
4. เส้นทางเดินรถจากจุด F ไปยังจุด A ($\overrightarrow{F1A}$)

ทั้งนี้หากปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อย A และ B มีผลรวมไม่เกินความจุของรถบรรทุกที่จัดส่ง เราอาจกล่าวได้ว่าเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ เป็นเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมและไม่ควรตัดออก เนื่องจากเราสามารถใช้เส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{AB}$ ต่อเนื่องกันได้ โดยเส้นทางการเดินรถดังกล่าวจะมีขนาดเพียง 440 หน่วย (130+310) ซึ่งน้อยกว่าการจัดส่งด้วยวิธีการขนส่งทางตรง

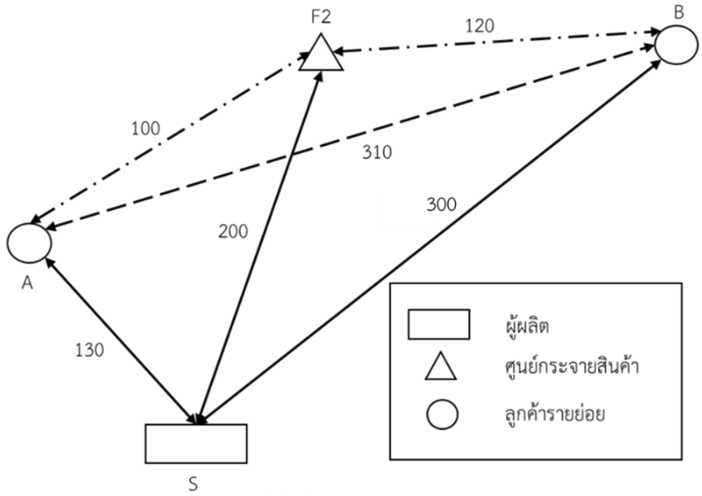
แต่หากปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อย A และ B นั้นมีขนาดเกินกว่าความจุของรถบรรทุกหนึ่งคันจัดส่งได้ เช่น ลูกค้ารายย่อย A และ B มีปริมาณความต้องการสินค้า 60 ชิ้น ในขณะที่รถบรรทุกที่ใช้จัดส่งมีความจุสินค้าเพียง 30 ชิ้น ในกรณีนี้หากเราจัดส่งสินค้าโดยเลือกใช้เส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ เส้นทางการเดินรถทั้งหมดที่ใช้ในการจัดส่งจะมีขนาดเท่ากับ 1100 หน่วย ($\overrightarrow{SA}+\overrightarrow{AS}+\overrightarrow{SA}+\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{BF}+\overrightarrow{FB}+\overrightarrow{BF}+\overrightarrow{FB}$,130+130+130+310+100+100+100 +100) ในขณะที่การจัดส่งที่ไม่ใช้เส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ จะมีขนาดของเส้นทางการเดินรถรวมเพียง 1020 หน่วยเท่านั้น ($\overrightarrow{SA}+\overrightarrow{AS}+\overrightarrow{SA}+\overrightarrow{AS}+\overrightarrow{SB}+\overrightarrow{BF}+\overrightarrow{FB}$, 130+130+130+130+300 +100+100) เราจึงอาจกล่าวได้ว่า การเลือกตัดเส้นทางดังกล่าวเป็นการตัดเส้นทางที่ไม่สมควรมีอยู่ในชุดคำตอบที่ดีที่สุดออกได้



รูปที่ 3.5 ภาพแสดงตัวอย่างการตัดเส้นทางของปัญหา IRP ด้วยสมการ (22)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แนวทางการตัดเส้นทางเพิ่มเติมด้วยการใช้สมการ (23) สามารถอธิบายได้ด้วย ตัวอย่างเครือข่ายสมมุติที่ประกอบด้วยผู้ผลิตจำนวน 1 ราย (ตัวอักษร S), ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 1 ราย (ตัวอักษร F2) และลูกค้ารายย่อยจำนวน 2 ราย (ตัวอักษร A และ B) โดยเส้นทางเดินรถระหว่างจุดต่างๆ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.6 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.6 เส้นทางการเดินรถที่อาจตัดออกได้ประกอบด้วยเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}, \overrightarrow{BA}, \overrightarrow{AF2}, \overrightarrow{F2A}, \overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ โดยเส้นทางทั้ง 6 เส้นทางนี้ สามารถแบ่งหมวดหมู่ได้ดังนี้

- แนวทางการตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นด้วยสมการที่ (22) ดังแสดงได้ด้วยเส้นประในรูปที่ 3.6
    - ประกอบด้วยเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AB}$ และ $\overrightarrow{BA}$ เนื่องจากเส้นทางการเดินรถดังกล่าวมีขนาดเกินกว่าเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SB}$ ดังที่อธิบายไว้ในตัวอย่างข้างต้น



รูปที่ 3.6 ภาพแสดงตัวอย่างการตัดเส้นทางของปัญหา IRP ด้วยสมการ (23)

- แนวทางการตัดเส้นทางเพิ่มเติมด้วยสมการที่ (23) ดังแสดงไว้ด้วยเส้นประในรูปที่ 3.6
  - ประกอบด้วยเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}, \overrightarrow{F2A}, \overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ เนื่องจากเส้นทางต่างๆ ดังกล่าวมีขนาดน้อยกว่าเส้นทางการเดินรถจะผู้ผลิต (S) ไปยังจุดสองจุดที่พิจารณา ตัวอย่างเช่น เส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}, \overrightarrow{F2A}$ นั้นมีขนาดน้อยกว่า เส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SF2}$

ดังนั้นสำหรับการพิจารณาการตัดเส้นทางเพิ่มเติมด้วยสมการที่ (23) เราจึงต้องพิจารณาเส้นทางการเดินรถอันประกอบด้วยเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}$, $\overrightarrow{F2A}$, $\overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ ทั้งนี้ในตัดอย่างการตัวเส้นทางเพิ่มเติมด้วยสมการที่ (23) ผู้ดำเนินงานวิจัยได้กำหนดค่าสมมติที่ $n = 0.5$ สำหรับการพิจารณาการตัดเส้นทาง

- โดยเมื่อพิจารณาการตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}$ และ $\overrightarrow{F2A}$ เราจำเป็นต้องพิจารณาขนาดของเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SF2}$ เสียก่อน โดยเราจะเลือกเส้นทางที่มีขนาดยาวกว่า เพื่อใช้เป็นเส้นทางเปรียบเทียบสำหรับการตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}$ และ $\overrightarrow{F2A}$ จากรูปที่ 3.6 $\overrightarrow{SA}$ และ $\overrightarrow{SF2}$ มีขนาด 130 และ 200 หน่วย ตามลำดับ ดังนั้นเราจึงเลือกใช้เส้นทาง $\overrightarrow{SF2}$ เป็นเส้นทางการเดินรถเปรียบเทียบ และเราจะสามารถตัดเส้นทาง $\overrightarrow{AF2}$ และ $\overrightarrow{F2A}$ ออกได้ก็ต่อเมื่อเส้นทางดังกล่าวมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับผลคูณของค่าคงที่ n (ที่ผู้ดำเนิน

งานวิจัยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.5) กับ $|\overrightarrow{SF2}|$ ซึ่งจากรูปที่ 3.6 พบว่าขนาดของเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}$ และ $\overrightarrow{F2A}$ นั้น มีขนาดเท่ากับ 100 หน่วย ซึ่งมีขนาดเท่ากับค่า 0.5×200 = 100 หน่วย ดังนั้นเราจึงสามารถเลือกตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{AF2}$ และ $\overrightarrow{F2A}$ ออกได้

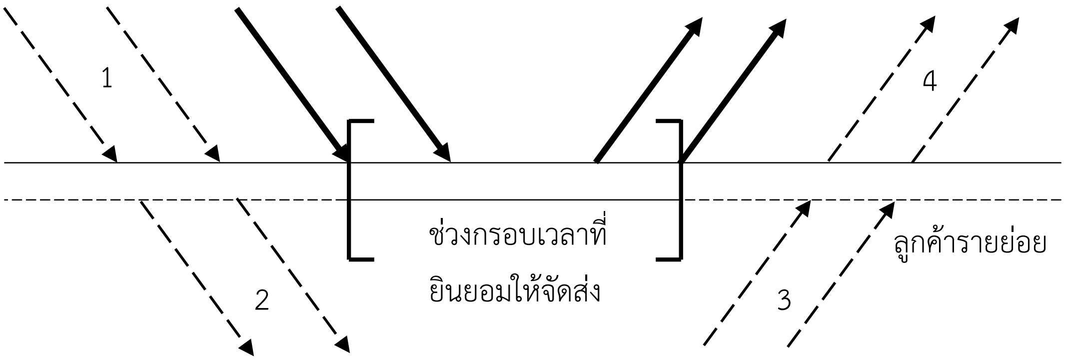
- ในทำนองเดียวกัน การพิจารณาการตัดเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ จำเป็นต้องพิจารณาเส้นทาง $\overrightarrow{SF2}$ และ $\overrightarrow{SB}$ เสียก่อน เพื่อใช้เป็นเส้นทางเปรียบเทียบโดยรูปที่ 3.6 ได้ระบุขนาดของเส้นทางการเดินรถ $\overrightarrow{SF2}$ และ $\overrightarrow{SB}$ ที่ 200 และ 300 หน่วย ตามลำดับ ดังนั้นเราจึงเลือกใช้เส้นทาง $\overrightarrow{SB}$ เป็นเส้นทางการเดินรถเปรียบเทียบ และเราสามารถตัดเส้นทาง $\overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ ออกได้ก็ต่อเมื่อเส้นทางดังกล่าวมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับผลคูณของค่าคงที่ n (ที่ผู้ดำเนินงานวิจัยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.5) กับ $|\overrightarrow{SB}|$ เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้น ซึ่งจากรูปที่ 3.6 พบว่าขนาดของเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ นั้น มีขนาดเท่ากับ 120 หน่วย ซึ่งมีขนาดน้อยกว่าค่า 0.5×300 = 150 หน่วย ดังนั้นเราจึงไม่สามารถตัดเส้นทางเดินรถ $\overrightarrow{BF2}$ และ $\overrightarrow{F2B}$ ออกได้

สังเกตได้ว่าการกำหนดค่า n ที่แตกต่างกันนั้น จะส่งผลกระทบต่อขนาดของปัญหา ดังนั้นการกำหนดค่า n ที่มีความเหมาะสมจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มเติมด้วย

3.6.2.2 แนวทางการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง

การสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง จัดเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาลง โดยวิธีการนี้มีความแตกต่างจากการตัดเส้นทางที่ช่วงเวลาของการดำเนินการ กล่าวคือ การสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งจะตัดเส้นทางการเดินรถออกจากตัวแบบ Time – Expanded Network ในขณะที่การตัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีการตัดเส้นทางจะถูกดำเนินการในช่วงการเตรียมปัญหา (Preprocessing)

การสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งเป็นการกำหนดช่วงเวลาที่ลูกค้ารายย่อยยินยอมให้เกิดการจัดส่ง ซึ่งจะส่งผลทำให้สามารถตัดเส้นทางการเดินรถระหว่างลูกค้ารายย่อยไปยังตำแหน่งอื่นๆ และจากตำแหน่งอื่นๆ เข้าสู่ลูกค้ารายย่อย ที่ไม่อยู่ในช่วงเวลาที่ดังกล่าวออกได้ ในเบื้องต้นเราสามารถแบ่งเส้นทางการเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยที่ถูกตัดออกได้เป็น 4 ประเภท (รูปที่ 3.7) ดังนี้



รูปที่ 3.7 เส้นทางการเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยที่สามารถตัดออกได้ ด้วยวิธีการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งแสดงได้ด้วยเส้นประ

1. เส้นทางการเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อย ในช่วงเวลาก่อนหน้ากรอบเวลาจัดส่ง
2. เส้นทางการเดินรถที่ออกจากลูกค้ารายย่อย ในช่วงเวลาก่อนหน้ากรอบเวลาจัดส่ง
3. เส้นทางการเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อย ภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง
4. เส้นทางการเดินรถที่ออกจากลูกค้ารายย่อย ภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง

ทั้งนี้ เราสามารถตัดปริมาณการขนส่ง ณ จุดลูกค้า ที่ไม่อยู่ในกรอบเวลาจัดส่งได้เช่นกัน โดยเราสามารถปรับเปลี่ยนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ข้างต้นให้รองรับกับกรอบเวลาในการจัดส่งด้วยการเพิ่ม ค่าดัชนี (Index) และ ข้อจำกัด (Constraints) ในตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ค่าดัชนี (Index)

$TWin_c = 1..TWin$	$;\forall c \in C$	$TWin$	= เวลาแรกที่ลูกค้ายินยอมให้มีการจัดส่งสินค้า
$TWout_c = TWout..T$	$;\forall c \in C$	$TWout$	= เวลาสุดท้ายที่ลูกค้ายินยอมให้มีการจัดส่งสินค้า
		T	= เวลาสุดท้ายของวัน

- ข้อจำกัด (Constraints)

ไม่มีเส้นทางเดินรถเข้าหาลูกค้ารายย่อยก่อนกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{a=\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}:j\in C,t+t_{ij}\in TWin_c} x_a = 0 \qquad ;\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}\in A^k, \forall k \in v \qquad (24)$$

ไม่มีเส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยก่อนกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{a=\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}:i\in C,t+t_{ij}\in TWin_c} x_a = 0 \qquad ;\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}\in A^k, \forall k \in \nu \tag{25}$$

