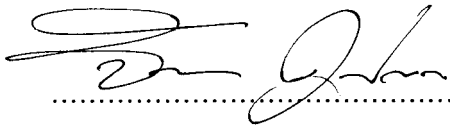
# แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์ ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

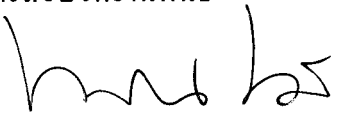
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

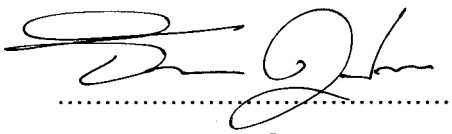
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



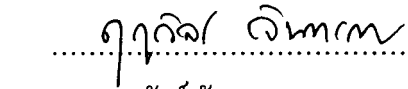
..... ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล เกียรติเจริญผล)



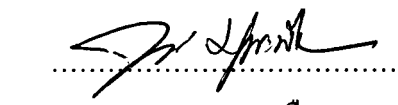
..... กรรมการ

(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)



..... กรรมการ

(ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา)



..... กรรมการ

(ดร. นพคุณ บุญกระพือ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 1 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. จักรวาล คุณะดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บรรหาญ ลิลา ประธานหลักสูตร และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยบูรพา ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ สรรพวิทยา และจริยธรรมอันเป็นพื้นฐานสำคัญที่ส่งผลให้เกิดผลสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบประสบการณ์ที่ดีและสนับสนุนค่าใช้จ่ายตลอดการศึกษาจากทุนผู้ช่วยสอนระดับบัณฑิตศึกษา โครงการส่งเสริมนิสิตเรียนดีเข้าเรียนระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2558

ขอขอบคุณ ธิดารัตน์ ร้อยนาค ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลในการศึกษาสำหรับวิทยานิพนธ์นี้ และสำคัญยิ่งขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัว และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและแรงผลักดันที่สำคัญแก่ผู้วิจัยเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ของงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่บุพการี บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีปัญญาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์

58910306: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การพยากรณ์/ กำหนดการเชิงเส้น/ กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม/
ปัญหาการขนส่ง/ แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอน/ วีบีเอ

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์: แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ (MULTI-STAGE MATHEMATICAL MODEL FOR METAL COIL TRANSPORTATION PROBLEM) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก, Ph.D., 139 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้เป็นปัญหาการวางแผนการขนส่งคอยล์โลหะรายวันของผู้ผลิตที่ต้องจัดกลุ่มคอยล์สำหรับการขนส่งบนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน ตามคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย การจ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์หลายราย ที่มีเงื่อนไขและข้อจำกัดในการขนส่ง ทำให้ผู้วางแผนต้องใช้เวลา 4-6 ชั่วโมงต่อวันในการจัดตารางการขนส่ง โดยวิธีเดิมผู้วางแผนจะใช้ประสบการณ์ในการนำเงื่อนไขแบบรายเดือนมากำหนดเป็นเงื่อนไขในการจัดการขนส่งแบบรายวัน ส่งผลให้มีการเลือกใช้ผู้ประกอบการทุกรายในทุก ๆ วัน ทำให้เกิดข้อจำกัดและการเสียโอกาสในการเลือกผู้ประกอบการให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนในการจัดตารางการขนส่งรายวัน จากแนวคิดในการกำหนดผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน โดยขั้นตอนแรก เป็นการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักแบบรายเดือนที่ระบุในสัญญาจ้างเพื่อให้ได้แนวทางในการจัดการขนส่งที่มีค่าขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ โดยใช้ข้อมูลนำเข้าจากการพยากรณ์ ขั้นตอนที่สองเป็นการใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการขนส่งรายวันตามแนวทางของผลลัพธ์จากขั้นตอนแรก และข้อจำกัดต่าง ๆ ในการขนส่ง

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการวิจัยจากปัญหาการขนส่งจริง 59 วัน ในช่วงสามเดือน พบว่า ได้ค่าขนส่งต่ำกว่าการวางแผนแบบเดิมในทุกเดือน โดยที่สัดส่วนน้ำหนักเป็นไปตามสัญญาจ้าง สามารถลดค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน ได้ 190,148 บาท หรือ 3.49 เปอร์เซ็นต์ การจัดกลุ่มคอยล์สำหรับรถแต่ละเที่ยวอย่างเหมาะสม และการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละราย ตามวิธีการวิจัยนี้ ส่งผลให้สามารถลดน้ำหนักที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริงเฉลี่ยต่อเดือน ได้ 196.26 ตัน หรือ 37.07 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดการเลือกใช้รถบรรทุกประเภทที่มีราคาค่าขนส่งต่อตันที่สูงกว่าแบบปกติได้ งานวิจัยนี้มีการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยชุดคำสั่ง VBA ในการจัดเตรียมข้อมูลและสร้างตารางการขนส่งรายวัน ซึ่งลดเวลาในการจัดตารางการขนส่งเหลือเพียง 30-40 นาทีต่อวัน

58910306: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: FORECASTING/ LINEAR PROGRAMMING/ MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING/ TRANSPORTATION PROBLEM/ MULTI-STAGE MATHEMATICAL MODEL/ VBA

PINYAMAS MANATAWEEWAT: MULTI-STAGE MATHEMATICAL MODEL FOR METAL COIL TRANSPORTATION PROBLEM. ADVISORY COMMITTEE: JAKRAWARN KUNADILOK, Ph.D. 139 P. 2017.

A Transportation problem of metal coils from manufacturer to customers in this research is a daily delivery planning problem by forming coil groups ordered from each customer for loading on the same truck. Conditions of transportation and capacities of trucks as well as the number of logistic providers are the difficulties that made the operator take 4-6 hours to complete a daily transportation plan. To ensure that the weight proportion would conform to the transportation contract at the end of the month, it's set to be a constraint in a daily planning. This caused every transportation provider would be assigned every day even if some day there's no need to assign some providers since they match only some specific customers. This research proposed a multi-stage mathematical model for a daily transportation plan by the idea of provider-customer matching to minimize monthly transportation cost and find out the lower bound cost so at the first stage, the monthly weight proportion is assigned to be a constraint of Transportation model which needs forecasting demand serves as input data. Then the next stage, a daily transportation plan is computerized according to the solution from the previous stage, capacities of trucks and other conditions through a mixed-integer linear programming model (MILP).

The performance of this proposal was evaluated by comparing with the real coil transportation data set of 59 days in three months. The results revealed that the proposal was able to find all feasible solutions. The transportation cost was decreased 190,148 baht per month (3.49%). The total weight associated with transportation cost from the underweight trucks was reduced 196.26 tons per month (37.07%) due to the proper coil grouping, customer-provider matching and lower cost vehicle using. Besides, Excel VBA was created to automate some time-consuming tasks and it decreased the daily planning time to be 30-40 minutes.

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

วัตถุประสงค์การวิจัย ..... 4

สมมติฐานการวิจัย ..... 4

กรอบแนวคิดการวิจัย ..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ..... 5

ขอบเขตของการวิจัย ..... 5

ข้อจำกัดของการวิจัย ..... 6

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 7

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก ..... 7

การจัดการขนส่ง ..... 9

การพยากรณ์ ..... 12

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ..... 20

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และ Visual basic for applications ..... 29

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 33

3 วิธีดำเนินการวิจัย ..... 43

ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล ..... 49

วิเคราะห์ข้อมูลและเลือกรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม ..... 53

พยากรณ์การสั่งซื้อรายเดือน ..... 55

แบบจำลองปัญหาการขนส่ง ..... 56

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ..... 60

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ | 67 |
| 4 | ผลการวิจัย | 69 |
| | การพยากรณ์การสั่งซื้อแบบรายเดือน | 69 |
| | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง | 71 |
| | แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม | 73 |
| | ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ | 83 |
| | ตัวอย่างการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งานในรอบ 1 เดือน | 87 |
| | รายละเอียดสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ | 93 |
| 5 | สรุปและอภิปรายผลการวิจัย | 94 |
| | สรุปผลการวิจัย | 94 |
| | อภิปรายผลการวิจัย | 96 |
| | ข้อเสนอแนะการวิจัย | 98 |
| บรรณานุกรม | | 99 |
| ภาคผนวก | | 103 |
| | ภาคผนวก ก | 104 |
| | ภาคผนวก ข | 109 |
| | ภาคผนวก ค | 115 |
| | ภาคผนวก ง | 125 |
| | ภาคผนวก จ | 127 |
| | ภาคผนวก ฉ | 131 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย | | 139 |

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1-1 | ปริมาณ และค่าใช้จ่ายการขนส่ง ปี พ.ศ. 2559 | 3 |
| 3-1 | สัญลักษณ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่ง | 45 |
| 3-2 | สัญลักษณ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม | 46 |
| 3-3 | สัญลักษณ์ของส่วนที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการปรับสัดส่วนช่วงสิ้นเดือน | 47 |
| 3-4 | อัตราค่าขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ | 50 |
| 3-5 | ความยุ่งยากในการวางแผนจัดการขนส่ง | 53 |
| 3-6 | สรุปค่าคงที่ของรถบรรทุกประเภท 10 ล้อ และ 18 ล้อ | 63 |
| 4-1 | จำนวนลูกค้าที่เหมาะกับการพยากรณ์แต่ละรูปแบบในแต่ละเดือน | 70 |
| 4-2 | ความคลาดเคลื่อนของผลการพยากรณ์กับข้อมูลความต้องการจริงในแต่ละเดือน | 70 |
| 4-3 | ความต้องการของลูกค้าแบบรายกลุ่มที่ได้จากการพยากรณ์ | 71 |
| 4-4 | ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง | 72 |
| 4-5 | น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง | 82 |

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2-1 | แผนภาพการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน และเหล็กแผ่นรีดเย็น | 8 |
| 2-2 | แผนผังเทคนิคการพยากรณ์ | 14 |
| 2-3 | รูปแบบของข้อมูลแบบต่าง ๆ | 14 |
| 2-4 | สรุปวิธีพยากรณ์ | 19 |
| 2-5 | ขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเทียบกับกำหนดการเชิงเส้น | 24 |
| 2-6 | โอเพนโซลเวอร์ที่แสดงบนแถบของ Microsoft excel | 28 |
| 2-7 | โมเดลของโอเพนโซลเวอร์อย่างละเอียดบนสเปรดชีต | 28 |
| 2-8 | ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการหาค่าที่ดีที่สุดของ Gurobi กับซอฟท์แวร์ตัวอื่น ๆ | 29 |
| 2-9 | แผนผังของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ | 30 |
| 2-10 | สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 41 |
| 3-1 | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 44 |
| 3-2 | สรุปสมการและความหมายอย่างย่อ | 48 |
| 3-3 | ราคาค่าขนส่งตามระยะทางแบบขั้นบันได | 49 |
| 3-4 | ประเภทรถที่ให้บริการ และเงื่อนไขบังคับในการขนส่ง | 51 |
| 3-5 | ขั้นตอนการสั่งผลิตถึงการจัดส่งสินค้า | 52 |
| 3-6 | รูปแบบข้อมูลของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายย้อนหลังเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2559 | 54 |
| 3-7 | ลูกค้าที่มีความต้องการคอยล์มากกว่า 1,000 ตันต่อปี | 55 |
| 3-8 | ตัวอย่างแบบจำลองปัญหาการขนส่งบน Excel model ก่อนการประมวลผลวันแรก | 56 |
| 3-9 | ตัวอย่างผลลัพธ์จากเงื่อนไขที่กำหนดหลังจากประมวลผลเสร็จสมบูรณ์ | 58 |
| 3-10 | ตัวอย่างผลลัพธ์ของวันที่ 20 ตุลาคม หลังจากประมวลผลเสร็จสมบูรณ์ | 59 |
| 3-11 | ผลลัพธ์ที่จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนต่อไปที่แสดงบน Excel model | 60 |
| 3-12 | แบบจำลองปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ของปัญหาการจัดตารางขนส่งรายวัน | 60 |
| 3-13 | ตัวอย่างตารางการขนส่งรายวันที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการจัดการขนส่ง | 61 |
| 3-14 | ตัวอย่างแบบจำลอง MILP บน Excel model ส่วนที่ 1 | 62 |
| 3-15 | ตัวอย่างแบบจำลอง MILP บน Excel model ส่วนที่ 2 | 62 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 3-16 | ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ | 68 |
| 4-1 | ขั้นตอนการพยากรณ์ | 69 |
| 4-2 | ขั้นตอนแบบจำลองปัญหาการขนส่ง | 71 |
| 4-3 | สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนตุลาคม | 73 |
| 4-4 | สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนพฤศจิกายน | 73 |
| 4-5 | สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนธันวาคม | 73 |
| 4-6 | ผลลัพธ์จากการทดลองแบบจำลองปัญหาการขนส่งและMILP ด้วยข้อมูลจริง | 74 |
| 4-7 | สัดส่วนที่ได้จากการประมวลผลด้วยข้อมูลความต้องการจริงเดือนตุลาคม | 74 |
| 4-8 | สัดส่วนที่ได้จากการประมวลผลด้วยข้อมูลจากการพยากรณ์เดือนตุลาคม | 75 |
| 4-9 | แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่ถูกแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ช่วง | 76 |
| 4-10 | ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัดส่วนที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 1 ยังสามารถขนส่งได้ | 77 |
| 4-11 | สมการที่ใช้ในขั้นตอนการปรับสัดส่วนน้ำหนักให้เป็นไปตามสัญญาจ้าง | 78 |
| 4-12 | แผนผังสมการตามขั้นตอนที่ใช้ในการปรับสัดส่วนน้ำหนัก | 78 |
| 4-13 | กรณีที่พิจารณาน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย | 79 |
| 4-14 | การเปรียบเทียบค่าขนส่งต่อเดือนที่ได้จากวิธีต่าง ๆ | 81 |
| 4-15 | สรุปสัดส่วนในรอบเดือนที่ได้จากวิธีต่าง ๆ | 82 |
| 4-16 | ภาพรวมระบบสนับสนุนการตัดสินใจ | 83 |
| 4-17 | สเปดชีตที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลนำเข้า | 84 |
| 4-18 | สเปดชีตที่ใช้เป็นฐานข้อมูลการขนส่ง | 85 |
| 4-19 | ส่วนที่ผสานกับผู้ใช้ | 86 |
| 4-20 | ส่วนที่ได้จากการประมวลผล | 86 |
| 4-21 | ภาพรวมการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในรอบ 1 เดือน | 87 |
| 4-22 | ตัวอย่างเมื่อมีการให้เลือกช่วงของข้อมูล | 88 |
| 4-23 | ตัวอย่างการปรับให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์บางราย | 89 |
| 4-24 | ตัวอย่างเมื่อค่าน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าติดลบ | 89 |
| 4-25 | ตัวอย่างส่วนที่กรอกข้อมูลเพิ่ม และค่าสัดส่วนที่คำนวณได้ | 90 |
| 4-26 | ส่วนที่ใช้ในการกำหนดสัดส่วนของ บนสเปรดชีตชื่อ “SetUp” | 91 |

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 4-27 | ตัวอย่างขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสำหรับเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559 | 92 |
| 5-1 | การเปรียบเทียบผลลัพธ์เพื่อดูประสิทธิภาพของงานวิจัย | 96 |
| 5-2 | การเปรียบเทียบค่าขนส่งจากการเลือกใช้รถแต่ละประเภทของลูกค้า 2 กลุ่ม | 97 |

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมการผลิตในปัจจุบันต้องเผชิญกับอุปสรรคและปัญหาในการดำเนินธุรกิจหลายด้าน ซึ่งส่งผลให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนจากวัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ เมื่อพิจารณาสัดส่วนของต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทย พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งมีสัดส่วนมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 49 โดยที่รูปแบบการขนส่งที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ การขนส่งทางบก (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม, 2557) การพัฒนาภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันส่วนใหญ่เน้นที่การอบรม ส่งเสริม และพัฒนาประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่าบริษัทต่างชาติ และบริษัทขนาดใหญ่ จะมีการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ และนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่มาใช้ในการบริหารจัดการ แต่สำหรับผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อม ยังขาดโอกาสด้านการพัฒนาองค์ความรู้ และไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลที่เป็นมาตรฐาน (ศูนย์อาเซียนสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2558) ทำให้ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมขาดการพัฒนา แบกรับภาระค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความสูญเปล่าจากการบริหารจัดการ ประสบภาวะขาดทุน ขาดสภาพคล่องทางการเงิน และขาดความสามารถในการแข่งขันกับผู้ผลิตต่างชาติรายใหญ่อย่างประเทศจีน (ประชาชาติธุรกิจออนไลน์, 2558) วิกฤตการณ์นี้ยิ่งส่งผลโดยเฉพาะต่อผู้ประกอบการที่เป็นผู้ผลิตสินค้าขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตสูงแต่ต้องลดกำลังการผลิตลง เนื่องจากการขาดสภาพคล่องทางการเงิน อย่างเช่น ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากเหล็กที่มีผลิตภัณฑ์ ได้แก่ เหล็กม้วนหรือคอยล์เหล็ก เหล็กคาน เหล็กเสา และแผ่นเมทัลชีท ที่จำเป็นต้องมีการบริหารสินค้าคงคลังอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสินค้าขนาดใหญ่มักจะมีน้ำหนักมาก ใช้พื้นที่บริเวณกว้างในการจัดเก็บ ทำให้ต้นทุนด้านการจัดเก็บสินค้ามีมูลค่าสูง ผู้ผลิตจึงพยายามสร้างแผนการผลิตให้เหมาะสมกับเวลาส่งมอบในคำสั่งซื้อของลูกค้า แล้วส่งสินค้าไปสู่ลูกค้าทันทีที่ผลิตเสร็จ ทำให้ไม่ต้องจัดเก็บสินค้าไว้ที่ผู้ผลิตนานเกินไปและลูกค้าได้รับวัตถุดิบในปริมาณที่พอดีกับความต้องการในสายการผลิต

ในการบริหารการจัดส่งสินค้า ที่ผู้ผลิตมักจะทำสัญญาจ้างผู้ประกอบการขนส่งหลายรายเพื่อให้มั่นใจว่าบริษัทมีความพร้อมในการดำเนินการตามแผนการจัดส่งสินค้า สำหรับกิจกรรมการวางแผนการจัดส่งสินค้าเป็นกิจกรรมที่จะต้องทำประจำวันหลังจากได้รับแผนการผลิตเสร็จ

แล้วทำกำหนดการส่งมอบ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้มีความยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความไม่แน่นอนของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในแต่ละวัน ข้อจำกัดด้านพื้นที่การวางและความสามารถในการบรรทุกน้ำหนักของรถบรรทุก กฎหมายน้ำหนักบรรทุกสูงสุด เงื่อนไขและราคาในสัญญาการจ้างขนส่ง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ทำให้การตัดสินใจวางแผนการจัดส่งด้วยคนต้องใช้เวลานาน อีกทั้งยังไม่สามารถจัดให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้ การใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ประกอบด้วยระบบข้อมูล (Information system) ตัวแบบสำหรับการตัดสินใจ (Decision model) และส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ (User interface) จึงมีความจำเป็นต่อกิจกรรมการวางแผนการจัดส่งเพื่อช่วยให้ผู้ประกอบการวางแผนการขนส่งที่ทำให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้

งานวิจัยนี้เป็นการวางแผนการขนส่งสินค้าขนาดใหญ่แบบปลายทางเดียวโดยใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์หลายราย เป็นการขนส่งสินค้าบนรถบรรทุกสินค้าคันหนึ่ง ๆ จากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายเดียว การขนส่งแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อสินค้ามีขนาดใหญ่หรือน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับความสามารถในการบรรทุกของรถ การขนส่งด้วยการจ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์หลายรายนี้มีรอบเวลาการวางแผนขนส่งสั้นกว่ารอบเวลาในการคำนวณปริมาณการขนส่งขั้นต่ำที่ระบุในสัญญาจ้างของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละราย และมีการกำหนดปริมาณการขนส่งขั้นต่ำตามรอบเวลาที่ได้ตกลงกันไว้ในสัญญาจ้าง การที่รอบเวลาการวางแผนการขนส่งสั้นกว่า ทำให้ผู้ผลิตต้องตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายใดในการขนส่งสินค้าปริมาณเท่าใดสำหรับการวางแผนการขนส่งแต่ละครั้ง เพื่อให้ปริมาณการขนส่งสะสมของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายเป็นไปตามปริมาณการขนส่งขั้นต่ำเมื่อครบรอบเวลาที่ได้ตกลงกันไว้ เช่น การขนส่งคอยล์โลหะในรอบ 1 เดือน ต้องว่าจ้างให้บริษัทขนส่งรายหนึ่งไม่ต่ำกว่า 10,000 ตัน ขณะที่ผู้ผลิตทำการวางแผนการขนส่งแบบรายวัน ดังนั้นในแต่ละวันผู้วางแผนจะต้องกำหนดปริมาณการขนส่งให้เหมาะสมสำหรับบริษัทขนส่งรายนี้ (และรายอื่น ๆ) เพื่อให้ปริมาณการขนส่งโดยรวมในรอบหนึ่งเดือนของบริษัทขนส่งรายนี้มีปริมาณอย่างน้อย 10,000 ตัน เป็นต้น

บริษัทกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เป็นการวางแผนการจัดส่งสินค้าของบริษัทผู้ผลิตแผ่นเหล็กเคลือบโลหะผสมใช้สำหรับขึ้นรูปเป็นโครงสร้างรถยนต์ สินค้าสำเร็จรูปจะมีลักษณะเป็นม้วนทรงกระบอกขนาดใหญ่ ที่มีน้ำหนักมาก แต่ละม้วนมีน้ำหนักตั้งแต่ 1 ถึง 20 ตัน บริษัทต้องทำการจัดส่งคอยล์เหล็กไปยังลูกค้า 39 ราย โดยใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 3 ราย รูปแบบการขนส่งเป็นแบบ Single customer loaded หรือการขนส่งสินค้าไปยังปลายทางแห่งเดียวที่คิดค่าขนส่งแปรผันตามระยะทางขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายแบบขั้นบันไดด้วยอัตราค่าขนส่งต่อตันที่แตกต่างกันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละราย โดยใช้รถบรรทุก 18 ล้อ ซึ่งบรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 5 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 31 ตัน และรถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งบรรทุกคอยล์ได้

สูงสุด 3 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 12 ตัน ทุกบริษัทขนส่งไม่จำกัดจำนวนเที่ยวรถในการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักคอยล์รวมต่อเดือนของการขนส่งด้วยบริษัทขนส่งที่ 1 2 และ 3 คือ

70 : 20 : 10 ปัจจุบันบริษัทมอบหมายให้พนักงานฝ่ายจัดการขนส่งทำการวางแผนการจัดส่งคอยล์รายวัน หลังจากได้รับข้อมูลจากฝ่ายวางแผนการผลิต พนักงานจะใช้ประสบการณ์ส่วนบุคคลในการตัดสินใจ ในแต่ละวันบริษัทต้องจัดส่งคอยล์เหล็กจำนวน 100-250 คอยล์ ไปยังลูกค้า จำนวน 5-20 รายต่อวัน ซึ่งพนักงานต้องทำการตัดสินใจว่าจะจัดเหล็กคอยล์ใดขึ้นรถเที่ยวเดียวกันบ้าง และต้องใช้บริษัทขนส่งรายใด ภายใต้เงื่อนไขสัญญาการจ้างขนส่งและข้อจำกัดด้านพื้นที่และน้ำหนักในการขนส่ง ซึ่งความซับซ้อนเหล่านี้ทำให้พนักงานใช้เวลานานถึง 4-6 ชั่วโมงในการวางแผน และไม่สามารถจัดการขนส่งให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุดได้ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 สูงถึง 62 ล้านบาท ดังตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ปริมาณ และค่าใช้จ่ายการขนส่ง ปี พ.ศ. 2559

| เดือน | ปริมาณการส่งมอบ (ตัน) | ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง (บาท) |
|---|---|---|
| มกราคม | 23,745.18 | 4,853,775.76 |
| กุมภาพันธ์ | 25,676.22 | 5,368,903.40 |
| มีนาคม | 27,733.81 | 5,870,067.41 |
| เมษายน | 18,268.33 | 3,975,207.89 |
| พฤษภาคม | 22,967.63 | 4,998,843.00 |
| มิถุนายน | 26,405.79 | 5,688,868.47 |
| กรกฎาคม | 24,733.69 | 5,057,531.62 |
| สิงหาคม | 24,669.48 | 5,198,266.14 |
| กันยายน | 24,216.66 | 5,072,602.61 |
| ตุลาคม | 23,514.27 | 4,916,230.74 |
| พฤศจิกายน | 29,219.04 | 6,019,961.94 |
| ธันวาคม | 27,122.97 | 5,597,233.31 |
| รวม | 298,273.07 | 62,617,492.29 |

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบวิธีการสำหรับการวางแผนการส่งมอบคอยล์โลหะรายวัน ที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายการขนส่งรายเดือนต่ำที่สุด

2. เพื่อออกแบบวิธีการสำหรับการวางแผนการส่งมอบคอยล์โลหะรายวัน ที่ทำให้ปริมาณการขนส่งรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายเป็นไปตามสัญญาจ้าง

3. เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ช่วยในการวางแผนการส่งมอบคอยล์รายวัน

## สมมติฐานการวิจัย

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนของปัญหาแล้วกำหนดวัตถุประสงค์ในการคำนวณ รวมถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดของปัญหาลงไป เมื่อประมวลผลแล้ว สมการทางคณิตศาสตร์จะให้แนวทางในการแก้ไขปัญหา ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเสมอ ภายใต้เงื่อนไขด้านขนาดปัญหาไม่ใหญ่หรือซับซ้อนเกินไปและเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมากพอ ดังนั้นการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นตัวแทนปัญหาการขนส่งได้อย่างถูกต้อง จะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์และภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่กำหนด

## กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบวิธีการสำหรับการวางแผนการส่งมอบคอยล์โลหะรายวันที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายการขนส่งรายเดือนต่ำที่สุดในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้า และปริมาณการขนส่งในรอบเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายเป็นไปตามที่ตกลงกันไว้ในสัญญาจ้าง ด้วยหลักการ การหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimization) โดยมีแนวทางในการวิจัยเริ่มจากการพยากรณ์ (Forecasting) ความต้องการของลูกค้ารายเดือนเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming model) ที่สร้างขึ้นสำหรับการกำหนดว่าผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายใดเหมาะสำหรับส่งคอยล์โลหะให้ลูกค้ารายใด ด้วยปริมาณการขนส่งเท่าใด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่อเดือนต่ำที่สุด และปริมาณการขนส่งโดยรวมของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายเป็นไปตามที่กำหนดในสัญญาจ้าง จากนั้นสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming model) สำหรับวางแผนการส่งมอบรายวันในการจัดคอยล์โลหะที่สั่งโดยลูกค้ารายต่าง ๆ ลงบนรถบรรทุกของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ ตามเงื่อนไขการบรรทุกต่าง ๆ และปริมาณการขนส่งที่ได้จากตัวแบบแรก จากนั้นออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system) ตามวิธีการที่เสนอ เพื่อลดเวลาในวางแผนการขนส่งรายวันให้น้อยที่สุด

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถลดต้นทุนการขนส่งที่เกิดจากการจ้างบริษัทขนส่งได้ภายใต้เงื่อนไขที่บริษัทขนส่งกำหนด

2. สามารถลดเวลาในการจัดการขนส่งรายวันที่มีความยุ่งยากซับซ้อนให้เหลือน้อยที่สุด

3. สามารถจัดการ การขนส่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

4. บริษัทผู้ผลิตมีความพร้อมในการรับมือการจัดการขนส่ง ที่อาจมีความซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต เช่น ในกรณีที่มีลูกค้าเพิ่มขึ้น หรือมีเงื่อนไขในการขนส่งเพิ่มขึ้น

5. สามารถนำแนวทางในการแก้ไขปัญหานี้ไปปรับใช้กับการจัดการขนส่งในอุตสาหกรรมชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะอุตสาหกรรม ผลิตภัณฑ์ หรือมีรูปแบบปัญหาใกล้เคียงกัน เช่น อุตสาหกรรมแผ่นรีดร้อน รีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบ เหล็กเส้น เหล็กลวด

6. เป็นตัวอย่างในการประยุกต์การทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ในด้านโลจิสติกส์ของภาคอุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับกรอบการพัฒนาประเทศไทย 4.0

## ขอบเขตของการวิจัย

1. ตัวแบบพยากรณ์ (Forecasting model) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ตัวแบบพยากรณ์ 4 แบบ คือ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่ายแบบ 4 และ 5 เดือน การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม และวิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ แล้วใช้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean square error: MSE) ในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

2. แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับหาขอบเขตด้วยปริมาณการขนส่งแต่ละเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายในการส่งคอยล์โลหะให้ลูกค้าแต่ละราย เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming, LP)

3. แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับวางแผนการส่งมอบรายวันเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP)

4. การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชั่น 2.8.6 (เริ่มให้ดาวน์โหลดวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2560) โดยใช้ Gurobi 7.0.2 เป็นตัวประมวลผลลัพธ์ (Solver engine)

5. การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าใช้ข้อมูลเดือนมกราคม ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2559

6. การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการวางแผนการส่งคอยล์โลหะทำโดยการเปรียบเทียบค่าขนส่งที่ได้จากวิธีการที่เสนอกับค่าใช้จ่ายจริง โดยใช้ข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้าในช่วงเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

7. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับงานวิจัยนี้ถูกพัฒนาด้วย Visual Basic for Applications (VBA) บนซอฟต์แวร์ Microsoft Excel

## ข้อจำกัดของการวิจัย

1. วิธีการเสนอใช้ได้กับปัญหาการขนส่งแบบปลายทางเดียว

2. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้นสำหรับปัญหาการขนส่งที่มีผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 3 ราย ทุกรายใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ ในการขนส่ง และมีผู้ประกอบการ 1 รายที่ใช้บรรทุกขนาด 10 ล้อในการขนส่งด้วย

# บทที่ 2
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูล แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ตามหัวข้อดังนี้ อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก การจัดการขนส่ง การพยากรณ์ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม และระบบสนับสนุนการตัดสินใจ Visual basic for applications: VBA

## อุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก

1. อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กในประเทศไทย อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กต้นน้ำในประเทศไทยเริ่มต้นที่การผลิตขั้นกลางและขั้นปลาย ซึ่งมีมูลค่ารวมมากกว่า 2 แสนล้านบาทต่อปี สำหรับอุตสาหกรรมเหล็กทรงแบนในประเทศไทยนั้นมีผู้ประกอบการจำนวนมากกว่า 15 ราย คิดเป็นกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้นกว่า 10 ล้านตันต่อปี และมีผลิตภัณฑ์หลากหลายประเภท ได้แก่ เหล็กแผ่นรีดร้อน รีดเย็น เหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิม และเหล็กแผ่นเคลือบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 เหล็กแผ่นรีดร้อน เหล็กแผ่นรีดร้อน มีกำลังผลิตรวมประมาณ 3 ล้านตันต่อปี สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วน (Hot rolled coils) นำไปใช้เป็นวัตถุดิบของท่อเหล็ก เหล็กโครงสร้างรูปพรรณขึ้นรูปเย็น เหล็กแผ่นรีดเย็น ชิ้นส่วนยานยนต์ ถังแก๊ส และอีกกลุ่ม คือเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดแผ่นหนา (Hot rolled plates) ใช้เป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมก่อสร้างขนาดใหญ่ ท่อน้ำขนาดใหญ่ ท่อน้ำมัน ถังเก็บน้ำมัน ถังอัดความดัน หม้อไอน้ำอุตสาหกรรม

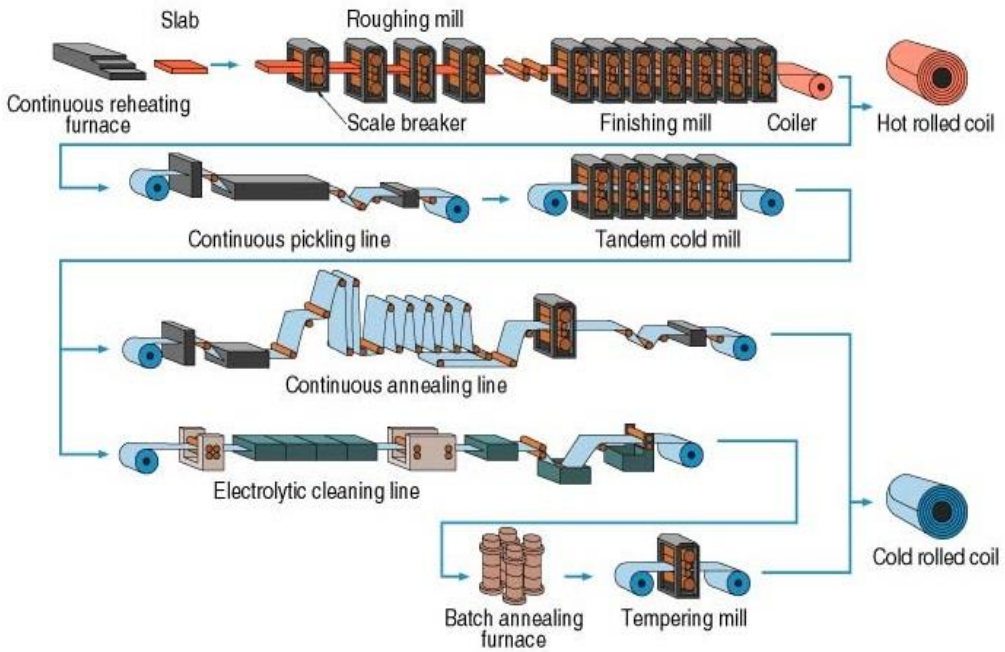
1.2 เหล็กแผ่นรีดเย็น การผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นมีวัตถุดิบหลัก คือ เหล็กแผ่นรีดร้อนจากทั้งในประเทศและต่างประเทศ เหล็กแผ่นรีดเย็นมีกำลังผลิตรวมประมาณ 2.6 ล้านตันต่อปี แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับการใช้งานที่ไม่ต้องการคุณสมบัติในการขึ้นรูป (Cold-rolled steel sheet for galvanized iron substrate: GIS) ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีสำหรับทำหลังคา ประเภทที่สอง คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นสำหรับการใช้ในงานทั่วไปที่ต้องการคุณสมบัติในการขึ้นรูป (Cold-rolled steel sheet for general use: CRS) ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และเฟอร์นิเจอร์ ส่วนประเภทสุดท้าย

คือ เหล็กแผ่นรีดเย็นชนิด TMBP (Cold-rolled steel sheet for tinplate and tin free steel: Tin mill black plate) ใช้เป็นวัตถุดิบของเหล็กแผ่นเคลือบโครเมียมและเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกสำหรับผลิตกระป๋อง

1.3 เหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิม เหล็กแผ่นรีดเย็นไร้สนิมในประเทศไทย มีกำลังการผลิตประมาณ 200,000 ตันต่อปี โดยต้องใช้วัตถุดิบ คือ เหล็กแผ่นไร้สนิมรีดร้อน ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด ซึ่งร้อยละ 40 ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะใช้ตอบสนองความต้องการในอุตสาหกรรมยานยนต์ การขนส่ง ภาชนะบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้าน เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องจักรกล และงานก่อสร้าง

1.4 เหล็กแผ่นเคลือบ เหล็กแผ่นเคลือบ มีกำลังการผลิตรวมประมาณ 1.3 ล้านตันต่อปี ส่วนใหญ่ใช้เหล็กแผ่นรีดเย็นเป็นวัตถุดิบ โดยแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์ตามสิ่งที่เคลือบออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบดีบุกและโครเมียม ใช้ในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ส่วนกลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบโลหะผสมระหว่างสังกะสีและอะลูมิเนียม และกลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบสี ใช้งานในหลากหลายอุตสาหกรรม

2. กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน และเหล็กแผ่นรีดเย็น




ภาพที่ 2-1 แผนภาพการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน และเหล็กแผ่นรีดเย็น (เมลธ, 2555)

2.1 การรีดร้อนของเหล็กแผ่น (Hot rolling of flat products) กระบวนการผลิตคอยล์เหล็กเริ่มจากการหลอมเศษเหล็กด้วยเตาไฟฟ้า (Electric arc furnace) เพื่อให้ได้น้ำเหล็กซึ่งจะถูกทำให้แข็งตัวด้วยขบวนการหล่อแบบต่อเนื่อง (Continuous casting) จนกลายเป็นแผ่นเหล็กหนา (Slab) จากนั้นจะถูกตัดเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมด้วยเครื่องตัด (Shearing machine) แล้วให้ความร้อนด้วยเตาอบซึ่งใช้อุณหภูมิประมาณ 1,100-1,250 องศาเซลเซียส นำไปผ่านกระบวนการขจัดสนิมด้วยน้ำแรงดันสูง (Descaling) และผ่านสู่การรีดลดขนาดที่อุณหภูมิสูงกว่า 870 องศาเซลเซียส (Hot rolling) ผ่านการทำให้เย็นลงโดยน้ำหล่อเย็น (Cooling table) และเข้าสู่เครื่องม้วน (Coiler) ที่อุณหภูมิประมาณ 550-710 องศาเซียลเซียส ซึ่งแผ่นเหล็กที่ได้จะมีสีดำเทา (Black coil) อาจนำไปกัดกรดและเคลือบน้ำมันต่อไป (Pickled and oiled) เหล็กแผ่นรีดร้อนสามารถนำไปใช้งานในลักษณะที่ไม่ต้องการคุณภาพผิวสูง กระบวนการ ดังภาพที่ 2-1