ไม่มีเส้นทางเดินรถเข้าหาลูกค้ารายย่อยภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{a=\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}:j\in C,t+t_{ij}\in TWout_c} x_a = 0 \qquad ;\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}\in A^k, \forall k \in \nu \tag{26}$$

ไม่มีเส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{a=\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}:i\in C,t+t_{ij}\in TWout_c} x_a = 0 \qquad ;\{(i,t),(j,t+t_{ij})\}\in A^k, \forall k \in \nu \tag{27}$$

ไม่มีปริมาณการขนส่งสินค้าที่ลูกค้ารายย่อยก่อนกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{n=(i,t)\in N:i\in C,t\in TWin_c} d_n^k = 0 \qquad ;\forall k \in \nu \tag{28}$$

ไม่มีปริมาณการขนส่งสินค้าที่ลูกค้ารายย่อยภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง

$$\sum_{n=(i,t)\in N:i\in C,t\in TWout_c} d_n^k = 0 \qquad ;\forall k \in \nu \tag{29}$$

การสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งนี้เป็นการแลกเปลี่ยน (trade off) ระหว่าง ทางเลือกในการขนส่งสินค้าที่น้อยลงกับเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีขึ้น ถึงแม้ว่าการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งอาจทำให้การหาคำตอบทำได้ยากยิ่งขึ้น แต่เนื่องจากตัวแบบมีเส้นทางในการจัดส่งให้เลือกน้อยลง จึงส่งผลทำให้ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะลดลง และหากมีการกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งให้เหมาะสมในแต่ละปัญหา ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า เราสามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการตัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งสามารถตัดเส้นทางเดินรถออกได้เป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับวิธีการตัดเส้นทางวิธีแรก

ตัวอย่างการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งสำหรับปัญหาที่ประกอบด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 1 ราย และลูกค้ารายย่อย 2 ราย ซึ่งมีเวลาของระบบที่ 10 ช่วงเวลาย่อย และมีเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปยังลูกค้ารายย่อยแต่ละราย ดังแสดงด้วยตารางที่ 3.1 โดยกรอบเวลาสำหรับลูกค้าทั้ง 2 ราย สามารถแสดงได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการเดินทางไปยังลูกค้ารายย่อยแต่ละราย

จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	เวลาที่ใช้ในการเดินทาง
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อยรายที่ 1	2
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อยรายที่ 2	1
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อยรายที่ 1	1
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อยรายที่ 2	2

ตารางที่ 3.2 ช่วงเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายยินยอมให้จัดส่งได้

	ช่วงเวลาแรกที่ยินยอมให้จัดส่ง	ช่วงเวลาสุดท้ายที่ยินยอมให้จัดส่ง
ลูกค้ารายย่อยรายที่ 1	3	8
ลูกค้ารายย่อยรายที่ 2	4	7

ในกรณีนี้เส้นทางการเดินรถในตัวแบบ Time – Expanded Network ที่สามารถตัดออกได้ สามารถแสดงได้ด้วยตารางที่ 3.3 โดยเส้นทางเดินรถทั้งหมดที่สามารถตัดออกได้สามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท คือ เส้นทางเดินรถก่อนกรอบเวลาจัดส่ง และเส้นทางเดินรถภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง ทั้งนี้ในเส้นทางเดินรถทั้ง 2 ประเภท เรายังสามารถแบ่งประเภทของเส้นทางย่อยได้อีก 4 เส้นทาง ดังนี้

- เส้นทางเดินรถก่อนกรอบเวลาจัดส่ง
  1. เส้นทางเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยรายที่ 1 ก่อนช่วงเวลาที่ 3
  2. เส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยรายที่ 1 ก่อนช่วงเวลาที่ 3
  3. เส้นทางเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยรายที่ 2 ก่อนช่วงเวลาที่ 4
  4. เส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยรายที่ 2 ก่อนช่วงเวลาที่ 4
- เส้นทางเดินรถภายหลังกรอบเวลาจัดส่ง
  5. เส้นทางเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยรายที่ 1 ภายหลังช่วงเวลาที่ 8
  6. เส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยรายที่ 1 ภายหลังช่วงเวลาที่ 8
  7. เส้นทางเดินรถไปยังลูกค้ารายย่อยรายที่ 2 ภายหลังช่วงเวลาที่ 7
  8. เส้นทางเดินรถออกจากลูกค้ารายย่อยรายที่ 2 ภายหลังช่วงเวลาที่ 7

ทั้งนี้เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 3.1 มาสร้างเส้นเชื่อมในตัวแบบ Time – Expanded Network จะพบว่า ในตัวแบบเดิมจะมีเส้นเชื่อมทั้งหมด 160 เส้นเชื่อม ในขณะที่แนวทางการตัดเส้นเชื่อมด้วยการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง สามารถตัดจำนวนเส้นเชื่อมออกได้ทั้งสิ้น 35 เส้นเชื่อม และเมื่อรวมกับแนวทางการลดเส้นเชื่อมด้วยวิธีการตัดเส้นทาง เราสามารถตัดจำนวนเส้นเชื่อมออกได้อีก 20 เส้นเชื่อม รวมแล้วเราสามารถลดจำนวนเส้นเชื่อมลงได้ถึง 55 เส้นเชื่อม ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 34.4 ของเส้นเชื่อมที่ลดลงโดยประมาณ

3.7 ตัวแบบอ้างอิง

เพื่อความสะดวกและง่ายต่อความเข้าใจในบทถัดๆไป ผู้ดำเนินงานวิจัยขออ้างอิงตัวแบบ Time – Expanded Network ในหัวข้อที่ 3.5 (ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เบื้องต้น ภายในหน้าที่ 24) ว่า ตัวแบบก่อนการปรับปรุง (based model) และเรียกตัวแบบ Time – Expanded Network ที่ลดจำนวนจุดในตัวแบบและลดจำนวนเส้นเชื่อมด้วยวิธีการตัดเส้นทางออกว่า ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก ท้ายสุดนี้จะเรียกตัวแบบ Time – Expanded Network ที่ลดจำนวนจุดในตัวแบบ, ลดจำนวนเส้นเชื่อมด้วยวิธีการตัดเส้นทางและการสร้างกรอบเวลาจัดส่งว่า ตัวแบบหลังตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.3 เส้นทางเดินรถที่สามารถตัดออกได้ในตัวแบบของปัญหาตัวอย่าง

จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	เวลาเริ่มเดินทาง	เวลาที่ถึง	รูปแบบเส้นทางเดินรถที่ตัดออก
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 1	1	2	1
ลูกค้ารายย่อย 1	ผู้ผลิต	1	3	2
ลูกค้ารายย่อย 1	ผู้ผลิต	2	4	
ลูกค้ารายย่อย 1	ศูนย์กระจายสินค้า	1	2	
ลูกค้ารายย่อย 1	ศูนย์กระจายสินค้า	2	3	
ลูกค้ารายย่อย 1	ลูกค้ารายย่อย 1	1	2	
ลูกค้ารายย่อย 1	ลูกค้ารายย่อย 1	2	3	
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 2	1	2	3
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 2	2	3	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 2	1	3	
ลูกค้ารายย่อย 2	ผู้ผลิต	1	2	4
ลูกค้ารายย่อย 2	ผู้ผลิต	2	3	
ลูกค้ารายย่อย 2	ศูนย์กระจายสินค้า	1	3	
ลูกค้ารายย่อย 2	ศูนย์กระจายสินค้า	2	4	
ลูกค้ารายย่อย 2	ลูกค้ารายย่อย 2	1	2	
ลูกค้ารายย่อย 2	ลูกค้ารายย่อย 2	2	3	
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 1	7	9	5
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 1	8	10	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 1	8	9	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 1	9	10	
ลูกค้ารายย่อย 1	ศูนย์กระจายสินค้า	9	10	6
ลูกค้ารายย่อย 1	ลูกค้ารายย่อย 1	8	9	
ลูกค้ารายย่อย 1	ลูกค้ารายย่อย 1	9	10	
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 2	7	8	7
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 2	8	9	
ผู้ผลิต	ลูกค้ารายย่อย 2	9	10	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 2	6	8	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 2	7	9	
ศูนย์กระจายสินค้า	ลูกค้ารายย่อย 2	8	10	
ลูกค้ารายย่อย 2	ผู้ผลิต	8	9	8
ลูกค้ารายย่อย 2	ผู้ผลิต	9	10	
ลูกค้ารายย่อย 2	ศูนย์กระจายสินค้า	8	10	
ลูกค้ารายย่อย 2	ลูกค้ารายย่อย 2	7	8	
ลูกค้ารายย่อย 2	ลูกค้ารายย่อย 2	8	9	
ลูกค้ารายย่อย 2	ลูกค้ารายย่อย 2	9	10	

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

ภายในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัยในการแก้ปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery and Time Window (3 – Tier IRPSDTW) ด้วยการใช้ Time – Expanded Network Optimization Model ซึ่งประกอบไปด้วย การเปรียบเทียบเวลาและค่าของคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ก่อนและหลังปรับปรุง, เวลาและคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSDTW รูปแบบต่างๆ, เวลาและคำตอบจากการตัดเส้นทางที่แตกต่างกัน และตัวอย่างการประยุกต์ใช้ตัวแบบ Time – Expanded Network ในกลุ่มอุตสาหกรรมยางมะตอย

4.1 คำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSD ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการหาผลลัพธ์จากการนำตัวแบบ Time – Expanded Network ก่อนการปรับปรุง (ดูหัวข้อที่ **Error! Reference source not found.** สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม) ไปประยุกต์ใช้ในปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery Problem ที่มีจำนวนผู้ประกอบการทั้งสิ้น 12 ราย อันประกอบไปด้วยผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 3 ราย และลูกค้ารายย่อยจำนวน 8 ราย โดยที่ลูกค้ารายย่อยบางรายมีปริมาณความต้องการเกินกว่าที่รถบรรทุกคันหนึ่งๆ จะจัดส่งได้ และความต้องการของลูกค้าดังกล่าวจะต้องถูกเติมเต็มภายในขอบเขตของวันที่กำหนด การกำหนดรูปแบบปริมาณความต้องการในลักษณะนี้ ส่งผลให้เราไม่จำเป็นต้องกำหนดค่าสินค้าคงคลังเริ่มต้น (Initial Inventory) เนื่องจากปริมาณความต้องการสินค้านั้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งสุดท้ายของวันที่พิจารณาเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้ค่าจัดเก็บสินค้าจะถูกพิจารณาเมื่อสิ้นสุดวันด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยยังได้กำหนดปริมาณความต้องการด้วยการสุ่มจากการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ระหว่างค่า 20 – 40 หน่วย และกำหนดค่าคงที่เกี่ยวกับเครือข่ายอันประกอบไปด้วย ระยะทาง, ต้นทุนในการจัดส่งและจัดเก็บ เวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างผู้ผลิต – ศูนย์กระจายสินค้า, ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้า และ ผู้ผลิต – ลูกค้าโดยอ้างอิงจากข้อมูลจริงในอุตสาหกรรมยางมะตอยซึ่งอธิบายไว้โดยละเอียดในหัวข้อที่ 4.5

จากผลการทดลองผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่าตัวแบบ Time – Expanded Network ไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากปัญหาที่สามารถแบ่งการส่งได้นั้นจะมีขนาดใหญ่กว่าปัญหาทั่วไป ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงลดจำนวนของผู้ประกอบการลง กระทั่งเหลือผู้ประกอบการเพียง 9 ราย ก็ยังไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวได้ โดยเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาดังกล่าวสามารถแสดงผลได้ในตารางที่ 4.1

ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทดลองนำตัวแบบ Time – Expanded Network ไปทดลองใช้ปัญหาที่ไม่พิจารณาปัญหาแบ่งการขนส่ง กลับพบว่าตัวแบบดังกล่าวสามารถหาคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRP ซึ่งมีจำนวนผู้ประกอบการ 9 – 12 รายได้ ดังแสดงผลไว้ในตารางที่ 4.2

จากผลข้างต้นจะเห็นได้ว่า การปรับปรุงตัวแบบ Time – Expanded Network เพื่อให้รองรับการพิจารณาปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งก่อนการนำตัวแบบดังกล่าวไปใช้จริง ซึ่งจะกล่าวอธิบายอย่างละเอียดในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.1 คำตอบจาก Time – Expanded Network Optimization Model ก่อนปรับปรุงในปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery Problem) สำหรับผู้ประกอบการ 9 – 12 ราย

	คำตอบ	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (ชั่วโมง)
ผู้ประกอบการ 12 ราย	-	3.11
ผู้ประกอบการ 11 ราย	-	3.31
ผู้ประกอบการ 10 ราย	-	3.58
ผู้ประกอบการ 9 ราย	-	4.48

ตารางที่ 4.2 คำตอบจาก Time – Expanded Network Optimization Model ก่อนปรับปรุง ที่ไม่พิจารณาปัญหาที่สามารถแบ่งการขนส่งได้ (Split Delivery Problem) สำหรับผู้ประกอบการ 9 – 12 ราย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

	คำตอบ	เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (นาที)
ผู้ประกอบการ 9 ราย	4698	11.27
ผู้ประกอบการ 10 ราย	4838	10.16
ผู้ประกอบการ 11 ราย	5980	43.24
ผู้ประกอบการ 12 ราย	7177	182.15

4.2 ผลการเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบก่อนและหลังปรับปรุง

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำเสนอแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบ Time – Expanded Network ด้วยวิธีการตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็น และการสร้างกรอบเวลาในการ

จัดส่ง ดังนั้นเนื้อหาภายในส่วนนี้ จะกล่าวถึงผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบก่อนและหลังปรับปรุง

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทดลองแก้ปัญหา 3 – Tier IRP ที่ประกอบด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 3 ราย และลูกค้ารายย่อยจำนวน 5 ราย และได้ทดลองเพิ่มขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดลองขึ้น ด้วยการเพิ่มจำนวนลูกค้ารายย่อย จนกระทั่งปัญหามีผู้ประกอบการที่ต้องพิจารณาทั้งสิ้น 12 ราย ซึ่งประกอบด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 3 ราย และลูกค้ารายย่อยจำนวน 8 ราย โดยค่าคงที่เกี่ยวกับเครือข่าย (Network) ถูกกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับปัญหาในหัวข้อที่ 4.1

ตัวแบบ Time – Expanded Network ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา จะพิจารณาการแก้ปัญหาทุกๆสองวัน โดยมีเวลาของระบบรวมอยู่ที่ 24 ช่วงเวลา กล่าวคือ เวลาในหนึ่งวันของตัวแบบได้ถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อย 12 ช่วงเวลา โดยใน 12 ช่วงเวลาแรกเป็นการหาคำตอบของเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมสำหรับวันแรก และในอีก 12 ช่วงเวลาให้หลังเป็นการหาคำตอบล่วงหน้า เพื่อป้องกันกรณีการหยุดรถในบริเวณที่ไม่เหมาะสมจากวันแรก และในแต่ละเวลาย่อยจะแทนระยะเวลาสองชั่วโมง ดังนั้นตัวอย่างปัญหาที่เล็กที่สุดที่นำมาพิจารณาผล จะมีจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบที่พิจารณาเท่ากับ $9 \times 24 = 216$ จุด และสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่นำมาพิจารณา จะมีจำนวนจุดทั้งหมดในตัวแบบเท่ากับ $12 \times 24 = 288$ จุด

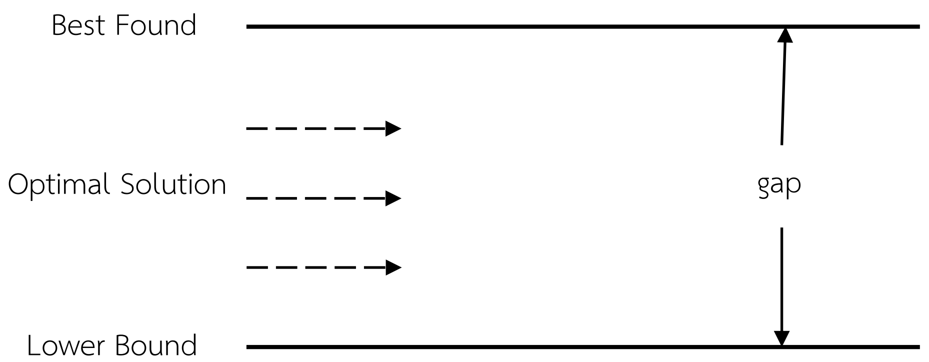
รถบรรทุกที่ใช้ในการหาคำตอบเป็นรถบรรทุกที่มีความจุ 30 หน่วย โดยจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในตัวแบบขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาที่พิจารณา กล่าวคือ หากปัญหามีจำนวนจุดหรือปริมาณความต้องการสูง จำนวนรถบรรทุกจะเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับการขนส่งปริมาณความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย ถูกกำหนดขึ้นจากการสุ่มด้วยการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ภายใต้ช่วง 10 – 30 หน่วย โดยปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจะมีค่าไม่เกินความสามารถของรถบรรทุก 1 คันจัดส่งได้ (Non – Split Delivery Problem) เพื่อให้ตัวแบบ Time – Expanded Network ก่อนปรับปรุงสามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่จำกัด และความต้องการของลูกค้าดังกล่าวจะต้องถูกเติมเต็มภายในขอบเขตของวันที่กำหนดเพียงเท่านั้น

สำหรับการพิจารณาการตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกนั้น ค่า n จะถูกกำหนดที่ค่า 0.6 และความกว้างของกรอบเวลาในการจัดส่งมีค่าเท่ากับ 3 ช่วงเวลาย่อย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตัวแบบ Time – Expanded Network ที่พิจารณามีช่วงเวลาทั้งหมดของระบบที่ 24 ช่วงเวลา ซึ่งคิดเป็นการแก้ปัญหาในกรอบ 2 วัน ดังนั้นเราจึงต้องกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งของลูกค้ารายย่อยแต่ละรายในวันทั้ง 2

วัน โดยเราได้ทำการกำหนดเวลาแรกที่ลูกค้ารายย่อยยินยอมให้จัดส่งจากระยะทางจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายย่อยนั้นๆ หากระยะทางจากผู้ผลิตจนถึงลูกค้ารายย่อยนั้นๆ ใช้เวลาเดินทางต่ำกว่า 6 ช่วงเวลาย่อย (ระยะเวลาที่ใช้เดินทางครึ่งหนึ่งของตัวแบบภายในหนึ่งวัน) เราจะกำหนดให้ลูกค้ารายย่อยนั้นๆ มีเวลาแรกที่ยินยอมให้จัดส่งได้อยู่ในช่วงครึ่งแรกของวัน คือตั้งแต่ช่วงเวลาที่ 1 – 4 และช่วงเวลาที่ 13 – 16 ในตัวแบบ แต่หากระยะทางจากผู้ผลิตจนถึงลูกค้ารายย่อยใช้เวลานานเกินกว่า 6 ช่วงเวลาย่อย เราจะกำหนดให้ลูกค้ารายย่อยนั้นมีเวลาแรกที่ยินยอมให้จัดส่งอยู่ในช่วงครึ่งหลังของวัน คือในช่วงเวลาย่อยที่ 6 – 10 และ 18 – 22 ในตัวแบบ

ผลการเปรียบเทียบเวลาและคำตอบของปัญหา 9 ราย, 10 ราย, 11 รายและ 12 ราย ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.3, ตารางที่ 4.4, ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ตามลำดับ ทั้งนี้ตารางดังกล่าวแสดงเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบและค่าคำตอบของตัวแบบแต่ละประเภท อีกทั้งยังแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และค่าของคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนปรับปรุง – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก, ตัวแบบก่อนปรับปรุง – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง และตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการหาคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRP ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network นี้ ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ได้ ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงยินยอมที่จะตั้งค่าแก็ป (gap) ขึ้น ซึ่งค่า gap นี้เป็นค่าความแตกต่างระหว่างคำตอบขอบล่าง (Lower Bound) กับคำตอบที่หาได้ปัจจุบัน (Best Found) ทั้งนี้คำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง Lower Bound และ Best Found ซึ่งสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 gap ของคำตอบ

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 9 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 9 จุด			
	จำนวนรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	Gap
ตัวแบบก่อนการปรับปรุง	4 คัน	11.27	4698	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก		2.08	4703	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง		0.13	4795	3%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทาง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	4 คัน	46%	0%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		94%	2%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบที่ตัดเส้นทางกับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		90%	2%	-

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 10 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 10 จุด			
	จำนวนรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	Gap
ตัวแบบก่อนการปรับปรุง	4 คัน	10.16	4838	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก		01.13	4838	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง		00.98	5050	3%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทาง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	4 คัน	63%	0%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		91%	4%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบที่ตัดเส้นทางกับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		90%	4%	-

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 11 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 11 จุด			
	จำนวนรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	Gap
ตัวแบบก่อนการปรับปรุง	5 คัน	43.24	5980	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก		08.05	5981	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง		02.35	6113	3%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทาง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	5 คัน	81%	0%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		95%	2%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบที่ตัดเส้นทางกับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		75%	2%	-

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์จากปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 12 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 12 จุด			
	จำนวนรถบรรทุก	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	Gap
ตัวแบบก่อนการปรับปรุง	6 คัน	182.15	7177	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก		27.43	7177	3%
ตัวแบบหลังตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง		03.12	7215	3%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทาง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	6 คัน	85%	0%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุงกับตัวแบบที่ตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		98%	1%	-
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคำตอบที่เพิ่มขึ้น ระหว่างตัวแบบที่ตัดเส้นทางกับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์		88%	1%	-

การตั้งค่า gap นับเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการลดเวลาในการหาคำตอบ โดยแลกเปลี่ยนกับคุณภาพของคำตอบที่แย่ลง ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ตั้งค่า gap ไว้ที่ 3% สำหรับปัญหา 9 ราย, 10 ราย, 11 ราย และ 12 ราย

จากผลการทดลองในปัญหา 9 จุดถึง 12 จุด พบว่าแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบด้วยวิธีการตัดเส้นทางและ วิธีการเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง ส่งผลทำให้คุณภาพของคำตอบลดลงเล็กน้อย แต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยตัวแบบที่ตัดเส้นทางและเพิ่มกรอบเวลาจัดส่งลดคุณภาพของคำตอบลงเพียง 2% หากแต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้ถึง 94% ในปัญหา 9 จุด, ลดคุณภาพของคำตอบลง 4% หากแต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้ถึง 96% ในปัญหา 10 จุด, ลดคุณภาพของคำตอบลง 2% หากแต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้ 75% ในปัญหา 11 จุด, และลดคุณภาพของคำตอบลง 1% แต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้ถึง 98% ในปัญหา 12 จุด โดยตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบที่ลดลงและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ลดลงโดยเฉลี่ย ในปัญหา 9 จุดถึง 12 จุด ในตัวแบบก่อนปรับปรุง – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก, ตัวแบบก่อนปรับปรุง – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง และตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออก – ตัวแบบหลังตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกและเพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง

จากตารางที่ 4.7 พบว่าตัวแบบหลังการปรับปรุงด้วยการตัดเส้นทางสามารถลดเวลาในการหาคำตอบลงได้ถึง 54% และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบเมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบก่อนการปรับปรุง อย่างไรก็ตามถ้าหากเพิ่มแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบด้วยวิธีการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งเข้าไปด้วย ตัวแบบดังกล่าวจะส่งผลทำให้คุณภาพของคำตอบลดลง 2% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบก่อนการปรับปรุง หากแต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ถึง 91% ทั้งนี้หากเปรียบเทียบตัวแบบภายหลังการปรับปรุงด้วยวิธีการตัดเส้นทางและสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง กับตัวแบบที่ปรับปรุงด้วยวิธีการตัดเส้นทางเพียงอย่างเดียว พบว่า ตัวแบบที่ปรับปรุงด้วยวิธีการตัดเส้นทางและสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง จะส่งผลทำให้คุณภาพของคำตอบลดลง 2% หากแต่สามารถลดเวลาในการหาคำตอบลงได้อีก 84% เมื่อเปรียบเทียบกับตัวแบบที่ตัดเส้นทางเพียงอย่างเดียว

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.3, ตารางที่ 4.4, ตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่าเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ลดลงจากตัวแบบที่แตกต่างกันออกไปนั้น มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกัน ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบทั้ง 2 วิธี นับเป็นแนวทางการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบเพียงเล็กน้อย หากแต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของเวลาในการหาคำตอบที่ลดลงและคุณภาพของคำตอบที่ลดลงโดยเฉลี่ย ในแต่ละตัวแบบ

	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างโดยเฉลี่ย	
	เวลาที่ลดลง	คุณภาพของคำตอบที่ลดลง
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคุณภาพของคำตอบที่ลดลง ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุง กับตัวแบบที่ตัดเส้นทาง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	54%	0%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคุณภาพของคำตอบที่ลดลง ระหว่างตัวแบบก่อนการปรับปรุง กับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	91%	2%
เวลาที่ลดลงในการหาคำตอบ และคุณภาพของคำตอบที่ลดลง ระหว่างตัวแบบที่ตัดเส้นทาง กับตัวแบบที่เพิ่มกรอบเวลาในการจัดส่ง โดยแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์	84%	2%

4.3 ผลการแสดงเวลาและคำตอบของปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ในรูปแบบต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื้อหาภายในส่วนนี้จะพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผนวกปัญหา Split Delivery และ Time Window เข้าในปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem (3 – Tier IRP) โดยเราจะพิจารณาเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ จากการแก้ปัญหาด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network ที่เพิ่มแนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบแล้วเท่านั้น

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการแบ่งกรณีการทดลองผลกระทบของปัจจัยปริมาณความต้องการเกินรถบรรทุกหนึ่งคันสามารถจัดส่งได้ (Split Delivery) และกรอบเวลาในการจัดส่ง (Time Window) ที่มีต่อปัญหา 3 – Tier IRP ออกเป็น 4 กรณี ดังแสดงได้ในตารางที่ 4.8 อันประกอบด้วย

1. ปริมาณความต้องการมีขนาดเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งกว้าง
2. ปริมาณความต้องการมีขนาดเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งแคบ

3. ปริมาณความต้องการมีขนาดไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งกว้าง
4. ปริมาณความต้องการมีขนาดไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งแคบ

ตารางที่ 4.8 กรณีการทดลองของ 3 – Tier IRPSDTW ทั้งหมดที่พิจารณา

		ปริมาณความต้องการ	
		เกินความจุรถบรรทุกหนึ่งคัน	ไม่เกินความจุดรถบรรทุกหนึ่งคัน
กรอบเวลาในการจัดส่ง	กว้าง	กรณีที่ 1	กรณีที่ 3
	แคบ	กรณีที่ 2	กรณีที่ 4