2.2 การรีดเย็นของเหล็กแผ่น (Cold rolling of flat products) การผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นใช้เหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนเป็นวัตถุดิบ โดยตัดส่วนปลายของม้วนเหล็กแผ่นรีดร้อนแล้วเชื่อม (Welding) เพื่อเตรียมสำหรับกระบวนการกัดกรด จากนั้นเหล็กแผ่นรีดร้อนจะเคลื่อนตัวผ่านเครื่องกำจัดสนิมเหล็กทางกล (Scale breaker) เพื่อให้สนิมที่ผิวแตกและง่ายต่อการกัดกรด แล้วจึงนำไปกัดสนิมด้วยกรด (Pickling) เข้าเครื่องตัดขอบ (Side trimmer) เพื่อให้ขอบเรียบและลดการฉีกขาดจากขอบของเหล็ก แล้วนำไปรีดเย็นที่อุณหภูมิห้องต่อเพื่อลดขนาดความหนาลง (Cold rolling) เหล็กแผ่นที่ผ่านการรีดเย็นจะมีผิวมันขณะที่แผ่นเหล็กรีดร้อนจะมีผิวด้าน เหล็กแผ่นที่ผ่านการรีดมาจะมีความเครียดภายในเนื้อเหล็กเหล็กทำให้มีความแข็งสูง ความสามารถในการยืดตัว (Elongation) ต่ำ ตลอดจนมีความไม่สม่ำเสมอของคุณสมบัติเชิงกลในทิศทางต่าง ๆ ไม่เหมาะแก่การขึ้นรูป จึงต้องผ่านการอบ (Annealing) เพื่อให้คลายความเครียด เหล็กที่ผ่านการอบแล้วจะผ่านการรีดเย็นอีกเล็กน้อยโดยความหนาจะไม่เปลี่ยนแปลง (Temper rolling) เพื่อปรับความเรียบคุณภาพผิว และขจัดการยืดตัว ณ จุดคลาก (Yield point elongation) ซึ่งจะช่วยให้เหล็กแผ่นแปรรูปได้อย่างสม่ำเสมอยิ่งขึ้น เหล็กแผ่นรีดเย็นสามารถนำไปใช้งานในลักษณะที่ต้องการคุณภาพผิวสูงกว่าและความหนาต่ำกว่าเหล็กแผ่นรีดร้อน (เมลธ, 2555) กระบวนการ ดังภาพที่ 2-1

## การจัดการขนส่ง

1. ความหมายของการขนส่ง คำนาย อภิปรัชญาสกุล (2546) ได้ให้ความหมายว่า การขนส่ง คือ การจัดให้มีการเคลื่อนย้ายของบุคคล สัตว์ สิ่งของ ต่าง ๆ โดยอาศัยยานพาหนะ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการขนส่งจากที่แห่งหนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งตามความประสงค์และเกิดอรรถประโยชน์ตามต้องการ ซึ่งการขนส่งเป็นอุตสาหกรรมบริการ เป็นกิจกรรมสำคัญและมีมูลค่า

ในกระบวนการโลจิสติกส์ การขนส่งนั้นมีหน้าที่ในการขนส่งที่หลากหลาย เช่น การขนส่งเพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิต (Production support)จะมีทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายปัจจัยการผลิต (Supply) ต่าง ๆ ไปผลิตเป็นสินค้าหรือบริการ ส่วนการขนส่งเพื่อสนับสนุนการตลาด (Marketing support) มีหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการ (Products) ต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้า

2. ความสำคัญของการขนส่ง การขนส่งมีลักษณะสำคัญ คือ การให้บริการแก่ผู้ใช้อย่างสม่ำเสมอตอบสนองการใช้ชีวิตประจำวันและความเป็นอยู่ของประชาชนเป็นส่วนใหญ่ มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศชาติ รัฐบาลจึงจำเป็นต้องเข้ามากำกับกิจกรรมการขนส่ง เพื่อช่วยเหลืออุดหนุนเรื่องต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกต่อเนื่องตลอดเวลา เกิดมาตรฐาน มีความปลอดภัย ป้องกันการสูญเสียทางเศรษฐกิจ และควบคุมอัตราการให้บริการเพื่อความยุติธรรม ป้องกันการเอารัดเอาเปรียบและการแข่งขันจนเกินจำเป็น

3. การพัฒนาและการวัดประสิทธิภาพการขนส่ง โดยทั่วไปแล้วการพัฒนาการขนส่งมีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ คือ เพื่อลดเวลาในการขนส่ง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการขนส่ง ส่วนการวัดประสิทธิภาพการขนส่งจะวัดจากความพึงพอใจของลูกค้าในเรื่อง ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ความรวดเร็วในการขนส่ง ความปลอดภัยในการขนส่ง ความสะดวกสบายในการขนส่ง และความถูกต้องในการขนส่ง

4. ปัจจัยที่สำคัญต่อการบริหารจัดการขนส่ง การบริหารการจัดการขนส่งนั้นมีปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพในการขนส่ง ได้แก่ เส้นทางการขนส่ง ยานพาหนะหรืออุปกรณ์เครื่องมือในการขนส่ง กฎหมายหรือข้อบังคับในการขนส่ง ศักยภาพของผู้ดำเนินการขนส่ง และตำแหน่งที่ตั้งของปลายทางการขนส่ง

5. ประโยชน์ของการขนส่ง การขนส่งทำให้เกิดความสะดวกสบายต่อปัจจัยสี่ คือ การเคลื่อนย้ายปัจจัยสี่มาตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ทำให้เกิดชุมชนใหม่จากการกระจายผู้คน สัตว์ สิ่งของไปยังแหล่งต่าง ๆ ทำให้เกิดตลาดสินค้าและบริการได้ทุกแห่งจากการกระจายสินค้าและบริการไปยังสถานที่ต่าง ๆ ทำให้เกิดอรรถประโยชน์และมูลค่าต่าง ๆ และทำให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศ

6. รูปแบบของการบริการขนส่ง ต้นทุนของการขนส่งระหว่างประเทศจะอยู่ที่ประมาณร้อยละ 35-50 ของต้นทุนในการกระจายสินค้า และอยู่ที่ประมาณร้อยละ 20 ของต้นทุนกิจการทั้งหมด ดังนั้นการเลือกวิธีการขนส่งที่เหมาะสมต่อสภาพสินค้า เส้นทางคมนาคม ระยะเวลาที่ลูกค้ารอคอย โดยมีค่าใช้จ่ายหรืองบประมาณที่เหมาะสม จะสามารถลดต้นทุนลงได้ ซึ่งรูปแบบของการบริการขนส่ง ได้แก่ 1) ยานพาหนะส่วนตัว (Private carrier) มีข้อดี คือ สามารถควบคุม

การขนส่งได้ ประหยัดค่าใช้จ่ายในระยะยาว แต่อาจมีปัญหาเรื่องลูกจ้าง ค่าแรงและสวัสดิภาพของพนักงานขับรถ 2) ยานพาหนะสาธารณะ (Common carrier) หรือบริการขนส่งสาธารณะที่ดำเนินการโดยรัฐบาลหรือรัฐวิสาหกิจ ทำให้ธุรกิจสามารถขนส่งได้ด้วยต้นทุนต่ำ เช่น รสพ. หรือ รถไฟส่งสินค้า และ 3) ยานพาหนะที่ทำสัญญา (Contact carrier) เป็นการให้บริการขนส่งสำหรับลูกค้าเฉพาะกลุ่ม ที่มีการทำสัญญาจัดจ้าง เช่น รถขนเงิน

สำหรับการขนส่งทางรถยนต์นั้น คำนาย อภิปรัชญาสกุล (2546) ได้ให้ข้อมูลว่า รถบรรทุกเป็นวิธีการขนส่งที่ดีที่สุด มีความยืดหยุ่นสูง ส่งของรวดเร็วควบคุมเวลาได้ดี และมีจำนวนเที่ยวขนส่งมากตามความต้องการ สามารถขนส่งสินค้าได้หลากหลายประเภท เหมาะกับธุรกิจที่เน้นความเที่ยงตรงของเวลาในการขนส่งสินค้า แต่มีข้อจำกัดด้านปริมาณขนส่งและต้นทุนสูงกว่าการขนส่งโดยรถไฟ

7. ปัญหาของการขนส่ง เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาโลจิสติกส์ซึ่งมีความสำคัญมากในปัจจุบัน การซื้อขายสินค้าทั้งในและต่างประเทศทำให้เกิดกระบวนการกระจายสินค้าอย่างกว้างขวาง ซึ่งต้นทุนการขนส่งเป็นส่วนหนึ่งของต้นทุนสินค้าที่สามารถลดลงได้ด้วยการจัดการที่เหมาะสม ในการขนส่งนั้นค่าใช้จ่ายหลักมาจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ดังนั้นการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งและการกระจายสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยหลักที่จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนสินค้าลง และสามารถสร้างความได้เปรียบทางการค้าได้ สำหรับตัวอย่างปัญหาเกี่ยวกับการขนส่ง ได้แก่ ในกรณีที่โรงงานมีคลังสินค้าหลายแห่งโดยคลังสินค้าแต่ละแห่งมีความสามารถในการจัดเก็บสินค้าที่ต่างกันและมีที่ตั้งกระจายอยู่รอบบริเวณที่ตั้งของลูกค้า โรงงานต้องส่งสินค้าให้แก่ตัวแทนจำหน่ายที่มีอยู่หลายรายไปยังลูกค้า ดังนั้นโรงงานต้องตัดสินใจว่าควรจัดสินค้าจากคลังสินค้า ผ่านตัวแทนจำหน่ายไปยังลูกค้าอย่างไรเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด หรือเพื่อให้ได้กำไรจากการขนส่งสูงที่สุด เป็นต้น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือหนึ่งที่เป็นที่นิยมในการใช้แก้ปัญหาการขนส่ง (รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์, 2556)

8. การยอมรับความสำคัญของการจัดการขนส่ง มีความแตกต่างกันในหลายองค์กรจากเหตุผล ดังต่อไปนี้ 1) ความสำคัญของการขนส่งที่เพิ่มขึ้นเกิดจากความกังวลขององค์กรเกี่ยวกับการกระจายสินค้า การจัดช่องทางจำหน่าย คลังสินค้า การนำสินค้าเข้าและส่งออก และการจัดการกับสินค้าที่ผลิตเสร็จแล้ว 2) องค์กรที่มีการผลิตสินค้าที่หลากหลาย เมื่อต้องทำการแจกจ่ายในระดับชาติ จะยิ่งทำให้การขนส่งเกิดความซับซ้อน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีหน่วยงานจัดการการขนส่งอย่างเพียงพอและเหมาะสม 3) องค์กรขนาดใหญ่มักจะมีความชำนาญ และ

การจัดการขนส่งอย่างเป็นระบบ แต่องค์กรขนาดเล็ก มักจะไม่มีความชำนาญ ไม่มีการจัดหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งอย่างชัดเจน 4) องค์กรจะรับรู้ความสำคัญของการจัดการขนส่งต่อเมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งประกอบเป็นร้อยละส่วนใหญ่ของค่าใช้จ่ายของสินค้า 5) องค์กรจะรับรู้ความสำคัญของการจัดการขนส่งเมื่อมีการไหลเข้าของวัสดุอย่างสม่ำเสมอ หรือองค์กรต้องการสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าด้วยการขนส่งที่ตรงเวลาแน่นอน และ 6) การปฏิบัติงานที่ดีของฝ่ายขนส่งจะช่วยส่งเสริมสถานภาพภายในองค์กร (ธนสรรค์ แขวงโสภา, 2553)

**การพยากรณ์**

1. ความหมายและความสำคัญของการพยากรณ์ รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์ (2556) ได้ให้ความหมายว่า การพยากรณ์ คือ การประมาณหรือทำนายค่าและคุณลักษณะของสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ช่วยให้ผู้ผลิตสามารถวางแผนปริมาณการผลิต แผนการจัดซื้อวัตถุดิบ และปริมาณสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพยากรณ์มักอยู่ในส่วนต่าง ๆ เช่น การจัดการสินค้าคงคลัง การวางแผนการผลิต การควบคุมกระบวนการ และการวางแผนกลยุทธ์การตลาด ซึ่งเป้าหมายในการพยากรณ์ คือ การลดความเสี่ยงในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามการพยากรณ์มักมีความคลาดเคลื่อนเสมอ ส่วน Heizer and Render (2008) เสนอว่า การพยากรณ์เป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ในการนำหลาย ๆ วิธีมาทำนายเหตุการณ์ในอนาคต เช่น การอาศัยข้อมูลในอดีตร่วมกับหลักการทางคณิตศาสตร์ หรืออาจใช้ดุลยพินิจของผู้พยากรณ์เพียงอย่างเดียว ซึ่งอาจมีผลกระทบจากปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ ทำให้การพยากรณ์เกิดความไม่สมบูรณ์แบบ การพยากรณ์มีปัจจัยที่ต้องใช้พิจารณา คือ ช่วงเวลา และวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยการพยากรณ์สามารถแบ่งตามช่วงเวลา ดังนี้

1.1 การพยากรณ์ระยะสั้น ซึ่งอยู่ในช่วง 3 เดือนถึง 1 ปี ถือว่าเป็นการพยากรณ์ที่ยังคงมีความแม่นยำเนื่องจากปัจจัยแวดล้อมยังไม่เปลี่ยนมากนัก และมักนิยมใช้วิธีเชิงปริมาณในการดำเนินการ เช่น การพยากรณ์การวางแผนการจัดซื้อ การจัดตารางการทำงาน การพยากรณ์ยอดขาย การพยากรณ์ระดับการผลิต

1.2 การพยากรณ์ระยะกลาง ซึ่งอยู่ในช่วง 3 เดือนถึง 3 ปี เช่น การพยากรณ์การวางแผนการขาย การวางแผนการผลิต การวางแผนด้านงบประมาณเงินสด

1.3 การพยากรณ์ระยะยาว เป็นการพยากรณ์เหตุการณ์ที่มากกว่า 3 ปีขึ้นไป เช่น การวางแผนออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การขยายทำเลที่ตั้ง และการวิจัยพัฒนา

การพยากรณ์มีความสำคัญต่อด้านทรัพยากรบุคคล คือ ช่วยให้ฝ่ายบริหารสามารถคาดการณ์การใช้กำลังคน การวางแผนฝึกอบรม และการเลิกจ้างได้อย่างเหมาะสม

ส่วนด้านกำลังการผลิต คือ การพยากรณ์กำลังการผลิตได้อย่างถูกต้องจะช่วยลดความสูญเสียและต้นทุนขององค์กร ส่วนความสำคัญในด้านการจัดการโซ่อุปทาน คือ จะช่วยให้กิจกรรมการจัดหาวัตถุดิบเป็นไปอย่างราบรื่น และสามารถช่วยลดต้นทุนได้

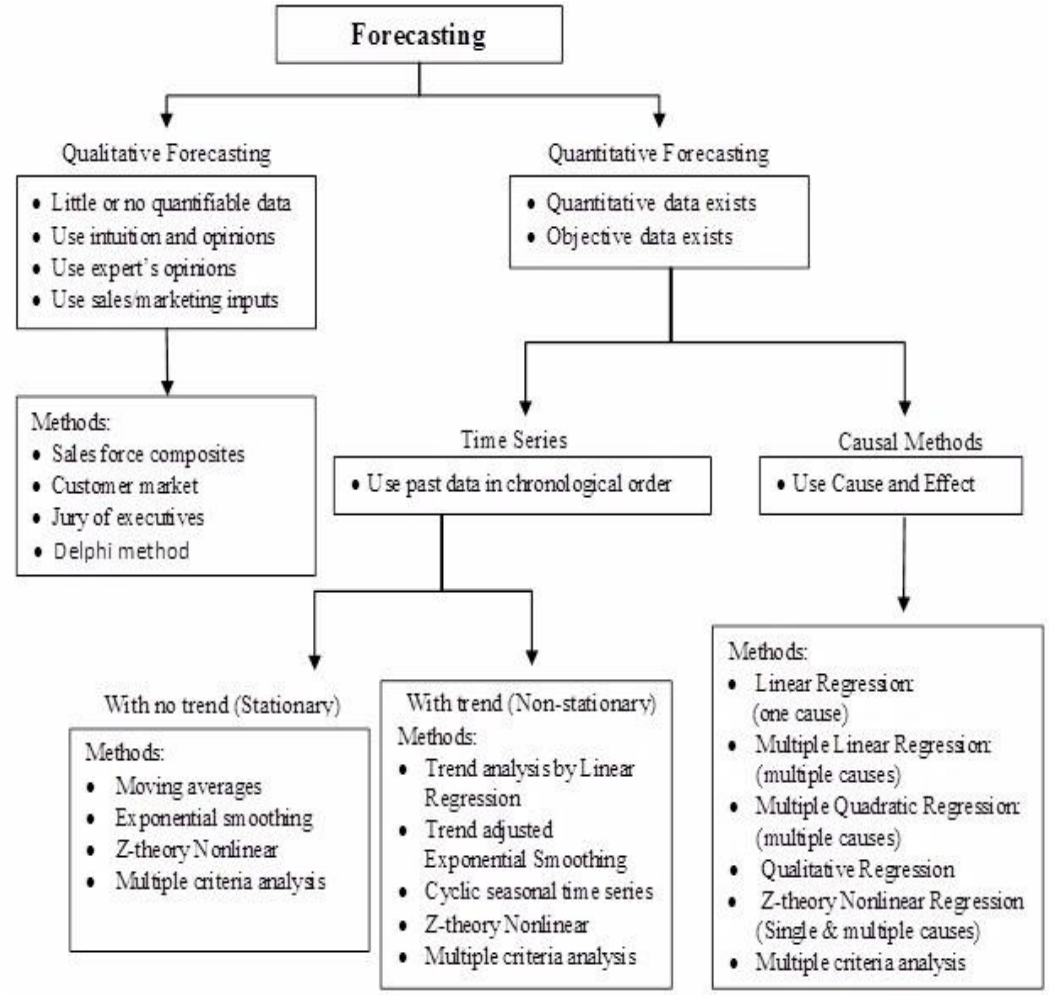
2. ขั้นตอนการพยากรณ์ Heizer and Render (2008) ได้เสนอขั้นตอนการพยากรณ์ไว้ทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การตัดสินใจที่จะพยากรณ์ หรือการที่องค์กรเริ่มให้ความสำคัญกับการพยากรณ์ 2) การเลือกรายการที่ต้องการพยากรณ์ 3) การตัดสินใจช่วงการพยากรณ์ว่าเป็นระยะสั้น กลาง ยาว หรือรายไตรมาส 4) การเลือกรูปแบบของการพยากรณ์ 5) การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการพยากรณ์ 6) การทำการพยากรณ์ และ 7) การตรวจสอบผลลัพธ์ของการพยากรณ์ว่ามีความเที่ยงตรง น่าเชื่อถือเพียงใด เพื่อให้มั่นใจว่ารูปแบบ การตั้งเงื่อนไขบังคับ และข้อมูลมีความถูกต้อง และสามารถนำผลลัพธ์จากการพยากรณ์ไปใช้ได้

3. วิธีการพยากรณ์ ภาพที่ 2-2 แสดงภาพรวมของเทคนิคการพยากรณ์ทั้งหมดที่เป็นที่นิยม ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ การพยากรณ์เชิงปริมาณ และการพยากรณ์เชิงคุณภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

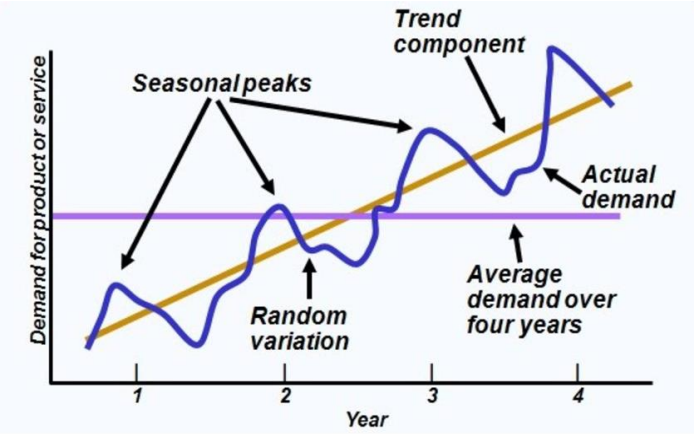
3.1 การพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative methods) เป็นการพยากรณ์ที่ใช้ลางสังหรณ์ อารมณ์ ความรู้สึก และประสบการณ์ของผู้ตัดสินใจเป็นหลัก มี 4 เทคนิค คือ 1) เทคนิคการใช้ความเห็นของผู้บริหารระดับสูงหรือผู้เชี่ยวชาญ ผสมกับรูปแบบทางสถิติ ซึ่งใช้ในการประมาณแนวโน้มในอนาคต 2) เทคนิคเดลฟาย โดยใช้บุคคล 3 กลุ่ม ร่วมกันในการพยากรณ์ ได้แก่ ผู้ตัดสินใจ ทีมงาน และผู้ตอบคำถาม 3) เทคนิคการประเมินจากฝ่ายขาย และ 4) เทคนิคการสำรวจตลาด โดยการสอบถามจากลูกค้าหรือผู้ที่คาดว่าจะเป็นลูกค้าถึงแผนการซื้อผลิตภัณฑ์ของบริษัทในอนาคต

3.2 การพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative methods) เป็นการพยากรณ์โดยอาศัยรูปแบบทางคณิตศาสตร์และข้อมูลในอดีต แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบสำคัญ ได้แก่ รูปแบบอนุกรมเวลา และรูปแบบปัจจัยสาเหตุ หรือรูปแบบเชิงเหตุผล ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.2.1 รูปแบบอนุกรมเวลา (Time-series models) ซึ่งใช้ข้อมูลในอดีตในการพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต รูปแบบของอนุกรมเวลาแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 2-3 คือ ข้อมูลแนวโน้ม (Trend) จะมีลักษณะที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหรือลดลง ข้อมูลตามฤดูกาล (Seasonality) จะมีอิทธิพลของฤดูกาล วัน ช่วงเวลา หรือหน่วยย่อยอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ข้อมูลตามวัฏจักร (Cycles) ที่เป็นรูปแบบของข้อมูลในระยะยาว ที่มักจะเกิดขึ้นซ้ำในแต่ละช่วงปี และข้อมูลแบบสุ่ม (Random) เป็นข้อมูลของเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝัน




ภาพที่ 2-2 แผนผังเทคนิคการพยากรณ์ (Boundless, 2016)




ภาพที่ 2-3 รูปแบบของข้อมูลแบบต่าง ๆ (กสิณ คงเกียรติขจร, 2560)

โดยการพยากรณ์รูปแบบอนุกรมเวลา มีแบบจำลองที่น่าสนใจ ได้แก่ วิธีการหาค่าแบบตรงตัว (Naive approach) วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving averages) วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential smoothing) และสำหรับข้อมูลที่มีองค์ประกอบแนวโน้ม แบบจำลองที่น่าสนใจ ได้แก่ การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยแนวโน้ม (Trend-adjusted Exponential Smoothing) วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม (Trend analysis) และวิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ (Holt-Winter's Method for Multiplicative Seasonal Effects) ดังนี้

3.2.1.1 วิธีการหาค่าแบบตรงตัว คือ ใช้ข้อมูลความต้องการในปัจจุบันทำนายความต้องการในอนาคต ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดและรวดเร็ว มักใช้เป็นจุดเริ่มต้นในการพยากรณ์

3.2.1.2 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ เป็นลักษณะของเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาค่าเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่กำหนด เช่น 3 เดือน หรือ 5 เดือน ซึ่งสามารถคำนวณได้ 2 ลักษณะ คือ แบบง่าย (Simple moving average) และแบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted moving average) แบบง่ายมีข้อได้เปรียบ คือ ประหยัด ง่าย คำนวณได้รวดเร็ว สามารถหาได้จากสมการที่ 2-1 ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย} = \frac{\Sigma \text{ ความต้องการในช่วงเวลาก่อนหน้าช่วงเวลา } n}{n} \qquad (2\text{-}1)$$

เมื่อ $n$ = จำนวนช่วงเวลาในการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ที่ต้องการ เช่น 3 หรือ 4 เดือน โดยข้อจำกัดของค่า $n$ คือ หากมีค่ามากเกินไปถึงแม้จะช่วยให้เส้นพยากรณ์เรียบขึ้น แต่ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลช้าลง

ส่วนแบบถ่วงน้ำหนัก เป็นการถ่วงน้ำหนักให้กับข้อมูลในปัจจุบันมากกว่าข้อมูลในอดีต ซึ่งจะทำให้การพยากรณ์มีความถูกต้องยิ่งขึ้น บรรหาญ ลิลา (2553) ได้ให้ข้อสังเกตว่าการกำหนดค่าน้ำหนักที่เหมาะสมนั้นโดยปกติต้องผ่านการลองผิดลองถูก เช่นเดียวกับการกำหนดช่วงเวลา หรือ $n$ โดยแนวทางที่นิยมโดยทั่วไป คือ การให้ความสำคัญกับข้อมูลใหม่ล่าสุดมากกว่าข้อมูลที่เก่ากว่า ยกเว้นกรณีที่มีความชัดเจนว่าพฤติกรรมความต้องการเป็นผลมาจากปัจจัยอื่น การพยากรณ์ ดังสมการที่ 2-2

$$\text{ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก} = \frac{\Sigma(\text{ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับช่วงเวลา } n)(\text{ค่าความต้องการสำหรับช่วงเวลา } n)}{\Sigma \text{ ค่าถ่วงน้ำหนักทั้งหมด}}$$

(2-2)

สำหรับข้อจำกัดของการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ คือ จะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากในการพยากรณ์ และไม่สามารถระบุแนวโน้มของข้อมูลได้อย่างรวดเร็วเพราะเป็นการพยากรณ์จากช่วงข้อมูลในอดีต จึงยากต่อการพยากรณ์ข้อมูลที่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม

3.2.1.3 วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เป็นการถ่วงน้ำหนักเคลื่อนที่อีกแบบหนึ่งที่ง่ายต่อการใช้งาน และใช้ข้อมูลน้อย ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2-3

$$F_t = F_{t-1} + \alpha\,(A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad (2\text{-}3)$$

เมื่อ $F_t$ = ค่าพยากรณ์ใหม่ที่ต้องการ

$F_{t-1}$ = ค่าพยากรณ์ช่วงที่ผ่านมา

$\alpha$ = ค่าคงที่ปรับเรียบ (Smoothing constant) ซึ่ง $0 \le \alpha \le 1$

$A_{t-1}$ = ความต้องการที่แท้จริงช่วงที่ผ่านมา

บรรหาญ ลิลา (2553) ได้สรุปเกี่ยวกับค่า $\alpha$ ไว้ว่าค่า $\alpha$ คือ ค่าคงที่ที่ส่งผลโดยตรงต่อความไว (Sensitivity) ของค่าพยากรณ์ต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการ โดยค่ายิ่งสูงยิ่งเพิ่มความไว แต่ความเรียบของค่าพยากรณ์จะน้อย

3.2.1.4 การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยแนวโน้ม เป็นการนำเอาแนวโน้มมาปรับค่าเฉลี่ยที่ได้เพื่อให้ค่าพยากรณ์ที่ใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น โดยไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลมาเกี่ยวข้อง ดังสมการที่ 2-4 ถึง 2-6 (จิระเดช สุชาดา, 2554)

$$FIT_i = F_i + T_i \qquad (2\text{-}4)$$

$$F_i = (1 - \alpha)F_{t-1} + \alpha A_{t-1} \text{ หรือ } F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \qquad (2\text{-}5)$$

$$T_i = (1 - \beta)Tt\text{-}1 + \beta(Ft - Ft\text{-}1) \qquad (2\text{-}6)$$

เมื่อ $FIT$ = ค่าเฉลี่ยปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยแนวโน้ม

$F_i$ = ค่าเฉลี่ยเอ็กซ์โปเนนเชียลของยอดขายในช่วงเวลา $t$

$T_i$ = ค่าเฉลี่ยเอ็กซ์โปเนนเชียลของแนวโน้มในช่วงเวลา $t$

$\alpha$ = สัมประสิทธิ์เชิงเรียบของค่าเฉลี่ย

$\beta$ = สัมประสิทธิ์เชิงเรียบของแนวโน้ม

3.2.1.5 วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม เป็นการใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อพยากรณ์แนวโน้มในระยะกลางถึงระยะยาว โดยอาศัยวิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least squares method)

ภายใต้เงื่อนไขบังคับว่าเมื่อนำค่าข้อมูลมาเขียนเป็นเส้นกราฟแล้วจะต้องมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ดังนั้นข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ ต้องมีการนำข้อมูลมาตรวจสอบก่อน ซึ่งหากไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นก็จะไม่สามารถพยากรณ์ด้วยวิธีนี้ได้ และวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ข้อมูลมาก แต่ไม่สามารถพยากรณ์ระยะเวลาที่ไกลจากฐานข้อมูลเดิมมากนัก ดังสมการที่ 2-7

$$\hat{y} = a + bx \tag{2-7}$$

เมื่อ $\hat{y}$ = ค่าพยากรณ์ตัวแปรตาม

$a$ = ค่าคงที่ที่ตัดแกน y

$b$ = ค่าความชันของเส้นตรงแนวโน้ม

$x$ = ค่าตัวแปรอิสระ (วิธีนี้หมายถึงช่วงเวลาเท่านั้น)

ค่า $a$ และ $b$ สำหรับเส้นพยากรณ์หาได้จากสมการที่ 2-8 และ 2-9 ตามลำดับ

$$b = \frac{\Sigma xy - n\bar{x}\bar{y}}{\Sigma x^2 - n\bar{x}^2} \tag{2-8}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \tag{2-9}$$

เมื่อ $\Sigma$ = ค่าผลรวม

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ (เวลา)

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม

$n$ = จำนวนของข้อมูล

3.2.1.6 วิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ สำหรับข้อมูลที่มีการเคลื่อนไหวเนื่องจากแนวโน้มและมีอิทธิพลของฤดูกาล โดยใช้ค่าปรับให้เรียบ 3 ค่า ได้แก่ $E_t$ $T_t$ และ $S_t$ สมการพยากรณ์ ดังสมการ 2-10 สมการฐานสมการแนวโน้ม และสมการฤดูกาล ดังสมการ 2-11 ถึง 2-13 ตามลำดับ

$$\hat{Y}_{t+n} = (E_t + nT_t)S_{t+n-p'} \tag{2-10}$$

$$E_t = \alpha\frac{Y_t}{S_{t-p}} + (1-\alpha)(E_{t-1} + T_{t-1}) \tag{2-11}$$

$$T_t = \beta(E_t - E_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \tag{2-12}$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{E_t} + (1-\gamma) S_{t-p} \quad (2\text{-}13)$$

สำหรับค่าเริ่มต้นของ $E_t$ $T_t$ เมื่อ $t = p$ ดังสมการ 2-14 ถึง 2-15 และ $S_t$ ดังสมการ 2-16

$$E_t = \frac{Y_t}{S_t} \quad (2\text{-}14)$$

$$T_t = 0 \quad (2\text{-}15)$$

$$S_t = \frac{Y_t}{\sum_{i=1}^{p} Y_i}, t = 1,2, \dots, p$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1 \quad (2\text{-}16)$$

เมื่อ $n$ = ช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ล่วงหน้า

$p$ = จำนวนของฤดูกาลในอนุกรมเวลา

3.2.2 รูปแบบปัจจัยสาเหตุ หรือรูปแบบเชิงเหตุผล (Associative models) เป็นการพยากรณ์โดยการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการพยากรณ์ ร่วมกับการพิจารณาข้อมูลในอดีต เช่น การพยากรณ์ยอดขายคอมพิวเตอร์ร่วมกับการพิจารณางบโฆษณาของบริษัท การตั้งราคาขายเมื่อเทียบกับคู่แข่ง ภาวะเศรษฐกิจ เป็นต้น ซึ่งตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์จะมีสภาพเป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) ส่วนข้อมูลตัวอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์ถือว่าเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) สำหรับแบบจำลองที่ใช้กันแพร่หลาย คือ แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (กาญจนา คำสมบัติ, 2553)

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์ (2556) ได้ทำการสรุปวิธีการหรือเทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับแต่ละรูปแบบของข้อมูล รวมถึงจำนวนข้อมูลที่ใช้ เวลาที่ใช้ ต้นทุนและความยากในการนำไปใช้ ดังภาพที่ 2-4

| รูปแบบข้อมูล | วิธีการ | จำนวนข้อมูลที่ใช้ | เวลาที่ใช้ | ต้นทุน | ความยากในการนำไปใช้ |
|---|---|---|---|---|---|
| คงที่ | แบบง่าย | 1 | น้อย | ต่ำ | ต่ำ |
| | ค่าเฉลี่ย | > 5 | น้อย - กลาง | ต่ำ | ต่ำ |
| | ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ | 5 - 10 | น้อย - กลาง | ต่ำ | ต่ำ |
| | ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล | > 3 | น้อย - กลาง | ต่ำ | ต่ำ |
| มีแนวโน้ม | ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่กำลังสอง | > 10 | น้อย - กลาง | ต่ำ | ปานกลาง |
| | ปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลกำลังสอง | > 10 | น้อย - กลาง | ต่ำ | ปานกลาง |
| | สมการถดถอย | > 10 | น้อย - กลาง - มาก | ปานกลาง | ปานกลาง |
| มีฤดูกาล | Holt-Winter's method | 2 รอบ | น้อย - กลาง | พอประมาณ | ปานกลาง |
| ไม่ทราบ | การสำรวจตลาด | ไม่มี | น้อย - กลาง - มาก | สูง | ปานกลาง |
| | วิธีเดลฟาย | ไม่มี | น้อย - กลาง - มาก | สูง | ปานกลาง |

ภาพที่ 2-4 สรุปวิธีพยากรณ์ (รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์, 2556)

4. การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์

สำหรับวิธีที่เป็นที่นิยมมีอยู่ 3 วิธีหลัก ดังนี้

4.1 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute deviation: MAD) ค่า *MAD* ยิ่งน้อย การพยากรณ์นั้นยิ่งมีความถูกต้องมาก เมื่อ *n* คือ ช่วงเวลาข้อมูล ค่า *MAD* สามารถหาได้จากสมการที่ 2-17 ดังนี้

$$MAD = \frac{\Sigma|\text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่พยากรณ์}|}{n} \qquad (2\text{-}17)$$

4.2 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean square error: MSE) ค่า *MSE* ยิ่งน้อย การพยากรณ์นั้นยิ่งมีความถูกต้องมาก เมื่อ *n* คือ ช่วงเวลาข้อมูล ค่า *MSE* สามารถหาได้จากสมการที่ 2-18 ดังนี้

$$MSE = \frac{\Sigma(\text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่พยากรณ์})^2}{n} \qquad (2\text{-}18)$$

4.3 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percent error: MAPE) *MAPE* หาได้จากสมการที่ 2-19 ดังนี้

$$MAPE = \left[\frac{\Sigma\left|\text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่พยากรณ์}\right| / \text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง}}{n}\right] \times 100\% \qquad (2\text{-}19)$$

วิธี *MAPE* เป็นการแก้ปัญหาของวิธี *MAD* และ *MSE* ที่ขึ้นอยู่กับขนาดของข้อมูลที่ใส่เข้าไป คือ ในกรณีที่ข้อมูลมีค่ามากจะทำให้ค่า *MAD* และ *MSE* มีค่ามากตามไปด้วย (Heizer and Render, 2008)

## การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์ (2556) ได้ให้ความหมายว่าการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แทนระบบของปัญหา (Model formulation) คือ การสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบของปัญหา โดยการสร้างแบบจำลองของปัญหาในเชิงสมการ หรืออสมการ และมีการตั้งค่าตัวแปรเชิงปริมาณ หรือตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) แล้วคำนวณค่าคำตอบของตัวแปรนั้น เพื่อนำไปใช้วางแผนและประกอบการตัดสินใจ โดยสมการที่แสดงความสัมพันธ์ มีโครงสร้างประกอบด้วย สมการหรือฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective function) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) และเงื่อนไขบังคับของปัญหา (Constraints)

1. เทคนิคหรือวิธีการวิจัยดำเนินงาน

1.1 กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming: LP) เป็นเทคนิคเชิงปริมาณที่ใช้แก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัด ได้แก่ เงินลงทุน เวลา เครื่องจักร กำลังคน วัตถุดิบ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น เกิดกำไรสูงสุด เสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด กำหนดการเชิงเส้นมีรูปแบบทั่วไปดังนี้

$$max\ Z \text{ หรือ } min\ Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \qquad (2\text{-}20)$$

เมื่อ $Z$ = ผลรวมของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งอาจเป็นกำไรหรือต้นทุนทั้งหมด

$x_j$ = ตัวแปรตัดสินใจ หรือจำนวนสินค้าชนิดที่ $j$ เมื่อ $j = 1, 2, \ldots, n$

$c_j$ = สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งเป็นกำไรต่อหน่วย หรือต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าชนิดที่ $j$ เมื่อ $j = 1, 2, \ldots, n$

$a_{ij}$ = สัมประสิทธิ์ของข้อกัด หรือจำนวนทรัพยากร $i$ ที่ถูกใช้ในการผลิตสินค้าที่ $j$ หนึ่งหน่วย

$b_i$ = จำนวนทรัพยากร $i$ ที่มีอยู่ เมื่อ $i = 1,\ldots, m$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ (Subjected to)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{in}x_n \leq b_1 \qquad (2\text{-}21)$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \geq b_m \quad (2\text{-}22)$$

$$x_1, x_2, \ldots x_n \geq 0 \quad (2\text{-}23)$$

เมื่อสมการที่ 2-20 คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาที่อาจกำหนดให้มีเป้าหมายเป็นค่าที่มากที่สุด หรือค่าที่น้อยที่สุด

ส่วนสมการที่ 2-21 ถึง 2-23 คือ เงื่อนไขบังคับของปัญหาที่ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นทางคณิตศาสตร์โดยอาจมีเครื่องหมายในรูป ≥ หรือ ≤ หรือ =

สุทธิมา ชำนาญเวช (2552) ได้เสนอว่า โครงสร้างมาตรฐานของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นประกอบด้วย 6 ประการ ดังนี้

1.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) การกำหนดตัวแปรตัดสินใจ คือ การกำหนดสิ่งที่เราต้องการหาผลลัพธ์ออกมาเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ มักกำหนดออกมาเป็นสัญลักษณ์ทางพีชคณิต เช่น $X_j$ โดย $j$ = 1,2,…n ซึ่งจำเป็นต้องระบุหน่วยของตัวแปรเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลองของตัวปัญหา (Formulation of linear programming models) เช่น กำหนดให้ $X_j$ เป็นจำนวนการผลิตนาฬิกา หน่วยเป็นเรือน

1.1.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) เป็นการตั้งเป้าหมายของปัญหาโดยกำหนดว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้เป็นค่าที่สูงที่สุด (Maximize) หรือค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize) และมีค่าเป็นจำนวนจริง เช่น การตั้งเป้าหมายโดยมีกำไรสูงที่สุด หรือมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

1.1.3 สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function coefficient) เป็นการระบุอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าวัตถุประสงค์จากการเพิ่มขึ้น หรือลดลง 1 หน่วยของตัวแปรแต่ละตัว เช่น ค่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย หรือกำไรในการผลิตรองเท้า 1 คู่ ซึ่งค่าเหล่านี้ควรมีความแน่นอนตามสมมติฐานของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น อย่างน้อย ณ ช่วงเวลาที่สร้างแบบจำลอง

1.1.4 การสร้างเงื่อนไขบังคับหรือข้อจำกัด (Building the constraints) คือ การนำข้อจำกัดของปัญหา เช่น ข้อจำกัดของปริมาณทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิต กฎ ระเบียบ นโยบายต่าง ๆ มาเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ ในรูปสมการหรืออสมการ โดยที่จำนวนเงื่อนไขบังคับขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา

1.1.5 สัมประสิทธิ์ของตัวแปรในเงื่อนไขบังคับ (Constraint coefficient) คือ ค่าคงตัวที่แสดงอัตราการใช้ทรัพยากร เช่น การผลิตนาฬิกา 1 เรือนต้องใช้เวลา 10 นาที ซึ่งจำเป็นต้องเป็นค่าที่มีความแน่นอน

1.1.6 ค่าขวามือของสมการเงื่อนไขบังคับ (Right hand side constraint) คือ ค่าคงตัวแสดงจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ เช่น เวลาของแผนการผลิตที่มีทั้งหมด โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์

ของตัวแปรในเงื่อนไขบังคับและค่าขวามือของสมการเงื่อนไขบังคับจะต้องมีหน่วยเดียวกัน นอกจากนี้ตัวแปรทุกตัวของกำหนดการเชิงเส้นต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ (All positive values) เนื่องจากคำตอบของกำหนดการเชิงเส้นตรงจะมีค่าตัวแปรที่เป็นลบไม่ได้

แบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Transportation model) เป็นตัวอย่างหนึ่งที่นิยมนำเทคนิคกำหนดการเชิงเส้นมาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

พฤทธ์สรรค์ สุทธิไชยเมธ (2555) ได้สรุปไว้ว่า ปัญหาการขนส่ง เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงวัตถุดิบหรือสินค้าจากแหล่งต้นทาง (Sources) ของวัตถุดิบหรือโรงงานไปสู่จุดปลายทาง (Destinations) ที่ต้องการซึ่งมีระยะทางและค่าขนส่งที่แตกต่างกัน โดยการแก้ไขปัญหาการขนส่ง จะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับในการผลิตและความต้องการสินค้า ปัญหาและวิธีการเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการขนส่งได้ค้นคว้าขึ้นโดย F.L. Hitchcock ในปี ค.ศ. 1941 จากนั้นได้มีการนำวิธีการของสมการเชิงเส้น (Linear programming) มาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการขนส่ง

Winston and Goldberg (2004) กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วปัญหาการขนส่งจะประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้ 1) กลุ่มของแหล่งแจกจ่ายสินค้าหรือวัตถุดิบ ($m$) ซึ่งแหล่งแจกจ่าย $i$ สามารถแจกจ่ายสินค้า หรือวัตถุดิบได้มากสุดจำนวน $S_i$ หน่วย 2) กลุ่มของลูกค้าหรือผู้รับสินค้าหรือวัตถุดิบ ($n$) ซึ่งลูกค้าหรือผู้รับ $j$ จะต้องรับอย่างน้อย $d_j$ หน่วยของสินค้าหรือวัตถุดิบที่ถูกส่งมา 3) สินค้าหรือวัตถุดิบแต่ละตัวที่ถูกผลิตจากผู้แจกจ่าย $i$ แล้วถูกส่งไปยังลูกค้า $j$ นั้นมีค่าใช้จ่ายที่ผันแปร $c_{ij}$

เมื่อ $x_{ij}$ = จำนวนสินค้าหรือวัตถุดิบที่ถูกส่งจากแหล่งแจกจ่าย $i$ ไปยังผู้รับ $j$

รูปแบบสมการทั่วไปของปัญหาการขนส่ง ดังสมการที่ 2-24

$$min \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij} \qquad (2\text{-}24)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ ดังนี้

เงื่อนไขบังคับของผู้แจกจ่าย ดังสมการที่ 2-25 (2-26)

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leq s_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \qquad (2\text{-}25)$$

เงื่อนไขบังคับของลูกค้าหรือผู้รับ ดังสมการที่ 2-26

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \geq d_j \qquad (j = 1,2, \dots, n)$$

เมื่อจำนวนสินค้าต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ 2-27

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1,2,\dots,m;\ j = 1,2,\dots,n) \tag{2-27}$$

ปัญหาการขนส่งแบบสมดุล (Balanced transportation problem) จะเกิดขึ้นเมื่อจำนวนที่แจกจ่ายเท่ากับจำนวนที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งเขียนได้ดังสมการที่ 2-28

$$\sum_{i=1}^{m} s_i = \sum_{j=1}^{n} d_j \tag{2-28}$$

รูปแบบสมการทั่วไปของปัญหาการขนส่งแบบสมดุล ดังสมการที่ 2-29

$$min \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij} \tag{2-29}$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ ดังนี้

เงื่อนไขบังคับของผู้แจกจ่าย ดังสมการที่ 2-30

$$\sum_{j=1}^{j=n} x_{ij} = s_i \quad (i = 1,2,\dots,m) \tag{2-30}$$

เงื่อนไขบังคับของลูกค้าหรือผู้รับ ดังสมการที่ 2-31

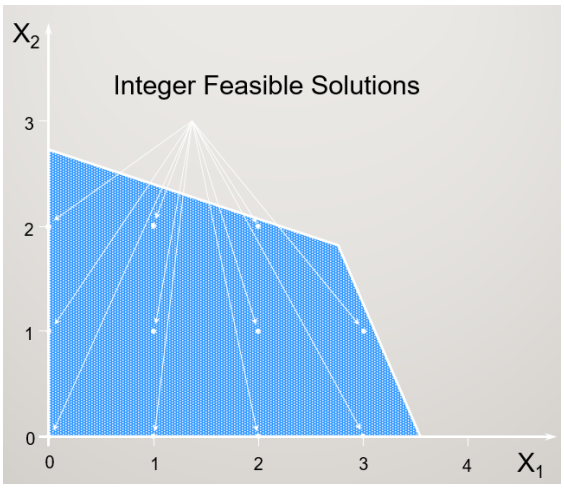
$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = d_j \quad (j = 1,2,\dots,n) \tag{2-31}$$

เมื่อจำนวนสินค้าต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังสมการที่ 2-32

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = 1,2,\dots,m;\ j = 1,2,\dots,n) \tag{2-32}$$

1.2 กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming: IP) เป็นการแก้ปัญหาลักษณะเดียวกับกำหนดการเชิงเส้น แต่ตัวแปรตัดสินใจจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม เช่น ปัญหาการหาจำนวนคนในการจ้างงาน ซึ่งการเจาะจงคำตอบเป็นจำนวนเต็มเท่านั้น ทำให้การแก้ปัญหามีความยากและไม่สามารถหาคำตอบได้ ดังนั้นจึงมีการผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับ (Relaxation) ให้เหมือนกับว่าเป็นการแก้ปัญหาเชิงเส้นปกติ เพื่อให้ได้คำตอบของปัญหา ดังตัวอย่างในภาพที่ 2-5 ที่แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่เป็นไปได้ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มมีได้เพียง 11 ค่าคำตอบ

แต่หากผ่อนคลายเงื่อนไขบังคับให้เป็นกำหนดการเชิงเส้นจะได้คำตอบที่เป็นไปได้นับไม่ถ้วนที่อยู่ในพื้นที่สีฟ้าดังภาพ และครอบคลุมคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด




ภาพที่ 2-5 ขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเทียบกับกำหนดการเชิงเส้น (Ragsdale, 2011)

Winston and Goldberg (2004) ได้สรุปไว้ว่า กรณีที่ตัวแปรตัดสินใจทุกตัวถูกกำหนดให้เป็นจำนวนเต็ม ปัญหานั้นจะถูกเรียกว่าเป็น Pure integer programming problem ดังสมการที่ 2-33 และเงื่อนไขบังคับที่ 2-34 และ 2-35

$$max\ Z = 3x_1 + 2x_2 \quad (2\text{-}33)$$

$$x_1 + x_2 \leq 6 \quad (2\text{-}34)$$

$$x_1, x_2 \geq 0,\ x_1, x_2\ integer \quad (2\text{-}35)$$

ส่วนกรณีที่กำหนดให้มีเพียงตัวแปรตัดสินใจบางตัวที่เป็นจำนวนเต็ม ปัญหานั้นจะถูกเรียกว่า กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ดังสมการที่ 2-36 และเงื่อนไขบังคับที่ 2-37 และ 2-38 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า $x_1$ เท่านั้นที่ถูกกำหนดให้เป็นจำนวนเต็ม

$$max\ Z = 3x_1 + 2x_2 \quad (2\text{-}36)$$

$$x_1 + x_2 \leq 6 \quad (2\text{-}37)$$

$$x_1, x_2 \geq 0,\ x_1\ integer \quad (2\text{-}38)$$

รายละเอียดเพิ่มเติมอื่น ๆ ของกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม Ragsdale (2011)ได้เสนอไว้ ดังนี้

1.2.1 ขอบเขตของค่าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Bounds) โดยปกติแล้ว ค่าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มาจากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มจะไม่มีทางได้ค่าที่ดีกว่าค่าจากการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้นและถึงแม้ว่าวิธีการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้นจะไม่สามารถหาแนวทางคำตอบที่เหมาะสมที่สุดให้กับกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มได้ แต่ก็สามารถช่วยระบุขอบเขตของค่าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดได้ โดยหากเป็นปัญหาที่ต้องการค่าที่มากที่สุด (Maximization problems) ค่าที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้น คือ ค่าขอบเขตบน (Upper bound) ของคำตอบที่หาได้จากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ส่วนปัญหาที่ต้องการค่าที่น้อยที่สุด (Minimization problems) ค่าที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้น คือ ค่าขอบเขตล่าง (Lower bound) ของคำตอบที่หาได้จากกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม

1.2.2 การปัดเศษทศนิยม (Rounding) ค่าที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้นนั้นไม่สามารถใช้วิธีการปัดเศษทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มได้ เนื่องจากการปัดเศษอาจทำให้เกิดคำตอบที่ไม่สามารถเป็นจริงได้ หรือหากได้คำตอบที่เป็นจริงได้ คำตอบนั้นอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา (Suboptimal) ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้เพื่อการผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้น คือ วิธี Branch-and-bound ซึ่งเป็นวิธีการที่สร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ขึ้นมาแล้วถือว่าเป็นเส้นทางที่ดีที่สุดชั่วคราว จากนั้นทำการสร้างเส้นทางใหม่ขึ้นมาแล้วเปรียบเทียบกับเส้นทางแรก จะทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะเปรียบเทียบครบทุกเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาค่อนข้างมาก

1.2.3 กฎการหยุดค้นหา (Stopping rules) เนื่องจากวิธี Branch-and-bound เป็นวิธีที่ใช้เวลานานมาก ดังนั้นจึงสามารถกำหนดให้โปรแกรมหยุดค้นหาเมื่อเจอคำตอบที่เหมาะสม เมื่อมีร้อยละของความคลาดเคลื่อนไม่เกินที่ค่ากำหนดไว้ โดยใช้ขอบเขต (Bound) ที่ได้จากวิธีการผ่อนคลายของกำหนดการเชิงเส้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

1.2.4 ตัวแปรแบบไบนารี (Binary variables) ตัวแปร Binary เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าที่เป็นไปได้เพียง 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หรือ 1 ตัวแปร Binary มีประโยชน์และเป็นตัวแปรที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น ปัญหาที่ต้องการทราบว่าโครงการไหนเหมาะสมแก่การลงทุน โดยกำหนดให้ตัวแปรมีค่าเป็น 1 เมื่อโครงการนั้น ๆ ถูกเลือกมาลงทุน

ปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายคงที่ (The fixed-charge problem) เป็นรูปแบบปัญหาหนึ่งที่มีการนำกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมมาใช้ในการแก้ปัญหา ปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายคงที่ คือ ปัญหาที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายคงที่หรือค่าจ้างเหมา โดยที่จะเกิดค่าใช้จ่ายใหม่ขึ้นเมื่อเกิดการกระทำ หรือการตัดสินใจบางอย่างเท่านั้น เช่น การเช่ายานพาหนะ ที่จะเกิดค่าเช่าขึ้นเมื่อ

มีการตัดสินใจเช่าเท่านั้น หรือ การจ่ายค่าติดตั้งเครื่องจักร ที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการตัดสินใจใช้เครื่องจักรเท่านั้น รูปแบบทั่วไปของปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ ดังสมการที่ 2-39

$$\min Z = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j + k_j y_j \tag{2-39}$$

เมื่อ $x_j$ = ปริมาณการผลิตสินค้าชนิดที่ j

$y_j$ = เป็นตัวแปรไบนารี มีค่าเป็นได้ทั้ง 0 และ 1 ดังนี้

$y_i$
- มีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดการผลิตสินค้าชนิดที่ i
- มีค่าเป็น 0 เมื่อไม่เกิดการผลิตสินค้าชนิดที่ i

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ

$$x_j - My_j \leq 0 \tag{2-40}$$

$$y_j = binary\ ,\ j = 1, 2, \ldots, n \tag{2-41}$$

และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (2-42)

อสมการที่ 2-40 เป็น Linking constraint หรือ เงื่อนไขบังคับเชื่อมโยงระหว่างตัวแปร $x_i$ และ $y_i$ หาก $x_i > 0$ หรือเกิดการผลิตสินค้า จะเกิดการบังคับค่า $y_i$ ให้มีค่าเป็น 1 เสมอ แต่หาก $x_i = 0$ หรือไม่มีการผลิตสินค้า $y_i$ โปรแกรม Solver จะเลือกให้ $y_i = 0$ เสมอ ส่วน $M$ คือ ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่เป็นขอบเขตบนของ $x_i$

สมการที่ 2-41 เป็นการกำหนดให้ $y_j$ เป็นตัวแปรไบนารี

สมการที่ 2-42 เป็นเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ที่เป็นขีดจำกัดในการผลิตหรือความต้องการสินค้า

ตัวอย่างของปัญหาที่มีค่าใช้จ่ายคงที่ เช่น สินค้าชนิดที่ 1 2 และ 3 มีกำไร 48 55 และ 50 บาทต่อชิ้น และมีค่าใช้จ่ายคงที่ในการจัดเตรียมเครื่องจักรสำหรับการผลิตสินค้าชนิดที่ 1 2 และ 3 เป็นเงิน 1,000 800 และ 900 บาท ตามลำดับ ซึ่งค่าใช้จ่ายคงที่ของปัญหานี้จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการผลิตสินเค้าเท่านั้น ดังนั้นแบบจำลองในการหากำไรสูงสุดในการผลิตสินค้าทั้ง 3 ชนิด ดังนี้

$$max\ Z = 48x_1 + 55x_2 + 50x_3 - 1000y_1 - 800y_2 - 900y_3 \quad (2\text{-}43)$$

ภายใต้เงื่อนไขบังคับ

$$x_j - My_j \leq 0 \quad (2\text{-}44)$$

$$y_j = binary\ ,\ j = 1, 2, \ldots, n \quad (2\text{-}45)$$

และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (2-46)

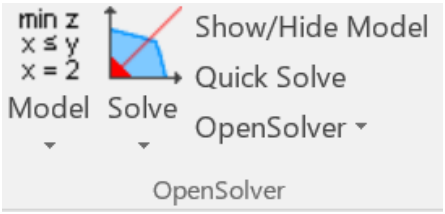
สมการเป้าหมาย ดังสมการที่ 2-43 เงื่อนไขบังคับเชื่อมโยงระหว่างตัวแปร $x_i$ และ $y_i$ ดังสมการที่ 2-44 สมการที่ 2-45 เป็นการกำหนดตัวแปรไบนารี และอาจเพิ่มเติมเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ที่เป็นขีดจำกัดในการผลิตหรือความต้องการสินค้าเป็นสมการที่ 2-46 (Ragsdale, 2011)

2. การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลลัพธ์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีและถูกต้องที่สุด โดยอาจจะใช้ การตรวจสอบตัวแปรในระบบ (Dimensional analysis) การทดสอบการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ (Sensitivity analysis) เป็นการศึกษาความไวของคำตอบโดยพิจารณาว่าหากเกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ จะทำให้คำตอบเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร หรืออาจจะใช้การทดสอบแบบจำลองของระบบโดยใช้ข้อมูลในอดีต (Retrospective test) (รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์, 2556)

3. ไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft Excel) สำหรับการหาจุดที่ดีที่สุดโดยอาศัยฟังก์ชั่นโซลเวอร์ (Solver) ที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก Solver เป็นโปรแกรมที่ติดมากับ Microsoft Excel ผลิตโดยบริษัท Frontline จึงหาใช้ได้ง่าย และทำงานในสภาพแวดล้อมที่เป็นสเปรดชีต มีความสามารถในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ได้หลายประเภท เช่น กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) ไม่ใช่กำหนดการเชิงเส้นตรง (Nonlinear programmimg) และกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming) จึงเป็นที่นิยมสำหรับการเรียนการสอนและใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่ใหญ่หรือซับซ้อนมากในประเทศไทย (รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์, 2556) แต่ Solver ที่ติดมากับ Microsoft Excel ที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มนั้นไม่สามารถนำมาแก้ปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจมากกว่า 200 ตัวได้ (FrontlineSolvers, 2017) จึงไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาในชีวิตจริงที่มีขนาดและซับซ้อนมากขึ้นได้

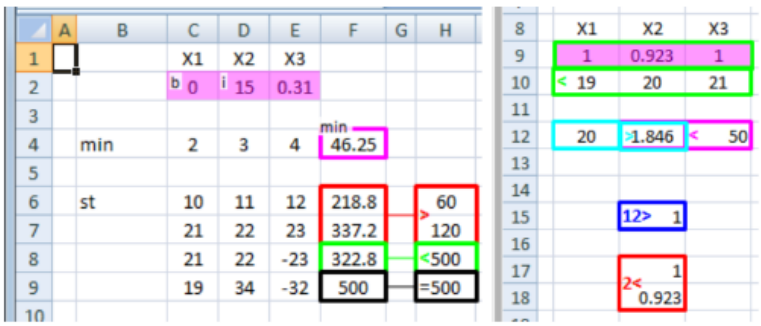
4. โอเพนโซลเวอร์ (OpenSolver) เป็นซอฟท์แวร์เสรี (Open source) ตัวหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางสำหรับแก้ปัญหาที่พบในชีวิตจริง สามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้งานง่ายโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม และสามารถนำมาแก้ปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจจำนวนมหาศาลได้ OpenSolver ถูกเขียนคำสั่งมาในรูปแบบของ Visual basic สำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมโปรแกรม

ประยุกต์อื่น ๆ (Visual basic for application) และดำเนินการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยการประมวลผลจากซอฟต์แวร์ของ COIN-OR CBC (Computational Infrastructure for OR)




ภาพที่ 2-6 โอเพนโซลเวอร์ที่แสดงบนแถบของ Microsoft excel

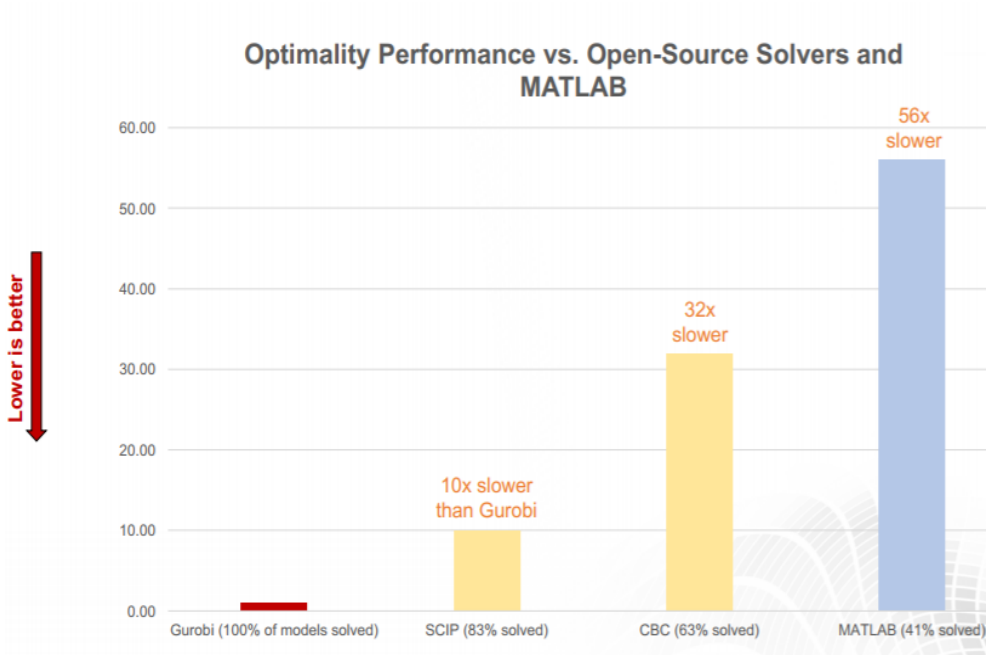
นอกจากนี้ OpenSolver ยังเป็นที่ยอมรับว่ามีสมรรถนะได้เทียบเท่าหรือดีกว่า Solver ของบริษัท Frontline ข้อดีของ OpenSolver คือ สามารถแสดงแบบจำลอง หรือส่วนประกอบของปัญหาให้เห็นได้อย่างชัดเจนบนสเปรดชีต ดังภาพที่ 2-7 จึงช่วยให้สามารถตรวจสอบแบบจำลองที่มีความซับซ้อนได้อย่างง่ายดาย และ OpenSolver ยังสามารถเลือกข้อมูลบนสเปรดชีตมาใส่ในส่วนต่าง ๆ ของแบบจำลองได้โดยอัตโนมัติ เช่น การเลือกสมการเป้าหมายโดยหาเซลล์ที่ถัดจากคำว่า “Max” หรือ “Min” บนสเปรดชีต การเลือกเงื่อนไขบังคับ (Constraits) โดยอาศัยเครื่องหมายทางคณิตศาสตร์บนสเปรดเชีต เป็นต้น (Mason, 2012)




ภาพที่ 2-7 โมเดลของโอเพนโซลเวอร์อย่างละเอียดบนสเปรดชีต (Mason, 2012)

5. ซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์กูโรบิ (Gurobi) ถูกพัฒนาโดยสมาชิกของทีมพัฒนาโปรแกรม CPLEX ประกอบด้วย Zonghao Gu, Edward Rothberg และ Robert Bixby โดย Gurobi เป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถประมวลผลแบบมัลติคอร์ (Multi-core) จากการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับปัญหามาตรฐาน พบว่า Gurobi สามารถแก้ปัญหา

ได้ดีที่สุด มีเวลารวมที่ใช้ในการแก้ปัญหาน้อยว่าซอฟต์แวร์ประมวลผลตัวอื่นดังภาพที่ 2-8 Gurobi มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและสามารถใช้ในการแก้ไขปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming: LP) ปัญหากำหนดการกำลังสอง (Quadratic Programming: QP) และปัญหากำหนดการจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Programming: MIP) ดังนั้น Gurobi จึงเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ตัวหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตาม การนำ Gurobi มาใช้งานในเชิงพาณิชย์นั้นมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 420,000 บาท (Gurobi Optimization Inc, 2016)




ภาพที่ 2-8 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะการหาค่าที่ดีที่สุดของ Gurobi กับซอฟต์แวร์ตัวอื่น ๆ (Gurobi Optimization Inc, 2016)

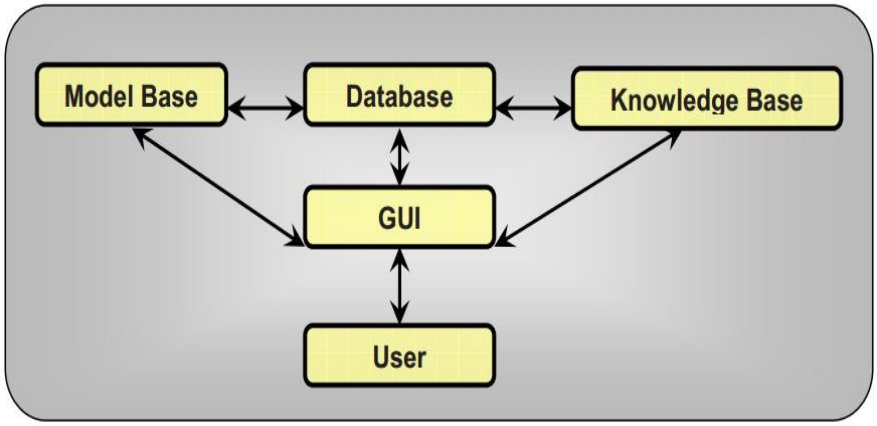
## ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และ Visual basic for applications: VBA

1. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system: DSS)

Hanna (2004) ได้ให้ความเห็นว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ไม่ใช่สิ่งที่ตัดสินใจแทนผู้ใช้ แต่เป็นสิ่งที่ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้ใช้ โดย DSS มีความสามารถหลัก ๆ ดังนี้

DSS จะใช้การตัดสินใจของมนุษย์และข้อมูลจากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์มาช่วยในการช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ ถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย โดยปกติ DSS ใช้ข้อมูลจาก

แบบจำลองและอาจรวมถึงส่วนประกอบที่เป็นความรู้ในการวิเคราะห์สถานการณ์ที่ต้องทำการตัดสินใจ DSS นั้นต้องการพัฒนาการตัดสินใจให้บรรลุเป้าหมาย มากกว่าการคำนึงถึงความคุ้มค่าของตัวมันเองและ DSS ให้การสนับสนุนการใช้งานตั้งแต่ระดับการจัดการ บริหารงานทั่วไปจนถึงระดับผู้บริหารระดับสูง DSS ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบหลัก ดังภาพที่ 2-9 ดังนี้




ภาพที่ 2-9 แผนผังของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Hanna, 2004)

1.1 ฐานข้อมูล (Database) คือ ข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจ ซึ่งอาจอยู่ในสเปดชีต คลังข้อมูล หรือที่ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึง จัดการ และสืบค้นได้ เช่น สเปรดชีทที่รวบรวมข้อมูลเลขบัญชีธนาคารส่วนบุคคล หรือคลังข้อมูลที่มีข้อมูลการส่งมอบสินค้าของผลิตภัณฑ์

1.2 ฐานแบบจำลอง (Model base) เป็นความสามารถในการวิเคราะห์ของ DSS เช่น ในแบบจำลองการหาค่าที่ดีที่สุด ฐานแบบจำลอง ประกอบด้วย Linear programming, Integer programming และ Nonlinear programming ซึ่ง DSS จะประกอบด้วยฐานแบบจำลองที่ต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้

1.3 ฐานความรู้ (Knowledge base) ในปัญหาที่พบว่ามีความซับซ้อนสูงจะต้องอาศัยการสำรวจพิเศษในการตัดสินใจ ดังนั้น DSS จึงมีส่วนฐานความรู้สำหรับจัดการปัญหาที่ซับซ้อนเหล่านั้น เช่น บริษัทผลิตบัตรเครดิตใช้ DSS ในการระบุบัตรเครดิตที่ถูกขโมย เพื่อที่จะได้ติดตามได้ว่าบัตรนั้นถูกใช้อยู่ที่ใด หรือเพื่อการระงับการใช้บัตรนั้น

1.4 การใช้ภาพเป็นส่วนผสานกับผู้ใช้ (Graphical user interface: GUI) จะครอบคลุมการติดต่อสื่อสาร การมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่าง User และDSS ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะกำหนดความยาก ง่าย และความยืดหยุ่นของ DSS

1.5 ผู้ใช้ (User) คือ ผู้ที่ใช้ DSS ในกระบวนการ การตัดสินใจ ซึ่งผู้ออกแบบ DSS จำเป็นต้องทราบว่าใครเป็นผู้ใช้งาน DSS นั้น เช่น ผู้บริหาร หรือวิศวกรที่มีความชำนาญ

2. Visual basic for applications: VBA

VBA ย่อมาจากคำว่า Visual basic for applications เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ติดมากับไมโครซอฟท์ออฟฟิศ (Microsoft office) และถูกพัฒนาโดยไมโครซอฟท์ (Microsoft) จึงไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการนำมาใช้งาน จีราวุธ วารินทร์ (2560) ได้อธิบายถึงความแตกต่างระหว่าง VBA กับ VB (Visual basic) ไว้ว่า VBA เป็นภาษาเขียนโปรแกรมโดยอิสระได้ เช่น Excel VBA เป็นการใช้ VBA เพื่อพัฒนาโปรแกรมบน Excel ส่วน VB เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่สามารถเขียนคำสั่งได้โดยไม่จำเป็นต้องผูกติดกับโปรแกรมใด ๆ Albright (2012) ได้อธิบายว่า ตัวอักษร A ใน VBA นั้น คือ คำว่า Application หรือหมายถึง VB ที่เป็นโปรแกรมประยุกต์ ที่สามารถจัดการได้ทั้ง Software ที่เป็นชุดอย่าง Microsoft excel Microsoft acess หรือ Microsoft word และสามารถจัดการ Software ที่ไม่เป็นชุดได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีสิ่งที่ผู้ที่เคยเรียนรู้ VB มาก่อนยังไม่ทราบเกี่ยวกับ VBA คือ การจัดการ Objects หรือวัตถุต่าง ๆ ของ Applications เช่น อย่างใน Microsoft excel คือ การจัดการ Objects ที่เกี่ยวกับ ขอบเขต (Ranges) เวิร์คชีต (Worksheets) เวิร์คบุค (Workbooks) และ แผนภูมิ (Charts) ของ Microsoft Excel เป็นต้น อำนาจ นุตะมาน (2550) ได้อธิบายจากมุมมองของนักโปรแกรมเมอร์ว่า VB เป็นชุดพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (Rapid application development tool: RAD) แบบเชิงวัตถุ (Visual object oriented programming: OOP) ที่ใช้ภาษาเบสิก (Basic language) เป็นคอมไพเลอร์ (Compiler) ซึ่งต้องคอมไพล์ชุดคำสั่ง (Source code) ที่เขียนด้วยภาษาเบสิกออกมาเป็นภาษาเครื่อง (Machine code) ก่อนจึงจะสามารถรัน หรือทำงานได้ ซึ่งจะได้ไฟล์นามสกุล .exe หมายถึง ไฟล์ที่สามารถรันได้ด้วยตัวเอง ส่วน VBA สำหรับ Excel นั้น เป็นการเขียนคำสั่งโดยใช้โครงสร้างภาษาเบสิกแต่ต้องเขียนหรือพัฒนาบน Excel เท่านั้น เป็นลักษณะภาษาแบบสคริปต์ (Script) เช่นเดียวกับภาษา HTML, PHP, ASP ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ซึ่งภาษาแบบสคริปต์จะทำงานโดยทำตามทีละคำสั่ง (Interpreter) ต้องรันผ่าน Excel เท่านั้นมีนามสกุลเป็น .xls สำหรับ Excel 2003 (สำหรับ Excel 2007 และ 2010 ไฟล์ที่ชุดคำสั่ง VBA จะมีนามสกุลเป็น .xlsm) และไม่มีการคอมไพล์ชุดคำสั่งเป็นภาษาเครื่อง

ชุดคำสั่ง VBA ช่วยให้การทำงานกับ Microsoft office มีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น และสามารถปรับแต่งให้เหมาะกับการใช้งานที่มีความแตกต่างกันได้ โดยชุดคำสั่ง VBA ที่ใช้สำหรับ ไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft excel) จะถูกเรียกสั้น ๆ ว่า Excel VBA ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์กันอย่างแพร่หลาย ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.1 แบบฟอร์มที่ต้องกรอกข้อมูลเดิม ๆ อย่าง ชื่อ ที่อยู่ เบอร์โทรของบริษัท ในกรณีนี้ผู้ใช้งานสามารถสร้างปุ่มคำสั่งพิเศษให้กรอกข้อมูลเหล่านี้ แทนการพิมพ์ตามปกติได้

2.2 การใช้ Excel VBA รวมคำสั่งหลาย ๆ คำสั่งด้วยการดำเนินงานเพียงขั้นตอนเดียว เช่น ผู้ใช้งานสามารถทำการแก้ไขรูปแบบ ขนาด และสีของตัวอักษร ได้โดยผ่านการคลิกเม้าส์เพียงครั้งเดียว

2.3 การใช้ Excel VBA สร้างฟังก์ชันคำนวณแบบใหม่ที่เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้โดยเฉพาะ ซึ่งจะมีความอิสระ ยืดหยุ่น และสามารถสร้างฟังก์ชันย่อยเพื่อแบ่งหน้าที่ในการคำนวณได้ แต่สูตรที่ถูกสร้างขึ้นผ่าน Excel VBA นั้นอาจเป็นอุปสรรคในการทำความเข้าใจแก่ผู้ที่ไม่ได้สร้างสูตรเองได้

2.4 การใช้ Excel VBA ในการสร้างปุ่มแท็บ (Tap) หรือ ริบบอน (Ribbon) ส่วนตัว เนื่องจากแต่ละงาน แต่ละองค์กรอาจมีการใช้งานเอกสารที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการสร้างปุ่ม Tab หรือ Ribbon สำหรับงานพิเศษ ช่วยให้การจัดทำ Excel เป็นไปได้สะดวกยิ่งขึ้น
(จีราวุธ วารินทร์, 2560)

Albright (2012) ได้ให้ข้อสรุปไว้ว่า VBA เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ถูกนำไปใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจอย่างกว้างขวาง เนื่องด้วยเหตุผลหลัก คือ ภาษา VBA นั้นมีความคล้ายคลึงกับภาษา VB และยังสามารถนำไปปรับใช้งานได้กับ Software ที่เป็น Microsoft และที่ไม่เป็น Microsoft รวมไปถึงการที่ VBA มีความสามารถในการสั่งงาน Microsoft excel ซึ่งเป็นโปรแกรมยอดนิยมที่ใช้ดำเนินงานกิจกรรมต่าง ๆ ในหลายองค์กร เช่น การคำนวณผลกำไร การทำบัญชีสรุปค่าใช้จ่าย นอกจากนี้ VBA ยังเป็นภาษาโปรแกรมที่เรียนรู้ได้ไม่ยาก ไม่จำเป็นต้องมีพื้นฐานโปรแกรมใด ๆ มาก่อน สามารถเรียนรู้ได้ด้วยความตั้งใจและการทดลองทำ อีกทั้งยังมีแนวทางในการเขียนโปรแกรมที่สามารถค้นหาได้ในอินเตอร์เนท อย่างเช่น บนเว็บไซต์ชื่อว่า Stackoverflow พงษ์พัฒน์ เวชการ (2559) ได้ให้ข้อมูลว่า Stackoverflow เป็นศูนย์รวมของการตั้งกระทู้ถามตอบที่ใหญ่ที่สุดในโลกของเหล่าโปรแกรมเมอร์ โดยกล่าวว่าผู้ใดที่ไม่รู้จักเว็บไซต์นี้คนนั้นไม่ใช่โปรแกรมเมอร์ เนื่องจากทุกปัญหาของโปรแกรมส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดกับคนเพียงคนเดียวแต่มักจะมีคนพบเจอปัญหาเหล่านี้มาก่อนแล้ว ดังนั้น Stackoverflow จึงเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเรียนรู้ และหาหนทางแก้ปัญหาในการเขียนโปรแกรม ด้วยข้อมูล และเหตุผลต่าง ๆ ที่กล่าวมาจึงทำให้ VBA เป็นที่ยอมรับของผู้ที่เพิ่งเริ่มหัดเขียนโปรแกรม และบุคคลทั่วไป นอกจากนี้ความสามารถในการเขียนภาษา VBA นั้นยังช่วยเพิ่มคุณค่าให้แก่ผู้ที่มีทักษะในการใช้งาน VBA ในองค์กรอีกด้วย

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนาพร กุลเภตรานนท์ และณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์ (2559) พบว่า องค์ประกอบสำคัญที่จะเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันทางธุรกิจ คือ การลดต้นทุน จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์โรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง ที่ตั้งอยู่ในแขวงจำปาศักดิ์ เมืองปากเซ ประเทศลาว โดยใช้หลักการพาเรโต้ในการหาว่าปัญหาใดจำเป็นต้องแก้ไขมากที่สุด และใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์ต้นทุนหลักและสรุปสาเหตุของปัญหา ซึ่งพบว่า การขนส่ง เป็นปัจจัยหลักของต้นทุน กล่าวคือ ก่อนการปรับปรุง การขนส่งของโรงงานแห่งนี้ ไม่สามารถบรรทุกสินค้าได้น้ำหนักสูงสุดตามที่กฎหมายกำหนด หรือบรรทุกได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ทำให้เกิดต้นทุนที่สูญเปล่า ระหว่างกระบวนการขนส่งสินค้า ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยถึง 41,576 บาทต่อเดือน และมีปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปเฉลี่ย 27.75 ตันต่อเดือน ที่เกิดจากการขนส่งสินค้าที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งภายหลังการปรับปรุงโดยการปรับใช้รูปแบบการขนส่งแบบใหม่ จากการใช้ตู้คอนเทนเนอร์บรรจุสินค้าเป็นการจัดเรียงสินค้าบนรถบรรทุก พบว่าสามารถลดต้นทุนความสูญเสียระหว่างกระบวนการขนส่งสินค้าได้ถึงร้อยละ 80.92 หรือ เป็นจำนวนเงิน 7,934 บาทต่อเดือน และยังช่วยเพิ่มปริมาณการส่งออกอีกด้วย