ตัวแบบ Time – Expanded Network ที่ใช้สำหรับแก้ปัญหา 3 – Tier IRPSDTW เป็นแบบ 2 วันต่อเนื่อง โดยมีเวลาทั้งหมดของระบบ 24 ช่วงเวลา โดย 12 ช่วงเวลาแรกใช้สำหรับแก้ปัญหาในวันที่ 1 และ 12 ช่วงเวลาหลัง เป็นการหาคำตอบล่วงหน้าเพื่อป้องกันการหยุดรถในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจากวันแรก

รถบรรทุกที่พิจารณาใช้ในการหาคำตอบเป็นรถบรรทุกที่มีความจุ 30 หน่วย และมีการกำหนดจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการหาคำตอบให้น้อยที่สุด โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ เป็นที่สังเกตว่าจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นมีความเกี่ยวข้องกับขนาดของปัญหาที่กล่าวคือหากขยายขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้นโดยยังคงจำนวนรถที่ใช้ไว้เท่าเดิม การแก้ปัญหาดังกล่าวจะใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยจะกล่าวถึงปัญหาของการกำหนดจำนวนรถบรรทุกเพิ่มเติมในบทที่ 5

ปริมาณความต้องการของลูกค้าถูกกำหนดขึ้นจากการสุ่มด้วยการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) โดยทำการสุ่มภายใต้ช่วง 20 – 40 หน่วย สำหรับกรณีที่ปริมาณความต้องการมีค่าเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และถูกสุ่มภายใต้ช่วง 10 – 30 หน่วย สำหรับกรณีที่ปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน ซึ่งผู้ดำเนินงานวิจัยกำหนดให้ความต้องการของลูกค้าดังกล่าวจะต้องถูกเติมเต็มภายในขอบเขตของวันที่กำหนดเพียงเท่านั้น และพิจารณาค่าจัดเก็บสินค้าเมื่อสิ้นวันเช่นกัน

ตัวแบบ Time – Expanded Network ที่ใช้ในการแก้ปัญหา เป็นตัวแบบที่เพิ่มแนวทางการลดเวลาการหาคำตอบแล้ว โดยกำหนดค่า n ในแนวทางการตัดเส้นทางเท่ากับ 0.6

สำหรับขนาดของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งสำหรับตัวแบบ Time – Expanded Network นั้น ถูกกำหนดไว้ที่ 5 ช่วงเวลาสำหรับกรณีกรอบเวลาจัดส่งกว้าง และกำหนดไว้ที่ 3 ช่วงเวลาสำหรับกรณีกรอบเวลาจัดส่งแคบ ทั้งนี้การกำหนดช่วงเวลาแรกของกรอบเวลาจัดส่งนั้น ใช้แนวทางคล้ายคลึงกับหัวข้อก่อนหน้า โดยกำหนดช่วงเวลาแรกของการจัดส่งในครึ่งวันแรกให้กับลูกค้าที่อยู่ใกล้กับผู้ผลิตและศูนย์กระจายสินค้า และกำหนดช่วงเวลาแรกของการจัดส่งสำหรับลูกค้าที่อยู่ไกลออกไปในครึ่งวันหลัง

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดลองแก้ปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ทั้ง 4 กรณี โดยพิจารณาจำนวนผู้ประกอบการทั้งหมดตั้งแต่ 9 ราย ถึง 12 ราย โดยค่าคงที่เกี่ยวกับเครือข่าย (Network) ที่สร้างขึ้นนั้นถูกกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับปัญหาในหัวข้อที่ 4.1 ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดลอง 3 ครั้ง ในแต่ละกรณี จากนั้นทำการหาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ทั้งนี้ปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 รายจะประกอบด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 3 ราย และลูกค้ารายย่อย 5 ราย จากนั้นเพิ่มจำนวนลูกค้ารายย่อยขึ้น จนมีจำนวนจุดทั้งหมด 12 ราย ซึ่งผลการทดลองในกรณีต่างๆ ของปัญหาที่มีผู้ประกอบการตั้งแต่ 9 ราย จนถึง 12 ราย สามารถแสดงได้ด้วย ตารางที่ 4.9, ตารางที่ 4.10, ตารางที่ 4.11และ ตารางที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 9 จุด		
	ปริมาณความต้องการรวมเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนรถบรรทุก
กรณีที่ 1	295	3.32	5 คัน
กรณีที่ 2	296	1.34	
กรณีที่ 3	195	1.03	4 คัน
กรณีที่ 4	228	0.39	

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 10 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 10 จุด		
	ปริมาณความต้องการรวมเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนรถบรรทุก
กรณีที่ 1	369	4.24	7 คัน
กรณีที่ 2	347	1.47	
กรณีที่ 3	230	1.57	4 คัน
กรณีที่ 4	219	1.24	

ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 11 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 11 จุด		
	ปริมาณความต้องการรวมเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนรถบรรทุก
กรณีที่ 1	444	3.53	8 คัน
กรณีที่ 2	400	2.04	
กรณีที่ 3	319	3.11	5 คัน
กรณีที่ 4	258	1.39	

ตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 12 ราย

	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 12 จุด		
	ปริมาณความต้องการรวมเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ (นาที)	จำนวนรถบรรทุก
กรณีที่ 1	498	5.17	8 คัน
กรณีที่ 2	453	5.01	
กรณีที่ 3	313	4.59	6 คัน
กรณีที่ 4	348	3.27	

จากผลการทดลองที่แสดงได้ในตารางที่ 4.9, ตารางที่ 4.10, ตารางที่ 4.11และ ตารางที่ 4.12 ข้างต้น พบว่าเมื่อปัญหาประกอบด้วยกรณีที่มีปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันนั้น การหาคำตอบของปัญหาดังกล่าว ต้องใช้จำนวนรถบรรทุกมากกว่าปัญหาที่มีกรณีที่ปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน ทั้งนี้การเพิ่มจำนวนรถบรรทุกนั้น เพื่อทำให้ตัวแบบที่แก้ปัญหาสามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่ยอมรับได้ นอกจากนั้นปัญหาที่มีกรณีที่ปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันนั้นจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานกว่าปัญหาที่มีปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน

เมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบกรณีที่ 1 (ปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันและ มีกรอบเวลาในการจัดส่งกว้าง) กับกรณีที่ 2 (ปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันและ มีกรอบเวลาในการจัดส่งแคบ) และเปรียบเทียบกรณีที่ 3 (ปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันและ มีกรอบเวลาในการจัดส่งกว้าง) กับกรณีที่ 4 (ปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาในการจัดส่งแคบ) ในตารางที่ 4.9, ตารางที่ 4.10, ตารางที่ 4.11และ ตารางที่ 4.12 พบว่าการกำหนดขนาดของกรอบเวลาในการจัดส่งที่กว้างหรือแคบนั้น ส่งผลกระทบต่อเวลาในการหาคำตอบด้วยเช่นกัน เนื่องจากกรอบเวลาในการจัดส่งที่กว้างนั้นส่งผลให้มีทางเลือกในการจัดส่งที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลทำให้ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานกว่ากรณีกรอบเวลาการจัดส่งที่แคบ

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาทั้งปัจจัยปริมาณความต้องการที่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคันและขนาดของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งไปพร้อมๆ กันนั้น นับเป็นเรื่องยากที่จะบ่งบอกว่าปัจจัยใดที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมากกว่า โดยผลจากการทดลองข้างต้นพบว่าสำหรับปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 10 และ 11 ราย การหาคำตอบในกรณีที่ 3 ใช้เวลานานกว่ากรณีที่ 2 แต่ในปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 และ 12 ราย การหาคำตอบของในกรณีที่ 2 กลับใช้เวลานานกว่ากรณีที่ 3 ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ถึงผลดังกล่าว แล้วพบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบมากกว่านั้น เป็นเพราะเหตุจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยเรื่องความเหมาะสมของปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย โดยหากมีลูกค้ารายย่อยจำนวนมากในตำแหน่งที่ตั้งอยู่ไกลออกไปและมีปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน ปัจจัยของปริมาณความต้องการที่เกินความจุของรถบรรทุกหนึ่งคันย่อมส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่มากกว่า หรือ ปัจจัยเรื่องความเหมาะสมของช่วงเวลาแรกที่ลูกค้ายินยอมให้จัดส่ง โดยหากช่วงเวลาแรกที่ลูกค้าแต่ละรายยินยอมให้จัดส่งไม่เหมาะสม ปัจจัยของกรอบเวลาในการจัดส่งย่อมมีผลกระทบมากกว่าเช่นกัน

นอกจากนี้ การเพิ่มจำนวนผู้ประกอบการขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ เนื่องจากเป็นการเพิ่มปริมาณความต้องการโดยรวมของปัญหา, จุดภายในตัวแบบ และจำนวนเส้นเชื่อมในตัวแบบ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองทั้ง 4 กรณี ในปัญหาที่ประกอบด้วยจำนวนผู้ประกอบการที่แตกต่างกัน พบว่า หากปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งกว้าง (กรณีที่ 1) จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด และปัญหาที่มีปริมาณความต้องการไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาจัดส่งแคบ (กรณีที่ 4) จะใช้เวลาในการหาคำตอบสั้นที่สุด

4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจากการกำหนดค่า n

เนื้อหาภายในส่วนนี้จะกล่าวถึง ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อคุณภาพคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจากการกำหนดค่า n ที่แตกต่างกันในแนวทางการตัดเส้นทาง

เนื่องจากแนวทางการตัดเส้นทางเพิ่มเติมด้วยการกำหนดค่า n นั้น เป็นแนวทางการตัดเส้นทางที่ยินยอมแลกเปลี่ยน (trade off) คุณภาพของคำตอบกับเวลาในการหาคำตอบที่เร็วขึ้น โดยหาก n มีค่าเข้าใกล้ 1 เราจะไม่สามารถตัดเส้นทางเพิ่มเติมได้ แต่หาก n มีค่าเข้าใกล้ 0 เส้นทางเดินรถระหว่าง ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย, ลูกค้ารายย่อย – ศูนย์กระจายสินค้า และลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย จะถูกตัดออกทั้งหมดซึ่งส่งผลให้ปัญหาดังกล่าวกลายเป็นปัญหาขนส่งทางตรง (Direct Shipping)

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ทำการทดลองแก้ปัญหา 3 – Tier IRP ที่มีจำนวนจุดทั้งหมดตั้งแต่ 9 ราย ถึง 12 ราย โดยปัญหาที่มีจำนวนจุด 9 รายประกอบด้วย ผู้ผลิตจำนวน 1 ราย, ศูนย์กระจายสินค้า 3 ราย และลูกค้ารายย่อย 5 ราย จากนั้นเพิ่มจำนวนลูกค้ารายย่อยขึ้น จนมีจำนวนจุดทั้งหมด 12 ราย โดยค่าคงที่เกี่ยวกับเครือข่าย (Network) ที่สร้างขึ้นนั้นถูกกำหนดให้มีค่าเช่นเดียวกับปัญหาในหัวข้อที่ 4.1 แต่เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการกำหนดค่า n ที่แตกต่างกัน ดังนั้นตัวแบบ Time – Expanded Network ที่นำมาแก้ปัญหา จึงเป็นตัวแบบที่ปรับปรุงการลดเวลาในการหาคำตอบด้วยแนวทางการตัดเส้นทางเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ผู้ดำเนินงานวิจัยได้เลือกค่า n เท่ากับ 0.5, 0.6 และ 0.7 สำหรับทำการทดลอง ทั้งนี้สาเหตุที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเลือกค่า n ดังกล่าว เป็นผลเนื่องมาจาก เป็นช่วงของค่า n ที่สามารถตัดเส้นทางที่มีระยะยาวออกได้จำนวนหนึ่งซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่าเป็นเส้นทางการเดินรถที่สามารถตัดออกได้

ตัวแบบ Time – Expanded Network สำหรับแก้ปัญหานี้ เป็นตัวแบบที่พิจารณาการแก้ปัญหา 2 วันต่อเนื่องกัน และมีเวลาทั้งหมดของระบบ 24 ช่วงเวลา โดยแบ่งช่วงเวลา 12 ช่วงแรก

เป็นการแก้ปัญหาสำหรับวันแรก และช่วงเวลา 12 ช่วงเวลาหลังเป็นการหาคำตอบล่วงหน้า เพื่อป้องกันกรณีการหยุดรถในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจากวันแรกเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า โดยใช้รถบรรทุกที่มีลักษณะเดียวกันกับการทดลองก่อนๆ คือ เป็นรถบรรทุกขนาดเดียวที่มีขนาดความจุเท่ากับ 30 หน่วย

ทั้งนี้ปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละจุด กำหนดขึ้นจากการสุ่มด้วยการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) ภายใต้ช่วง 10 – 30 หน่วย โดยปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละจุดจะไม่เกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน (Non – Split Delivery Problem) เพื่อให้ตัวแบบ ไม่ใช้เวลานานจนเกินไปในการหาคำตอบ ซึ่งความต้องการของลูกค้าดังกล่าวจะต้องถูกเติมเต็มภายในขอบเขตของวันที่กำหนดเพียงเท่านั้น

ทั้งนี้ผลการทดลองในการหาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่า n สามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.13 โดยตารางดังกล่าวแสดงคำตอบของปัญหาและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบในปัญหาที่มีผู้ประกอบการตั้งแต่ 9 จุด ถึง 12 จุด

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.13 พบว่าการลดค่า n จากค่า 0.7 เป็น 0.6 นั้น ไม่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 ราย แต่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 10 ราย ได้เล็กน้อย และลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 11 และ 12 รายได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยแลกเปลี่ยน (trade off) กับคุณภาพของคำตอบที่ได้รับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อย่างไรก็ตาม การลดค่า n จากค่า 0.6 เป็น 0.5 นั้น ไม่ได้ช่วยลดเวลาในการหาคำตอบลงได้ เว้นแต่ในปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 9 รายเพียงเท่านั้น

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.13 พบว่า การลดค่า n ลงนั้นจะสามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้อย่างมีนัยสำคัญในช่วงๆ หนึ่ง ซึ่งภายหลังจากนั้นการลดค่า n ลงจะไม่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้ ซึ่งหากทำการลดค่า n ลงเรื่อยๆ จนมีค่าต่ำกว่าค่าๆ หนึ่ง อาจส่งผลให้ใช้เวลาในการคำตอบนานขึ้นได้ เนื่องจากการกำหนดค่า n ที่ต่ำนั้น ส่งผลให้สามารถตัดเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดส่งออกไป ดังในกรณีปัญหาที่มีจำนวนผู้ประกอบการ 12 ราย จากตารางที่ 4.13 โดยเมื่อผู้ดำเนินงานวิจัยลดค่า n ลงจากค่า 0.6 เป็น 0.5 ตัวแบบ Time – Expanded Network ที่ใช้หาคำตอบกลับใช้เวลาในการหาคำตอบนานขึ้น แทนที่จะใช้เวลาในการหาคำตอบลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.13 คำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ จากการเปลี่ยนแปลงค่า n

n	ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 9 จุด		ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 10 จุด		ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 11 จุด		ปัญหาที่มีผู้ประกอบการ 12 จุด	
	คำตอบ	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	เวลาที่ใช้ (นาที)	คำตอบ	เวลาที่ใช้ (นาที)
0.5	4765	0.44	5876	0.28	7007	0.32	8221	1.14
0.6	4722	2.08	5863	0.31	7002	0.47	8217	1.04
0.7	4718	2.13	5853	4.35	6997	15.50	8218	13.44

4.5 ตัวอย่างการประยุกต์ปัญหา IRP ในกลุ่มอุตสาหกรรม

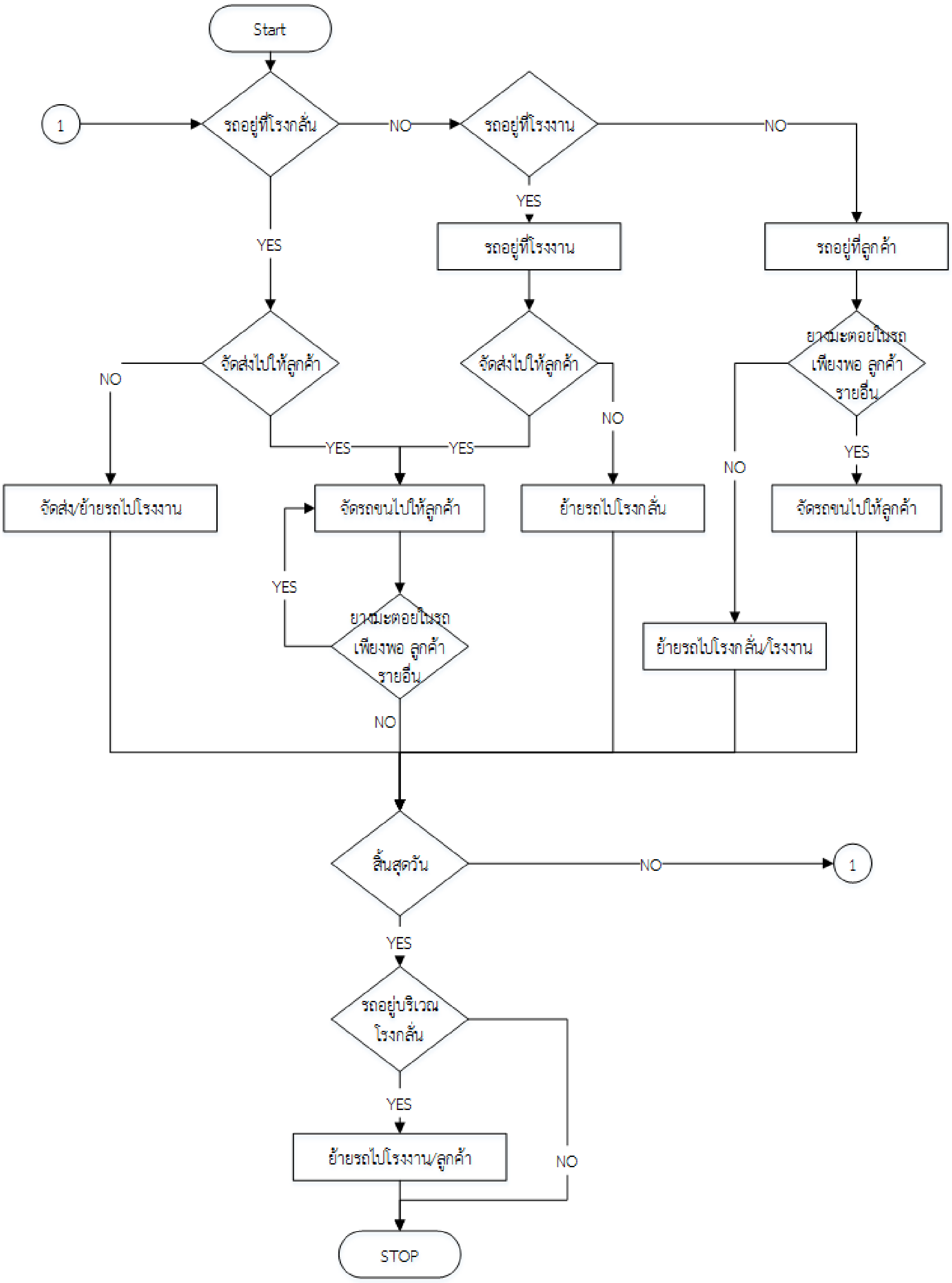
หากพิจารณาตัวอย่างในการนำปัญหา IRP ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม สามารถยกตัวอย่างจากกลุ่มอุตสาหกรรมขนส่งยางมะตอย โดยอ้างอิงลักษณะการดำเนินการและข้อจำกัดต่างๆ ในกลุ่มอุตสาหกรรมยางมะตอยจากกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน (นามสมมุติ) ซึ่งเป็นกลุ่มผู้นำในการขนส่งยางมะตอยสำหรับการสร้างและซ่อมบำรุงถนน ทั้งนี้นโยบายการจัดส่งยางมะตอยของบริษัท มุ่งเน้นการจัดส่งที่ตรงเวลาและครบถ้วน

เมื่อพิจารณาลักษณะการดำเนินงานของกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน พบว่ามีความเหมาะสมต่อการนำปัญหา IRP เข้าแก้ปัญหา เนื่องจากกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน ต้องการลดต้นทุนที่มีราคาสูงจากการขนส่งยางมะตอย ประกอบกับต้องการลดต้นทุนในการจัดเก็บยางมะตอย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ต้องการควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังในแต่ละจุดให้มีความเหมาะสม

เมื่อพิจารณาห่วงโซ่อุปทานของกลุ่มอุตสาหกรรมยางมะตอย เราสามารถแบ่งผู้ประกอบการหลักได้ออกเป็น 3 ลำดับขั้น ดังนี้

1. โรงกลั่นน้ำมันดิบ มีหน้าที่หลักในการผลิตน้ำมันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะต่างๆ โดยยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมัน ส่งผลให้โรงกลั่นสามารถผลิตยางมะตอยดิบได้เป็นจำนวนมาก
2. โรงงานแปรสภาพยางมะตอย ทำหน้าที่แปรรูปยางมะตอยดิบให้มีสภาพเหมาะสมต่อการใช้งานในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม อีกทั้งยังสามารถทำหน้าที่เป็นจุดจัดเก็บยางมะตอยเพื่อใช้เป็นศูนย์กลางในการกระจายยางมะตอยให้กับกลุ่มผู้บริโภค
3. ผู้รับเหมาก่อสร้าง จัดเป็นกลุ่มผู้บริโภคหลักในห่วงโซ่อุปทานนี้ โดยผู้รับเหมาก่อสร้างจะรับยางมะตอยดิบหรือยางมะตอยแปรรูป เพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการก่อสร้าง

กลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน ทำหน้าที่เปรียบเสมือนโรงงานแปรสภาพยางมะตอยในห่วงโซ่อุปทาน โดยทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับและขนส่งยางมะตอยจากโรงกลั่นถึงลูกค้า ซึ่งกระจายตัวอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ ทั้งนี้กลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน มีทางเลือกในการส่งยางมะตอย 2 แนวทาง คือ จัดส่งจากโรงกลั่นไปยังลูกค้าโดยตรง หรือขนส่งจากคลังจัดเก็บยางมะตอยภายในโรงงานของบริษัทให้กับลูกค้า โดยโรงงานดังกล่าวมีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ ใช้เป็นสถานที่กระจายยางมะตอยสำหรับลูกค้าที่อยู่ห่างจากโรงกลั่นเพื่อลดต้นทุนในการดำเนินการและ รับยางมะตอยดิบเพื่อเป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ซ่อมบำรุงถนน โดยผังการดำเนินงานของบริษัทสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผังการทำงานของกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน

ขั้นตอนการดำเนินงานของบริษัทสามารถอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

- ก่อนการจัดส่งยางมะตอย บริษัทต้องพิจารณาตำแหน่งปัจจุบันของรถบรรทุก ซึ่งมีความเป็นไปได้ทั้งหมด 3 กรณี
    1. รถบรรทุกอยู่บริเวณโรงกลั่นน้ำมัน ในกรณีนี้บริษัทสามารถเลือกตัดสินใจได้ 2 รูปแบบ คือ
        1. จัดส่งยางมะตอยไปยังคลังของโรงงาน
        2. จัดส่งยางมะตอยไปยังคลังของลูกค้า
    2. รถบรรทุกอยู่บริเวณโรงงาน บริษัทสามารถจัดส่งยางมะตอยไปยังคลังของลูกค้าได้เพียงอย่างเดียว
    3. รถบรรทุกอยู่ในบริเวณของลูกค้ารายย่อย ในกรณีนี้บริษัทสามารถเลือกตัดสินใจได้ 2 รูปแบบ คือ
        1. ในกรณีที่มีปริมาณยางมะตอยคงเหลือภายในรถบรรทุก บริษัทสามารถพิจารณาจัดส่งยางมะตอยไปยังลูกค้ารายอื่นได้
        2. ในกรณีที่ไม่มีปริมาณยางมะตอยคงเหลือในรถบรรทุกเลย บริษัทไม่สามารถจัดส่งยางมะตอยได้จนกว่าจะเคลื่อนย้ายรถไปรับยางมะตอยจากโรงกลั่นหรือโรงงานก่อน

รถบรรทุกสามารถขนส่งยางมะตอยระหว่าง โรงกลั่น, โรงงาน และลูกค้า ได้อย่างอิสระจนกว่าจะสิ้นสุดวัน ในกรณีที่ยางมะตอยบริเวณโรงกลั่นหรือโรงงานที่รถบรรทุกประจำอยู่มีไม่เพียงพอต่อการจัดส่งให้กับลูกค้ารายใดเลย บริษัทสามารถพิจารณาการเคลื่อนย้ายรถเปล่าเพื่อรับยางมะตอยระหว่างโรงกลั่นและโรงงานอื่นๆ ได้อย่างอิสระ เพื่อจัดส่งให้กับลูกค้าต่อไป ทั้งนี้เมื่อสิ้นสุดวันบริษัทไม่ยินยอมให้มียางมะตอยเหลือค้างไว้ในรถบรรทุก กล่าวคือเมื่อเริ่มต้นวัน รถบรรทุกทุกคันจะเป็นรถบรรทุกเปล่าทั้งหมด

ข้อจำกัดของการดำเนินการ ประกอบไปด้วย

- บริษัทต้องจัดรถบรรทุกเพื่อเข้าไปรับยางมะตอยจากโรงกลั่นทุกวันภายในช่วงเวลา 8 นาฬิกาถึงเวลา 16 นาฬิกา เนื่องจากยางมะตอยเป็นผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ หากโรงกลั่นไม่ทำการเคลื่อนย้ายยางมะตอยออกจากหอกลั่นจะส่งผลกระทบต่อการผลิตน้ำมันของโรงกลั่น
- โดยทั่วไปยางมะตอยจะถูกจัดเก็บและใช้อยู่ในรูปของสารกึ่งของแข็ง กล่าวคือ ต้องมีการให้ความร้อนแก่ยางมะตอยตลอดเวลา มิฉะนั้น ยางมะตอยจะแปรสภาพเป็นของแข็ง ทั้งนี้การคืนสภาพยางมะตอยให้กลับไปอยู่ในสถานะกึ่งของแข็งอีกครั้งจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่สูงมากกว่ากรณีการผลิตปกติ
- โรงงานของบริษัทมีคลังในการจัดเก็บยางมะตอยไม่จำกัด ในขณะที่คลังจัดเก็บยางมะตอยของกลุ่มลูกค้ามีขนาดจำกัด และขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการของลูกค้า ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30 – 60 ตันต่อวัน
- รถบรรทุกของบริษัท เป็นรถบรรทุกชนิดพิเศษ ไม่สามารถดัดแปลงให้จัดส่งสินค้าประเภทอื่นได้ โดยรถบรรทุกมี 2 ขนาด คือ ขนาด 20 ตันและขนาด 30 ตัน
- เมื่อสิ้นสุดวัน รถบรรทุกสามารถหยุดจอดได้ที่ โรงงาน หรือ ลูกค้า เท่านั้น
- บริษัทมีนโยบาย ไม่ยินยอมให้ลูกค้ารายย่อยเกิดสินค้าขาดมือ (Shortage)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากลักษณะการจัดส่งยางมะตอยของกลุ่มบริษัทที่กล่าวไว้ข้างต้น เราสามารถแบ่งการทำงานของบริษัทออกเป็น 3 ลำดับขั้น ได้แก่ โรงกลั่น, โรงงาน และลูกค้า โดยบริษัทสามารถจัดส่งยางมะตอยได้ 3 รูปแบบ คือ จัดส่งยางมะตอยจากโรงกลั่นไปจัดเก็บไว้ภายในโรงงาน, จัดส่งยางมะตอยจากโรงกลั่นไปยังคลังสินค้าของลูกค้าโดยตรง และจัดส่งยางมะตอยจากโรงงานไปยังคลังสินค้าของลูกค้า