ชนินทร์ ตั้งชัยรุ่งเรือง, สมัชชา พากวัด และณัฐนารี สุขเสกสรร (2559) ทำการศึกษาข้อมูลพบว่า การขนส่งทางถนนเป็นที่นิยมอย่างมากสำหรับการขนส่งในประเทศไทย แต่พบว่าปัญหาเรื่องต้นทุนค่าขนส่งนั้นกลับเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไรของหลายบริษัท จึงได้ทำการศึกษาร้านน้ำแข็งแห่งหนึ่ง ในจังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นร้านน้ำแข็งประเภทพ่อค้าคนกลางที่รับน้ำแข็งมาจากโรงงานแล้วจำหน่ายให้กับลูกค้า 40 ราย ซึ่งร้านน้ำแข็งในละแวกเดียวกันนั้นรับน้ำแข็งจากโรงงานมาด้วยต้นทุนที่เท่ากัน และถูกกำหนดราคาจำหน่ายให้เท่ากันทุกร้าน ดังนั้นกำไรที่ร้านน้ำแข็งแต่ละร้านจะได้นั้น มาจากการบริหารต้นทุนการขนส่งเป็นหลัก สำหรับร้านน้ำแข็งกรณีศึกษานั้น เดิมได้จัดเส้นทางการส่งน้ำแข็งตามประสบการณ์ของผู้ส่ง โดยจะส่งให้ลูกค้าเจ้าเดิมก่อน ค่อยส่งลูกค้ารายใหม่ ซึ่งพบว่าเป็นเส้นทางการขนส่งที่ย้อนกลับไปมาและสิ้นเปลืองต้นทุนค่าขนส่ง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระยะทางการขนส่งก่อนปรับปรุง แล้วทำการปรับปรุงระยะการขนส่งให้ลดลงโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีอัลกอริทึ่มแบบประหยัด (Saving algorithm) และอัลกอริทึ่มเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest neighbor algorithm) ซึ่งผลจากการปรับปรุง สามารถลดระยะทางการขนส่งรอบเช้าได้ 4.5 กิโลเมตร หรือร้อยละ 25.71 รอบบ่าย 2.4 กิโลเมตร หรือร้อยละ 13.26 และยังพบว่าวิธีอัลกอริทึ่มแบบประหยัดสามารถลดระยะทางได้ดีกว่า วิธีอัลกอริทึ่มเพื่อนบ้านใกล้เคียง

จณัสญา แก้วประสิทธิ์ และจิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ (2559) ทำการค้นคว้าข้อมูลพบว่า

การขนส่งทางบก เป็นการขนส่งที่สามารถเข้าถึงต้นทางและปลายทางได้อย่างรวดเร็ว และเป็นที่นิยมอย่างมากในปัจจุบัน จึงได้ศึกษาการเพิ่มความสามารถในการขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ของโรงงานประกอบรถยนต์แห่งหนึ่ง ที่จ้างบริษัทขนส่ง (Logistic company provider) มาดำเนินการขนส่ง พบว่าความสามารถในการขนส่ง ยังไม่เป็นไปตาม ตัวชี้วัดความสำเร็จของงาน (KPI) จึงทำให้โรงงานต้องเสียค่าชดเชยให้กับทางบริษัทขนส่ง จากการใช้แผนผังก้างปลาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและแนวทางการปรับปรุง ทำให้ได้แนวทางการปรับปรุงการขนส่ง 4 เรื่อง ได้แก่ การออกแบบการขนส่งให้เหมาะกับปริมาณการสั่งซื้อ การเลือกประเภทของรถที่ใช้ขนส่งให้เหมาะกับลักษณะของที่จะส่ง การปรับปริมาณในการจัดส่งให้สัมพันธ์กับเวลาที่จัดส่ง และการเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนบางประเภทลงบรรจุภัณฑ์เดิม ภายหลังจากการปรับปรุงทั้ง 4 เรื่องดังกล่าวทำให้โรงงานมีอัตราบรรทุกเต็มเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 11.07 และยังช่วยให้โรงงานไม่ต้องเสียค่าชดเชยให้กับบริษัทขนส่งอีกด้วย

กุสุมา ใจงาม, ปนัดดา เชื้อโท, ธาราทิพย์ ทองพิมพ์, วรัญญู ทิพย์โพธิ์ และคลอเคลีย วจนะวิชากร (2559) ทำการศึกษาบริษัทจำหน่ายหลังคาเหล็กที่ประสบปัญหาด้านการวางแผนการสั่งซื้อโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงาน คือ การนำข้อมูลยอดขายในปีที่ผ่านมา เทียบกับการสั่งซื้อในปัจจุบันแบบเดือนต่อเดือน ซึ่งมีความไม่แน่นอน ทำให้มีสินค้าที่ไม่พอดีกับความต้องการของลูกค้า เกิดต้นทุนสูงจากค่าเสียโอกาส งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดลำดับความสำคัญ (ABC analysis) เพื่อเลือกเฉพาะหลังคาชนิดที่มีความสำคัญต่อบริษัทมาทำการพยากรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการพยากรณ์ 2 วิธี คือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) และวิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential smoothing) จากนั้นตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีพยากรณ์สำหรับหลังคาแต่ละชนิดโดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error: MAPE) แล้ววางแผนการสั่งซื้อและจัดส่งอย่างอิสระจากกันสำหรับหลังคาแต่ละชนิด ซึ่งหลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้ร้อยละ 28.27 หรือคิดเป็นเงิน 139,535.50 บาทต่อปี และสามารถลดความถี่ในการสั่งซื้อลงได้

ณิชกุล ชาวน้ำ, นันทชัย กานตานันทะ และนราภรณ์ เภาประเสริฐ (2559) ได้ทำการพยากรณ์ความต้องการรายวันของสารส้ม และคลอรีนของโรงงานผลิตน้ำบางเขนซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำที่มีกำลังการผลิตสูงที่สุดของการประปานครหลวง เนื่องจากพบว่าการประปานครหลวงกำลังประสบปัญหาน้ำดิบที่มีคุณภาพต่ำลงเรื่อย ๆ ทำให้ต้องใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำมากขึ้น และเกิดความเสี่ยงที่จะขาดแคลนสารเคมีสำคัญที่จะใช้ในการผลิตน้ำประปา จึงได้ทำ

การพยากรณ์ 3 วิธี คือ วิธีโฮลท์และวินเทอร์แบบบวก (Additive Holt-Winters method) ที่เหมาะสำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและการแปรผันของฤดูกาลไม่มีผลต่อเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป วิธีโฮลท์และวินเทอร์แบบคูณ (Multiplicative Holt-Winters methods) เหมาะสำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรงและมีการแปรผันของฤดูกาลตามเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป และวิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression analysis) ที่เป็นการใช้เทคนิคทางสถิติในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม จากนั้นวิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error: MAPE) ซึ่งพบว่าวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสารส้มและคลอรีน คือ วิธีโฮลท์และวินเทอร์แบบบวก

เกศกนก เดชผล และธารชุดา พันธ์นิกุล (2559) ทำการพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์ในคลังเลือดของโรงพยาบาล จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดผลิตภัณฑ์เลือดให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ป่วย โดยใช้ข้อมูลการใช้ผลิตภัณฑ์เลือด 36 เดือน ในการพยากรณ์ ซึ่งพบว่าข้อมูลมีลักษณะผิดปกติและมีความไม่แน่นอน จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางอนุกรมเวลา 5 วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว (Single moving average) วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted moving average) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว (Single exponential smoothing) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองชั้น (Double exponential smoothing) และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยแนวโน้ม (Trend corrected exponential smoothing) จากนั้นวิเคราะห์ความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์โดยการพิจารณาค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute percentage error: MAPE) ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute deviation: MAD) และค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean squared error: MSE) พบว่าวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว มีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด และสามารถนำผลการพยากรณ์ไปเป็นข้อมูลในการวางแผนจัดการปริมาณผลิตภัณฑ์เลือดได้

สมฤทัย ไกยวรรณ์ และวีรวิชญ์ เลิศไทยตระกูล (2558) ทำการพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป 3 ชนิด ที่สร้างยอดขายให้ผู้ประกอบการมากที่สุด เพื่อลดต้นทุนสินค้าคงคลังในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากปัญหาต้นทุนจมจากการเก็บสินค้าคงคลังในปริมาณที่มากเกินพอดี แต่ก็ยังประสบปัญหาสินค้าบางประเภทขาดแคลน แม้ว่าจะใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ในการจัดการสินค้าคงคลัง แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ และคาดว่าสาเหตุของปัญหามาจากการพยากรณ์แบบเดิมที่ขาดความแม่นยำ จึงได้ใช้วิธีการพยากรณ์ 5 วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ชั้นเดียว วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองชั้น วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลชั้นเดียว และวิธีปรับ

เรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลสองชั้น แล้วเลือกวิธีที่เหมาะสมโดยการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean absolute error: MAE) พบว่าวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โปเนนเชียลชั้นเดียวมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากที่สุด ซึ่งหลังจากการนำผลการพยากรณ์ไปใช้สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลังได้ สำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 102.95 ผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 76.14 และผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 3 คิดเป็นร้อยละ 91.67

เจษฎา คำภูมี (2555) ศึกษารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมต่อยอดขายผลิตภัณฑ์ Intercom จำนวน 6 รุ่น จากข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี พบว่าข้อมูลการพยากรณ์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีความคลาดเคลื่อนสูงและส่งผลเกิดปัญหาทางด้านการวางแผนการผลิต และการสั่งซื้อชิ้นส่วน สำหรับการพัฒนาเครื่องมือช่วยพยากรณ์และวิเคราะห์เปรียบเทียบได้ใช้ไมโครซอฟท์เอกเซล โดยวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ ได้แก่ วิธี Moving average, Trend Analysis, Single exponential Smoothing, Holt, Winter, Classical Decomposition และ Combine Method ซึ่งเมื่อพิจารณาความเที่ยงตรงจากค่า MSE, MAD และ MAPE พบว่าวิธี Winter วิธี Combine Method และ Classical Decomposition นั้นมีความเหมาะสม เมื่อติดตามผลรูปแบบความแม่นยำของการพยากรณ์โดยวิธีการ Tracking Signal โดยกำหนดค่าขอบเขตควบคุมเท่ากับ ±2 พบว่าผลการพยากรณ์สองเดือนถัดมายังอยู่ภายใต้การควบคุม และผลจากการพยากรณ์พบว่าสามารถลดความคลาดเคลื่อนจากวิธีที่ใช้อยู่เดิมได้ถึงร้อยละ 57.1 นอกจากนี้ เจษฎา คำภูมี (2555) ยังได้ใช้ โปรแกรม VBA ในการออกแบบโปรแกรมสำหรับการใช้งานจริงโดยแบ่งตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 โปรแกรมย่อย คือ โปรแกรมแรกใช้พิจารณาวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นจากข้อมูลเก่าแล้วส่งไปยังโปรแกรมที่สอง จากนั้นจะใช้โปรแกรมที่สองทำการพยากรณ์ล่วงหน้าต่อไป

กนกกาญจน์ สอนหมวก (2550) ได้ทำการศึกษาการพยากรณ์การขายโซ่ราวลิ้นในรถยนต์ของบริษัท และใช้โปรแกรม VBA มาช่วยในการตัดสินใจของผู้ใช้งานโดยทำการศึกษาเทคนิคการพยากรณ์ 3 เทคนิค คือ Moving average single exponential และ Trend adjust exponential smoothing จากนั้นเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า MAD ซึ่งพบว่าการใช้โปรแกรม VBA มาช่วยในการพยากรณ์ สามารถลดเวลาที่ใช้ในการพยากรณ์จาก 3 ชั่วโมง เหลือเพียง 10 นาที หรือสามารถลดเวลาในการพยากรณ์ได้ถึงร้อยละ 98

ธิดารัตน์ ร้อยนาค (2560) ได้นำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการจัดตารางขนส่งประจำวันของโรงงานผลิตคอยล์เหล็ก ที่มีลูกค้าจำนวน 40 ราย โรงงานมีการจ้างบริษัทขนส่ง 3 รายที่คิดอัตราค่าขนส่งไม่เท่ากัน เป้าหมายของแบบจำลอง คือ เพื่อให้เกิด

ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับของจำนวนคอยล์และน้ำหนักในการบรรทุกต่ำสุดและสูงสุดของรถบรรทุกที่ถูกกำหนดไว้ นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขบังคับของสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งที่ถูกระบุไว้ในสัญญาการจ้างขนส่งของแต่ละบริษัท งานวิจัยนี้ได้กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นผลรวมของค่าขนส่งที่คิดจากน้ำหนักจริง กับค่าขนส่งกรณีน้ำหนักการขนส่งไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำของรถบรรทุกโดยใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver และโปรแกรมประมวลผล CBC ในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งเฉลี่ยได้ 178,161 บาทต่อเดือน สามารถลดน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริงได้ร้อยละ 34.10 และสามารถกำหนดสัดส่วนการจ้างบริษัทขนส่งให้เป็นไปตามเงื่อนไขบังคับที่ถูกระบุไว้ในสัญญาการจ้างขนส่ง และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ได้

เอกวิทย์ พิมพ์ปัจฉิม และรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล (2559) ได้ทำการปรับปรุงการจัดสรรรถบรรทุก 5 ชนิด จำนวน 59 คันของบริษัทประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ที่ทำการขนส่งสินค้าประเภทเครื่องดื่มจำนวน 220 ชนิดจากศูนย์กระจายสินค้า ไปยังคลังสินค้าย่อย 18 แห่งเพื่อให้ต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด เนื่องจากตั้งแต่ปีพ.ศ. 2557 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าทางถนนมีมูลค่าสูงเป็นอันดับ 1 ของต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (Gross domestic product: GDP) งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการตัดสินใจแบบกำหนดการจำนวนเต็ม (Integer programming) เป็นแบบจำลองการขนส่ง (Transportation model) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปลิงโก 11.0 (Lingo 11.0) เป็นระบบสนับสนุนในการจัดรถบรรทุกสินค้า ภายใต้เงื่อนไขบังคับของรถบรรทุกสินค้า ซึ่งพบว่าสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ เมื่อเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีเดิม คือ การจัดสรรรถบรรทุกแบบสุ่มของพนักงาน

นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์ และรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล (2559) ทำการศึกษารายงานต้นทุนทางโลจิสติกส์ของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 พบว่าต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีต้นทุนค่าขนส่งทางถนนเป็นองค์ประกอบใหญ่ที่สุด จึงทำการวิจัยบริษัทกรณีศึกษา แล้วนำเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP) ที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ คือ แบบจำลองสามารถให้ค่าทุกคำตอบในขั้นตอนเดียวทั้งการจัดเส้นทาง การจัดรถบรรทุก และการจัดปริมาณการขนส่ง ของการขนส่งสินค้าหลายขนาดจากแหล่งผลิต 17 แห่ง มาเก็บที่ศูนย์กระจายสินค้า โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันสามารถไปยังแหล่งผลิตได้เพียงที่เดียวเท่านั้น และมีสมการเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปลิงโก 11.0 (Lingo 11.0) เป็นระบบสนับสนุนเนื่องจากโปรแกรมนี้สามารถแสดงผลและเชื่อมโยงกับไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) จึงมีความสะดวกในการนำผลลัพธ์ไปใช้งานต่อ จากการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปลิงโก พบว่า

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มที่ผสมสร้างขึ้นมีความถูกต้อง และสามารถใช้กับสถานการณ์จริงได้

Verstichel, Vancroonenburg, Souffriau and Berghe (2011) ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer programming) กับปัญหาการจัดสมดุลน้ำหนักของสินค้าบนเครื่องบินในประเทศเบลเยียม (Aircraft weight and balance problem: AWBP) เนื่องจากหากเครื่องบินบรรทุกสินค้าที่ส่วนหน้ามากเกินไป ก็จะทำให้ไม่สามารถนำเครื่องบินขึ้นได้ แต่หากบรรทุกที่ส่วนท้ายเครื่องมากเกินไปก็จะทำให้ส่วนท้ายเครื่องบินกระดก นอกจากนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการจัดสินค้าภายใต้เงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของโครงสร้างของตัวเครื่องบินและการบิน จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือ การเพิ่มน้ำหนักสินค้าที่บรรทุกให้มากที่สุด การลดความคลาดเคลื่อนของจุดศูนย์ถ่วงที่เหมาะสมทั้งทางยาว (Longitudinal CG) และทางด้านข้าง (Lateral CG) เพื่อให้เกิดอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับจำนวนมากที่เกี่ยวกับความปลอดภัย โดยใช้โปรแกรมโซเวอร์กูโรบิ 4.0.1 (Solver Gurobi 4.0.1) เป็นโปรแกรมสนับสนุน หลังจากการนำแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสมไปประยุกต์ใช้กับการบินจริง 52 ครั้ง พบว่าแต่ละขั้นตอนย่อยใช้เวลาประมวลผลน้อยลงจาก 15 นาที เหลือเพียง ต่ำกว่า 4 วินาที และให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจุดศูนย์ถ่วงที่เหมาะสมทางยาว ลดลงจากร้อยละ 4.75 เป็นร้อยละ 0.04 ซึ่งช่วยประหยัดการใช้เชื้อเพลิง ส่วนความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจุดศูนย์ถ่วงที่เหมาะสมทางด้านข้าง ลดลงจากร้อยละ 1.37 เป็นร้อยละ 0.08 และช่วยลดการเกิดความไม่สมดุลทางด้านข้างของเครื่องบินจาก 435 กิโลกรัม เหลืองเพียง 251 กิโลกรัม อีกทั้งแนวทางที่ได้ยังอยู่ภายใต้เงื่อนไขบังคับความปลอดภัยทั้งหมดอีกด้วย

Ahmadi and Jokar (2016) เสนอแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอน (Multiple-stage mathematical programming method) สำหรับปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก (FLP) แบบชั้นเดียว (Single) และหลายชั้น (Multi) ปัญหา FLP เป็นการจัดสรรหน่วยงานต่าง ๆ จากจำนวนที่กำหนด เพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทางหรือระยะเวลาในการเข้ามาติดต่อหน่วยงานเหล่านี้น้อยที่สุด โดยในขั้นแรกประยุกต์แบบจำลองจำนวนเต็มผสมในการจัดสรรหน่วยงานต่าง ๆ ไปยังชั้นต่าง ๆ กรณีที่สถานที่นั้นมีหลายชั้น ขั้นที่สองและขั้นสุดท้ายเป็นการประยุกต์แบบจำลองกำหนดการแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยขั้นที่สองเป็นการกำหนดตำแหน่งของหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกันในแต่ละชั้น ส่วนขั้นสุดท้ายเป็นการวางผังขั้นสุดท้ายของแต่ละชั้น ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ พบว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ให้คำตอบเป็นแผนผังที่ดีหลายรูปแบบ ลดต้นทุนได้มากกว่าร้อยละ 43 ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และสามารถปรับใช้ได้กับปัญหาหลากหลายรูปแบบในชีวิตจริง

Hanna (2004) ได้วิจัยเกี่ยวกับหลักการออกแบบและกระบวนการพัฒนาสำหรับการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนสเปรดชีต (Spreadsheet-based decision support system) เนื่องจากพบว่าหลายแบบจำลองจากการจัดการงานวิจัย (Operation research: OR) นั้น ยากที่จะนำมาประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริงสำหรับคนทั่วไป คือ ยังไม่สามารถประสานแบบจำลองกับผู้ใช้งานได้ ซึ่งสิ่งที่ผู้ใช้ หรือ User ที่เป็นผู้บริหารส่วนใหญ่มีความต้องการในการใช้งานก็ คือ ข้อมูลที่สรุปออกมาเป็นกราฟ แผนภูมิ และความง่ายในการปรับแต่งและดูผลของข้อมูลหากสถานการณ์แตกต่างไปจากเดิม Hanna (2004) ได้ให้ข้อสรุปไว้ว่าระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system: DSS) เป็นสิ่งที่ช่วยสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถจัดการเกี่ยวกับการตัดสินใจได้ง่ายขึ้น ซึ่งพบว่า Platform หรือที่รองรับปฏิบัติการ DSS ที่เหมาะสมที่สุด คือ Microsoft excel เนื่องจากมีโปรแกรมในตัวให้เลือกใช้ เป็นที่นิยมของคนส่วนใหญ่ และที่สำคัญ คือ มีภาษาโปรแกรมที่เป็น Visual basic for applications หรือ VBA ที่สะดวกต่อการใช้งานของผู้ออกแบบ DSS ในการออกแบบส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้ คำนวณอัลกอริทึมต่าง ๆ และการจัดการข้อมูลจำนวนมาก นอกจากนี้ Hanna (2004) ได้ให้ความเห็นว่า DSS ที่ดีนั้นต้องสามารถให้ผู้ใช้แก้ไข ปรับแต่ง DSS ให้เหมาะสมกับปัญหาของเขาได้

Sipos and Sweeney (2003) ได้ประยุกต์ใช้วิชวลเบสิกสำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ (Visual basic for applications: VBA) ที่สถาบันวิจัยการป้องกันทางเคมีแห่งกองทัพสหรัฐอเมริกา (The united states army research institute of chemical defense) สำหรับการจัดการข้อมูลจำนวนมหาศาลจากห้องทดลอง ที่มีรูปแบบข้อมูลตายตัว และต้องดำเนินงานต่อแบบซ้ำ ๆ อย่างการสร้างเวิร์กชีต (Worksheet) ให้ผู้ใช้กรอกข้อมูล จากนั้นทำการวิเคราะห์ จับคู่ข้อมูลตามคำสั่งของผู้ใช้ (Pair-match function) นำข้อมูลไปวิเคราะห์และนำเสนอทางสถิติ สร้างกราฟของระเบียบงานวิจัย อีกทั้งยังสามารถปรับข้อมูลให้เป็นปัจจุบันโดยอัตโนมัติได้อย่างน่าเชื่อถือ ซึ่งช่วยให้ประหยัดทั้งเวลาและกำลังคนในการจัดการข้อมูล ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่กรอก และสามารถลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากคนได้

Hongsheng (2010) ได้ประยุกต์ใช้ภาษาวิชวลเบสิกสำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ (Visual basic for applications: VBA) แทนที่การทำงานแบบเดิมซ้ำ ๆ ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล อย่างการจัดการข้อมูล การคำนวณเกรด และการสั่งพิมพ์ใบแสดงผลการเรียนของนักศึกษาโดยอาศัยการดำเนินงานแค่ขั้นตอนเดียว โดย Hongsheng (2010) ได้แก้ไขความยุ่งยากในการเขียนคำสั่ง และแสดงข้อดีของเครื่องมือบันทึก (Recorder) ที่มีอยู่ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยการใช้เครื่องมือบันทึก บันทึกคำสั่งภาษาวิชวลเบสิก ขณะสั่งการด้วยไมโครซอฟท์เอ็กเซล แล้ว

ค่อยทำการพัฒนาคำสั่งให้กระชับขึ้นในภายหลัง ซึ่งวิธีนี้ช่วยให้ผู้ใช้มีความคุ้นเคย และสามารถเรียนรู้ภาษาวิชวลเบสิกได้อย่างง่ายดาย

Tan and Takakuwa (2016) ทำการประยุกต์ใช้ภาษาวิชวลเบสิกสำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ (Visual basic for applications: VBA) ที่มีชุดคำสั่งอัลกอริทึม เพื่อพัฒนาแบบจำลองปัญหา (Simulation model) ในการวางแผนจัดการระบบการขนส่งด้วยรถบรรทุกสำหรับการทำเหมืองเปิด (Open pit mines) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจัดสรรรถบรรทุก การขนส่ง และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งพบว่า ภาษาวิชวลเบสิกนั้นมีศักยภาพสูงในการปรับใช้ร่วมกับโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ อย่างไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) และไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้ภาษาวิชวลเบสิกช่วยในการคำนวณปริมาณทองแดงเพื่อหาว่าสิ่งที่ได้จากการขุดนั้นเป็นแร่ธาตุ หรือดิน นอกจากนี้ยังใช้ในการตัดสินใจหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการขุดครั้งต่อไป

มาลินี บุตรพรม และณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม (2559) ทำการประยุกต์ใช้ภาษาวิชวลเบสิกสำหรับการเขียนคำสั่งควบคุมโปรแกรมประยุกต์อื่น ๆ (Visual basic for applications: VBA) ในการออกแบบและพัฒนาระบบการเบิกจ่ายวัตถุดิบแบบออฟไลน์ของบริษัทผู้ผลิตชุดสายไฟสำเร็จรูปสำหรับผลิตรถยนต์ แทนที่ระบบเดิมที่ใช้ในการเบิกจ่ายวัตถุดิบแบบออนไลน์ เนื่องจากระบบแบบเดิมมีข้อเสีย คือ เป็นระบบสำเร็จรูปที่ไม่จำเพาะเจาะจงตามความต้องการของแต่ละบริษัท ไม่สามารถควบคุมระบบการเบิกจ่ายวัตถุดิบได้ และเป็นระบบที่ทำงานภายใต้ระบบออนไลน์ที่อาศัยการเชื่อมต่อทางอินเตอร์เน็ต ดังนั้นหากอินเตอร์เน็ตขัดข้องจะทำให้เกิดความล่าช้าในการประมวลผล งานวิจัยนี้ใช้ภาษาวิชวลเบสิกในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยช่วยให้ขั้นตอนที่ต้องทำงานซ้ำ ๆ และใช้เวลานาน สามารถเสร็จสิ้นได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถนำนโยบายการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัท มากำหนดเป็นเงื่อนไขบังคับในการประมวลผลได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ซึ่งหลังจากการใช้งานระบบการเบิกจ่ายวัตถุดิบแบบออฟไลน์แบบใหม่ พบว่าระบบไม่เกิดการหยุดชะงัก สามารถลดเวลาการสืบค้นวัตถุดิบ ลดจำนวนพนักงานที่ใช้จึงสามารถลดค่าแรงลงได้ 16,000 บาทต่อเดือน สามารถควบคุมระบบการเบิกจ่ายให้เป็นไปตามระบบเข้าก่อน-ออกก่อน (FIFO) ได้อย่างสมบูรณ์แบบ และลดข้อผิดพลาดจากการกรอกข้อมูลของผู้ใช้

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดนี้สามารถสรุปรวมได้ดังภาพที่ 2-10

| ลำดับ | หัวข้อ | อ้างอิง (ปี) | เรื่องที่วิจัย | เป้าหมาย | วิธีการหรือหลักการที่ใช้ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ปัญหาการจัดการขนส่ง | ธนาพร กุลเกตรานนท์ และณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์ (2559) | ต้นทุนของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังประเทศลาว | ลดต้นทุนของโรงงาน | พาเรโต้และแผนผังก้างปลา | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ชนินทร์ ตั้งชัยรุ่งเรือง, สมัชชา พากวัด และณัฐนารี สุขเสกสรร (2559) | ต้นทุนค่าขนส่งของร้านน้ำแข็งแห่งหนึ่ง จ.สระบุรี | ต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำ | ทฤษฎีอัลกอริทึ่มแบบประหยัด และอัลกอริทึ่มเพื่อนบ้านใกล้เคียง | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | จณัสญา แก้วประสิทธิ์ และจิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์ (2559) | ความสามารถในการขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ | เพิ่มความสามารถในการขนส่ง | แผนผังก้างปลา | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | การพยากรณ์ | | | | รูปแบบการพยากรณ์ที่ใช้ | | | | | | | | | | | | วิธีวัดความคลาดเคลื่อน | | | | DSS |
| | | | | | Mov. avg. | Double Mov.avg. | Weighted Mov.avg. | Expo. Smth. | Double Expo.Smth. | Trend adj. Expo.Smth | Add. Holt-Winters | Multi. Holt-Winters | Regres. Analysis | Trend Analysis | Winters | อื่น ๆ | MAPE | MSE | MAD | Tracking signal | VBA |
| | | กุสุมา ใจงาม, ปนัดดา เชื้อโท, ธาราทิพย์ ทองพิมพ์, วรัญญู ทิพย์โพธิ์ และคลอเคลีย วจนะวิชากร (2559) | การวางแผนสั่งซื้อของบริษัทจำหน่ายหลังคาเหล็ก | สินค้าพอดีกับความต้องการของลูกค้า | ✓ | | | ✓ | | | | | | | | | ✓ | | | | |
| | | ณิชกุล ชาวน้ำ, นันทชัย กานตานันทะ และนราภรณ์ เภาประเสริฐ (2559) | ความต้องการสารเคมีของโรงผลิตน้ำบางเขน | มีสารเคมีเพียงพอสำหรับการใช้งาน | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | ✓ | | | | |
| | | เกศกนก เดชผล และธารชุดา พันธ์นิกุล (2559) | ความต้องการผลิตภัณฑ์ในคลังเลือดของโรงพยาบาล จ.อุบลราชธานี | มีผลิตภัณฑ์เลือดเพียงพอต่อการใช้งาน | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | | |
| | | สมฤทัย ไกยวรรณ์ และวีรวิชญ์ เลิศไทยตระกูล (2558) | ความต้องการผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหาร | ลดต้นทุนสินค้าคงคลัง | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | | | | | | | | | ✓ | | |
| | | เจษฎา คำภูมี (2555) | ยอดขายผลิตภัณฑ์ Intercom | ลดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์แบบเดิม | ✓ | | | | ✓ | | | | | ✓ | ✓ | Classical Decompo-sition, Combine Method □ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | | กนกกาญจน์ สอนหมวก (2550) | การขายโซ่ราวลิ้นในรถยนต์ | สินค้าพอดีกับความต้องการของลูกค้า | ✓ | | | ✓ | | ✓ | | | | | | | | | ✓ | | ✓ |

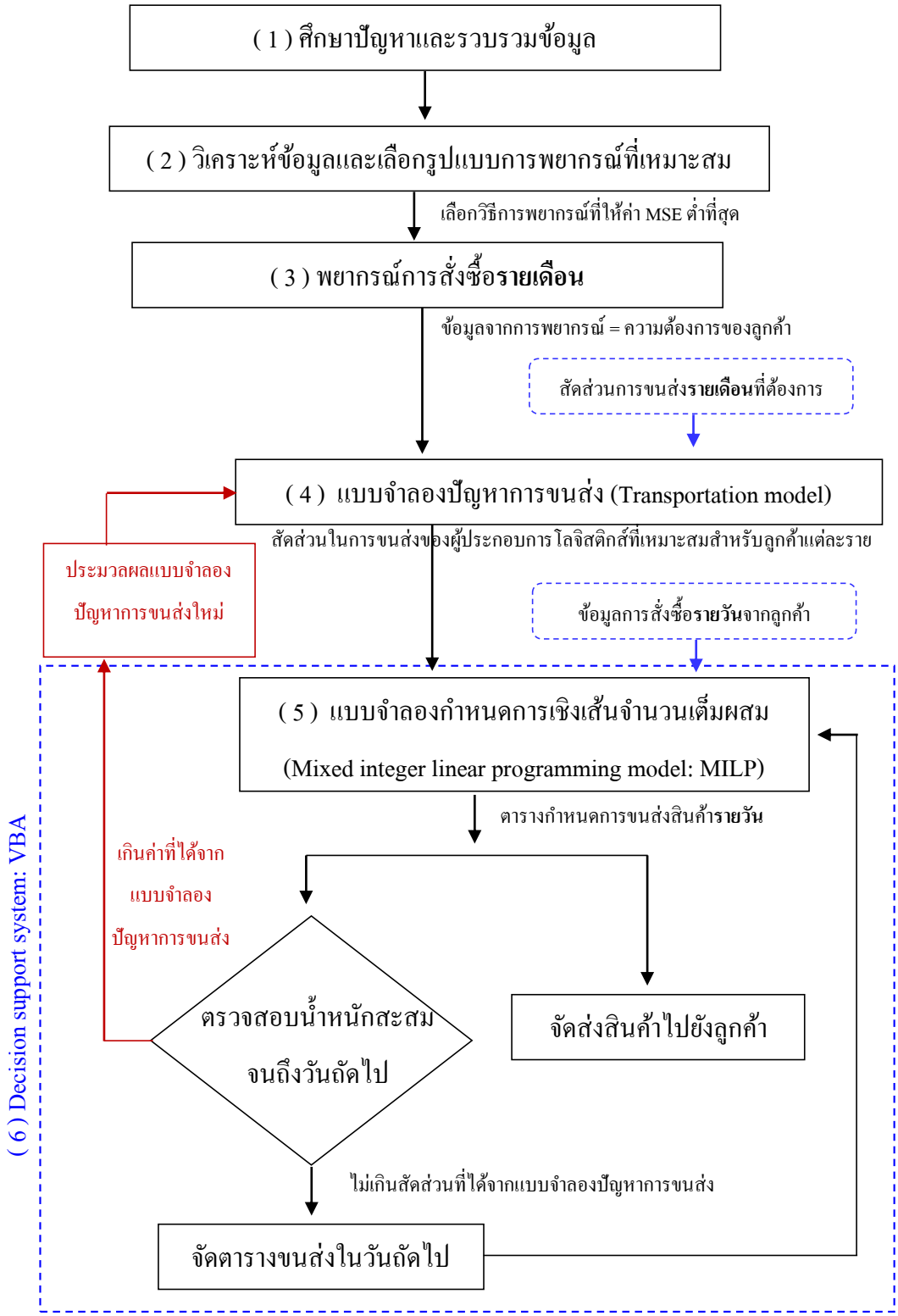
ภาพที่ 2-10 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ลำดับ | หัวข้อ | อ้างอิง (ปี) | เรื่องที่วิจัย | เป้าหมาย | วิธีการหรือหลักการที่ใช้ | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ | | | | ซอฟท์แวร์ที่ใช้ | | | | |
| | | | | | Linear | Non-Lin. | Transportation | Mixed Integer | OpenSolver | Lingo | CBC | Gurobi | CPLEX & KNITRO |
| 3 | การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์และการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม | ธิดารัตน์ ร้อยนาค (2560) | การจัดตารางขนส่งประจำวันของโรงงานผลิตคอยล์เหล็ก | ลดต้นทุนค่าขนส่ง | | | | ✓ | ✓ | | ✓ | | |
| | | เอกวิทย์ พิมพ์ปัจฉิม และ รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล (2559) | การจัดรถบรรทุกที่ส่งสินค้าประเภทเครื่องดื่มไปยังศูนย์กระจายสินค้า | ลดต้นทุนค่าขนส่ง | ✓ | | ✓ | | | ✓ | | | |
| | | นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์ และ รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล (2559) | การจัดเส้นทาง จัดรถบรรทุก และจัดปริมาณสินค้ามาเก็บที่ศูนย์กระจายสินค้า | ลดต้นทุนค่าขนส่ง | | | | ✓ | | ✓ | | | |
| | | Verstichel, Vancroonenburg, Souffriau and Berghe (2011) | การจัดสมดุลน้ำหนักของสินค้าบนเครื่องบิน ประเทศเบลเยียม | เพิ่มน้ำหนักสินค้าที่บรรทุกให้มากที่สุด | | | | ✓ | | | | ✓ | |
| | | Ahmadi and Jokar (2016) | แบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอน สำหรับปัญหาการจัดวางผังสิ่งอำนวยความสะดวก (FLP) | ลดต้นทุนจากผังที่เหมาะสมที่สุด | | ✓ | | ✓ | | | | | ✓ |
| 4 | ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ Visual basic for applications: VBA | Sipos and Sweeney (2003) | การจัดการข้อมูลจำนวนมหาศาลจากห้องทดลอง | ลดงานซ้ำซ้อน ลดเวลาทำงาน ลดความผิดพลาด | การสร้าง Worksheet / Pair-match function / การวิเคราะห์ทางสถิติและการสร้างกราฟ | | | | | | | | |
| | | Hanna (2004) | หลักการออกแบบและกระบวนการพัฒนาสำหรับการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนสเปรดชีต | สร้างและออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ สำหรับงาน IE OR และธุรกิจ | การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจบนสเปรดชีต ร่วมกับ Microsoft Excel/ และ VBA | | | | | | | | |
| | | Hongsheng (2010) | การจัดการข้อมูลผลการเรียนของนักศึกษา | ลดเวลาในการทำงาน | การใช้ Recorder บันทึกคำสั่ง VBA / การคำนวณเกรด และการสั่งพิมพ์ | | | | | | | | |
| | | Tan and Takakuwa (2016) | การจัดการการระบบการขนส่งด้วยรถบรรทุกสำหรับการทำเหมืองเปิด | เพิ่มประสิทธิภาพจัดสรรรถบรรทุก การขนส่งและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง | การคำนวณปริมาณทองแดง / การคำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการขุด | | | | | | | | |
| | | มาลินี บุตรพรม และ ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม (2559) | การเบิกจ่ายวัตถุดิบของผู้ผลิตชุดสายไฟ | ลดขั้นตอนการทำงานซ้ำ ๆ ลดเวลา ลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน | การพัฒนาระบบเบิกจ่ายให้เหมาะสมกับลักษณะงาน | | | | | | | | |

ภาพที่ 2-10 (ต่อ)

# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

การจัดการขนส่งที่มีรอบเวลาในการส่งมอบที่สั้นกว่า รอบในการคำนวณปริมาณขนส่งขั้นต่ำ เช่น การที่พนักงานจัดตารางการขนส่งเป็นรายวันตามสัดส่วนขั้นต่ำที่ถูกกำหนดไว้เป็นรายเดือน เพื่อให้ในทุก ๆ สิ้นเดือนน้ำหนักที่ถูกขนส่งเป็นไปตามสัดส่วนน้ำหนักในสัญญาการจ้างขนส่ง โดยที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการที่คิดค่าขนส่งที่ถูกที่สุดนั้นเหมาะกับการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่อยู่ไกลที่สุด แต่การนำเงื่อนไขรายเดือนมากำหนดเป็นเงื่อนไขรายวัน ทำให้เกิดการเสียโอกาส และไม่สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดหรือค่าขนส่งโดยรวมที่ต่ำที่สุดได้ การกำหนดตารางการขนส่งเป็นรายวันตามสัดส่วนขั้นต่ำที่ถูกกำหนดไว้เป็นรายเดือนทำให้ต้องใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทุกรายในทุกวันซึ่งอาจไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนในการจัดตารางการขนส่งรายวัน ที่ใช้แนวคิดในการกำหนดผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมสำหรับลูกค้าแต่ละรายในการขนส่งคอยล์ทั้งหมดในรอบเดือนที่เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุดด้วยแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) ทำให้ในการหาผลลัพธ์นี้ได้จะต้องมีข้อมูลน้ำหนักคอยล์ทั้งหมดที่ต้องส่งในรอบเดือนไปยังลูกค้าแต่ละราย งานวิจัยนี้ประยุกต์ตัวแบบการพยากรณ์ในการประมาณปริมาณการขนส่งรายเดือนเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองปัญหาการขนส่ง แล้วใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับวางแผนการขนส่งรายวันตามแนวทางของผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่ง วิธีการที่เสนอนี้จึงเป็นการใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนในการแก้ปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ รวมถึงการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกและลดเวลาในการวางแผนการขนส่งรายวัน ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการวิจัยนี้จะใช้การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ กับข้อมูลการขนส่งจริง 59 วันในสามเดือน ได้แก่ เดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2559 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ ดังภาพที่ 3-1 สัญลักษณ์ต่าง ๆ สรุปได้ ดังตารางที่ 3-1 ถึง 3-3 ต่อไปนี้




ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 3-1 สัญลักษณ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่ง

| แบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Transportation model) | |
|---|---|
| **สัญลักษณ์** | **คำจำกัดความ** |
| **ดัชนีและเซต (Indices and sets)** | |
| $h$ | กลุ่มลูกค้าที่ถูกคิดราคาค่าขนส่งตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดที่เท่ากัน $h$ เป็นสมาชิกของเซตของกลุ่มลูกค้า $H = \{1, 2, 3, \ldots, 16\}$ |
| $l$ | ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ ที่เป็นสมาชิกของเซตของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $L = \{1, 2, 3\}$ |
| $I$ | เซตของลูกค้าทุกราย หรือ $I = \{1, 2, 3, \ldots 39\}$ |
| $Gr_h$ | เซตของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ถูกคิดราคาค่าขนส่งเท่ากัน $Gr_h$ เป็นสับเซตของเซต $I$ |
| **ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)** | |
| $c_{hl}$ | ราคาค่าขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มลูกค้า $h$ โดยรถบรรทุกประเภท 18 ล้อ ของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (บาทต่อตัน) |
| $cw_{hl}$ | น้ำหนักสะสมของคอยล์จนถึงปัจจุบันตามแผนการจัดของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ถูกจัดส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (ตัน) |
| $f_h$ | ผลรวมของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มลูกค้า $h$ จากการพยากรณ์แบบรายเดือน (ตัน) |
| $p_l$ | ค่าสัดส่วนตามเงื่อนไขการขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ |
| $o_h$ | น้ำหนักคอยล์ (ตัน) ที่กลุ่มลูกค้า $h$ ต้องการ ตามการสั่งซื้อในวันนั้น ๆ |
| **ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)** | |
| $MW_{hl}$ | น้ำหนักคอยล์รายเดือน (ตัน) ของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่จะต้องส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ |

ตารางที่ 3-2 สัญลักษณ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

| แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) | |
|---|---|
| **สัญลักษณ์** | **คำจำกัดความ** |
| **ดัชนีและเซต (Indices and sets)** | |
| $i$ | ลูกค้าที่เป็นสมาชิกของเซตของลูกค้า $I = \{1, 2, 3, \ldots, 39\}$ |
| $j$ | ดัชนีของคอยล์ที่เป็นสมาชิกของเซตคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$ $J_i = \{1, 2, \ldots\}$ |
| $s$ | ดัชนีของประเภทรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตประเภทรถบรรทุก $S = \{1, 2\}$ |
| $t$ | เที่ยวรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตรถบรรทุกประเภท $s$ ของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ที่ส่งไปยังลูกค้า $i$ $T_s^{il} = \{1, 2, \ldots\}$ |
| **ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)** | |
| $c_s^{il}$ | ราคาค่าขนส่งของรถบรรทุกประเภท $s$ ไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (บาทต่อตัน) |
| $w^{ij}$ | น้ำหนักที่ถูกส่งไปยังลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ (ตัน) |
| $minW_s$ | เกณฑ์น้ำหนักต่ำที่สุดที่ใช้คิดค่าขนส่ง |
| $maxW_s$ | น้ำหนักคอยล์ที่มากที่สุด ที่รถบรรทุกแต่ละประเภทสามารถบรรทุกได้ |
| $maxN_s$ | จำนวนคอยล์ที่มากที่สุดที่รถบรรทุกแต่ละประเภทสามารถบรรทุกได้ |
| $M$ | ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตบน (Upper bound) ของการขนส่งบนรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ |
| **ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)** | |
| $X_{jst}^{il}$ | ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ ถูกส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$ |
| $Y_{st}^{il}$ | ตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดการขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$ |
| $d_{st}^{il}$ | น้ำหนักที่ขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$ ที่เกินจากน้ำหนักขั้นต่ำของความสามารถในการบรรทุกของรถคันนั้น |

ตารางที่ 3-3 สัญลักษณ์ของส่วนที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการปรับสัดส่วนช่วงสิ้นเดือน

| **ส่วนที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการปรับสัดส่วนช่วงสิ้นเดือน** | |
|---|---|
| **สัญลักษณ์** | **คำจำกัดความ** |
| **ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)** | |
| $rw_l$ | น้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ยังสามารถขนส่งได้ โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ยังเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง (ตัน) |
| $ap_l$ | ค่าสัดส่วนที่ใช้กำหนดในแบบจำลอง เพื่อปรับสัดส่วนน้ำหนักในช่วงสิ้นเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* เป็นไปตามเงื่อนไข |
| $minAP_l$ | ค่าสัดส่วนต่ำที่สุด ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อทำให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาจ้าง เมื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ |
| $maxAP_l$ | ค่าสัดส่วนสูงที่สุด ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อทำให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาจ้าง เมื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ |

ภาพที่ 3-2 เป็นการอธิบายภาพรวมของสมการทั้งหมดตั้งแต่แบบจำลองปัญหาการขนส่งถึงแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมทั้ง 2 ส่วน

<table>
<tr><th colspan="4">แบบจำลองปัญหาการขนส่ง</th></tr>
<tr><th>สมการที่</th><th colspan="2">ประเภท</th><th>คำอธิบายอย่างย่อ</th></tr>
<tr><td>3-1</td><td colspan="2">สมการเป้าหมาย</td><td>เพื่อค่าขนส่ง<u>รายเดือน</u>ต่ำที่สุด</td></tr>
<tr><td>3-2</td><td colspan="2" rowspan="4">เงื่อนไขบังคับ</td><td rowspan="2">การกำหนดให้ Supply ต้องเท่ากับ Demand</td></tr>
<tr><td>3-3</td></tr>
<tr><td>3-4</td><td>ส่วนกำหนดสัดส่วนน้ำหนักตามสัญญาจ้าง</td></tr>
<tr><td>3-5</td><td>น้ำหนักที่จัดส่งต้องไม่ต่ำกว่าน้ำหนักที่จัดส่งไปแล้ว</td></tr>
<tr><th colspan="4">แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม</th></tr>
<tr><td rowspan="15">ช่วงที่ 1:<br><br>75 %<br>ของจำนวน<br>วันที่ทำการ<br>ขนส่ง</td><td>สมการที่</td><td>ประเภท</td><td>คำอธิบายอย่างย่อ</td></tr>
<tr><td>3-6</td><td>สมการเป้าหมาย</td><td>เพื่อให้ค่าขนส่ง<u>รายวัน</u>ที่ต่ำที่สุด</td></tr>
<tr><td>3-7</td><td rowspan="8">เงื่อนไขบังคับ</td><td>การกำหนดให้เหล็กทุกคอยล์จะต้องถูกส่งเพียง 1 ครั้ง</td></tr>
<tr><td>3-8</td><td>การบรรทุกน้ำหนักคอยล์ไม่เกินค่าน้ำหนักสูงสุด</td></tr>
<tr><td>3-9</td><td>การบรรทุกคอยล์เหล็กได้ไม่เกินจำนวนที่กำหนด</td></tr>
<tr><td>3-10</td><td>เงื่อนไขเชื่อมโยงตัวแปร</td></tr>
<tr><td>3-11</td><td>การคำนวณค่าขนส่งส่วนที่เกินจากน้ำหนักขั้นต่ำ</td></tr>
<tr><td>3-12</td><td>การไม่คำนวณค่าขนส่งส่วนที่ต่ำกว่าน้ำหนักขั้นต่ำ</td></tr>
<tr><td>3-13</td><td>ส่วนกำหนดผลลัพธ์ตามแนวทางจากขั้นตอนก่อนหน้า</td></tr>
<tr><td>3-14</td><td>ส่วนกำหนดสัดส่วนน้ำหนักตามสัญญาจ้าง</td></tr>
<tr><td rowspan="8">ช่วงที่ 2:<br><br>วันที่เหลือ</td><td>4-1</td><td rowspan="8">เงื่อนไขบังคับ</td><td>การหาน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ยังสามารถขนส่งได้</td></tr>
<tr><td>4-2</td><td>การปรับสัดส่วนของผู้ประกอบการ K ให้ได้ 70%</td></tr>
<tr><td>4-3</td><td rowspan="2">การปรับสัดส่วนของผู้ประกอบการ N ให้ได้ 20%</td></tr>
<tr><td>4-4</td></tr>
<tr><td>4-5</td><td rowspan="2">การปรับสัดส่วนของผู้ประกอบการ N ให้ได้ 10%</td></tr>
<tr><td>4-6</td></tr>
<tr><td>4-7</td><td rowspan="2">ส่วนที่ทำให้แบบจำลองประมวลผลได้ตามสัดส่วนที่กำหนด</td></tr>
<tr><td>4-8</td></tr>
</table>

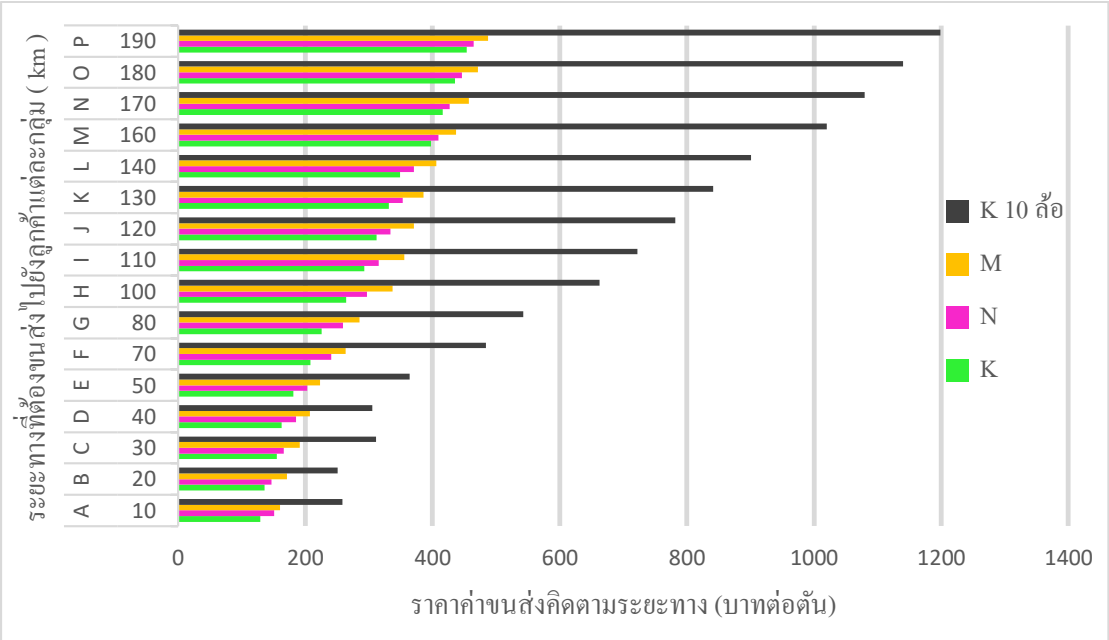
ภาพที่ 3-2 สรุปสมการและความหมายอย่างย่อ

**ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล**

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาว่าบริษัทกรณีศึกษานี้ มีขั้นตอนการทำงานปกติเป็นอย่างไร วางแผนการขนส่งในปัจจุบันเป็นอย่างไร ปัจจัยหรือปัญหาอะไรบ้างที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการทำงานที่ทำให้ไม่สามารถจัดการขนส่งให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดได้ จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุและเงื่อนไขบังคับของปัญหา เพื่อหาวิธีปรับปรุงแก้ไขต่อไปซึ่งสามารถจำแนกข้อมูลเหล่านี้เป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา และข้อมูลสำหรับการวิจัย ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตเหล็กม้วนต้นน้ำ (Upstream product) หรือแผ่นเหล็กเคลือบโลหะผสมใช้ สำหรับขึ้นรูปเป็นโครงสร้างรถยนต์ สินค้าสำเร็จรูปจะมีลักษณะเป็นม้วนทรงกระบอกขนาดใหญ่ ที่มีน้ำหนักมาก แต่ละม้วนมีน้ำหนักตั้งแต่ 1 ถึง 20 ตัน โรงงานแห่งนี้ต้องทำการจัดส่งคอยล์เหล็กไปยังลูกค้า 39 ราย โดยการจ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 3 ราย (บริษัท K N และ M) ซึ่งกำหนดให้มีรูปแบบการขนส่งเป็นแบบ Single load หรือการขนส่งสินค้าไปยังปลายทางแห่งเดียวที่คิดค่าขนส่งแปรผันตามระยะทางขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายแบบขั้นบันได ด้วยอัตราค่าบริการต่อตันที่แตกต่างกันของแต่ละผู้ประกอบการ สรุปตามภาพที่ 3-3 และตารางที่ 3-4 ดังนี้




ภาพที่ 3-3 ราคาค่าขนส่งตามระยะทางแบบขั้นบันได

ตารางที่ 3-4 อัตราค่าขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์

| ระยะทาง (กิโลเมตร) | สถานที่ส่ง | K 18 ล้อ 70% (บาท/ตัน) | K 10 ล้อ (บาท/ตัน) | N 18 ล้อ 20% (บาท/ตัน) | M 18 ล้อ 10% (บาท/ตัน) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | A1, A2, A3 | 129 | 258 | 151 | 160 |
| 20 | B1 | 136 | 251 | 147 | 171 |
| 30 | C1, C2, C3 | 155 | 311 | 166 | 191 |
| 40 | D1, D2, D3, D4, D5 | 163 | 305 | 185 | 207 |
| 50 | E1, E2 | 181 | 364 | 203 | 223 |
| 70 | F1, F2, F3, F4, F5, F6 | 208 | 484 | 241 | 263 |
| 80 | G1 | 226 | 543 | 259 | 285 |
| 100 | H1 | 264 | 663 | 297 | 337 |
| 110 | I1 | 293 | 722 | 315 | 356 |
| 120 | J1, J2 | 312 | 782 | 334 | 371 |
| 130 | K1, K2, K3 | 331 | 841 | 353 | 386 |
| 140 | L1, L2, L3 | 349 | 901 | 371 | 406 |
| 160 | M1, M2 | 398 | 1020 | 409 | 437 |
| 170 | N1, N2 | 416 | 1080 | 427 | 457 |
| 180 | O1, O2 | 435 | 1140 | 446 | 471 |
| 190 | P1, P2 | 454 | 1199 | 465 | 487 |

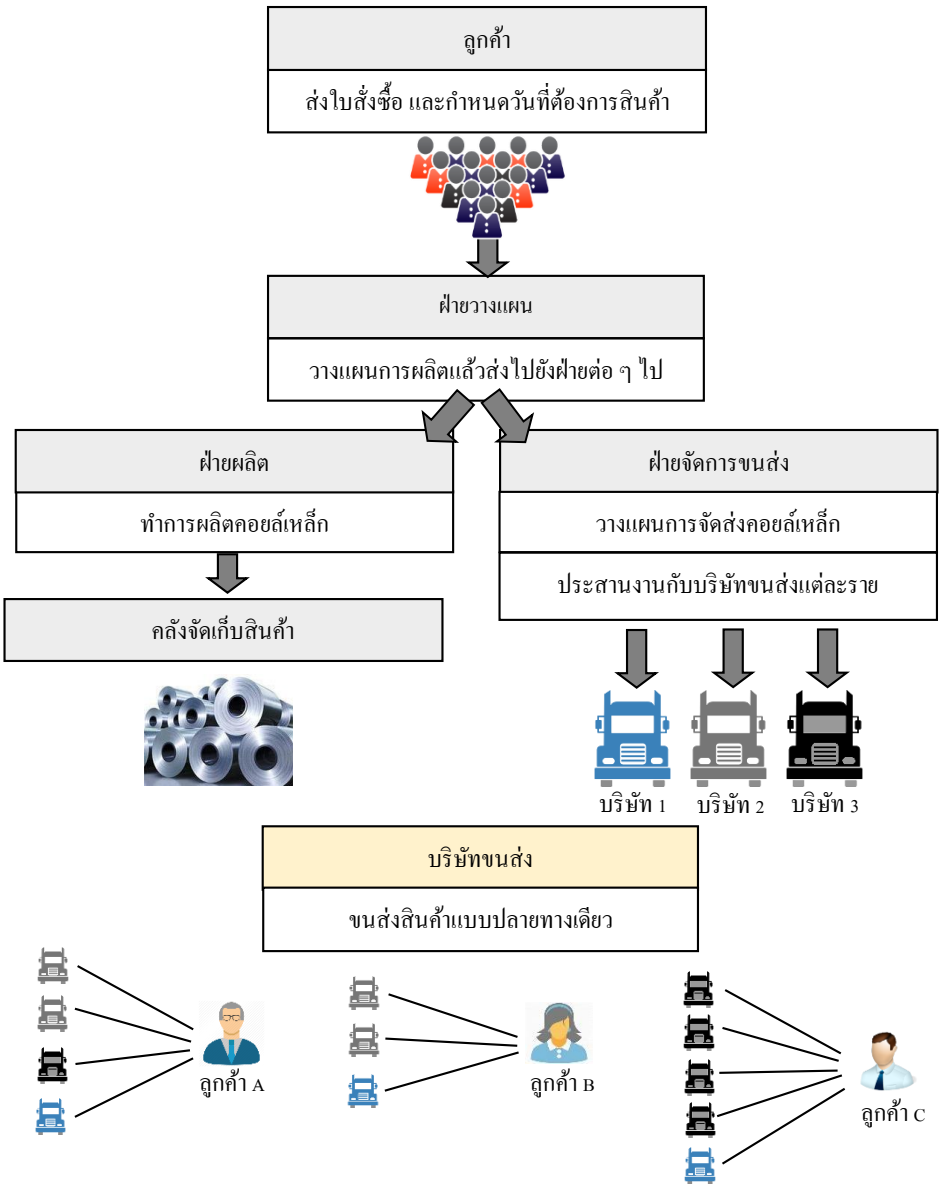
รถบรรทุกที่ถูกเลือกตามปกติ คือ รถบรรทุก 18 ล้อ ที่บรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 5 คอยล์ น้ำหนักรวมต่ำที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 22 ตัน สูงสุดไม่เกิน 31 ตัน นอกจากนี้บริษัทขนส่งบริษัทที่ 1 (บริษัท K) ยังมีรถเสริม คือ รถบรรทุก 10 ล้อ ซึ่งบรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 3 คอยล์ และน้ำหนักรวมต่ำที่สุดต้องไม่ต่ำกว่า 8 ตัน สูงสุดไม่เกิน 12 ตัน สรุปดังภาพที่ 3-4 ทุกผู้ประกอบการโลจิสติกส์จะคิดค่าขนส่งเริ่มต้นที่น้ำหนักขั้นต่ำเสมอถึงแม้ว่าน้ำหนักที่ขนส่งจริงไม่ถึงน้ำหนักขั้นต่ำ แต่จะไม่จำกัดจำนวนเที่ยวรถในการขนส่ง โดยที่น้ำหนักขนส่งรวมต่อเดือนต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของผู้ประกอบการ โลจิสติกส์รายที่ 1 2 และ 3 (หรือ K N และ M) คือ 70 : 20 : 10

| ข้อจำกัด | 10 ล้อ | 18 ล้อ |
|---|---|---|
| ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ (K, N และ M) | เฉพาะ K | ทุกราย |
| จำนวนคอยล์เหล็กที่บรรทุกได้ (คอยล์) | 1 - 3 | 1 - 5 |
| น้ำหนักคอยล์เหล็กที่บรรทุกได้ (ตัน) | 8* -12 | 22* - 31 |

** คือน้ำหนักขั้นต่ำที่คิดค่าขนส่ง*

ภาพที่ 3-4 ประเภทรถที่ให้บริการ และเงื่อนไขบังคับในการขนส่ง

ปัจจุบันบริษัทมอบหมายให้พนักงานฝ่ายจัดการขนส่งทำการวางแผนการจัดส่งคอยล์รายวัน หลังจากได้รับข้อมูลจากฝ่ายวางแผนการผลิตตามขั้นตอนการสั่งผลิตถึงการจัดส่งสินค้า ดังภาพที่ 3-5 ในแต่ละวันบริษัทต้องจัดส่งคอยล์เหล็กจำนวน 100-250 คอยล์ หรือประมาณ 1,247 ตัน ไปยังลูกค้า จำนวน 5-20 รายต่อวัน ซึ่งพนักงานจะใช้ประสบการณ์ส่วนบุคคล ในการตัดสินใจว่าจะจัดเหล็กคอยล์ใดขึ้นรถเที่ยวเดียวกันบ้าง และต้องใช้บริษัทขนส่งรายใด ภายใต้เงื่อนไขสัญญาการจ้างขนส่งและเงื่อนไขบังคับด้านพื้นที่และน้ำหนักในการขนส่ง ดังตัวอย่างการวางแผนรายวันในภาคผนวก ก (ธิดารัตน์ ร้อยนาค, 2560) ซึ่งความซับซ้อนเหล่านี้ทำให้พนักงานใช้เวลานานถึง 4-6 ชั่วโมง และยังไม่สามารถจัดการขนส่งให้มีต้นทุน การขนส่งที่ต่ำที่สุดได้




ภาพที่ 3-5 ขั้นตอนการสั่งผลิตถึงการจัดส่งสินค้า

2. ข้อมูลสำหรับการวิจัย

หลังจากทราบขั้นตอนการทำงานและปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิจัยซึ่งจะใช้ข้อมูลย้อนหลังช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม 2559 ได้แก่ข้อมูลการสั่งซื้อของลูกค้าทุกราย ข้อมูลการจัดส่งสินค้าของบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็ก ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้า และข้อมูลสัดส่วนน้ำหนักในการขนส่งสินค้าแต่ละเดือนของผู้ประกอบการ โลจิสติกส์

โลจิสติกส์ทุกราย จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าบริษัทกรณีศึกษาต้องเผชิญกับความยุ่งยากในการวางแผนจัดการขนส่ง ซึ่งสรุปได้เป็นสามประเด็นหลัก คือ ตัวสินค้า ลูกค้า และการขนส่ง ซึ่งสรุปได้ ดังตารางที่ 3-5

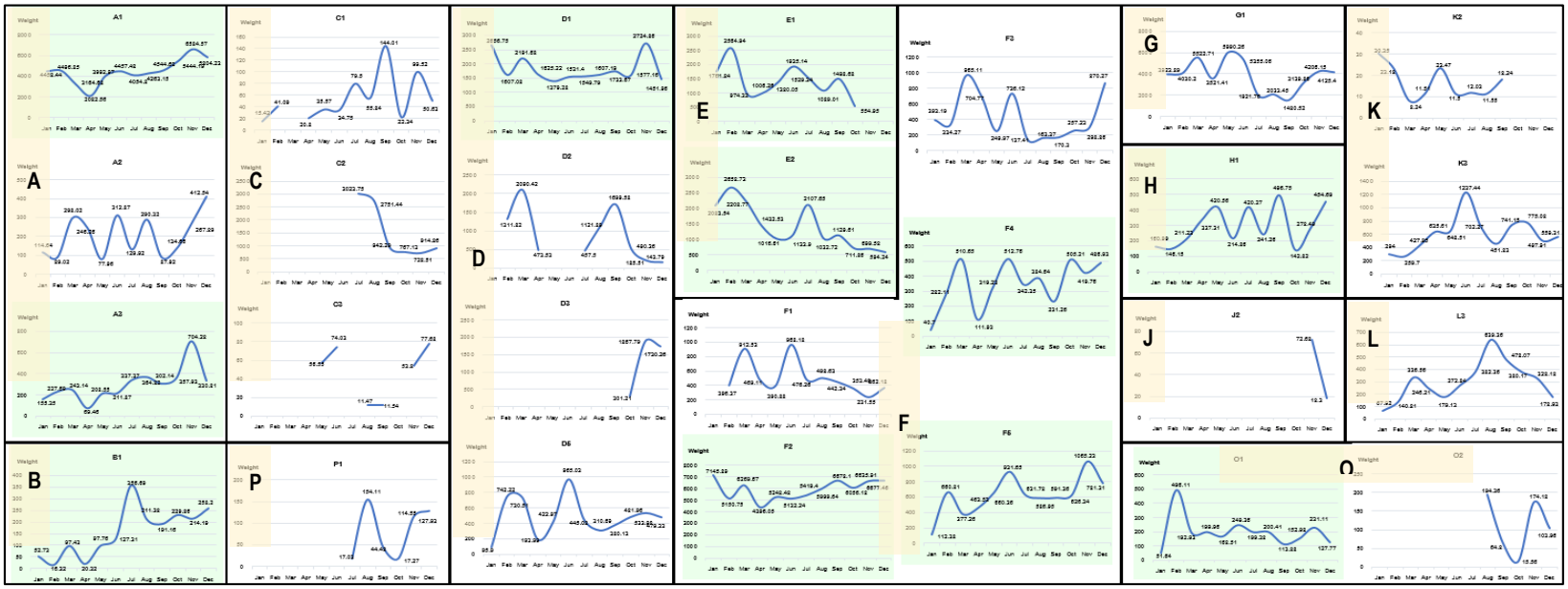
ตารางที่ 3-5 ความยุ่งยากในการวางแผนจัดการขนส่ง

| ประเด็นหลัก | สาเหตุที่ 1 | สาเหตุที่ 2 | สาเหตุที่ 3 |
|---|---|---|---|
| ตัวสินค้า | คอยล์มีขนาดใหญ่ใช้พื้นที่จัดเก็บมาก | คอยล์มีน้ำหนักมาก เคลื่อนย้ายยาก | แต่ละคอยล์มีขนาดและน้ำหนักไม่เท่ากัน |
| ลูกค้า | จำนวนลูกค้า 39 ราย | ลูกค้ามีความต้องการไม่แน่นอน | ลูกค้าไม่ได้อยู่ในพื้นที่เดียวกัน |
| การขนส่ง | เงื่อนไขในการจ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละราย | ประเภทรถที่จัดส่ง และค่าขนส่งขั้นต่ำ (ค่าปรับ) | จำนวนและน้ำหนักคอยล์ที่มากที่สุดที่รถแต่ละประเภทบรรทุกได้ |

## วิเคราะห์ข้อมูลและเลือกรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสม

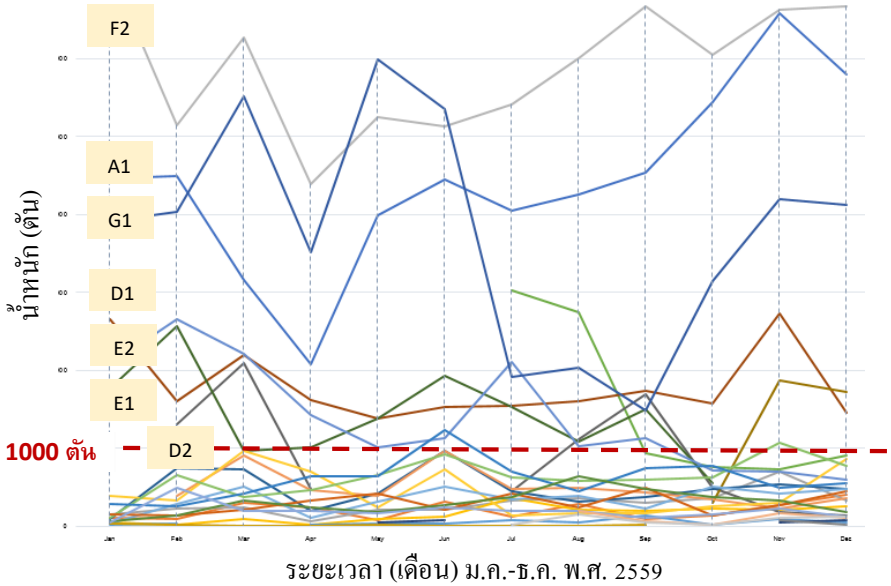
ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายในอดีต แล้วเลือกรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับการสั่งซื้อของลูกค้า เพื่อให้การพยากรณ์ในขั้นต่อไปนั้นสามารถทำนายความต้องการของลูกค้าได้อย่างแม่นยำมากที่สุด โดยขั้นตอนต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ ดังนี้

1. นำข้อมูลการสั่งซื้อของลูกค้าทุกรายในอดีต (มกราคมถึงธันวาคม 2559) ดังตารางภาคผนวก ข-1 มาวิเคราะห์ลักษณะของข้อมูลว่าข้อมูลมีรูปแบบเป็นอย่างไร เช่น เป็นแนวโน้ม (Trend) เป็นข้อมูลตามฤดูกาล (Seasonality) หรือเป็นข้อมูลแบบสุ่ม (Random) ซึ่งจากการพิจารณาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ลูกค้าแต่ละรายมีรูปแบบของข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป ส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลคงที่และมีแนวโน้มเล็กน้อย และบางส่วนที่ยังมีรูปแบบไม่ชัดเจน ดังภาพที่ 3-6 ซึ่งในแต่ละภาพกราฟย่อยแทนความต้องการของแต่ละลูกค้าในปี พ.ศ. 2559 แกน x แทนระยะเวลา (เดือน) และแกน y แทนปริมาณความต้องการของลูกค้า (ตัน) พบว่าภาพกราฟย่อยที่มีพื้นหลังสีเขียวเป็นข้อมูลที่คงที่และมีแนวโน้มเล็กน้อย




ภาพที่ 3-6 รูปแบบข้อมูลของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายย้อนหลังเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2559

ส่วนภาพที่ 3-7 เป็นภาพรวมของความต้องการของทุกลูกค้าในอดีต พบว่าลูกค้าที่มีความต้องการคอยล์มากกว่า 1,000 ตันต่อปีมีเพียง 6-7 รายเท่านั้น และเมื่อพิจารณาร่วมกับภาพที่ 3-4 พบว่าลูกค้าเหล่านี้มีรูปแบบข้อมูลที่คงที่และมีแนวโน้มเล็กน้อย




ภาพที่ 3-7 ลูกค้าที่มีความต้องการคอยล์มากกว่า 1,000 ตันต่อปี

2. ทำการพิจารณารูปแบบการพยากรณ์ที่เป็นไปได้ จากข้อมูลข้อ 2.1 และจากการทดสอบรูปแบบการพยากรณ์แบบต่าง ๆ ด้วยข้อมูลจริง พบว่ารูปแบบที่ถูกเลือกมาใช้ในการพยากรณ์ ได้แก่ การหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 4 และ 5 เดือน การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม และวิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ

3. ทำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าทุกรายโดยใช้ทุกรูปแบบการพยากรณ์จากข้อ 2 จากนั้นทำการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Mean square error: MSE)

4. เลือกรูปแบบการพยากรณ์ของลูกค้าแต่ละราย โดยพิจารณาเลือกรูปแบบการพยากรณ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด คือ ค่า MSE ที่มีค่าต่ำที่สุด

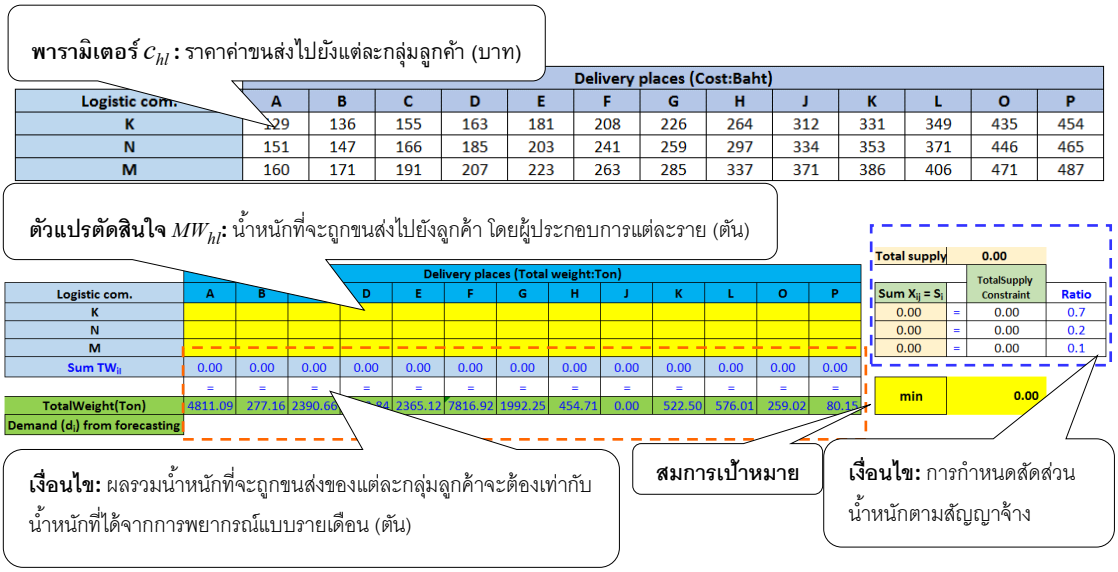
**พยากรณ์การสั่งซื้อรายเดือน**

หลังจากได้รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับแต่ละลูกค้าแล้วในขั้นตอนนี้

จะเป็นการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้ารายเดือน โดยอาศัยรูปแบบการพยากรณ์จากการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ การนำค่าที่พยากรณ์ได้ไปใช้เป็นค่าความต้องการของกลุ่มลูกค้า (Demand) ในแบบจำลองปัญหาการขนส่งขั้นตอนต่อไป

## แบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Transportation model)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำค่าความต้องการของลูกค้ารายเดือนที่ได้จากการพยากรณ์ มาใช้เป็นค่าความต้องการของกลุ่มลูกค้าในแบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Demand) จากนั้นใช้แบบจำลองปัญหาการขนส่งในการกำหนดน้ำหนักที่เหมาะสมของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายที่จะต้องขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละกลุ่มในเดือนนั้น (Supply) ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักที่ต้องขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ 1 2 และ 3 (หรือ K N และ M) คือ 70 : 20 : 10 ผลลัพธ์จากแบบจำลองนี้จะเป็นค่าขอบเขตล่าง (Lower bound) ของการหาค่าขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุด และเป็นแนวทางสำหรับแบบจำลองในขั้นตอนต่อไปในการกำหนดสัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน แบบจำลองปัญหาการขนส่งนี้มีลักษณะเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (LP) ตัวอย่างแบบจำลองปัญหาการขนส่งบน Excel model ก่อนการประมวลผล ดังภาพที่ 3-8




ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างแบบจำลองปัญหาการขนส่งบน Excel model ก่อนการประมวลผลวันแรก

สำหรับ ดัชนี ข้อมูลค่าคงที่ ตัวแปรตัดสินใจ สมการเป้าหมาย และเงื่อนไขบังคับ อธิบายดังนี้

1. ดัชนีและเซต (Indices and Sets) คือ ค่าที่ระบุลำดับของสิ่งต่าง ๆ ที่ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของพารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งระบุได้ ดังนี้

$h$ แทน ดัชนีของกลุ่มลูกค้าที่ถูกคิดราคาค่าขนส่งตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดที่เท่ากัน ดัชนี $h$ เป็นสมาชิกของเซตของกลุ่มลูกค้า $H = \{1, 2, 3, \ldots, 16\}$

$l$ แทน ดัชนีของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ ที่เป็นสมาชิกของเซตของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $L = \{1, 2, 3\}$

$I$ แทน เซตของลูกค้าทุกราย หรือ $I = \{1, 2, 3, \ldots 39\}$

$Gr_h$ แทน เซตของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ถูกคิดราคาค่าขนส่งเท่ากัน เซตของกลุ่มลูกค้า $Gr_h$ เป็นสับเซตของเซต $I$ หรือ $Gr_h \subset I$ เช่น $Gr_1 = \{A1, A2, A3\}$ $Gr_4 = \{D1, D2, D3, D4, D5\}$

2. ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters) คือ ค่าคงที่ในสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไขบังคับเป็นค่าที่ควบคุมได้ และเป็นค่าที่แน่นอน ดังนี้

$c_{hl}$ แทน ราคาค่าขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มลูกค้า $h$ โดยรถบรรทุกประเภท 18 ล้อ ของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (บาทต่อตัน)

$cw_{hl}$ แทน น้ำหนักสะสมของคอยล์จนถึงปัจจุบันตามแผนการจัดของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ถูกจัดส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (ตัน) เมื่อ $h \in H$

$f_h$ แทน ผลรวมของความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือน คือ น้ำหนักคอยล์ (ตัน) ที่กลุ่มลูกค้า $h$ ต้องการในเดือนนั้น เมื่อ $h \in H$

$p_l$ แทน ค่าสัดส่วนตามเงื่อนไขการขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ โดยมีค่าเท่ากับ 0.7 0.2 และ 0.1 สำหรับผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

$o_h$ แทน น้ำหนักคอยล์ (ตัน) ที่กลุ่มลูกค้า $h$ ต้องการ ตามการสั่งซื้อในวันนั้น ๆ

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) เป็นตัวแปรที่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในสมการเป้าหมาย ดังนี้

$MW_{hl}$ แทน น้ำหนักคอยล์รายเดือน (ตัน) ของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่จะต้องส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ เมื่อ $h \in H$

4. สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$min\ TC = \sum_{h \in H} \sum_{l \in L} c_{hl} MW_{hl} \qquad (3\text{-}1)$$

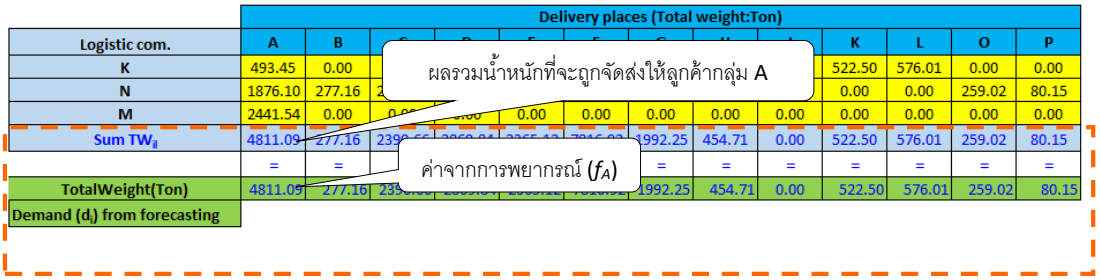
สมการที่ 3-1 เป็นสมการเป้าหมายที่กำหนดให้ค่าขนส่งรายเดือน ($TC$) ต่ำที่สุด โดยค่าขนส่งคิดจากผลรวมของค่าขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ คูณด้วยน้ำหนักรายเดือนที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ต้องทำการจัดส่งไปยังกลุ่มลูกค้า $h$ เมื่อ $h \in H$

5. เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

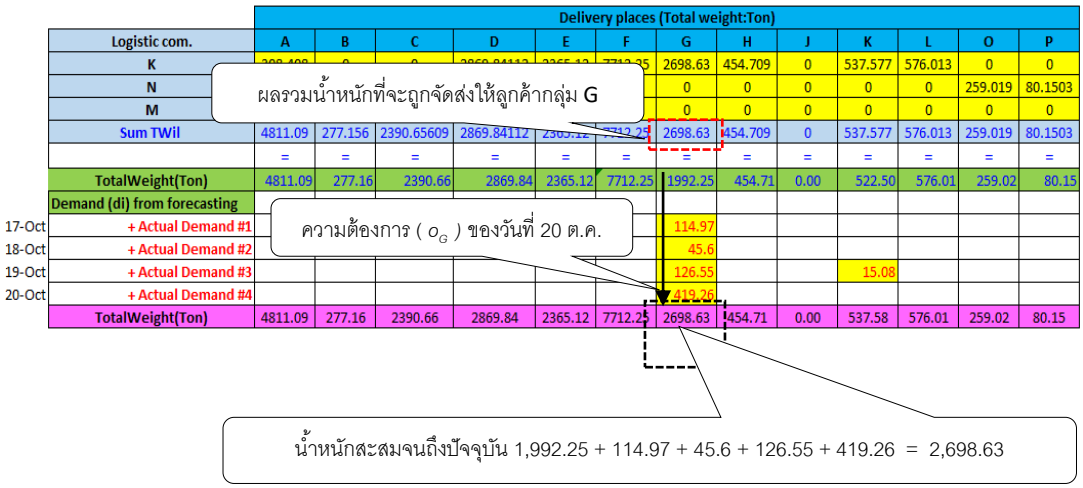
$$\sum_{l \in L} MW_{hl} = f_h \; ; \forall h \in H \tag{3-2}$$

$$\sum_{l \in L} MW_{hl} = \sum_{l \in L} cw_{hl} + o_h \; ; \forall h \in H \tag{3-3}$$

สมการที่ 3-2 และ 3-3 เป็นสมการที่จะถูกเลือกใช้เพียงสมการเดียวเท่านั้น โดยที่สมการที่ 3-2 เป็นการกำหนดว่าน้ำหนักที่จะถูกจัดส่งให้กลุ่มลูกค้า $h$ โดยทุกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ต้องเท่ากับความของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือน ดังภาพที่ 3-9 ส่วนสมการที่ 3-3 จะถูกใช้ในกรณีที่ค่าความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์แบบรายเดือนมีค่าน้อยกว่าค่าความต้องการจริง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดว่าน้ำหนักที่จะถูกจัดส่งให้กลุ่มลูกค้า $h$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ต้องเท่ากับ ผลรวมของน้ำหนักสะสมของคอยล์จนถึงปัจจุบันตามแผนการจัดของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่ถูกจัดส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ กับน้ำหนักคอยล์ที่กลุ่มลูกค้า $h$ ต้องการ ตามการสั่งซื้อในวันนั้น ๆ ดังภาพที่ 3-10




ภาพที่ 3-9 ตัวอย่างผลลัพธ์จากเงื่อนไขที่กำหนดหลังจากประมวลผลเสร็จสมบูรณ์




ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างผลลัพธ์ของวันที่ 20 ตุลาคม หลังจากประมวลผลเสร็จสมบูรณ์

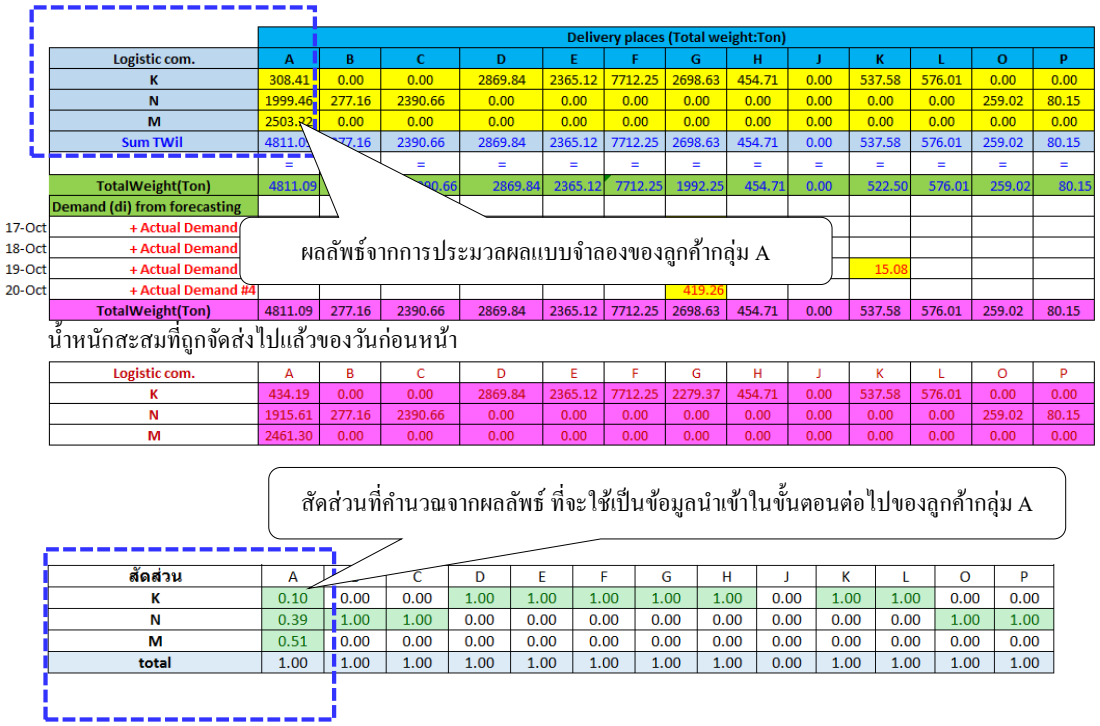
$$\sum_{h \epsilon H} MW_{hl} = p_l \sum_{h \in H} \sum_{l \in L} MW_{hl} ; \forall l \in L \quad (3\text{-}4)$$

สมการที่ 3-4 เป็นการกำหนดว่าผลรวมของน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายจัดส่ง จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขสัดส่วนในการจัดส่ง หรือ $p_l$ ของน้ำหนักทั้งหมดที่ถูกจัดส่ง

$$MW_{hl} \geq cw_{hl} ; \forall h \in H , \forall l \in L \quad (3\text{-}5)$$

สมการที่ 3-5 เป็นการกำหนดว่าน้ำหนักที่จะจัดส่งไปยังกลุ่มลูกค้า $h$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับน้ำหนักสะสมที่ถูกจัดส่งไปแล้ว ดังภาพที่ 3-10 ซึ่งน้ำหนักสะสมที่ถูกจัดส่งไปแล้วนี้จะมีค่าเป็นศูนย์ในวันแรกของการขนส่ง

เมื่อประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่งในขั้นตอนที่ 4 แล้ว ผลลัพธ์จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนต่อไป คือ ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดสัดส่วนเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่เหมาะสมกับลูกค้า เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุด เช่น การขนส่งคอยล์น้ำหนัก 4,811.09 ตัน ไปยังลูกค้า A เพื่อให้ได้ต้นทุนการขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุด จะต้องเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้ง K N และ M เป็นน้ำหนัก 308.41 ตัน 1,999.46 ตัน และ 2,503.22 ตัน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนน้ำหนัก 0.10 0.39 และ 0.51 ตามลำดับ ดังภาพที่ 3-11



| | Delivery places (Total weight:Ton) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Logistic com. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 308.41 | 0.00 | 0.00 | 2869.84 | 2365.12 | 7712.25 | 2698.63 | 454.71 | 0.00 | 537.58 | 576.01 | 0.00 | 0.00 |
| N | 1999.46 | 277.16 | 2390.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 259.02 | 80.15 |
| M | 2503.33 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum TWil | 4811.0 | 77.16 | 2390.66 | 2869.84 | 2365.12 | 7712.25 | 2698.63 | 454.71 | 0.00 | 537.58 | 576.01 | 259.02 | 80.15 |
| | = | | = | = | = | = | = | = | = | = | = | = | = |
| TotalWeight(Ton) | 4811.09 | | 90.66 | 2869.84 | 2365.12 | 7712.25 | 1992.25 | 454.71 | 0.00 | 522.50 | 576.01 | 259.02 | 80.15 |
| Demand (di) from forecasting | | | | | | | | | | | | | |
| 17-Oct + Actual Demand | | | | | | | | | | | | | |
| 18-Oct + Actual Demand | | | | | | | | | | | | | |
| 19-Oct + Actual Demand | | | | | | | | | | 15.08 | | | |
| 20-Oct + Actual Demand #4 | | | | | | | 419.26 | | | | | | |
| TotalWeight(Ton) | 4811.09 | 277.16 | 2390.66 | 2869.84 | 2365.12 | 7712.25 | 2698.63 | 454.71 | 0.00 | 537.58 | 576.01 | 259.02 | 80.15 |

ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองของลูกค้ากลุ่ม A

น้ำหนักสะสมที่ถูกจัดส่งไปแล้วของวันก่อนหน้า

| Logistic com. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 434.19 | 0.00 | 0.00 | 2869.84 | 2365.12 | 7712.25 | 2279.37 | 454.71 | 0.00 | 537.58 | 576.01 | 0.00 | 0.00 |
| N | 1915.61 | 277.16 | 2390.66 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 259.02 | 80.15 |
| M | 2461.30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

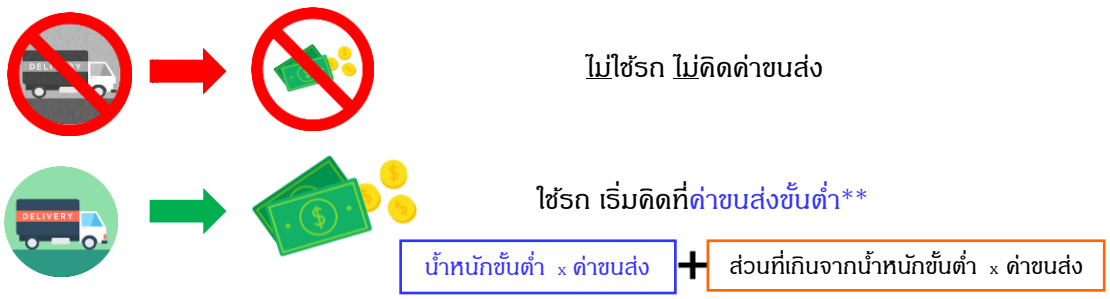
สัดส่วนที่คำนวณจากผลลัพธ์ ที่จะใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนต่อไปของลูกค้ากลุ่ม A

| สัดส่วน | A | | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| N | 0.39 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| M | 0.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| total | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

ภาพที่ 3-11 ผลลัพธ์ที่จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนต่อไปที่แสดงบน Excel model

## แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP)

ขั้นตอนนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบจำลองปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ คือ เมื่อมีการใช้รถบรรทุกจะเริ่มคิดค่าขนส่งที่น้ำหนักขั้นต่ำเสมอ และไม่คิดค่าขนส่งหากไม่มีการใช้รถบรรทุก สรุปได้ ดังภาพที่ 3-12



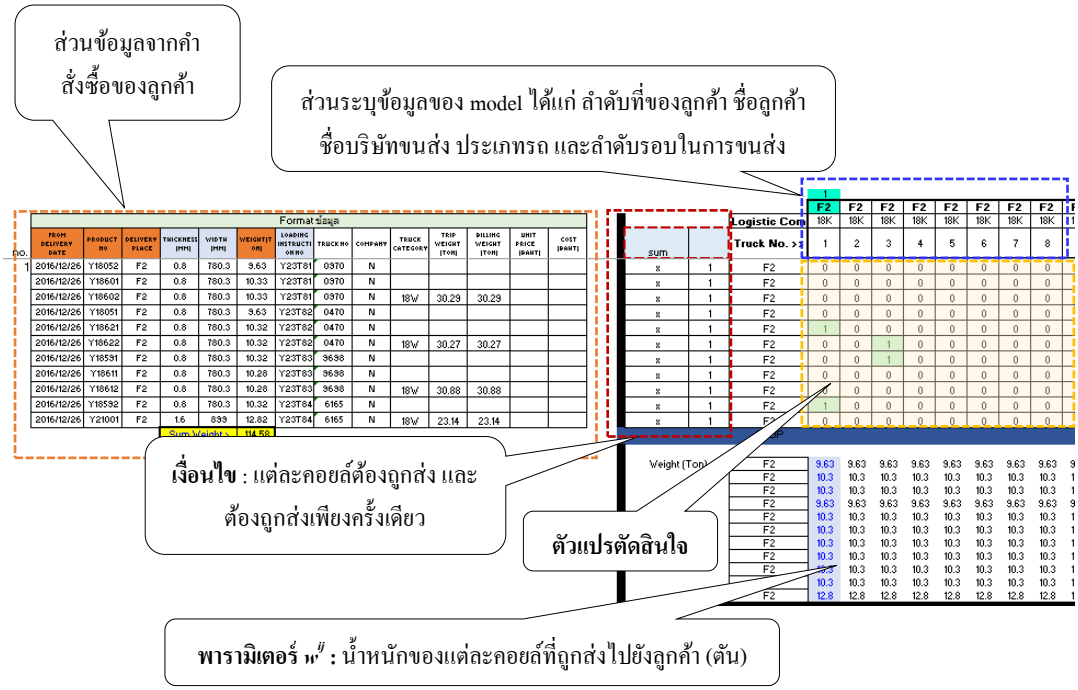

ภาพที่ 3-12 แบบจำลองปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ของปัญหาการจัดตารางขนส่งรายวัน

| วันที่ | ลูกค้า | หมายเลขคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | ประเภทรถ | รอบที่ขนส่ง | น้ำหนักจริงต่อรอบ (ตัน) | น้ำหนักที่คิดค่าขนส่ง (ตัน) | ราคาต่อตัน (บาท) | ราคาต่อรอบ (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/26 | F2 | Y18621 | 10.32 | K | 18 ล้อ | 1 | 20.64 | 22 | 208 | 4,576.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18592 | 10.32 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18622 | 10.32 | K | 18 ล้อ | 2 | 20.64 | 22 | 208 | 4,576.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18591 | 10.32 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18052 | 9.63 | K | 18 ล้อ | 3 | 29.54 | 29.54 | 208 | 6,144.32 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18051 | 9.63 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18611 | 10.28 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18601 | 10.33 | M | 18 ล้อ | 1 | 20.66 | 22 | 263 | 5,786.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18602 | 10.33 | M | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18612 | 10.28 | N | 18 ล้อ | 1 | 23.1 | 23.1 | 241 | 5,567.10 |
| 2016/12/26 | F2 | Y21001 | 12.82 | N | 18 ล้อ | | | | | |
| | | | | | | | | | รวม (บาท) | 26,649.42 |

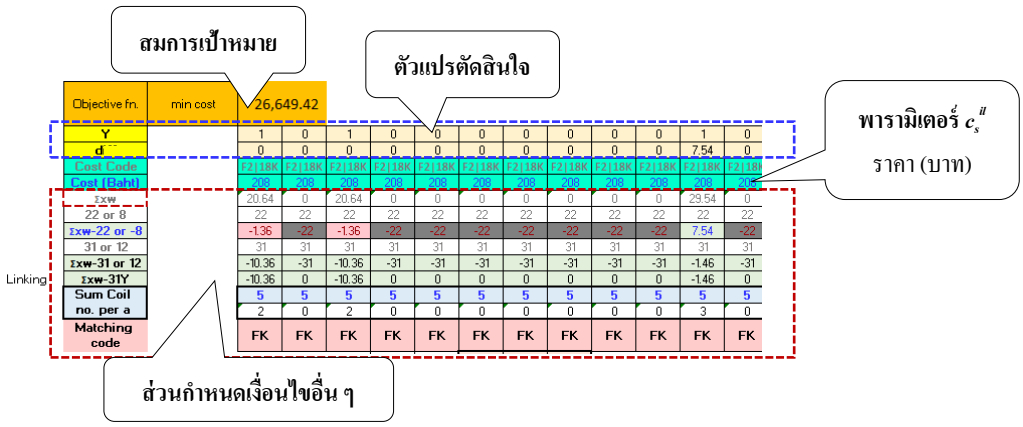
ภาพที่ 3-13 ตัวอย่างตารางการขนส่งรายวันที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการจัดการขนส่ง

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับการจัดตารางขนส่งรายวัน ในการทำให้คอยล์ทั้งหมดถูกส่งไปยังลูกค้าตามรายการและปริมาณที่กำหนดในคำสั่งซื้อ โดยมีการเลือกใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมกับลูกค้า ตามแนวทางของผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 4 และเงื่อนไขเพิ่มเติม คือ สำหรับลูกค้าที่สามารถเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ได้หลายราย กำหนดให้เลือกผู้ประกอบการ โลจิสติกส์ที่คิดราคาสูงที่สุดเป็นลำดับแรก และกรณีที่มีการจัดน้ำหนักคอยล์ไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ กำหนดให้เลือกใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่คิดราคาต่ำที่สุด นอกจากนี้ในการจัดการขนส่งนั้น สามารถเลือกใช้รถบรรทุกประเภท 10 ล้อของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K สำหรับลูกค้าทุกรายได้ เพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด ทั้งนี้การจัดตารางขนส่งจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขการขนส่งของรถบรรทุกทั้งประเภท 18 ล้อ และ 10 ล้อ ได้แก่ น้ำหนักการบรรทุกสูงสุด จำนวนคอยล์สูงสุด ปริมาณการขนส่งต่ำที่สุดของรถแต่ละเที่ยวส่ง และมีการคำนวณค่าปรับเมื่อปริมาณการขนส่งไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ ผลลัพธ์จากแบบจำลองนี้ คือ ตารางกำหนดการขนส่งสินค้ารายวัน ดังตัวอย่างภาพที่ 3-13 ที่มีข้อมูลสำหรับการจัดการขนส่ง ได้แก่ ข้อมูลของคอยล์แต่ละคอยล์ว่าจะต้องถูกส่งด้วยผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายใด อยู่บนรถบรรทุกประเภทใด และถูกขนส่งด้วยรถบรรทุกเที่ยวใด เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การดำเนินงานจัดการขนส่งเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและเต็มประสิทธิภาพ

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมนี้ ประกอบด้วย ดัชนี ข้อมูลค่าคงที่ ตัวแปรตัดสินใจ สมการเป้าหมาย และเงื่อนไขบังคับ ดังตัวอย่างภาพที่ 3-14 และ 3-15 อธิบายได้ดังนี้




ภาพที่ 3-14 ตัวอย่างแบบจำลอง MILP บน Excel model ส่วนที่ 1




ภาพที่ 3-15 ตัวอย่างแบบจำลอง MILP บน Excel model ส่วนที่ 2

1. ดัชนีและเซต (Indices and Sets) คือ ค่าที่ระบุลำดับของสิ่งต่าง ๆ ที่ถูกใช้เป็นส่วนหนึ่งของพารามิเตอร์และตัวแปรตัดสินใจ ซึ่งระบุได้ ดังนี้

$i$ แทน ดัชนีของลูกค้าที่เป็นสมาชิกของเซตของลูกค้า $I = \{1, 2, 3, \ldots, 39\}$

$j$ แทน ดัชนีของคอยล์ที่เป็นสมาชิกของเซตคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$ $J_i = \{1, 2, \ldots\}$

$s$ แทน ดัชนีของประเภทรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตประเภทรถบรรทุก $S = \{1, 2\}$

$t$ แทน ดัชนีของเที่ยวรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตรถบรรทุกประเภท $s$ ของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ที่ส่งไปยังลูกค้า $i$ $T_s^{il} = \{1, 2, \ldots\}$

2. ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters) คือ ค่าคงที่ในสมการเป้าหมาย และสมการเงื่อนไขบังคับเป็นค่าที่ควบคุมได้ และเป็นค่าที่แน่นอน ดังนี้

$c_s^{il}$ แทน ราคาค่าขนส่งของรถบรรทุกประเภท $s$ ไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ (บาทต่อตัน)

$w^{ij}$ แทน น้ำหนักที่ถูกส่งไปยังลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ (ตัน)

$minW_s$ แทน เกณฑ์น้ำหนักต่ำที่สุดที่ใช้คิดค่าขนส่งโดยมีค่าแตกต่างกันตามประเภทของรถ $s$ ซึ่งมีค่า 8 ตัน เมื่อเป็นรถบรรทุก ประเภท 10 ล้อ และ 22 ตัน เมื่อเป็นรถบรรทุกประเภท 18 ล้อ ดังสรุปในตารางที่ 3-2

$maxW_s$ แทน น้ำหนักคอยล์ที่มากที่สุด ที่รถบรรทุกแต่ละประเภทสามารถบรรทุกได้ โดยมีค่าแตกต่างกันตามประเภทของรถ $s$ ซึ่งมีค่า 12 ตัน เมื่อเป็นรถบรรทุก ประเภท 10 ล้อ และ 31 ตัน เมื่อเป็นรถบรรทุกประเภท 18 ล้อ ดังสรุปในตารางที่ 3-2

$maxN_s$ แทน จำนวนคอยล์ที่มากที่สุดที่รถบรรทุกแต่ละประเภทสามารถบรรทุกได้โดยมีค่าแตกต่างกันตามประเภทของรถ $s$ ซึ่งมีค่า 3 คอยล์ เมื่อเป็นรถบรรทุก ประเภท 10 ล้อ และ 5 คอยล์ เมื่อเป็นรถบรรทุก ประเภท 18 ล้อ ดังสรุปในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 สรุปค่าคงที่ของรถบรรทุกประเภท 10 ล้อ และ 18 ล้อ

| **ค่าคงที่** | **ประเภทรถบรรทุก ($s$)** | | |
|---|---|---|---|
| **(Parameters)** | **10 ล้อ ($s = 1$)** | **18 ล้อ ($s = 2$)** | **หน่วย** |
| $minW_s$ | 8 | 22 | ตัน |
| $maxW_s$ | 12 | 31 | ตัน |
| $maxN_s$ | 3 | 5 | คอยล์ |

$M$ แทน ค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้เพื่อกำหนดขอบเขตบน (Upper bound) ของการขนส่งบนรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ โดยกำหนดให้ $M$ มีค่าเท่ากับน้ำหนักของคอยล์ที่บรรทุกได้มากสุดบนรถหนึ่งคัน โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 31 ตัน

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables) เป็นตัวแปรที่จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในสมการเป้าหมาย ดังนี้

ตัวแปรไบนารี (Binary variables) เป็นตัวแปรที่มีค่าได้ 2 ค่า คือ 0 หรือ 1 เท่านั้น ได้แก่ ตัวแปร $X_{jst}^{il}$ และ $Y_{st}^{il}$ ดังนี้

$X_{jst}^{il}$
- 1 เมื่อคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ ถูกส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$
- 0 อื่น ๆ

$Y_{st}^{il}$
- 1 เมื่อเกิดการขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$
- 0 อื่น ๆ

$d_{st}^{il}$ แทน น้ำหนักที่ขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ คันที่ $t$ ที่เกินจากน้ำหนักขั้นต่ำของความสามารถในการบรรทุกของรถคันนั้น เช่น กรณีรถบรรทุก 18 ล้อ มีเกณฑ์น้ำหนักขั้นต่ำ คือ 22 ตัน หากน้ำหนักรวมคอยล์เหล็กบนรถเท่ากับ 28 ตัน $d_{st}^{i,l}$ จะมีค่าเป็น 28-22 = 6 ตัน เป็นต้น

4. สมการเป้าหมาย (Objective function) เป็นกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด

$$min\ Z = \sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} minW_s c_s^{il} Y_{st}^{il} + \sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} d_{st}^{il} c_s^{il} \qquad (3\text{-}6)$$

สมการที่ 3-6 เป็นค่าขนส่งรายวันที่ต่ำที่สุดคิดจาก ผลรวมของ ค่าขนส่งของน้ำหนักขั้นต่ำของรถบรรทุกที่ถูกใช้ รวมกับค่าขนส่งของส่วนที่ต่างจากน้ำหนักขั้นต่ำ

5. เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

$$\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} X_{jst}^{il}=1\ ;\ i\in I, j\in J_i \qquad (3\text{-}7)$$

สมการที่ 3-7 เป็นการกำหนดว่าเหล็กทุกคอยล์จะต้องถูกส่งโดยรถบรรทุกคันใดคันหนึ่งของบริษัทขนส่งใดบริษัทหนึ่ง และแต่ละคอยล์จะต้องถูกส่งเพียง 1 ครั้งเท่านั้น

$$\sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} w^{ij} - maxW_s \le 0\ ;\ \forall\, i\in I, \forall\, l\in L, \forall\, s\in S, \forall\, t\in T_s^{il} \qquad (3\text{-}8)$$

สมการที่ 3-8 เป็นการกำหนดว่ารถบรรทุกคันหนึ่ง สามารถบรรทุกน้ำหนักคอยล์เหล็กได้ไม่เกินค่าน้ำหนักสูงสุดที่กำหนด หรือค่า $maxW_s$

$$\sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} - maxN_s \le 0\ ;\ \forall\, i\in I, \forall\, l\in L, \forall\, s\in S, \forall\, t\in T_s^{il} \qquad (3\text{-}9)$$

สมการที่ 3-9 เป็นการกำหนดว่ารถบรรทุกคันหนึ่ง สามารถบรรทุกจำนวนคอยล์เหล็กได้ไม่เกินจำนวนที่กำหนด หรือค่า $maxN_s$

$$\sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} w^{ij} - MY_{st}^{il} \le 0\ ;\ \forall\, i\in I, \forall\, l\in L, \forall\, s\in S, \forall\, t\in T_s^{il} \qquad (3\text{-}10)$$

สมการที่ 3-10 เป็นเงื่อนไขที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ ถูกใช้ในการขนส่งจะถูกนำไปคิดค่าใช้จ่ายขั้นต่ำ ซึ่งสมการนี้เป็นสมการเงื่อนไขเชื่อมโยงระหว่างตัวแปร $X_{jst}^{il}$ และ $Y_{st}^{il}$ เช่น หาก $\sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} w^{ij} > 0$ หรือน้ำหนักคอยล์บนรถคันหนึ่งมีค่ามากกว่าศูนย์ คือ เกิดการขนส่ง จะเกิดการบังคับให้ค่า $Y_{st}^{il}$ ให้มีค่าเป็น 1 เสมอ แต่หาก $\sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} w^{ij} = 0$ หรือไม่มีคอยล์อยู่บนรถบรรทุก คือ ไม่เกิดการขนส่ง ค่า $Y_{st}^{il}$ อาจเป็นได้ทั้ง 0 หรือ 1 แต่สำหรับปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการหาค่าต่ำที่สุดนี้ จะเลือกให้ $Y_{st}^{il} = 0$ เสมอ

$$d_{st}^{il} \ge \sum_{j\in J_i} X_{jst}^{il} w^{ij} - minW_s\ ;\ \forall\, i\in I, \forall\, l\in L, \forall\, s\in S, \forall\, t\in T_s^{il} \qquad (3\text{-}11)$$

สมการที่ 3-11 ใช้ในการคำนวณค่าขนส่งของพจน์ที่สองในสมการเป้าหมายที่ 3-6

เช่น หากมีน้ำหนักบนรถประเภท 18 ล้อ อยู่ 25 ตัน ผลต่างจากเกณฑ์น้ำหนักขั้นต่ำ จะเท่ากับ 25 - 22 = 3 ตัน คือ $d_{st}^{il}$ จะมีค่าเป็น 3 และเกิดการคิดค่าขนส่งในพจน์ที่สองของสมการเป้าหมายที่ 3-6

$$\text{และ } d_{st}^{il} \geq 0 \tag{3-12}$$

สมการที่ 3-12 ใช้ในการคำนวณเพื่อไม่ให้เกิดการคิดค่าขนส่งของพจน์ที่สองในสมการเป้าหมายที่ 3-6 หากมีการบรรทุกน้ำหนักต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ ($minW_s$)

เช่น กรณีที่มีน้ำหนักบนรถประเภท 18 ล้อ อยู่ไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ คือ มีเพียง 19 ตัน ผลต่างจากเกณฑ์น้ำหนักขั้นต่ำ หรือ 22 จะเท่ากับ 19 - 22 = -3 ตัน เมื่อพิจารณาสมการที่ 3-12 พบว่าค่าผลต่าง $d_{st}^{il}$ มีค่าเป็นศูนย์ได้เท่านั้น (ไม่สามารถเป็น -3) จึงไม่เกิดการคิดค่าขนส่งในพจน์ที่สองของสมการเป้าหมายที่ 3-6

$$\sum_{i \in Gr_h} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w^{ij} + cw_{hl} \leq MW_{hl}\,; \forall\, i \in Gr_h, \forall\, l \in L \tag{3-13}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าการจัดทำตารางขนส่งในแต่ละวันยังคงเป็นไปตามแนวทางของผลลัพธ์ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 4 สมการที่ 3-13 จึงเป็นการกำหนดว่าผลรวมของน้ำหนักจริงที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ จะขนส่งให้กลุ่มลูกค้า $Gr_h$ กับน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบันจะต้องไม่เกินค่าน้ำหนักรายเดือนของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่จะต้องถูกส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ที่หาได้จากขั้นตอนที่ 4

$$\sum_{i \in Gr_h} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w^{ij} + cw_{hl} \leq 0.9\, p_l \sum_{h \in H} \sum_{l \in L} f_{hl}\,; \forall\, l \in L \tag{3-14}$$

เพื่อให้มั่นใจว่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ยังคงเป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาจ้าง ดังนั้นผลรวมของน้ำหนักจริงที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ จะขนส่งให้กลุ่มลูกค้า $Gr_h$ กับน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบัน จึงต้องไม่เกินผลคูณของค่าจากการพยากรณ์กับค่าสัดส่วนตามเงื่อนไขการขนส่งของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ โดยกำหนดให้ความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 10 ดังสมการที่ 3-14

ส่วนขั้นตอนการจัดตารางการขนส่งในวันถัด ๆ ไป จะต้องตรวจสอบน้ำหนักสะสมของน้ำหนักที่ถูกขนส่งไปจนถึงปัจจุบันแล้ว ว่ายังมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักรายเดือนหรือไม่ หากยังมีค่าน้อยกว่าสามารถนำข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้า เข้าสู่แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมได้ทันที แต่หากน้ำหนักสะสมของน้ำหนักที่ถูกขนส่งไปแล้วมีค่าเกินน้ำหนักรายเดือนให้กลับไปทำซ้ำ เพื่อคำนวณน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายจะต้องขนส่งไปยังลูกค้ารายเดือนใหม่อีกครั้งหนึ่ง ส่วนการจัดตารางการขนส่งในเดือนถัดไป จะเริ่มที่การพยากรณ์การสั่งซื้อ

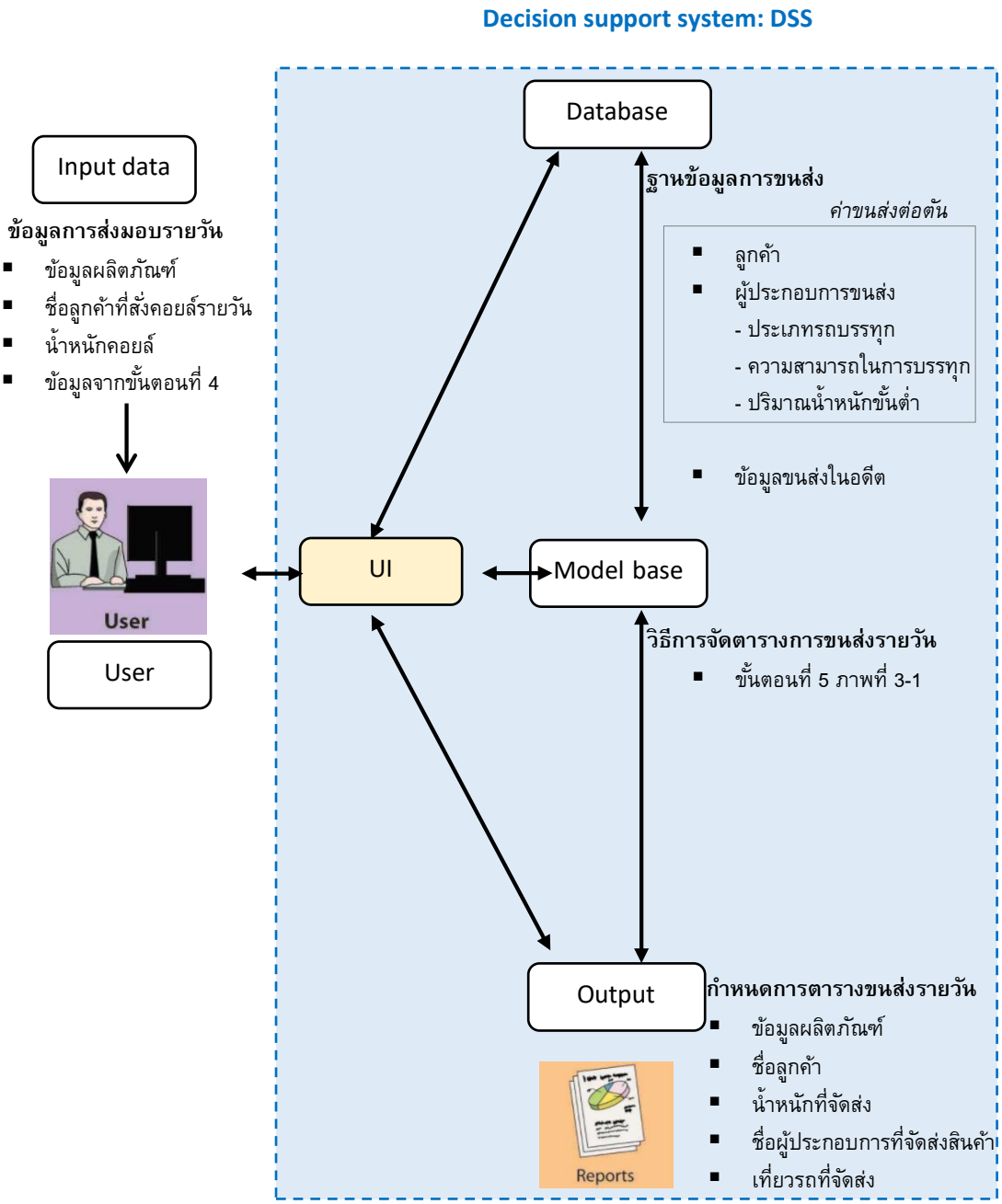
การประมวลผลหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้น จะมีการใช้โอเพนซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่จำกัดจำนวนตัวแปรในการตัดสินใจ คือ OpenSolver 2.8.6 ที่ทำงานได้บนไมโครอฟท์เอ็กเซล ซึ่งสามารถดาวน์โหลดมาใช้ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม โดยปกติ OpenSolver ใช้ซอฟท์แวร์ประมวลผล (Solver engine language) เป็น CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) ที่พัฒนาโดย COIN-OR (The computational infrastructure for operations research foundation) แต่สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล Gurobi 7.0.2 (Academic version) เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลแบบจำลอง MILP ที่มีประสิทธิภาพสูง งานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับประมวลผล 2 ค่าที่ได้จากการทดลอง คือ เปอร์เซ็นต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch-and-bound percentage tolerance) เท่ากับ 0.01 เปอร์เซ็นต์ และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) กำหนดเท่ากับ 900 วินาที รายละเอียด ดังภาคผนวก จ

การประมวลผลแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมมีข้อจำกัด คือ สามารถใช้ประมวลผลและให้ผลลัพธ์อย่างสมบูรณ์กับเฉพาะข้อมูลในช่วงหนึ่งของเดือนเท่านั้น สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม จะอธิบายต่อไปในบทที่ 4

**ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system: VBA)**

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่พัฒนาออกแบบให้บันทึกข้อมูลนำเข้า สั่งการจัดตารางการขนส่ง และแสดงผลตารางการขนส่งบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล ทำให้ผู้ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ไมโครซอฟท์เอกเซลในการทำงานประจำวันอยู่แล้ว สามารถใช้งานได้ง่ายและสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงการสื่อสารกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ตามที่ต้องการ ข้อมูลนำเข้าหลัก (Input data) สำหรับจัดตารางขนส่งรายวัน ได้แก่ แผนการส่งมอบรายวัน ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลคอยล์ที่ต้องส่งมอบ อาทิ ชื่อผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ชื่อลูกค้า น้ำหนักคอยล์ และข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ส่วนข้อมูลนำเข้าที่เป็นค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสัญญาจ้างของผู้ประกอบการ