อย่างไรก็ตาม แม้ว่ากลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน มีความสามารถในการใช้โรงงานของตนเองแทนที่ศูนย์กระจายยางมะตอย ตามลักษณะการดำเนินงานข้างต้น หากแต่กลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน เลือกที่จะใช้การจัดส่งยางมะตอยแบบ จัดส่งให้กับลูกค้าโดยตรง (direct shipping) และพิจารณาโรงงานของตนเองเสมือนหนึ่งในลูกค้ารายย่อยที่ต้องเติมเต็มปริมาณความต้องการให้ทันเวลาเพียงเท่านั้น เนื่องจากการจัดเส้นทางการเดินรถแบบจัดส่งให้กับลูกค้าโดยตรงจัดเป็นวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถในปริมาณค่อนข้างมากที่ง่ายและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า อุตสาหกรรมยางมะตอย มีความเหมาะสมในการพิจารณาปัญหา ให้อยู่ในรูปแบบของปัญหา IRP เนื่องจากอุตสาหกรรมยางมะตอยต้องการลดต้นทุนที่เกิดจากการจัดส่งและจัดเก็บ อีกทั้งมีโอกาสในการปรับปรุงพัฒนารูปแบบการดำเนินงานในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้ ด้วยการพิจารณาโรงงานเปรียบเสมือนศูนย์กระจายยางมะตอยสำหรับกระจายยางมะตอยให้กับลูกค้ารายย่อยบริเวณโดยรอบ

ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับ จากการจัดส่งยางมะตอยไปจัดเก็บไว้ภายในโรงงานคือ โรงงานสามารถทำหน้าที่เป็นศูนย์กระจายยางมะตอย เพื่อลดเวลาโดยรวมที่ใช้ในการขนส่งยางมะตอยและเพิ่มการใช้ประโยชน์ (Utilization) ของรถบรรทุก อ้างอิงจากตารางที่ 4.14 ซึ่งแสดงระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงของกลุ่มบริษัท เอ จำกัด มหาชน ระหว่างโรงกลั่นที่จังหวัดระยอง, โรงงานที่จังหวัดพิษณุโลก, ลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่ และลูกค้าที่จังหวัดตาก ดังแสดงด้วยรูปที่ 4.3 โดยโรงกลั่น (ระยอง) แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปบ้าน, โรงงาน (พิษณุโลก) แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาว และลูกค้าที่เชียงใหม่ และตากแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปหยดน้ำ

ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงระหว่างจังหวัดต่างๆ

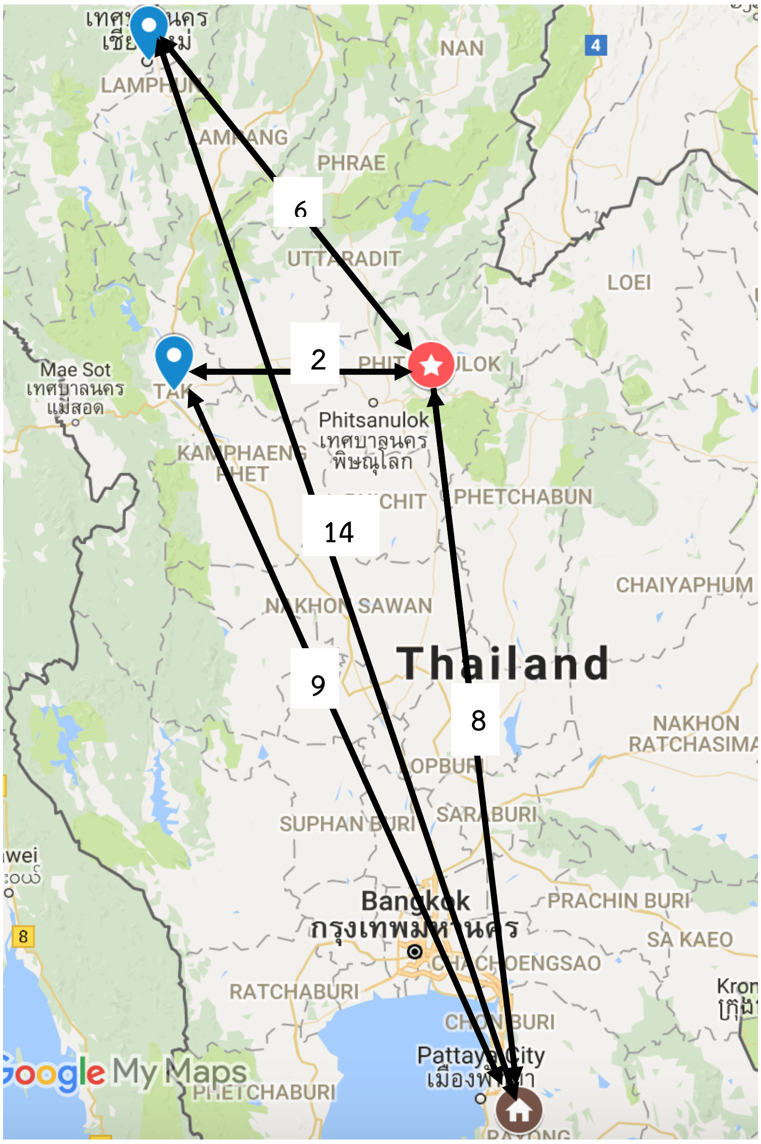
	โรงกลั่น (ระยอง)	โรงงาน (พิษณุโลก)	ลูกค้า (เชียงใหม่)	ลูกค้า (ตาก)
โรงกลั่น (ระยอง)	0	8	14	9
โรงงาน (พิษณุโลก)	8	0	6	2
ลูกค้า (เชียงใหม่)	14	6	0	-
ลูกค้า (ตาก)	9	2	-	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หากลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณความต้องการ 60 ตัน และลูกค้าที่จังหวัดตากมีปริมาณความต้องการ 30 ตัน และบริษัท เอ จำกัด มหาชน จัดรถบรรทุกขนาด 30 ตัน จำนวน 2 คันสำหรับขนส่งยางมะตอยให้กับลูกค้าทั้ง 2 รายนี้ จากลักษณะความต้องการที่เกิดขึ้น สังเกตได้ว่าจำเป็นต้องจัดรถบรรทุก 2 คันเพื่อส่งยางมะตอยให้กับลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่เพียงรายเดียว

ทั้งนี้เส้นทางการเดินรถที่เกิดขึ้น หากเลือกขนส่งด้วยวิธีขนส่งไปยังลูกค้าโดยตรงโดยไม่อนุญาตให้รถบรรทุกหยุดที่โรงกลั่นจังหวัดระยอง คือใช้รถบรรทุกคันหนึ่งขนส่งยางมะตอยจำนวน 30 ตันให้กับลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่ก่อน ส่วนรถบรรทุกอีกคันหนึ่งใช้ขนส่งยางมะตอยให้กับลูกค้าที่จังหวัดตากไปพร้อมๆ กัน จากนั้นจึงเคลื่อนย้ายรถบรรทุกที่ขนส่งให้กับลูกค้าจังหวัดตากเพื่อรับยางมะตอยจากโรงกลั่นที่จังหวัดระยอง แล้วขนส่งไปให้กับลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่อีกทีหนึ่ง ระยะเวลาที่ใช้ขนส่งยางมะตอยทั้งหมดสำหรับวิธีนี้ เท่ากับ 32 ชั่วโมง (9 + 9 + 14) แต่หากบริษัท เอ จำกัด มหาชนเลือกวิธีการขนส่งโดยใช้โรงงานเป็นศูนย์กระจายสินค้า เส้นทางการเดินรถที่เกิดขึ้น คือ ใช้รถบรรทุก

คันหนึ่งขนส่งยางมะตอยไปยังโรงงานที่จังหวัดพิษณุโลก ส่วนอีกคันหนึ่งขนส่งให้กับลูกค้าที่จังหวัดตากไปพร้อมๆกัน จากนั้นรถบรรทุกคันแรกเดินทางกลับโรงกลั่นเพื่อรับยางมะตอยจัดส่งให้กับลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนรถบรรทุกอีกคันหนึ่ง เดินทางไปรับยางมะตอยที่โรงงานจังหวัดพิษณุโลก เพื่อขนส่งให้กับลูกค้าที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยระยะเวลาที่ใช้ขนส่งยางมะตอยทั้งหมด เท่ากับ 30 ชั่วโมง (8 + 8 + 14) สังเกตได้ว่า ระยะเวลาขนส่งรวมหากบริษัท เอ จำกัด มหาชน เลือกขนส่งโดยใช้โรงงานเป็นศูนย์กระจายสินค้าจะใช้เวลาน้อยกว่าการขนส่งไปยังลูกค้าโดยตรง กล่าวคือ การใช้ประโยชน์ (Utilization) ของรถบรรทุกสำหรับวิธีใช้โรงงานเป็นศูนย์กระจายสินค้ามีสูงกว่าวิธีการขนส่งไปยังลูกค้าโดยตรงนั่นเอง



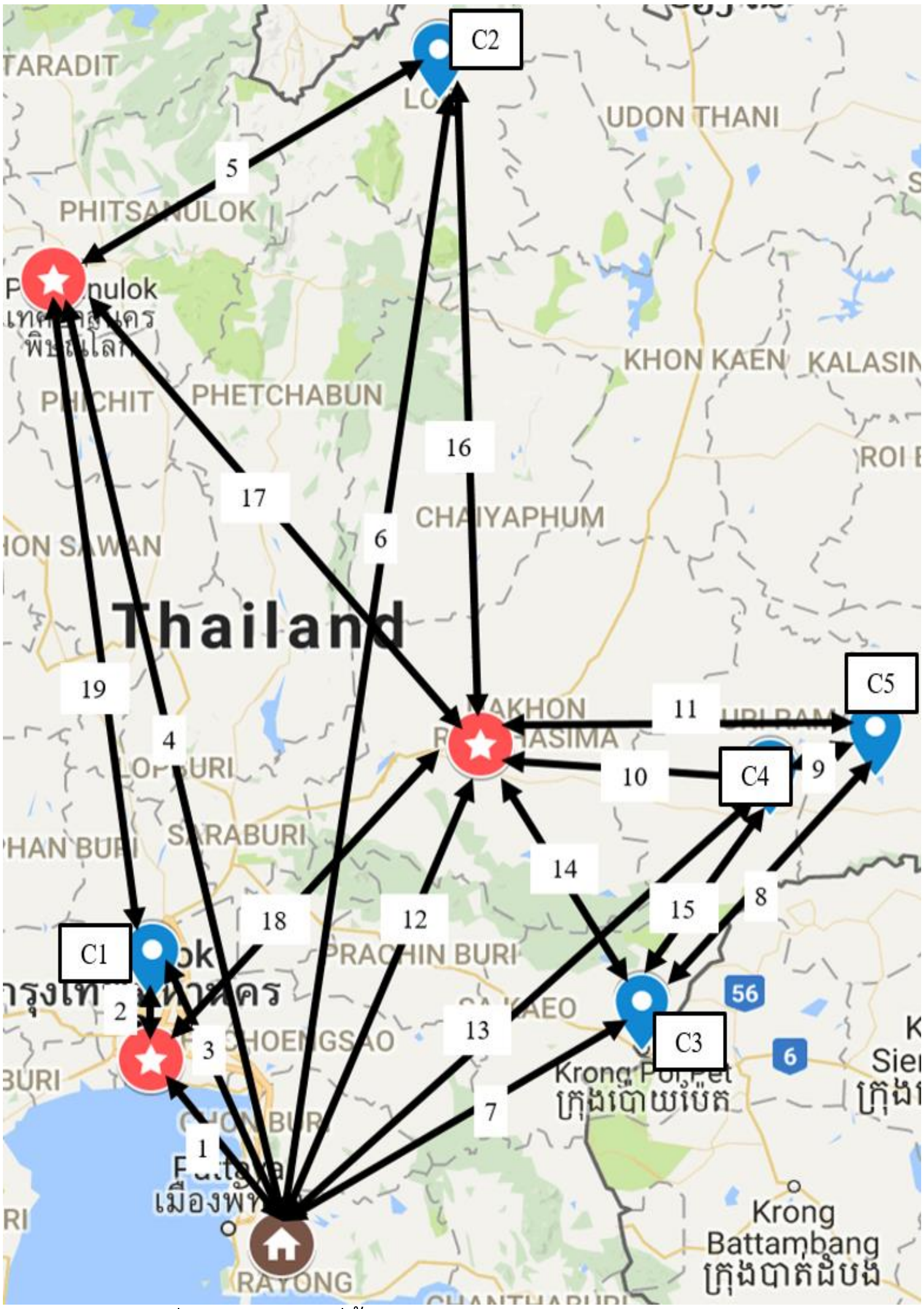
รูปที่ 4.3 ระยะเวลาที่ใช้เดินทางจริงจากตารางที่ 4.14