ขนส่งแต่ละราย เช่น จำนวนผู้ประกอบการขนส่ง ค่าขนส่งต่อตัน น้ำหนักการขนส่งต่ำที่สุดและสูงที่สุดต่อเที่ยวการขนส่ง เป็นต้น โปรแกรมจัดตารางการขนส่งถูกออกแบบในรูปแบบที่มีทางเลือกในการสื่อสารกับตัวคำนวณหาผลลัพธ์ เพื่อให้ได้ข้อมูลส่งออก (Output) ที่เป็นตารางการขนส่งตามที่ผู้ใช้ต้องการ สรุปได้ ดังภาพที่ 3-16

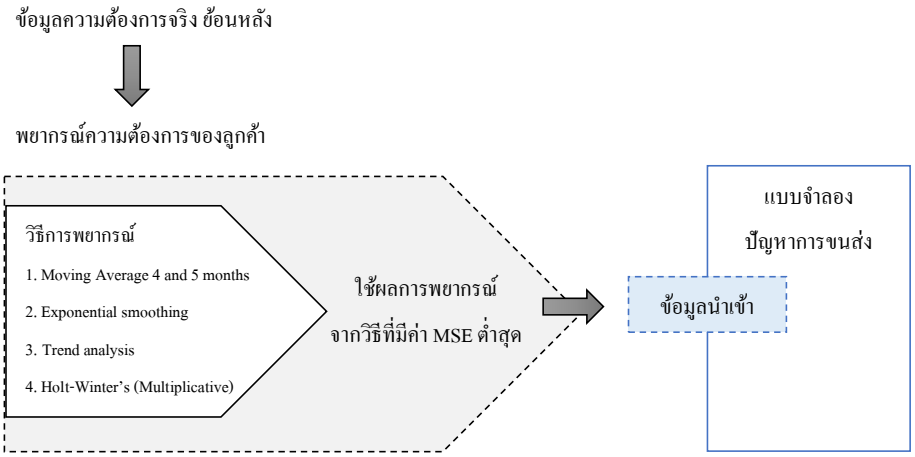



ภาพที่ 3-16 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

# บทที่ 4
# ผลการวิจัย

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการวิจัย ดังที่อธิบายไว้ในบทที่ 3 นั้น จะใช้การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ กับข้อมูลการขนส่งจริง 59 วันในสามเดือน คือ เดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2559 รายละเอียดของการได้มาซึ่งผลลัพธ์ในแต่ละขั้นตอนและผลลัพธ์จากการวิจัยแสดงตามขั้นตอน ได้แก่ การพยากรณ์การสั่งซื้อแบบรายเดือน การใช้แบบจำลองปัญหาการขนส่ง การใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม และระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

## การพยากรณ์การสั่งซื้อแบบรายเดือน




ภาพที่ 4-1 ขั้นตอนการพยากรณ์

การพยากรณ์ความต้องการรายเดือนของลูกค้า ใช้ข้อมูลความต้องการจริงของลูกค้าย้อนหลัง ตามข้อมูลในตารางภาคผนวก ข-1 โดยทำการพยากรณ์ 4 วิธี คือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 4 และ 5 เดือน การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม และวิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ จากการวิเคราะห์ในบทที่ 3 พบว่า 4 วิธีนี้มีความเหมาะสมและครอบคลุมทุกรูปแบบข้อมูลที่เป็นไปได้ของลูกค้าทุกราย จากนั้นเลือกผลการพยากรณ์จากวิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MSE ต่ำสุด ไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในขั้นตอนต่อไป รูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมของแต่ละลูกค้าในแต่ละเดือนสรุปได้ ดังตารางภาคผนวก ข-2

ซึ่งพบว่าวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลส่วนใหญ่ คือ วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม ดังตารางที่ 4-1

สำหรับขั้นตอนการพยากรณ์นี้สรุปเป็นภาพรวมได้ ดังภาพที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 จำนวนลูกค้าที่เหมาะกับการพยากรณ์แต่ละรูปแบบในแต่ละเดือน

| **การพยากรณ์** | **จำนวนลูกค้าที่เหมาะกับการพยากรณ์แต่ละรูปแบบ (ราย)** | | |
|---|---|---|---|
| | **ต.ค.** | **พ.ย.** | **ธ.ค.** |
| วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม | 21 | 24 | 25 |
| วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 4 เดือน | 2 | 1 | 0 |
| วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 5 เดือน | 1 | 0 | 0 |
| วิธีของโฮลต์และวินเทอร์ เชิงคูณ | 1 | 1 | 2 |
| ข้อมูลไม่เพียงพอต่อการพยากรณ์* | 2 | 1 | 0 |
| รวม | 27 | 27 | 27 |

หมายเหตุ: *ไม่มีข้อมูลในอดีตในรอบ 12 เดือน จึงใช้ค่าความต้องการจากการพยากรณ์เป็นศูนย์

ผลการพยากรณ์จากวิธีที่มีค่า MSE ต่ำสุดของเดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ดังตารางภาคผนวก ข-3 ถึง ข-5 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลความต้องการจริงในแต่ละเดือนมีตั้งแต่ 3.39 ถึง 18.65 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ ดังตารางที่ 4-2 ส่วนผลจากการพยากรณ์ที่สรุปเป็นค่าความต้องการของลูกค้าแบบรายกลุ่มที่มีอัตราค่าขนส่งเท่ากัน จะถูกนำไปใช้ต่อในแบบจำลองปัญหาการขนส่ง สรุปได้ ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-2 ความคลาดเคลื่อนของผลการพยากรณ์กับข้อมูลความต้องการจริงในแต่ละเดือน

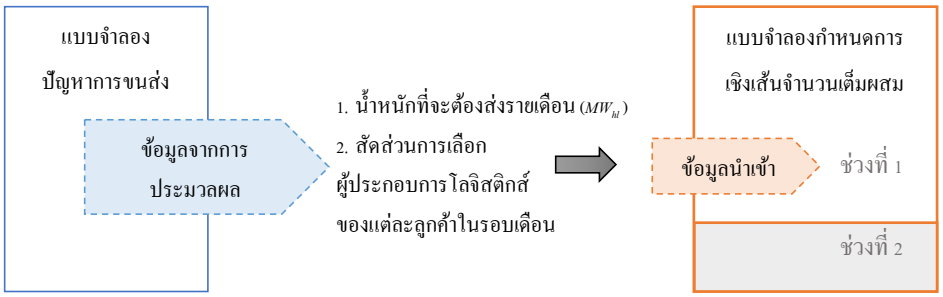
| **เดือน** | **ต.ค.** | **พ.ย.** | **ธ.ค.** |
|---|---|---|---|
| ความคลาดเคลื่อน | 3.39 เปอร์เซ็นต์ | -18.65 เปอร์เซ็นต์ | 5.47 เปอร์เซ็นต์ |

หมายเหตุ: *ค่าติดลบ หมายถึง ค่าพยากรณ์มีค่าน้อยกว่าค่าความต้องการจริง

ตารางที่ 4-3 ความต้องการของลูกค้าแบบรายกลุ่มที่ได้จากการพยากรณ์

| กลุ่มลูกค้า | น้ำหนักจากการพยากรณ์ (ตัน) | | |
|---|---|---|---|
| | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
| A | 4,811.09 | 5,350.63 | 6,303.52 |
| B | 277.16 | 287.64 | 287.76 |
| C | 2,390.66 | 2,066.13 | 1,864.09 |
| D | 2,869.84 | 2,715.72 | 6,330.03 |
| E | 2,365.12 | 1,567.22 | 994.66 |
| F | 7,693.78 | 7,772.17 | 8,134.08 |
| G | 1,992.25 | 2,099.10 | 2,575.69 |
| H | 454.71 | 362.02 | 346.70 |
| J | - | - | 26.43 |
| K | 522.50 | 702.43 | 845.60 |
| L | 576.01 | 551.92 | 514.12 |
| O | 259.02 | 227.27 | 291.51 |
| P | 80.15 | 66.24 | 91.61 |
| รวม | 24,292.29 | 23,768.48 | 28,605.81 |

## แบบจำลองปัญหาการขนส่ง




ภาพที่ 4-2 ขั้นตอนแบบจำลองปัญหาการขนส่ง

ขั้นตอนนี้ ดังภาพที่ 4-2 เป็นการนำข้อมูลค่าความต้องการของลูกค้าแบบรายกลุ่มที่ได้จากการพยากรณ์มาใช้เป็นตัวกำหนดค่าความต้องการ (Demand) บนแบบจำลอง แล้วกำหนดให้น้ำหนักที่จะถูกจัดส่ง (Supply) ต้องมีค่าเท่ากับค่าความต้องการนั้น จากนั้นประมวลผลแบบจำลองด้วยข้อมูลความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์ของเดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่อธิบายไว้อย่างละเอียดในบทที่ 3 ได้ผลลัพธ์ค่าขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุดที่เป็นค่า Lower bound และเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้นี้กับผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองด้วยข้อมูลความต้องการจริงเพื่อดูผลในกรณีที่การพยากรณ์ไม่มีความคลาดเคลื่อน พบว่าความแม่นยำของการพยากรณ์ส่งผลต่อค่าส่วนต่างของค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่เกิด ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง

| ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาท) | | | ส่วนต่าง | |
|---|---|---|---|---|
| **เดือน** | **ข้อมูลความต้องการจริง** | **ข้อมูลความต้องการจากการพยากรณ์** | **ส่วนต่าง (บาท)** | **ส่วนต่าง (เปอร์เซ็นต์)** |
| ตุลาคม | 4,620,147.49 | 4,794,034.16 | 173,886.68 | 3.76 |
| พฤศจิกายน | 5,688,413.87 | 4,665,709.62 | 1,022,704.25 | 17.98 |
| ธันวาคม | 5,328,027.49 | 5,541,202.09 | 213,174.60 | 4.00 |

นอกจากนี้การประมวลผลข้อมูลความต้องการที่ได้จากการพยากรณ์ ทำให้ได้แนวทางในการกำหนดสัดส่วนในการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในแต่ละเดือน คือ เดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ซึ่งพบว่าผลลัพธ์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ กลุ่มลูกค้าที่เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K ได้แก่ D E F G H J K L กลุ่มลูกค้าที่เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N ได้แก่ B C O P ส่วนกลุ่มลูกค้า A เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย ดังตัวอย่างภาพที่ 4-3 ถึง 4-5 ข้อมูลสัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายและข้อมูลน้ำหนักคอยล์รายเดือนของกลุ่มลูกค้า $h$ ที่จะต้องส่งโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ($MW_{hl}$) ตามภาพตัวอย่างนี้จะถูกนำไปใช้ในแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ในขั้นตอนต่อไป

| | Delivery places (Total weight:Ton) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Logistic com. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 493.45 | 0 | 0 | 2869.8 | 2365.1 | 7816.9 | 1992.3 | 454.71 | 0 | 522.5 | 576.01 | 0 | 0 |
| N | 1876.1 | 277.16 | 2390.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 259.02 | 80.15 |
| M | 2441.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 4811.1 | 277.16 | 2390.7 | 2869.8 | 2365.1 | 7816.9 | 1992.3 | 454.71 | 0 | 522.5 | 576.01 | 259.02 | 80.15 |

| | Delivery places | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วน | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 0.10 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| N | 0.39 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| M | 0.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| total | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

ภาพที่ 4-3 สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนตุลาคม

| | Delivery places (Total weight:Ton) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Logistic com. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 867.37 | 0 | 0 | 2715.7 | 1567.2 | 7772.2 | 2099.1 | 362.02 | 0 | 702.43 | 551.92 | 0 | 0 |
| N | 2106.4 | 287.64 | 2066.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 227.27 | 66.237 |
| M | 2376.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 5350.6 | 287.64 | 2066.1 | 2715.7 | 1567.2 | 7772.2 | 2099.1 | 362.02 | 0 | 702.43 | 551.92 | 227.27 | 66.237 |

| | Delivery places | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วน | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| N | 0.39 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| M | 0.44 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| total | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

ภาพที่ 4-4 สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนพฤศจิกายน

| | Delivery places (Total weight:Ton) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Logistic com. | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 256.75 | 0 | 0 | 6330 | 994.66 | 8134.1 | 2575.7 | 346.7 | 26.429 | 845.6 | 514.12 | 0 | 0 |
| N | 3186.2 | 287.76 | 1864.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 291.51 | 91.614 |
| M | 2860.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sum | 6303.5 | 287.76 | 1864.1 | 6330 | 994.66 | 8134.1 | 2575.7 | 346.7 | 26.429 | 845.6 | 514.12 | 291.51 | 91.614 |

| | Delivery places | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สัดส่วน | A | B | C | D | E | F | G | H | J | K | L | O | P |
| K | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 |
| N | 0.51 | 1.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 1.00 |
| M | 0.45 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| total | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

ภาพที่ 4-5 สัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ของเดือนธันวาคม

## แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

การทดลองใช้ข้อมูลความต้องการจริงเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองปัญหาการขนส่ง แล้วใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดการขนส่งรายวัน จนครบทุกวันในแต่ละเดือนพบว่า สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการจัดการขนส่งแบบเดิมลงได้ ดังภาพที่ 4-6 โดยที่

สัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทุกรายเป็นไปตามสัญญาจ้าง ดังตารางภาคผนวก ค-1 และตัวอย่างภาพที่ 4-7

| เดือน | ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท) | | ลดลง (บาท) | ลดลง (%) | ค่า Lower bound จากการใช้ข้อมูลจริงประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง |
|---|---|---|---|---|---|
| | แบบเดิม | ** แบบจำลองปัญหาการขนส่งและMILP | | | |
| ตุลาคม | 4,916,231 | 4,713,923 | 202,308 | 4.12% | 4,620,147 |
| พฤศจิกายน | 6,019,962 | 5,833,046 | 186,915 | 3.10% | 5,688,414 |
| ธันวาคม | 5,595,203 | 5,400,482 | 194,721 | 3.48% | 5,328,027 |
| รวม | 16,531,395 | 15,947,451 | 583,944 | 3.53% | |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 5,510,465 | 5,315,817 | 194,648 | 3.53% | |
| **จากการใช้ข้อมูลจริงในการทดสอบแบบจำลองปัญหาการขนส่ง และ MILP | | | | | |

ภาพที่ 4-6 ผลลัพธ์จากการทดลองแบบจำลองปัญหาการขนส่งและMILP ด้วยข้อมูลจริง

| ลำดับที่ | วันที่ | น้ำหนักสะสม (ตัน) | | | สัดส่วนสะสม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M | K: 70% | N: 20% | M: 10% |
| 1 | 10/3/2016 | 1,038.83 | 228.00 | - | 82.00% | 18.00% | 0.00% |
| 2 | 10/4/2016 | 2,180.10 | 364.79 | 344.79 | 75.44% | 12.62% | 11.93% |
| 3 | 10/5/2016 | 3,452.27 | 686.17 | 344.79 | 77.00% | 15.31% | 7.69% |
| 4 | 10/6/2016 | 4,570.90 | 1,048.50 | 344.79 | 76.64% | 17.58% | 5.78% |
| 5 | 10/7/2016 | 5,325.89 | 1,048.50 | 521.07 | 77.24% | 15.21% | 7.56% |
| 6 | 10/10/2016 | 5,952.16 | 1,067.81 | 883.54 | 75.31% | 13.51% | 11.18% |
| 7 | 10/11/2016 | 6,932.71 | 1,854.01 | 883.54 | 71.69% | 19.17% | 9.14% |
| 8 | 10/12/2016 | 7,747.34 | 2,018.96 | 1,214.76 | 70.55% | 18.39% | 11.06% |
| 9 | 10/13/2016 | 8,863.41 | 2,567.91 | 1,214.76 | 70.09% | 20.31% | 9.61% |
| 10 | 10/14/2016 | 9,537.12 | 2,681.39 | 1,491.27 | 69.56% | 19.56% | 10.88% |
| 11 | 10/17/2016 | 10,153.23 | 2,939.53 | 1,491.27 | 69.62% | 20.16% | 10.23% |
| 12 | 10/18/2016 | 10,620.74 | 3,273.12 | 1,491.27 | 69.03% | 21.27% | 9.69% |
| 13 | 10/19/2016 | 11,277.66 | 3,423.64 | 1,665.67 | 68.90% | 20.92% | 10.18% |
| 14 | 10/20/2016 | 12,668.20 | 3,870.24 | 1,665.67 | 69.59% | 21.26% | 9.15% |
| 15 | 10/21/2016 | 13,564.07 | 3,870.24 | 1,991.87 | 69.82% | 19.92% | 10.25% |
| 16 | 10/25/2016 | 14,652.44 | 4,191.14 | 1,991.87 | 70.32% | 20.12% | 9.56% |
| 17 | 10/26/2016 | 15,402.97 | 4,622.33 | 2,014.57 | 69.89% | 20.97% | 9.14% |
| 18 | 10/27/2016 | 15,827.55 | 4,622.33 | 2,259.72 | 69.70% | 20.35% | 9.95% |
| 19 | 10/28/2016 | 16,412.09 | 4,646.63 | 2,325.93 | 70.18% | 19.87% | 9.95% |
| 20 | 10/31/2016 | 16,496.61 | 4,672.11 | 2,345.55 | 70.16% | 19.87% | 9.98% |

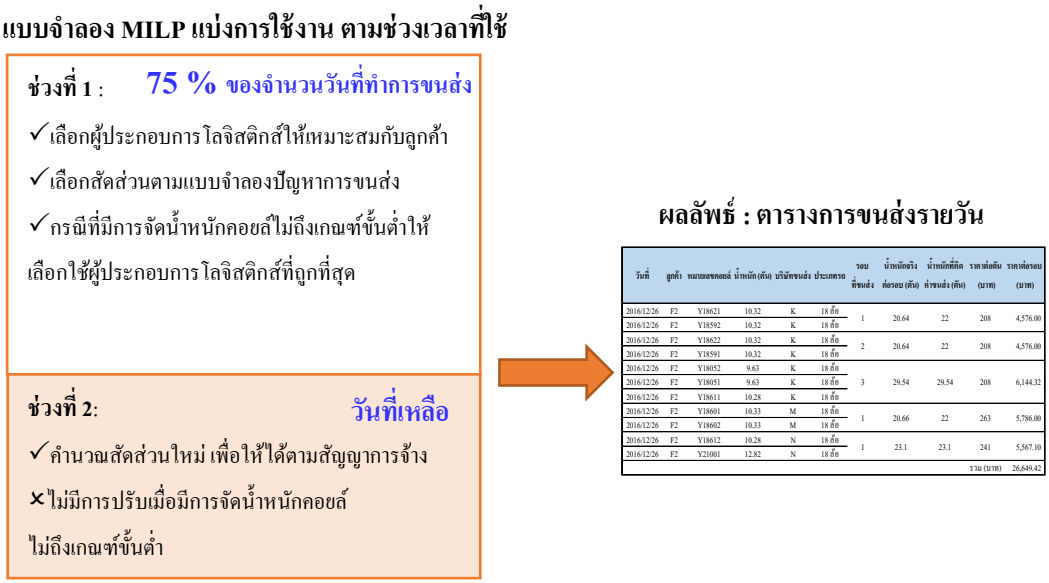
ภาพที่ 4-7 สัดส่วนที่ได้จากการประมวลผลด้วยข้อมูลความต้องการจริงเดือนตุลาคม

แต่เมื่อใช้ข้อมูลความต้องการจากการพยากรณ์ประมวลผลลัพธ์ พบว่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายไม่เป็นไปตามสัญญาจ้างในช่วงสิ้นเดือน ดังภาพที่ 4-8 ซึ่งเป็นผลมาจากความคลาดเคลื่อนจากค่าพยากรณ์

ดังนั้นในช่วงท้ายของเดือน หรือหลังจากประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวันที่ทำการขนส่ง จึงจำเป็นต้องมีวิธีในการปรับสมดุลของสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์เพื่อชดเชยสัดส่วนที่คลาดเคลื่อนไปจากการใช้ค่าจากการพยากรณ์ในการประมวลผล ดังภาพที่ 4-9 ซึ่งในช่วงที่ 2 นี้ จะไม่มีการเลือกใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่คิดราคาต่ำที่สุด ในกรณีที่มีการจัดน้ำหนักคอยล์ไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ เพราะจะทำให้ไม่สามารถจัดสมดุลของสัดส่วนน้ำหนักได้ รายละเอียดอื่น ๆ ที่เพิ่มเติมจากบทที่ 3 ได้แก่ ข้อมูลค่าคงที่ และเงื่อนไขบังคับ อธิบายได้ ดังนี้

| ลำดับที่ | วันที่ | น้ำหนักสะสม (ตัน) | | | สัดส่วนสะสม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M | K: 70% | N: 20% | M: 10% |
| 1 | 10/3/2016 | 1,038.83 | 19.38 | 208.62 | 82.00% | 1.53% | 16.47% |
| 2 | 10/4/2016 | 2,180.10 | 156.17 | 553.41 | 75.44% | 5.40% | 19.15% |
| 3 | 10/5/2016 | 3,494.49 | 173.44 | 815.30 | 77.95% | 3.87% | 18.19% |
| 4 | 10/6/2016 | 4,613.12 | 249.23 | 1,101.84 | 77.35% | 4.18% | 18.47% |
| 5 | 10/7/2016 | 5,368.11 | 249.23 | 1,278.12 | 77.85% | 3.61% | 18.54% |
| 6 | 10/10/2016 | 5,994.38 | 268.54 | 1,640.59 | 75.84% | 3.40% | 20.76% |
| 7 | 10/11/2016 | 6,994.35 | 499.27 | 2,176.64 | 72.33% | 5.16% | 22.51% |
| 8 | 10/12/2016 | 7,808.98 | 995.44 | 2,176.64 | 71.11% | 9.07% | 19.82% |
| 9 | 10/13/2016 | 8,946.36 | 1,523.08 | 2,176.64 | 70.74% | 12.04% | 17.21% |
| 10 | 10/14/2016 | 9,660.47 | 1,872.67 | 2,176.64 | 70.46% | 13.66% | 15.88% |
| 11 | 10/17/2016 | 10,276.58 | 1,872.67 | 2,434.78 | 70.46% | 12.84% | 16.69% |
| 12 | 10/18/2016 | 10,744.09 | 2,206.26 | 2,434.78 | 69.83% | 14.34% | 15.83% |
| 13 | 10/19/2016 | 11,417.70 | 2,514.49 | 2,434.78 | 69.76% | 15.36% | 14.88% |
| 14 | 10/20/2016 | 12,808.24 | 2,961.09 | 2,434.78 | 70.36% | 16.27% | 13.37% |
| 15 | 10/21/2016 | 13,747.06 | 3,119.57 | 2,559.55 | 70.77% | 16.06% | 13.18% |
| 16 | 10/25/2016 | 15,012.68 | 3,263.22 | 2,559.55 | 72.05% | 15.66% | 12.28% |
| 17 | 10/26/2016 | 15,992.64 | 3,376.69 | 2,670.54 | 72.56% | 15.32% | 12.12% |
| 18 | 10/27/2016 | 16,624.10 | 3,414.96 | 2,670.54 | 73.20% | 15.04% | 11.76% |
| 19 | 10/28/2016 | 17,208.64 | 3,439.26 | 2,736.75 | 73.59% | 14.71% | 11.70% |
| 20 | 10/31/2016 | 17,293.16 | 3,464.74 | 2,756.37 | 73.54% | 14.73% | 11.72% |

ภาพที่ 4-8 สัดส่วนที่ได้จากการประมวลผลด้วยข้อมูลจากการพยากรณ์เดือนตุลาคม




ภาพที่ 4-9 แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่ถูกแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ช่วง

1. ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters) ส่วนที่เพิ่มเติมจากบทที่ 3 ดังนี้

$rw_l$ แทน น้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ยังสามารถขนส่งได้ โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ยังเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง (ตัน)

$ap_l$ แทน ค่าสัดส่วนที่ใช้กำหนดในแบบจำลองเพื่อปรับสัดส่วนน้ำหนักในช่วงสิ้นเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ เป็นไปตามเงื่อนไข 0.7 0.2 และ 0.1 สำหรับผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

$minAP_l$ แทน ค่าสัดส่วนต่ำที่สุด ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อทำให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาจ้าง เมื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนเป็น 10 เปอร์เซ็นต์

$maxAP_l$ แทน ค่าสัดส่วนสูงที่สุด ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง เพื่อทำให้ค่าสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาจ้าง เมื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนเป็น 10 เปอร์เซ็นต์

2. เงื่อนไขบังคับ (Constraints) เงื่อนไขบังคับส่วนที่เพิ่มเติมในช่วงที่ 2 นี้เป็นเงื่อนไขบังคับที่ใช้เพื่อการปรับสมดุลของสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์เพื่อชดเชยสัดส่วนที่คลาดเคลื่อนไปจากการใช้ค่าจากการพยากรณ์ในการประมวลผล

$$rw_l = p_l\left(\sum_{h\in H}\sum_{l\in L} cw_{hl} + \sum_{h\in H} o_h\right) - \sum_{h\in H} cw_{hl} \;;\; \forall l \in L \qquad (4\text{-}1)$$

สมการที่ 4-1 เป็นการคำนวณหาค่าน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ยังสามารถขนส่งได้ โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ยังเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง โดยคำนวณจากผลต่างของค่าน้ำหนักที่จะทำให้ได้ตามสัดส่วน กับค่าน้ำหนักสะสมที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* แต่ละรายส่งไปแล้วจนถึงปัจจุบัน

แต่การใช้ค่าจากการพยากรณ์ในการประมวลผลนั้น อาจส่งผลให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* มากเกินกว่าความต้องการที่เกิดขึ้นจริง จะทำให้ค่า $rw_l$ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ซึ่งหากยังเลือกใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ในการขนส่ง จะทำให้ไม่สามารถปรับสัดส่วนน้ำหนักให้เป็นไปตามสัญญาจ้างได้ในช่วงสิ้นเดือนได้ ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดให้ค่า $ap_l$ มีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่ให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* เมื่อค่า $rw_l$ มีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับศูนย์ ดังตัวอย่างของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ภาพที่ 4-10

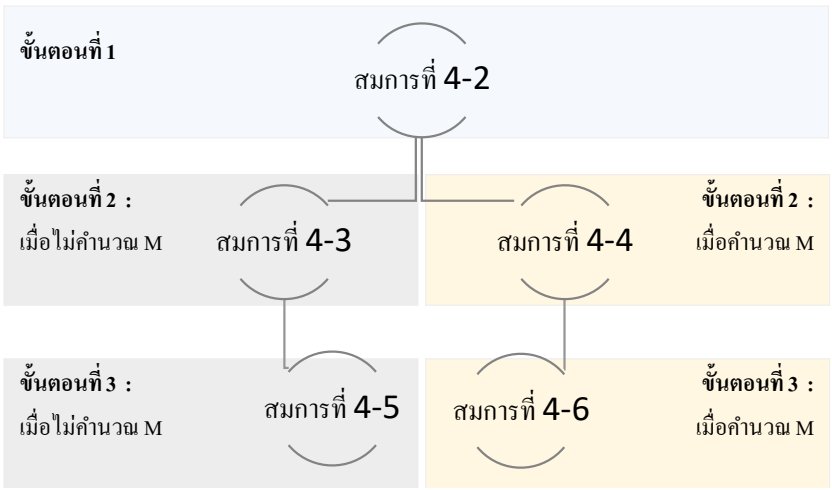
| คำอธิบาย | สัญลักษณ์ | ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M |
| น้ำหนักที่จะทำให้ได้ตามสัดส่วน (ตัน) | $p_l\left(\sum_{h\in H}\sum_{l\in L} cw_{hl} + \sum_{h\in H} o_h\right)$ | 14,585 | 4,167 | 2,084 |
| น้ำหนักสะสมของผู้ประกอบการ (ตัน) | $\sum_{h\in H} cw_{hl}$ | 13,747 | 3,378 | 2,301 |
| น้ำหนักที่ยังสามารถขนส่งได้ (ตัน) | $rw_l$ | 838 | 789 | -218 |
| สัดส่วนที่ใช้ปรับให้ได้ตามสัญญาจ้าง | $ap_l$ | 0.59 | 0.41 | 0.00 |

ภาพที่ 4-10 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าสัดส่วนที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ *l* ยังสามารถขนส่งได้

ส่วนกรณีที่ $rw_l$ มีค่ามากกว่าศูนย์นั้น ดังตัวอย่างของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K และ N ภาพที่ 4-10 หมายถึง ผู้ประกอบการโลจิสติกส์นั้น ยังสามารถขนส่งคอยล์ได้โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนสามารถเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง เพราะแบบจำลองจะใช้น้ำหนักนี้ปรับสัดส่วนน้ำหนักสะสมให้เป็นไปตามสัญญาจ้างได้ในช่วงสิ้นเดือน ส่วนขั้นตอนการคำนวณค่าสัดส่วน $ap_l$ สรุป ดังภาพที่ 4-11 และ 4-12 อธิบาย ดังนี้

| ค่าสัดส่วนที่ใช้ปรับสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ $l$ ( $ap_l$ ) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| บริษัท K 70% | บริษัท N 20% | | บริษัท M 10% | |
| $ap_K$ | $ap_N$ | | $ap_M$ | |
| $\frac{rw_K}{\sum_{h \in H} O_h}$ | ถ้า $rw_M \leq 0$ | ถ้า $rw_M > 0$ | ถ้า $rw_M \leq 0$ | ถ้า $rw_M > 0$ |
| | $\frac{\sum_{h \in H} o_h - rw_K}{\sum_{h \in H} o_h}$ | $\frac{rw_N}{\sum_{h \in H} O_h}$ | 0 | $\frac{\sum_{h \in H} o_h - rw_K - rw_N}{\sum_{h \in H} o_h}$ |
| สมการที่ 4-2 | สมการที่ 4-3 | สมการที่ 4-4 | สมการที่ 4-5 | สมการที่ 4-6 |

ภาพที่ 4-11 สมการที่ใช้ในขั้นตอนการปรับสัดส่วนน้ำหนักให้เป็นไปตามสัญญาจ้าง




ภาพที่ 4-12 แผนผังสมการตามขั้นตอนที่ใช้ในการปรับสัดส่วนน้ำหนัก

$$ap_K = \frac{rw_K}{\sum_{h \in H} O_h} \tag{4-2}$$

สมการที่ 4-2 เป็นการคำนวณขั้นตอนแรก เพื่อหาค่า $ap_K$ หรือ สัดส่วนที่ทำให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K ขนส่งน้ำหนักคอยล์ได้ร้อยละ 70 ของน้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดในรอบเดือน ตามที่ระบุไว้ในสัญญาจ้าง โดยคำนวณจากน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K ยังสามารถขนส่งได้ในวันนั้นหารด้วยน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้น

สมการที่ 4-3 และ 4-4 เป็นการคำนวณค่า $ap_N$ หรือ สัดส่วนที่ทำให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N ขนส่งน้ำหนักคอยล์ได้ร้อยละ 20 ในสองเงื่อนไข จากการพิจารณาน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 เมื่อน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M มากเกินกว่าความต้องการที่เกิดขึ้นจริง จะทำให้ค่า $rw_M$ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ จึงต้องกำหนดให้ค่า $ap_M$ มีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่ให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ดังนั้นสำหรับเงื่อนไขนี้จะเหลือการปรับสัดส่วนน้ำหนักเฉพาะของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K และ N ดังภาพที่ 4-10

$$ap_N = \frac{\sum_{h \in H} o_h - rw_K}{\sum_{h \in H} o_h};\ rw_M \leq 0 \qquad (4\text{-}3)$$

สมการที่ 4-3 เป็นการคำนวณเพื่อหาค่า $ap_N$ หรือ สัดส่วนที่ทำให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N ขนส่งน้ำหนักคอยล์ได้ร้อยละ 20 ของน้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดในรอบเดือนตามที่ระบุไว้ในสัญญาจ้าง โดยคำนวณผลต่างของน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้นกับน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K สามารถขนส่งได้ในวันนั้น เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่ผู้ประกอบการ N สามารถขนส่งได้ในวันนั้น แล้วหารด้วยน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้น

เงื่อนไขที่ 2 เมื่อ $rw_M$ มีค่ามากกว่าศูนย์นั้น หมายถึง ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ยังสามารถขนส่งคอยล์ได้โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M สามารถเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง ดังนั้นสำหรับเงื่อนไขนี้ การปรับสัดส่วนน้ำหนักจะพิจารณาน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย ดังตัวอย่างภาพที่ 4-13

| คำอธิบาย | สัญลักษณ์ | ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M |
| น้ำหนักที่จะทำให้ได้ตามสัดส่วน (ตัน) | $p_l\left(\sum_{h \in H}\sum_{l \in L} cw_{hl} + \sum_{h \in H} o_h\right)$ | 16,369 | 4,677 | 2,338 |
| น้ำหนักสะสมของผู้ประกอบการ (ตัน) | $\sum_{h \in H} cw_{hl}$ | 15,896 | 4,512 | 2,301 |
| น้ำหนักที่ยังสามารถขนส่งได้ (ตัน) | $rw_l$ | 474 | 164 | 37 |
| สัดส่วนที่ใช้ปรับให้ได้ตามสัญญาจ้าง | $ap_l$ | 0.70 | 0.24 | 0.05 |

ภาพที่ 4-13 กรณีที่พิจารณาน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย

$$ap_N = \frac{rw_N}{\sum_{h \in H} O_h};\ rw_M > 0 \quad (4\text{-}4)$$

สมการที่ 4-4 เป็นการคำนวณเพื่อหาค่า $ap_N$ หรือ สัดส่วนที่ทำให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N ขนส่งน้ำหนักคอยล์ได้ร้อยละ 20 ของน้ำหนักที่ขนส่งทั้งหมดในรอบเดือน ตามที่ระบุไว้ในสัญญาจ้าง โดยคำนวณจากน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N สามารถขนส่งได้ในวันนั้นหารด้วยน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้น

สมการที่ 4-5 และ 4-6 เป็นการคำนวณค่า $ap_M$ หรือ สัดส่วนที่ทำให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ขนส่งน้ำหนักคอยล์ได้ร้อยละ 10 ในสองเงื่อนไข จากการพิจารณาน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ดังนี้

$$ap_M = 0;\ rw_M \leq 0 \quad (4\text{-}5)$$

เงื่อนไขที่ 1 เมื่อน้ำหนักสะสมจนถึงปัจจุบันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M มากเกินกว่าความต้องการที่เกิดขึ้นจริง จะทำให้ค่า $rw_M$ จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ จึงต้องกำหนดให้ค่า $ap_M$ มีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่ให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ดังสมการที่ 4-5

$$ap_M = \frac{\sum_{h \in H} o_h - rw_K - rw_N}{\sum_{h \in H} o_h};\ rw_M > 0 \quad (4\text{-}6)$$

เงื่อนไขที่ 2 เมื่อ $rw_M$ มีค่ามากกว่าศูนย์นั้น หมายถึง ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M ยังสามารถขนส่งคอยล์ได้โดยที่สัดส่วนน้ำหนักรายเดือนของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M สามารถเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้าง ดังนั้นค่า $ap_M$ คำนวณจากผลต่างของน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้นกับน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K และ N สามารถขนส่งได้ในวันนั้น เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ M สามารถขนส่งได้ในวันนั้น แล้วหารด้วยน้ำหนักที่ลูกค้าทุกรายต้องการในวันนั้น ดังสมการที่ 4-6

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w^{ij} - minAP_l \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} w^{ij} \geq 0\ ;\ \forall l \in L \quad (4\text{-}7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w^{ij} - maxAP_l \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} w^{ij} \leq 0\ ;\ \forall l \in L \quad (4\text{-}8)$$

สมการที่ 4-7 ถึง 4-8 เป็นส่วนที่กำหนดเพิ่มเติมในแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถประมวลผลได้ และเป็นไปตามเงื่อนไขของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย เมื่อกำหนดความคลาดเคลื่อนเป็น 10 เปอร์เซ็นต์

เมื่อประมวลผลแบบจำลองตามขั้นตอนที่นำเสนอไปแล้วนั้น ได้ผลลัพธ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเดิมกับวิธีที่ทำการวิจัย ดังตารางภาคผนวก ค-2

ภาคผนวก ค-3 เป็นการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการประมวลผลด้วยคนกับการประมวลผลด้วยแบบจำลอง MILP เพียงอย่างเดียว เมื่อทราบความต้องการที่แน่นอนล่วงหน้า ด้วยหลักการกำหนดสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K N และ M เป็น 0.7 0.2 และ 0.1 ในทุก ๆ วัน ซึ่งพบว่าการประมวลผลด้วยแบบจำลอง MILP สามารถลดค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนลงได้ 192,062 บาท

เมื่อทดลองใช้ข้อมูลจริงในการประมวลผลตามวิธีการของงานวิจัยนี้ พบว่าสามารถลดค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนจากการวิธีประมวลผลด้วยแบบจำลอง MILP เพียงอย่างเดียวได้อีก 2,586 บาท แต่การใช้ข้อมูลจากการพยากรณ์ประมวลผลตามวิธีการของงานวิจัยนี้ กลับส่งผลให้ค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนเพิ่มขึ้นจากการใช้ข้อมูลจริง 4,500 บาท จึงกล่าวได้ว่ายิ่งข้อมูลนำเข้าที่เป็นค่าพยากรณ์ มีความแม่นยำสูง ยิ่งทำให้ค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนมีค่าลดลง ผลลัพธ์ราคาค่าขนส่งต่อเดือนจากวิธีต่าง ๆ และสัดส่วนที่ได้ สรุปได้ ดังภาพที่ 4-14 และ 4-15

| ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท) | | | | | | | วิธี (1) - (6) ลดลง (บาท) | วิธี (1) - (6) ลดลง (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| วิธีการ | *คิดสัดส่วนรายวัน | | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง *คิดสัดส่วนรายเดือน | | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง และMILP คิดสัดส่วนรายเดือน | | | |
| ลำดับ | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | | |
| เดือน | แบบเดิม | Pure MILP | ค่าจริง | ค่าพยากรณ์ | ค่าจริง | ค่าพยากรณ์ | | |
| ตุลาคม | 4,916,231 | 4,714,780 | 4,620,147 | 4,794,034 | 4,713,923 | 4,716,511 | 199,720 | 4.06% |
| พฤศจิกายน | 6,019,962 | 5,836,381 | 5,688,414 | 4,665,710 | 5,833,046 | 5,835,327 | 184,635 | 3.07% |
| ธันวาคม | 5,595,203 | 5,404,047 | 5,328,027 | 5,541,202 | 5,400,482 | 5,409,113 | 186,090 | 3.33% |
| รวม | 16,531,395 | 15,955,209 | 15,636,589 | 15,000,946 | 15,947,451 | 15,960,950 | 570,445 | 10.46% |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 5,510,465 | 5,318,403 | 5,212,196 | 5,000,315 | 5,315,817 | 5,320,317 | 190,148 | 3.49% |