โดยหากประยุกต์หลักการของปัญหา IRP เข้ากับรูปแบบการทำงานของบริษัทที่กล่าวไว้ข้างต้น ปัญหาดังกล่าวสามารถจัดอยู่ในปัญหาประเภท ปัญหา 3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery (3 – Tier IRPSD) เนื่องจากรูปแบบการทำงานของบริษัทตัวอย่าง ไม่มีการกำหนดช่วงเวลาการรับและส่งสินค้าสำหรับโรงงานและลูกค้ารายย่อยแต่ละราย

ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยได้เลือกกลุ่มลูกค้ารายย่อย จำนวน 5 ราย ที่กระจายตัวอยู่บริเวณภาคกลาง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาพเหนือ อีกทั้งเลือกโรงงานของบริษัทประจำภาคนั้นๆอีก 3 โรงงาน เพื่อใช้สำหรับเป็นศูนย์กระจายสินค้า และพิจารณาใช้โรงกลั่นจำนวน 1 โรง สำหรับเป็นผู้ผลิตสินค้าภายในปัญหาที่พิจารณา

โดยตำแหน่งที่ตั้งของ โรงกลั่น, โรงงาน และลูกค้ารายย่อยทั้งหมด สามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 4.4 โดยโรงกลั่นแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปบ้าน, โรงงานแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปดาว และลูกค้ารายย่อยทั้งหมดซึ่งประกอบด้วย ลูกค้ารายย่อย C1, C2, C3, C4 และ C5 แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปหยดน้ำ

เนื่องจากบริษัทไม่มีการบันทึกระยะทางและระยะเวลาที่ใช้เดินทางจาก ศูนย์กระจายสินค้า – ลูกค้ารายย่อย และลูกค้ารายย่อย – ลูกค้ารายย่อย ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงหาเส้นทางการเดินรถระหว่างจุดต่างๆ โดยอ้างอิงจากการใช้ google maps เพื่อหาเส้นทางเดินรถระหว่างจุดสองจุด โดยเส้นทางที่แสดงในรูปที่ 4.4 เป็นเส้นทางภายหลังจากการตัดเส้นทางออกแล้วจากการกำหนดค่า n เท่ากับ 0.6 ทั้งนี้การคำนวณระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างจุดใดๆ ผู้ดำเนินงานวิจัยอ้างอิงจากกฎหมายการขนส่งสำหรับรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งจำกัดความเร็วของรถบรรทุกไว้ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กล่าวคือ ผู้ดำเนินงานวิจัยหาระยะทางระหว่างจุดใดๆ สองจุด จากนั้นจึงนำมาหารด้วยความเร็ว เพื่อได้ระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างจุดสองจุด



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งที่ตั้งและเส้นทางการเดินรถระหว่างจุดต่างๆ

การคำนวณหาต้นทุนสำหรับเดินทาง สามารถคำนวณได้จากการนำต้นทุนต่อระยะทางที่บริษัทบันทึกไว้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.35 บาท/กิโลเมตร คูณกับระยะทางที่หาได้จาก google maps ทั้งนี้ต้นทุนการเดินทางและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเส้นทางแต่ละเส้นทางในรูปที่ 4.4 สามารถแสดงด้วยตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ต้นทุนการเดินทางและเวลาที่ใช้ในการเดินทางของเส้นทางหมายเลขต่างๆ

เส้นทาง หมายเลข	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)	ระยะเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)
1	146	344	3
2	35	83	1
3	162	381	3
4	526	1,237	9
5	247	581	5
6	663	1,559	12
7	247	581	5
8	151	355	3
9	65	153	1
10	146	344	3
11	235	553	4
12	309	727	6
13	375	882	7
14	241	567	5
15	151	355	6
16	363	853	6
17	361	849	6
18	253	595	5
19	358	841	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การคำนวณหาต้นทุนในการจัดเก็บ อ้างอิงจากข้อมูลของบริษัทตัวอย่างที่กำหนดต้นทุนในการจัดเก็บที่ 3% ของราคาซื้อขายยางมะตอยในปัจจุบันที่ 34,000 บาทต่อตันโดยประมาณ กล่าวคือ ผู้ดำเนินงานวิจัยใช้ต้นทุนของการจัดเก็บ มีค่าเท่ากับ 1,000 บาทต่อตัน

ผู้ดำเนินงานวิจัย ใช้ปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อยแต่ละราย เป็นเวลาทั้งสิ้น 7 วันต่อเนื่อง โดยอ้างอิงจากข้อมูลจริงของบริษัทตัวอย่าง ซึ่งสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ปริมาณความต้องการของลูกค้ารายย่อยแต่ละรายในระยะเวลา 7 วัน

	ปริมาณความต้องการ						
	1	2	3	4	5	6	7
C1	-	-	-	-	40	-	30
C2	-	30	20	20	-	20	20
C3	20	-	-	-	30	60	60
C4	-	-	-	-	-	-	20
C5	20	20	-	-	-	-	20

ตัวแบบ Time – Expanded Network สำหรับแก้ปัญหาจะพิจารณาปัญหาเพียง 2 วันต่อเนื่องกัน โดยมีเวลาทั้งหมดของระบบ 24 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลา 12 ช่วงแรกใช้แก้ปัญหาในวันแรก และช่วงเวลา 12 ช่วงเวลาหลัง เป็นการหาคำตอบล่วงหน้า เพื่อป้องกันกรณีการหยุดรถในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมจากวันแรก โดยตำแหน่งที่รถบรรทุกหยุดในวันแรก จะเป็นตำแหน่งเริ่มต้นของรถบรรทุกในวันถัดไปของตัวแบบ จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการหาคำตอบ อ้างอิงจากจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งจริงของบริษัทตัวอย่างที่จำนวน 5 คัน เนื่องจากบริษัทใช้แนวทางการขนส่งโดยตรงโดยการใช้รถบรรทุกจำนวน 5 คันส่งยางมะตอยให้กับลูกค้ารายย่อยทั้ง 5 ราย

เนื่องจากตัวแบบ Time – Expanded Network ที่นำมาแก้ปัญหาจริง เป็นตัวแบบภายหลังการปรับปรุงด้วยการตัดเส้นทางเพียงเท่านั้น ส่งผลให้การหาคำตอบของตัวแบบดังกล่าว ใช้เวลาค่อนข้างนานในการหาคำตอบ ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงตั้งค่า gap ที่ 13% เพื่อลดเวลาในการหาคำตอบของตัวแบบลงให้อยู่ในระยะเวลาที่ยอมรับได้

ผู้ดำเนินงานวิจัย เลือกที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ Time – Expanded Network ทั้งในด้านของต้นทุนการขนส่ง และปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งต่อระยะทางที่ขนส่ง ซึ่งเป็น

ตัวเปรียบเทียบที่นิยมนำมาพิจารณาสำหรับปัญหา IRP โดยผลการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างตัวแบบ Time – Expanded Network กับวิธีการขนส่งโดยตรง (Direct Shipping) ซึ่งเป็นแนวทางการดำเนินงานปัจจุบันของบริษัทตัวอย่าง ในด้านต้นทุนการขนส่ง และปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งต่อระยะทางที่ขนส่ง แสดงได้ด้วยตารางที่ 4.17 และตารางที่ 4.18 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งระหว่างตัวแบบ Time – Expanded Network กับ วิธีการขนส่งทางตรง

	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)
ตัวแบบ Time - Expanded Network	24,953
แนวทางการขนส่งโดยตรง	36,780

ตารางที่ 4.18 ผลการเปรียบเทียบปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่งระหว่างตัวแบบ Time – Expanded Network กับ วิธีการขนส่งทางตรง

	ระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่ง (กิโลเมตร)	ปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่ง (ตัน/กิโลเมตร)
ตัวแบบ Time - Expanded Network	10,636	0.034
แนวทางการขนส่งโดยตรง	15,684	0.023

เมื่อพิจารณาผลการทดลองข้างต้นจะพบว่าตัวแบบ Time – Expanded Network สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ถึง 32.2% และเพิ่มปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่งได้ถึง 47.5% เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางการขนส่งยางมะตอยแบบเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหา 3 –Tier Inventory Routing Problem ที่ผนวกเข้ากับปัญหา Split Delivery ภายในกรอบเวลาที่จำกัด (Time Window) (3 – Tier Inventory Routing Problem with Split Delivery and Time Window, 3 – Tier IRPSDTW) ด้วยการใช้ตัวแบบ Time – Expanded Network

เนื่องจากปัญหา IRP ถูกจัดเป็นปัญหาในกลุ่ม NP – Hard กล่าวคือ ไม่มีอัลกอริทึ่ม (Algorithm) ใดที่สามารถหาผลลัพธ์ได้ ในเวลาที่เป็นฟังค์ชั่นพหุนาม ทั้งนี้การแก้ปัญหา IRP ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network จึงจัดเป็นวิธีการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Method) วิธีหนึ่ง ซึ่งเป็นที่ทราบดีว่า การแก้ปัญหาด้วยกระบวนการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงนำเสนอแนวทางการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของตัวแบบ Time – Expanded Network เพิ่มเติมด้วย

สำหรับแนวทางการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสำหรับตัวแบบ Time – Expanded Network นั้น ประกอบไปด้วย 2 แนวทาง คือ แนวทางการลดจำนวนจุดในตัวแบบ และแนวทางการลดเส้นเชื่อมในตัวแบบ

1. แนวทางการลดจำนวนจุดในตัวแบบ เป็นการแบ่งปัญหาที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงด้วยการลดจำนวนวันที่ต่อเนื่องในการแก้ปัญหา (Rolling Horizon) หรือลดความละเอียดของตัวแบบ ด้วยการขยายช่วงเวลาย่อยออก ส่งผลให้จำนวนจุดในตัวแบบลดลง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลดลงด้วยเช่นกัน
2. แนวทางการลดเส้นเชื่อมในตัวแบบ เป็นแนวทางสำหรับลดจำนวนเส้นเชื่อมภายในตัวแบบซึ่งส่งผลต่อจำนวนตัวแปรการตัดสินใจโดยตรง สำหรับประเด็นดังกล่าวผู้ดำเนินงานวิจัยได้เสนอแนวทางการลดเส้นเชื่อมในตัวแบบ 2 แนวทาง คือ
    1. แนวทางการตัดเส้นทาง ผู้ดำเนินงานวิจัยเสนอแนะแนวทางสำหรับการพิจารณาตัดเส้นทางออก ซึ่งประกอบด้วย การตัดเส้นทางเดินรถที่ไม่จำเป็น และการตัดเส้นทางเดินรถเพิ่มเติมด้วยการกำหนดค่า n สำหรับการพิจารณาตัดเส้นทางเพิ่มเติม ทั้งนี้

แนวทางการตัดเส้นทาง จัดเป็นแนวทางที่สามารถทำได้ในช่วงการเตรียมปัญหา (Preprocessing) ก่อนนำผลที่ได้ไปใช้ในการหาคำตอบ

2. แนวทางการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง เป็นแนวทางการตัดเส้นเชื่อมในตัวแบบออกด้วยการกำหนดระยะเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายยินยอมให้จัดส่งได้ จากนั้นจึงตัดเส้นทางเดินรถทั้งหมดที่ไม่เกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่ยินยอมให้จัดส่งออก ทั้งนี้การสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งเป็นแนวทางที่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบลงได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยแลกเปลี่ยน (trade off) เวลาในการหาคำตอบที่น้อยลง กับคุณภาพของคำตอบที่ได้รับ

เนื่องจากผู้ดำเนินงานวิจัยได้เสนอแนวทางการลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของตัวแบบ Time – Expanded Network ผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบภายหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกับตัวแบบก่อนการปรับปรุง โดยพิจารณาทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงค่า n และผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบจากตัวแบบภายหลังการปรับปรุงด้วยแนวทางการตัดเส้นทางและสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง

จากผลการทดลองพบว่า ตัวแบบ Time – Expanded Network ภายหลังการปรับปรุงด้วยแนวทางการตัดเส้นทางและการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งนั้น สามารถลดเวลาในการหาคำตอบลงได้โดยเฉลี่ยถึง 91% โดยแลกเปลี่ยนกับคุณภาพของคำตอบที่ลดลงเพียง 2% เท่านั้น

นอกจากนี้ งานวิจัยฉบับนี้ยังได้นำตัวแบบ Time – Expanded Network ภายหลังการปรับปรุงด้วยแนวทางการตัดเส้นทางและการสร้างกรอบเวลาในการจัดส่งไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหา 3 – Tier IRPSDTW รูปแบบต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาและคำตอบของตัวแบบ โดยพบว่า หากปัญหาประกอบด้วยลูกค้าที่มีปริมาณความต้องการเกินความสามารถบรรจุของรถบรรทุกหนึ่งคัน และมีกรอบเวลาในการจัดส่งที่กว้าง จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานกว่ากรณีอื่น ซึ่งรวมถึงคุณภาพของคำตอบที่ได้รับด้วยเช่นกัน

ผู้ดำเนินงานวิจัย ได้นำตัวแบบ Time – Expanded Network หลังการปรับปรุงการ ไปประยุกต์ใช้กับการทำงานของกลุ่มบริษัทยางมะตอย โดยอ้างอิงจากข้อมูลการดำเนินงานจริง พบว่าตัวแบบ Time – Expanded Network สามารถลดต้นทุนในการขนส่งลงได้ถึง 32.2% และเพิ่มปริมาณยางมะตอยที่ขนส่งได้ต่อระยะทางที่ขนส่งได้อีก 47.5% เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางการขนส่งยางมะตอยแบบเดิม

5.2 การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (Discussion and Future work)

ผู้ดำเนินงานวิจัยได้อภิปรายผลเพิ่มเติม ของปัจจัยบางประการที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานวิจัย โดยเป็นปัจจัยที่ผู้ดำเนินงานวิจัยเห็นว่ามีความน่าสนใจและสามารถนำไปขยายผลเพิ่มเติมต่อได้ โดยเนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วยปัจจัย 3 ประการ คือ จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในตัวแบบ, ขนาดและเวลาเริ่มต้นของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง และข้อจำกัดในการนำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ไปประยุกต์ใช้

5.2.1 จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในตัวแบบ

จากผลการทดลองที่ผู้ดำเนินงานวิจัยได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ปัจจัยหนึ่งที่ผู้ดำเนินงานวิจัยไม่สามารถควบคุมให้มีปริมาณคงที่ได้ คือ จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการทดลอง การกำหนดรถบรรทุกสำหรับปัญหาที่ผู้ดำเนินงานวิจัยทดลองภายในบทที่ 4 เกิดจากการทดลองซ้ำๆ ที่ลดปริมาณของรถบรรทุกลงเรื่อยๆ จนกระทั่งได้จำนวนรถบรรทุกที่ต่ำที่สุด ที่สามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่ยอมรับได้ จากนั้นจึงใช้รถบรรทุกจำนวนดังกล่าวเป็นจำนวนรถบรรทุกอ้างอิงสำหรับปัญหาอื่นๆที่คล้ายคลึงกัน

แม้ว่าการเพิ่มจำนวนรถบรรทุกนั้นจัดเป็นการเพิ่มจำนวนตัวแปรตัดสินใจในตัวแบบ Time – Expanded Network แต่อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนรถบรรทุกนั้น กลับเพิ่มความยืดหยุ่นในการหาคำตอบของปัญหา ส่งผลให้การหาคำตอบสามารถหาคำตอบได้เร็วยิ่งขึ้น กล่าวคือ หากมีจำนวนรถบรรทุกเพียงพอ ตัวแบบ Time – Expanded Network จะสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าปัญหาที่มีจำนวนรถบรรทุกน้อยคัน

ข้อสังเกตที่น่าสนใจประการหนึ่งของตัวแบบ Time – Expanded Network นี้คือ ตัวแบบดังกล่าว ไม่สามารถหาจำนวนรถบรรทุกที่น้อยที่สุดสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาได้ กล่าวคือ ผู้ดำเนินงานวิจัยต้องเป็นผู้กำหนดจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหาเอง ดังนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยจึงได้ปรับปรุงตัวแบบ Time – Expanded Network เพิ่มเติม ให้สามารถหาจำนวนรถที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหาได้ หากแต่แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบที่นำเสนอภายในงานวิจัยฉบับนี้ ไม่สามารถลดระยะเวลาที่ใช้หาคำตอบของตัวแบบ Time – Expanded Network ภายหลังการปรับปรุงเพื่อหาจำนวนรถที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัญหาได้ในทุกปัญหาที่ทำการทดลอง ส่งผลให้การหาคำตอบด้วยตัวแบบดังกล่าว ใช้เวลานานในการหาคำตอบ ดังนั้น งานวิจัยในอนาคต อาจมีการพิจารณาถึงการเสนอแนะแนวทางสำหรับลดเวลาในการหาคำตอบเพิ่มเติมสำหรับตัวแบบดังกล่าว

5.2.2 ขนาดและเวลาเริ่มต้นของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง

ปัจจัยอีกประการหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองที่ผู้ดำเนินงานวิจัยแสดงไว้ในบทที่ 4 คือ ขนาดและเวลาเริ่มต้นของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง ทั้งนี้ผู้ดำเนินงานวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเวลาเริ่มต้นของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งนั้น ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบและ คุณภาพของคำตอบเช่นกัน นอกจากนี้ การกำหนดขนาดของกรอบเวลาในการจัดส่งที่มีความเหมาะสมในแต่ละปัญหานั้นจัดว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน แม้ว่าผู้ดำเนินงานวิจัยอธิบายไว้ในบทที่ 4 ว่า กรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งที่แคบ จะสามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้อย่างมีนัยสำคัญก็ตาม แต่การกำหนดกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งแคบจนเกินไป อาจส่งผลทำให้ตัวแบบ Time – Expanded Network ไม่สามารถคำตอบของปัญหาได้

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ ยังไม่มีการนำตัวแบบ Time – Expanded Network ภายหลังการปรับปรุงด้วยการตัดเส้นทางและสร้างกรอบเวลาในการจัดส่ง ไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมจริง ดังนั้นการสร้างนโยบายสำหรับการหาเวลาเริ่มต้น และขนาดของกรอบเวลาที่ใช้ในการจัดส่งนั้น อาจเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

5.2.3 ข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

จากผลการทดลองที่แสดงได้ในบทที่ 4 ผู้ดำเนินงานวิจัยได้เห็นถึงข้อจำกัดบางประการที่เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหา 3 – Tier IRPSDTW ด้วยตัวแบบ Time – Expanded Network

เนื่องจากลักษณะของปัญหาที่ผู้ดำเนินงานวิจัยได้สร้างขึ้นและนำมาทดลองนั้น ผู้ดำเนินงานวิจัยได้พิจารณาปัญหาที่ต้องเติมเต็มปริมาณความต้องการภายในวันนั้นๆ และคิดต้นทุนในการจัดเก็บเมื่อสิ้นวันเช่นกัน ส่งผลให้การสร้างแนวทางในการลดเวลาการหาคำตอบทั้ง 2 วิธี อันได้แก่ แนวทางการลดจำนวนจุด และแนวทางการลดจำนวนเส้นเชื่อม นั้นอ้างอิงจากลักษณะของปัญหาดังกล่าว ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบภายในงานวิจัยฉบับนี้จะสามารถลดเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบในกรณีที่ปัญหาดังกล่าวมีลักษณะของปริมาณความต้องการในรูปแบบนี้เพียงเท่านั้น

ทั้งนี้หากปัญหาที่พิจารณานั้นมีลักษณะของปริมาณความต้องการที่แตกต่างออกไป แนวทางการลดเวลาในการหาคำตอบภายในงานวิจัยฉบับนี้ อาจยังไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมสำหรับลดเวลาในการหาคำตอบ เช่น หากปัญหาที่นำมาพิจารณามีปริมาณความต้องการที่ทุก

ช่วงเวลาย่อย และการคิดต้นทุนในการจัดเก็บทุกช่วงเวลาย่อยเช่นกัน เราจะไม่สามารถนำแนวทางในการลดจำนวนจุดด้วยการขยายขนาดของช่วงเวลาย่อย และแนวทางการลดเส้นเชื่อมด้วยวิธีการสร้างกรอบเวลาจัดส่งในงานวิจัยฉบับนี้มาใช้เพื่อลดเวลาในการหาคำตอบของปัญหาลักษณะนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเราจำเป็นจะต้องพิจารณาต้นทุนการจัดเก็บในทุกๆตำแหน่งช่วงเวลาย่อยซึ่งหากนำแนวทางการลดจำนวนจุด และแนวทางการลดเส้นเชื่อมที่ผู้ดำเนินงานวิจัยได้เสนอในงานวิจัยฉบับนี้ไปประยุกต์ใช้ จะส่งผลทำให้ลักษณะของปัญหาที่พิจารณานั้นเปลี่ยนแปลงไปและไม่สามารถชี้วัดเวลาในการหาคำตอบที่ลดลงได้

นอกจากนี้แนวทางการลดจำนวนเส้นเชื่อมด้วยวิธีการตัดเส้นทางออกที่เสนอในงานวิจัยฉบับนี้ จะเหมาะสมต่อเมื่อนำไปพิจารณาการตัดเส้นทางการเดินรถที่มีปริมาณความต้องการของลูกค้าเกินรถบรรทุกหนึ่งคันจัดส่งเพียงเท่านั้น ทั้งนี้เราอาจสามารถพัฒนาแนวทางในการตัดเส้นทางเดินรถดังกล่าวออกได้ ด้วยการเพิ่มประเด็นในการพิจารณาปริมาณความต้องการสินค้าเพิ่มเติมควบคู่ไปด้วยกัน กล่าวคืออาจสร้างแนวทางในการตัดเส้นทางเพิ่มเติมโดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการในแต่ละจุดด้วย เพื่อให้เราสามารถเลือกตัดเฉพาะเพียงเส้นทางการเดินรถที่ไม่จำเป็นสำหรับตัวแบบออก โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้รับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ANDERSSON, H., HOFF, A., CHRISTIANSEN, M., HASLE, G. & LØKKETANGEN, A. 2010. Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Computers & Operations Research,* 37, 1515-1536.

ANILY, S. & BRAMEL, J. 2004. An asymptotic 98.5%-effective lower bound on fixed partition policies for the inventory-routing problem. *Discrete Applied Mathematics,* 145, 22-39.

BARD, J. F. & NANANUKUL, N. 2008. The integrated production–inventory–distribution–routing problem. *Journal of Scheduling,* 12, 257-280.

CAMPBELL, A. M. & SAVELSBERGH, M. W. P. 2004. A Decomposition Approach for the Inventory-Routing Problem. *Transportation Science,* 38, 488-502.

CAVINATO, J. L. 1992. A total cost/value model for supply chain competitiveness. *journal of business logistics,* 13, 285-301.

CHAN, L. M. A. & LEVI, D. S. 1998. Probabilistic Analyses and Algorithms for Three-Level Distribution Systems. *MANAGEMENT SCIENCE,* 44, 1562-1576.

GAUR, V. & FISHER, M. L. 2004. A Periodic Inventory Routing Problem at a Supermarket Chain. *Operations Research,* 52, 813-822.

GENDREAU, M., HERTZ, A. & LAPORTE, G. 1992. New Insertion and postoptimization procedures for the traveling salesman problem *Operations Research,* 40, 1086-1094.

HENKE, T., SPERANZA, M. G. & WÄSCHER, G. 2015. The multi-compartment vehicle routing problem with flexible compartment sizes. *European Journal of Operational Research,* 246, 730-743.

HUANG, S.-H. & LIN, P.-C. 2010. A modified ant colony optimization algorithm for multi-item inventory routing problems with demand uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,* 46, 598-611.

JUNG, J. & MATHUR, K. 2007. An Efficient Heuristic Algorithm for a Two-Echelon Joint Inventory and Routing Problem. *Transportation Science,* 41, 55-73.

KLEYWEGT, A. J., NORI, V. S. & SAVELSBERGH, M. W. P. 2002. The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries. *Transportation Science,* 36, 94-118.

LI, J., CHU, F. & CHEN, H. 2011. A solution approach to the inventory routing problem in a three-level distribution system. *European Journal of Operational Research,* 210, 736-744.

LIN, S. & KERNIGHAN, B. W. 1971. An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem. *Operations Research,* 21, 498-516.

MARÍN, Á. G. 2013. Airport taxi planning: Lagrangian decomposition. *Journal of Advanced Transportation,* 47, 461-474.

MOIN, N. H., SALHI, S. & AZIZ, N. A. B. 2011. An efficient hybrid genetic algorithm for the multi-product multi-period inventory routing problem. *International Journal of Production Economics,* 133, 334-343.

PAOLO TOTH & VIGO, D. 2003. The Granular Tabu Search and Its Application to the Vehicle-Routing Problem. *INFORMS Journal on Computing,* 15, 333-346.

SONG, J.-H. 2004. *Inventory Routing Investigations.* School of Industrial and Systems Engineering Georgia Institute of Technology.

TALARICO, L., MEISEL, F. & SÖRENSEN, K. 2015. Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers & Operations Research,* 56, 120-133.

TOFFOLO, T. A. M., ESPRIT, E., WAUTERS, T. & VANDEN BERGHE, G. 2017. A two-dimensional heuristic decomposition approach to a three-dimensional multiple container loading problem. *European Journal of Operational Research,* 257, 526-538.

WY, J., KIM, B.-I. & KIM, S. 2013. The rollon–rolloff waste collection vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research,* 224, 466-476.

YAN, S., CHU, J. C., HSIAO, F.-Y. & HUANG, H.-J. 2015. A planning model and solution algorithm for multi-trip split-delivery vehicle routing and scheduling problems with time windows. *Computers & Industrial Engineering,* 87, 383-393.

ZHAO, Q.-H., CHEN, S. & ZANG, C.-X. 2008. Model and algorithm for inventory/routing decision in a three-echelon logistics system. *European Journal of Operational Research,* 191, 623-635.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกันต์ เจริญชลวานิช เกิดเมื่อวันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2535 เป็นบุตรชายคนโตจากพี่น้อง 3 คน สำเร็จการศึกษาชั้นประถมและมัธยมศึกษา จากโรงเรียนกรุงเทพคริสเตียนวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา พ.ศ. 2557 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาอุตสาหการ ในภาคการศึกษาต้นปีการศึกษา 2557

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University