-192,062 บาท -2,586 บาท +4,500 บาท

ภาพที่ 4-14 การเปรียบเทียบค่าขนส่งต่อเดือนที่ได้จากวิธีต่าง ๆ

| สัดส่วนน้ำหนักที่ทำการขนส่งในรอบเดือน | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | จากการคิดสัดส่วนแบบรายวัน | | | | | | จากการคิดสัดส่วนแบบรายเดือน | | |
| | แบบเดิม | | | MILP | | | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง และMILP | | |
| เดือน | K (70%) | N (20%) | M (10%) | K (70%) | N (20%) | M (10%) | K (70%) | N (20%) | M (10%) |
| ตุลาคม | 72.71% | 18.01% | 9.27% | 69.95% | 19.99% | 10.06% | 70.00% | 20.00% | 10.00% |
| พฤศจิกายน | 74.27% | 13.96% | 11.78% | 70.52% | 20.30% | 9.19% | 70.00% | 20.00% | 10.00% |
| ธันวาคม | 74.85% | 14.05% | 9.61% | 69.96% | 20.07% | 9.97% | 69.97% | 20.00% | 10.03% |
| เฉลี่ย | 73.94% | 15.34% | 10.22% | 70.14% | 20.12% | 9.74% | 69.99% | 20.00% | 10.01% |
| % แตกต่างเฉลี่ย | 3.94% | -4.66% | 0.22% | 0.14% | 0.12% | -0.26% | -0.01% | 0.00% | 0.01% |
| % แตกต่างเฉลี่ยรวม | -0.17% | | | 0.00% | | | 0.00% | | |

ภาพที่ 4-15 สรุปสัดส่วนในรอบเดือนที่ได้จากวิธีต่าง ๆ

ตารางที่ 4-5 น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง

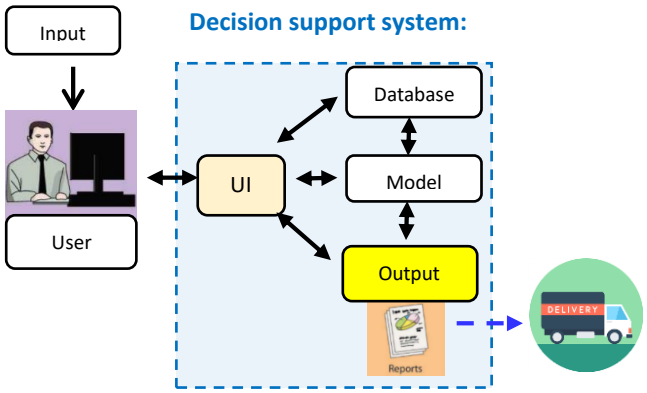
| น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตัน) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| เดือน | แบบเดิม | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง และ MILP | ลดลง (ตัน) | ลดลง (เปอร์เซ็นต์) |
| ตุลาคม | 557.80 | 284.45 | 273.35 | 49.01 |
| พฤศจิกายน | 545.40 | 420.44 | 124.96 | 22.91 |
| ธันวาคม | 484.80 | 294.32 | 190.48 | 39.29 |
| รวม | 1,588.00 | 999.21 | 588.79 | 111.21 |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 529.33 | 333.07 | 196.26 | 37.07 |

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายเดือนในการขนส่งและน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริง ของแผนการขนส่งแบบเดิมกับแผนการขนส่งที่จัดด้วย แบบจำลองปัญหาการขนส่ง และMILP พบว่า การวางแผนการขนส่งด้วยแบบจำลองปัญหาการขนส่งและMILP มีค่าขนส่งที่ต่ำกว่าการวางแผนแบบเดิมในทุกเดือน โดยที่สัดส่วนในรอบเดือนเป็นไปตามสัญญาจ้างสามารถลดค่าขนส่งได้เฉลี่ย 190,148 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 3.49 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริงได้เฉลี่ย 196.26 ตันต่อเดือน หรือประมาณ 37.07 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4-5 ส่วนตัวอย่างการจัดตารางการขนส่งรายวันของก่อน และหลังการปรับปรุง ดังภาคผนวก ก

**ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ**

ถึงแม้ว่าการใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมจะสามารถลดเวลาจากการจัดตารางการขนส่งแบบเดิมจาก 4-6 ชั่วโมงลงได้ เหลือประมาณ 1 ชั่วโมง (เมื่อกำหนดให้เวลาสูงสุดในการประมวลผลเป็น 15 นาที) แต่การจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลสำหรับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมและการจัดทำตารางการขนส่งรายวันจากผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นขั้นตอนที่ต้องใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 30 นาที หรือร้อยละ 50 ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ดำเนินงาน เนื่องจากความยุ่งยากในการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าที่มีลักษณะเฉพาะที่ทำให้ต้องทำการจัดเตรียมไฟล์และสรุปผลเป็นตารางขนส่งรายวันใหม่ในทุก ๆ วัน เนื่องจากในแต่ละวันมีลูกค้าที่ไม่เหมือนกัน จำนวนไม่เท่ากัน ปริมาณการสั่งซื้อไม่เท่ากัน น้ำหนักคอยล์ที่ต้องการแตกต่างกัน ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่เลือกใช้ และราคาค่าขนส่งต่อตันที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขบน Solver ก่อนการประมวลผลหลายขั้นตอน ที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดระหว่างการจัดเตรียมไฟล์ก่อนการประมวลผล

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยชุดคำสั่ง VBA ร่วมกับ Microsoft Excel ในการจัดเตรียมไฟล์ก่อนการประมวลผล และสรุปผลตารางการขนส่งรายวันเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ปฏิบัติงาน และสามารถลดเวลาในการจัดเตรียมไฟล์และสรุปผลให้เหลือเพียง 10 นาที เท่านั้น ซึ่งช่วยให้เวลารวมในการดำเนินงานแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเหลือเพียง 30-40 นาทีเท่านั้น

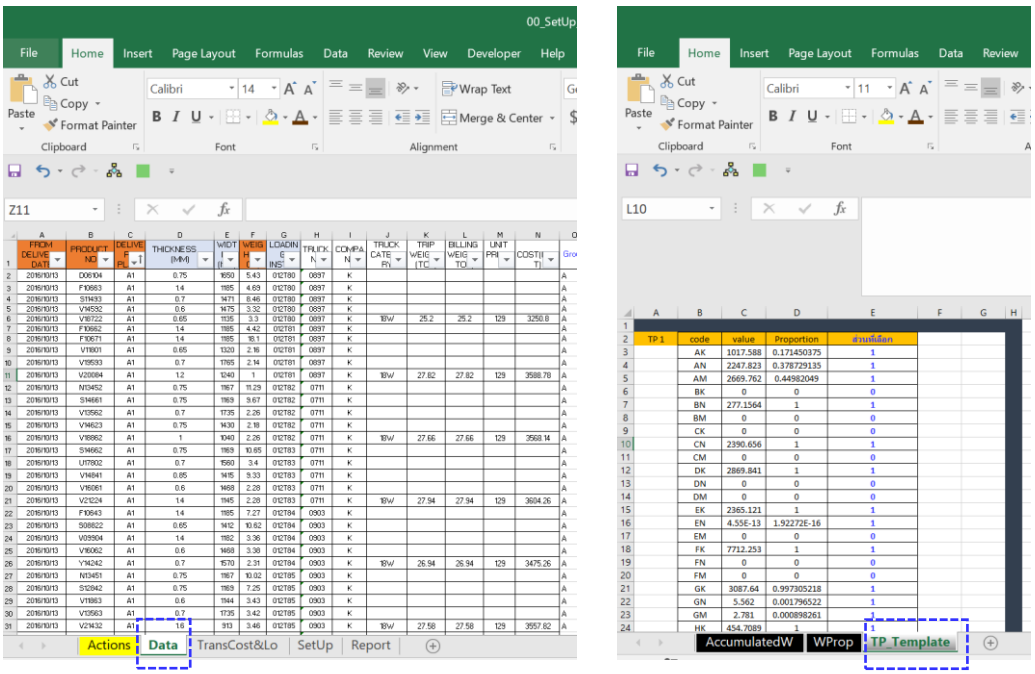



ภาพที่ 4-16 ภาพรวมระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

สำหรับผลการดำเนินงานที่เป็นไฟล์ที่มีชุดคำสั่ง VBA ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้มี 2 ไฟล์ที่เกี่ยวข้อง ดังภาคผนวก ง ได้แก่ ไฟล์ชื่อ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ที่เป็น

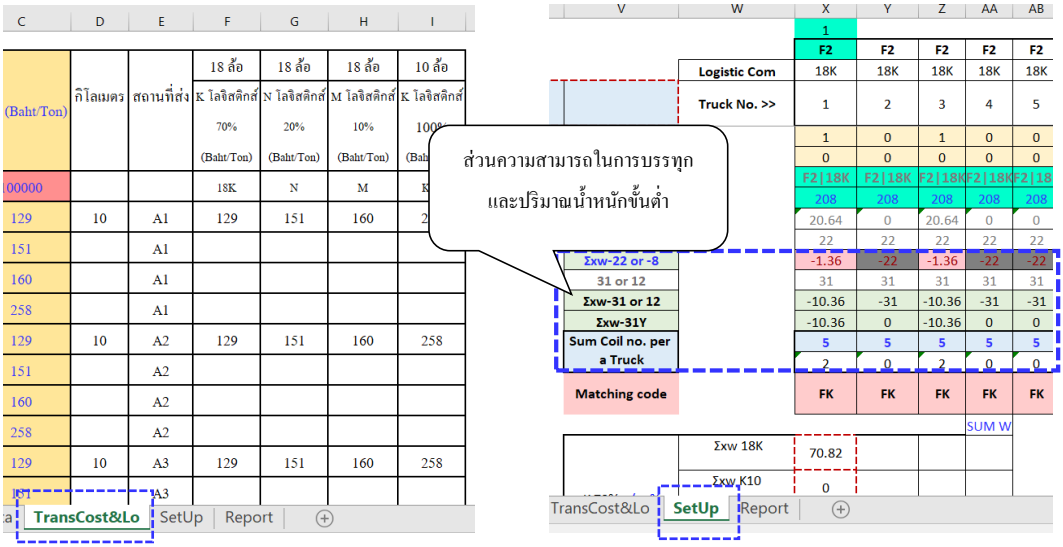
ไฟล์หลักในการประมวลผลลัพธ์ และไฟล์ชื่อ “UpdatedW” ที่เป็นไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลสะสมหลังจากการประมวลผลในแต่ละวัน และเก็บข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ส่วนรายละเอียดของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้ อธิบายตามองค์ประกอบตามภาพที่ 4-16 ดังนี้

1. ข้อมูลนำเข้า (Input data) คือ ข้อมูลที่เป็นคำสั่งซื้อจากลูกค้า อยู่บนสเปดชีตชื่อ “Data” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” มีข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการขนส่ง ได้แก่ หมายเลขผลิตภัณฑ์ ปลายทางที่ขนส่ง และน้ำหนักของแต่ละคอยล์ ส่วนข้อมูลผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาการขนส่งอยู่บนสเปรดชีต ชื่อ “TP_Template” ของไฟล์ “UpdatedW” ดังภาพที่ 4-17




ภาพที่ 4-17 สเปดชีตที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลนำเข้า

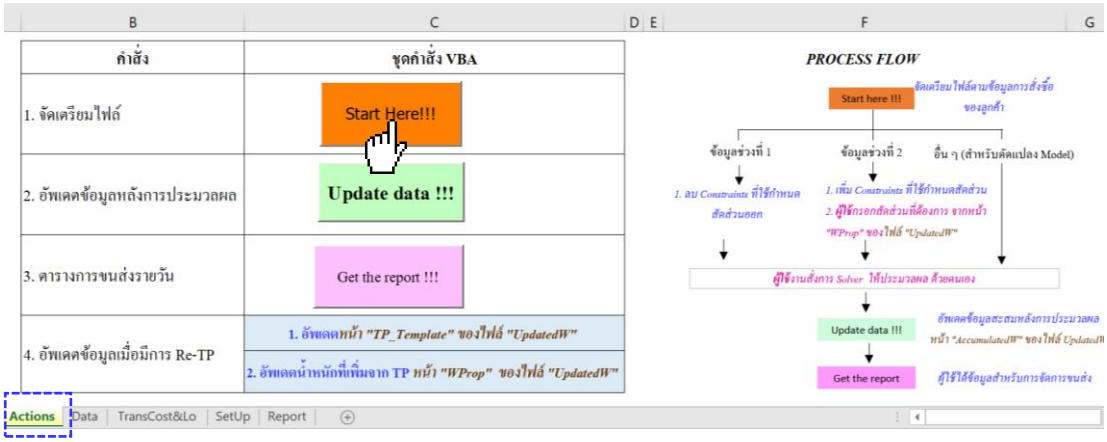
2. ฐานข้อมูล (Database) ฐานข้อมูลการขนส่งเป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจอยู่ในสเปรดชีตชื่อ “TransCost&Lo” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ที่มีข้อมูลค่าขนส่งต่อตันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละราย ตามปลายทางที่ขนส่ง และประเภทรถที่ใช้จัดส่ง ส่วนความสามารถในการบรรทุก และปริมาณน้ำหนักขั้นต่ำ ถูกกำหนดไว้ในส่วนหนึ่งของสเปรดชีตชื่อ “SetUp” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ดังภาพที่ 4-18




ภาพที่ 4-18 สเปดชีตที่ใช้เป็นฐานข้อมูลการขนส่ง

3. ฐานแบบจำลอง (Model base) ความสามารถในการวิเคราะห์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจนี้ คือ แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่ถูกออกแบบไว้ในสเปรดชีตชื่อ “SetUp” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” โดยมีวัตถุประสงค์ในการคำนวณหาค่าขนส่งที่ต่ำที่สุด

4. ส่วนผสานกับผู้ใช้ (User interface: UI) ในส่วนนี้เป็นการออกแบบให้ง่ายต่อ ผู้ใช้ (User) โดยออกแบบให้ผู้ใช้ปฏิบัติงานโดยการกดปุ่มเพื่อประมวลผล ซึ่งถูกรวบรวมพร้อมกับคำอธิบายในการใช้งานไว้ในสเปรดชีตชื่อ “Actions” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel _REPORT_2” สเปรดชีตนี้มีปุ่มสั่งการหลัก 3 ปุ่ม ได้แก่ ปุ่ม “Start here!!!” ใช้ในการจัดเตรียมไฟล์ให้พร้อมสำหรับการประมวลผล ในการกดปุ่มนี้แต่ละครั้งจะมีการสร้างไฟล์ใหม่สำหรับวันนั้น ๆ ขึ้นมาด้วย ส่วนปุ่ม “Update data” ใช้ในการรวบรวมข้อมูลหลังจากการประมวลรายวันไปที่สเปรดชีตชื่อ “AccumulatedW” และ “WProp” ของไฟล์ “UpdatedW” และปุ่ม “Get the report” ใช้ในการจัดเรียงข้อมูลหลังจากการประมวลผล เพื่อให้ได้ตารางการขนส่งรายวันสำหรับการจัดการขนส่ง ซึ่งจะแสดงผลลัพธ์บนสเปรดชีตชื่อ “Report” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_ REPORT_2” สรุป ดังภาพที่ 4-19




ภาพที่ 4-19 ส่วนที่ผสานกับผู้ใช้

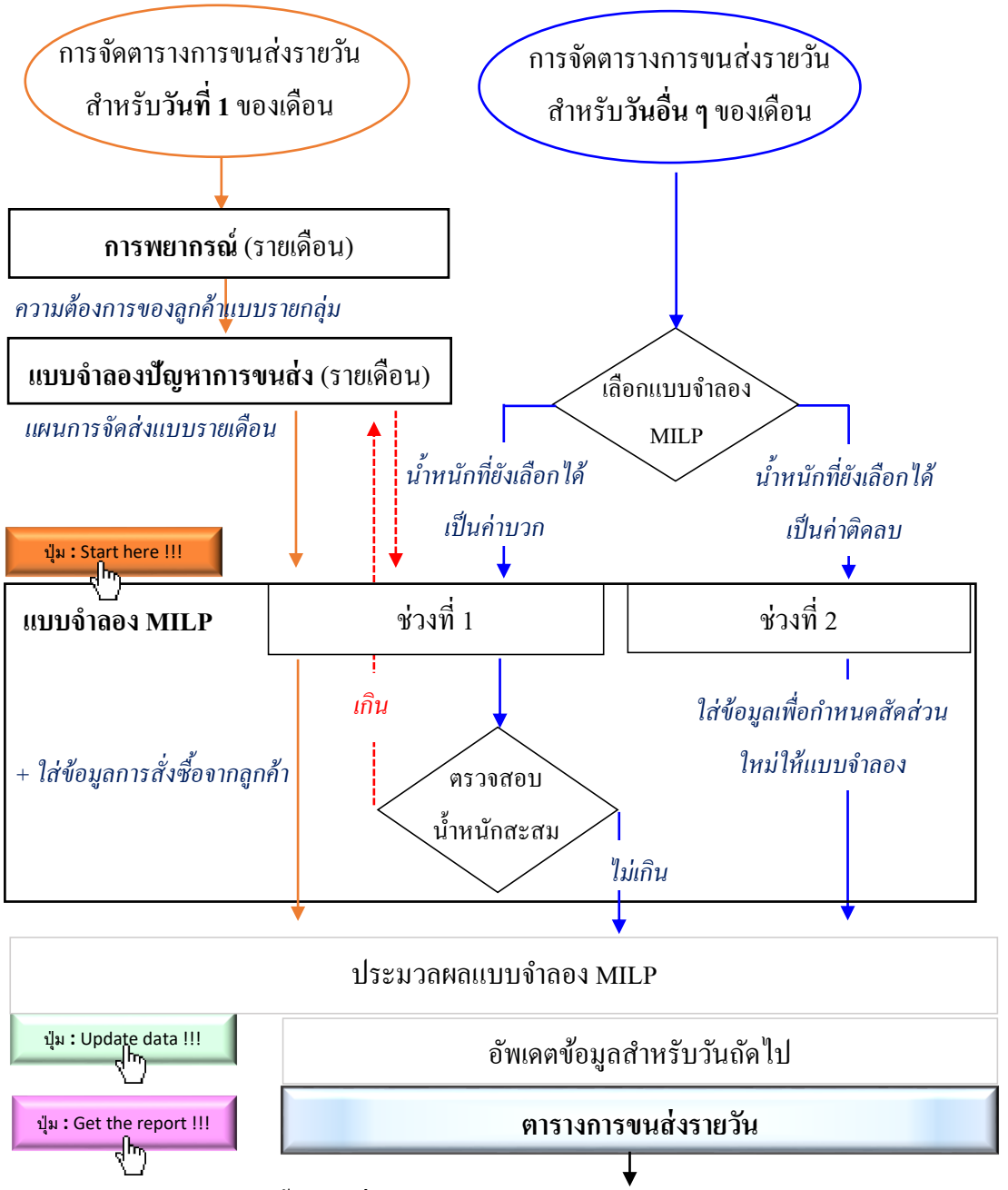
5. ส่วนที่ได้จากการประมวลผล (Output) ในส่วนนี้หลังจากประมวลผลแบบจำลองเสร็จสิ้น สเปรดชีตชื่อ “Report” จะสรุปกำหนดการตารางขนส่งรายวันที่มีข้อมูล วันที่ขนส่ง ชื่อลูกค้า หมายเลขคอยล์ น้ำหนักคอยล์ ชื่อผู้ประกอบการที่จะทำการขนส่ง รอบที่ทำการขนส่ง น้ำหนักจริงต่อรอบ น้ำหนักที่คิดค่าขนส่ง ราคาต่อรอบ และราคาค่าขนส่งรวมในวันนั้น ซึ่งผู้ใช้สามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปจัดเตรียมการขนส่งได้ทันที ดังตัวอย่างภาพที่ 4-20

| วันที่ | ลูกค้า | หมายเลขคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | ประเภทรถ | รอบที่ขนส่ง | น้ำหนักจริงต่อรอบ (ตัน) | น้ำหนักที่คิดค่าขนส่ง (ตัน) | ราคาต่อตัน (บาท) | ราคาต่อรอบ (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/26 | F2 | Y18621 | 10.32 | K | 18 ล้อ | 1 | 20.64 | 22 | 208 | 4,576.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18592 | 10.32 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18622 | 10.32 | K | 18 ล้อ | 2 | 20.64 | 22 | 208 | 4,576.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18591 | 10.32 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18052 | 9.63 | K | 18 ล้อ | 3 | 29.54 | 29.54 | 208 | 6,144.32 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18051 | 9.63 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18611 | 10.28 | K | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18601 | 10.33 | M | 18 ล้อ | 1 | 20.66 | 22 | 263 | 5,786.00 |
| 2016/12/26 | F2 | Y18602 | 10.33 | M | 18 ล้อ | | | | | |
| 2016/12/26 | F2 | Y18612 | 10.28 | N | 18 ล้อ | 1 | 23.1 | 23.1 | 241 | 5,567.10 |
| 2016/12/26 | F2 | Y21001 | 12.82 | N | 18 ล้อ | | | | | |
| | | | | | | | | | รวม (บาท) | 26,649.42 |

Data | TransCost&Lo | SetUp | Report

ภาพที่ 4-20 ส่วนที่ได้จากการประมวลผล

**ตัวอย่างการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งานในรอบ 1 เดือน**




ภาพที่ 4-21 ภาพรวมการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ในรอบ 1 เดือน

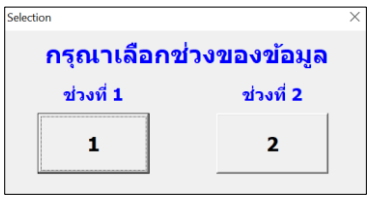
แนวทางการนำงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ดังภาพที่ 4-21 ซึ่งอธิบายได้ ดังนี้

1. สำหรับวันแรกของเดือนในการจัดตารางการขนส่ง

1.1 ผู้ใช้ทำการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในเดือนตุลาคม จากนั้นรวมค่าจากการพยากรณ์เป็นแบบรายกลุ่ม

1.2 ผู้ใช้นำค่าจากการพยากรณ์แบบรายกลุ่มไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่อยู่ในไฟล์ชื่อ “ExFile_TP_Model” จากนั้นประมวลผลแบบจำลองเพื่อให้ได้แผนการจัดส่งรายเดือน แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปวางไว้ในสเปรดชีตชื่อ “TP_Template” ของไฟล์ชื่อ “UpdatedW” ซึ่งจะถูกใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง MILP ในขั้นตอนต่อไป

1.3 ให้ผู้ใช้นำข้อมูลการสั่งซื้อของวันที่ 29 ก.ย. (หรือของวันที่กำลังจะทำการจัดการขนส่ง) วางลงบนสเปรดชีตชื่อ “Data” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” จากนั้นไปที่สเปรดชีตชื่อ “Actions” กดปุ่ม “Start here” เพื่อทำการจัดเตรียมไฟล์โดยอัตโนมัติ แล้วเลือกช่วงของการประมวลผล โดยในกรณีที่เป็นการประมวลผลในช่วงแรกของเดือน (ประมาณร้อยละ 75 แรกของจำนวนวันที่ทำการขนส่ง) ให้กดปุ่มเลือก “ช่วงที่ 1” เสมอ ดังภาพที่ 4-22 แล้วทำการประมวลผลข้อมูล




ภาพที่ 4-22 ตัวอย่างเมื่อมีการให้เลือกช่วงของข้อมูล

สำหรับผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ได้มากกว่าหนึ่งราย ผู้ใช้ควรเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่คิดราคาค่าขนส่งที่สูงที่สุดจนครบจำนวนก่อน โดยการกำหนดเลข “1” แทนเลข “0” ลงในคอลัมน์ชื่อว่า “กำหนดให้ Model เลือกบริษัทขนส่ง” บนสเปรดชีตชื่อ “SetUp” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ดังภาพที่ 4-23

| No. | Groups | Logistic com | น้ำหนักสะสมก่อนหน้า (Ton) | SUMIFGr (Ton) น้ำหนักที่เลือก | น้ำหนักจนถึงปัจจุบัน (Ton) | นน.รวม | ปัจจุบันเหลือ | สัดส่วนปัจจุบัน | TP | กำหนดให้ Model เลือกบริษัทขนส่ง |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A | AK | 42.22 | 0.00 | 42.22 | 1320.34 | 451.2255467 | 0.03 | 493.4 | 0.00 |
| | A | A0 | 0 | 0.00 | | | | | 0.0 | 1.00 |
| | A | AN | 0 | 0.00 | 0.00 | 1320.34 | 1876.104085 | 0.00 | 1876.1 | 0.00 |
| | A | AM | 1101.84 | 176.28 | 1278.12 | 1320.34 | 1339.702869 | 0.97 | 2441.5 | 1.00 |

การกำหนดให้เลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่คิดราคาค่าขนส่งที่สูงที่สุดก่อน

ภาพที่ 4-23 ตัวอย่างการปรับให้มีการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์บางราย

1.4 เมื่อการประมวลผลแบบจำลอง MILP เสร็จสิ้น ให้ผู้ใช้ไปที่สเปรดชีตชื่อ “Actions” กดปุ่ม “Update data” เพื่อทำการอัพเดตข้อมูลน้ำหนักที่จัดส่งไปแล้ว จากนั้นให้ผู้ใช้กดปุ่ม “Get the report” ผู้ใช้จะได้ “ตารางการจัดการขนส่งรายวัน” บนที่สเปรดชีตชื่อ “Report” ที่พร้อมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

1.5 ผู้ใช้ตรวจสอบข้อมูลน้ำหนักที่ยังเลือกได้ ว่ายังมีค่าเป็นบวกหรือลบ เพื่อใช้ข้อมูลสำหรับการพิจารณาเลือกแบบจำลอง MILP ในวันถัดไป ตัวอย่างเมื่อค่าน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าติดลบ ดังภาพที่ 4-24

| น้ำหนักที่ยังเลือกได้ | | | | ค่านวณสัดส่วน | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| K | N | M | SUM | K | N | M |
| 14,342.89 | 4,375.40 | 1,988.77 | 20,707.06 | 0.69 | 0.21 | 0.10 |
| 13,201.62 | 4,238.61 | 1,643.98 | 19,084.21 | 0.69 | 0.22 | 0.09 |
| 11,887.23 | 4,221.34 | 1,382.09 | 17,490.66 | 0.68 | 0.24 | 0.08 |
| 10,768.60 | 4,145.55 | 1,095.55 | 16,009.70 | 0.67 | 0.26 | 0.07 |
| 10,013.61 | 4,145.55 | 919.27 | 15,078.43 | 0.66 | 0.27 | 0.06 |
| 9,387.34 | 4,126.24 | 556.80 | 14,070.38 | 0.67 | 0.29 | 0.04 |
| 8,387.37 | 3,895.51 | 20.75 | 12,303.63 | 0.68 | 0.32 | 0.00 |
| 7,572.74 | 3,399.34 | 20.75 | 10,992.83 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| 6,435.36 | 2,871.70 | 20.75 | 9,327.81 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| 5,721.25 | 2,522.11 | 20.75 | 8,264.11 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| 5,177.57 | 2,284.66 | 31.10 | 7,493.33 | 0.69 | 0.30 | 0.00 |
| 4,738.79 | 1,959.28 | 35.20 | 6,733.27 | 0.70 | 0.29 | 0.01 |
| 4,154.41 | 1,676.54 | 47.95 | 5,878.90 | 0.71 | 0.29 | 0.01 |
| 3,028.00 | 1,305.41 | 85.68 | 4,419.09 | 0.69 | 0.30 | 0.02 |
| 2,443.18 | 1,248.07 | 11.48 | 3,702.73 | 0.66 | 0.34 | 0.00 |
| 837.75 | 789.38 | -217.87 | | 0.59 | 0.41 | 0.00 |

ค่าน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าติดลบ เลือก “ช่วงที่ 2”

ภาพที่ 4-24 ตัวอย่างเมื่อค่าน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าติดลบ

2. สำหรับตั้งแต่วันที่สองของการขนส่ง และวันถัดไปจนถึงสิ้นเดือน

เมื่อตรวจสอบน้ำหนักที่เลือกได้แล้วพบว่ามีค่าเป็นบวก ในขั้นตอนที่ 3 ให้เลือกเป็น “ช่วงที่ 1” แล้วตรวจสอบข้อมูลน้ำหนักสะสมที่จัดส่งไปแล้ว บนสเปรดชีตชื่อ “SetUp” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ว่าเกินจากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองปัญหาการขนส่งหรือไม่ หากยังไม่เกินสามารถดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 ได้ทันที แต่ถ้าเกินแล้วให้เพิ่มค่าความต้องการของลูกค้ารายที่เกินในวันนั้นในค่าพยากรณ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่งแล้วทำการประมวลผลใหม่ จากนั้นจึงดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5

เมื่อตรวจสอบน้ำหนักที่เลือกได้แล้วพบว่ามีค่าเป็นลบ ขั้นตอนที่ 3 ให้เลือกเป็น “ช่วงที่ 2” จากนั้นผู้ใช้ต้องกรอกข้อมูลน้ำหนักที่ต้องขนส่งในวันนั้นลงในสเปรดชีตชื่อ “Wprop” ของไฟล์ชื่อ “UpdatedW” ดังภาพที่ 4-25 แล้วนำค่าสัดส่วนที่คำนวณได้ ไปกรอกลงในส่วนที่ใช้ในการกำหนดสัดส่วนของ บนสเปรดชีตชื่อ “SetUp” ของไฟล์ “00_SetUp_ExcelModel_REPORT_2” ดังภาพที่ 4-26 แล้วประมวลผลตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 5 ได้ตามปกติจนครบทั้งเดือน สำหรับช่วงที่ 2 นี้จะไม่มีการตรวจสอบน้ำหนักสะสมที่จัดส่งไปแล้ว และไม่มีการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่งใหม่ ตัวอย่างการดำเนินงานวิจัยแสดงในรอบ 1 เดือน ดังภาพที่ 4-27

| | 0.9 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| นน.วันนั้น | K | N | M | น้ำหนักที่ยังเลือกได้ | | | SUM | ค่านวณสัดส่วน | | |
| | 0.7 | 0.2 | 0.1 | K | N | M | | K | N | M |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 14,342.89 | 4,375.40 | 1,988.77 | 20,707.06 | 0.69 | 0.21 | 0.10 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 13,201.62 | 4,238.61 | 1,643.98 | 19,084.21 | 0.69 | 0.22 | 0.09 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 11,887.23 | 4,221.34 | 1,382.09 | 17,490.66 | 0.68 | 0.24 | 0.08 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 10,768.60 | 4,145.55 | 1,095.55 | 16,009.70 | 0.67 | 0.26 | 0.07 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 10,013.61 | 4,145.55 | 919.27 | 15,078.43 | 0.66 | 0.27 | 0.06 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 9,387.34 | 4,126.24 | 556.80 | 14,070.38 | 0.67 | 0.29 | 0.04 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 8,387.37 | 3,895.51 | 20.75 | 12,303.63 | 0.68 | 0.32 | 0.00 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 7,572.74 | 3,399.34 | 20.75 | 10,992.83 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 6,435.36 | 2,871.70 | 20.75 | 9,327.81 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| | 15,381.72 | 4,394.78 | 2,197.39 | 5,721.25 | 2,522.11 | 20.75 | 8,264.11 | 0.69 | 0.31 | 0.00 |
| | 15,454.15 | 4,415.47 | 2,207.74 | 5,177.57 | 2,284.66 | 31.10 | 7,493.33 | 0.69 | 0.30 | 0.00 |
| | 15,482.88 | 4,423.68 | 2,211.84 | 4,738.79 | 1,959.28 | 35.20 | 6,733.27 | 0.70 | 0.29 | 0.01 |
| | 15,572.11 | 4,449.17 | 2,224.59 | 4,154.41 | 1,676.54 | 47.95 | 5,878.90 | 0.71 | 0.29 | 0.01 |
| | 15,836.24 | 4,524.64 | 2,262.32 | 3,028.00 | 1,305.41 | 85.68 | 4,419.09 | 0.69 | 0.30 | 0.02 |
| | 16,190.24 | 4,625.78 | 2,312.89 | 2,443.18 | 1,248.07 | 11.48 | 3,702.78 | 0.66 | 0.34 | 0.00 |
| 1409.27 | 14,584.82 | 4,167.09 | 2,083.55 | 837.75 | 789.38 | -217.87 | | 0.59 | 0.41 | 0.00 |

ส่วนที่กรอกข้อมูลเพิ่ม

ช่วงที่ 2 : ใช้สัดส่วนชุดนี้ในการกำหนดเงื่อนไขบังคับ

ภาพที่ 4-25 ตัวอย่างส่วนที่กรอกข้อมูลเพิ่ม และค่าสัดส่วนที่คำนวณได้

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| K 70% +/- x% | Σxw 18K | 837.69 | | |
| | Σxw K10 | 0 | | |
| | 0.5 | 133.055 | >= | 0 |
| | 0.59 | -0.065 | <= | 0 |
| N 20% +/- x% | 0.41 | 0.065 | >= | 0 |
| | 0.5 | -133.055 | <= | 0 |
| M 10% +/-x% | 0 | 0 | >= | 0 |
| | 0 | 0 | <= | 0 |

ภาพที่ 4-26 ส่วนที่ใช้ในการกำหนดสัดส่วนของ บนสเปรดชีตชื่อ “SetUp”

| ลำดับที่ | ช่วงของข้อมูล | วันที่ลูกค้าสั่งซื้อ | วันที่จัดส่ง | ขั้นตอนการทำงานในรอบ 1 เดือน | | | | | | | คำอธิบาย |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | การพยากรณ์ | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง (TP model) | แบบจำลอง MILP | | | | อัพเดตข้อมูลและตรวจสอบน้ำหนักที่ยังเลือกได้ | |
| | | | | | | ช่วงที่ 1 | ตรวจสอบน้ำหนักสะสม | ช่วงที่ 2 | กำหนดสัดส่วนใหม่ | | |
| 1 | ประมาณ 75% แรกของจำนวนวันทั้งหมดใน 1 เดือน | 30 ก.ย. 59 | 3 ต.ค.59 | ✓ | ✓ | ✓ | ไม่มี | | | ค่าเป็น + | ขั้นตอนการทำงานในวันแรกของเดือนเริ่มที่การพยากรณ์และประมวลผล TP model แบบรายเดือน จากนั้นจึงประมวลผลแบบจำลอง MILP โดยเลือกช่วงที่ 1 |
| 2 | | 1 ต.ค. 59 | 4 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | เมื่อน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าเป็นบวก และน้ำหนักสะสมไม่เกินค่าที่ได้จาก TP model ให้เลือกแบบจำลอง MILP ช่วงที่ 1 แล้วประมวลผล |
| 3 | | 2 ต.ค. 59 | 5 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 4 | | 3 ต.ค. 59 | 6 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 5 | | 4 ต.ค. 59 | 7 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 6 | | 7 ต.ค. 59 | 10 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 7 | | 8 ต.ค. 59 | 11 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 8 | | 9 ต.ค. 59 | 12 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 9 | | 10 ต.ค. 59 | 13 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 10 | | 11 ต.ค. 59 | 14 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 11 | | 14 ต.ค. 59 | 17 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 12 | | 15 ต.ค. 59 | 18 ต.ค.59 | | | ✓ | ไม่เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 13 | | 16 ต.ค. 59 | 19 ต.ค.59 | | ✓ | ✓ | เกิน TP | | | ค่าเป็น + | ถ้าน้ำหนักสะสมเกินค่าที่ได้จาก TP model ให้นำน้ำหนักส่วนที่เกินบวกที่ค่าพยากรณ์เดิม แล้วประมวลผล TP model ใหม่ จากนั้นเลือกแบบจำลอง MILP ช่วงที่ 1 แล้วประมวลผล |
| 14 | | 17 ต.ค. 59 | 20 ต.ค.59 | | ✓ | ✓ | เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 15 | | 18 ต.ค. 59 | 21 ต.ค.59 | | ✓ | ✓ | เกิน TP | | | ค่าเป็น + | |
| 16 | ช่วงที่เหลือ | 22 ต.ค. 59 | 25 ต.ค.59 | | | | | ✓ | ✓ | ค่าเป็น - | ถ้าน้ำหนักที่ยังเลือกได้มีค่าเป็นลบ ให้กำหนดสัดส่วนน้ำหนักใหม่ จากนั้นเลือกแบบจำลอง MILP ช่วงที่ 2 แล้วประมวลผล |
| 17 | | 23 ต.ค. 59 | 26 ต.ค.59 | | | | | ✓ | ✓ | ค่าเป็น - | |
| 18 | | 24 ต.ค. 59 | 27 ต.ค.59 | | | | | ✓ | ✓ | ค่าเป็น - | |
| 19 | | 25 ต.ค. 59 | 28 ต.ค.59 | | | | | ✓ | ✓ | ค่าเป็น - | |
| 20 | | 28 ต.ค. 59 | 31 ต.ค.59 | | | | | ✓ | ✓ | ค่าเป็น - | |

ภาพที่ 4-27 ตัวอย่างขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยสำหรับเดือนตุลาคม พ.ศ. 2559

## รายละเอียดสำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

รายละเอียดสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับปัญหาการขนส่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel® Core™ i7-6500U CPU @2.50GHz 2.6GHz
2. หน่วยความจำหลัก (RAM) 8.00 GB (7.86 GB useable)
3. ระบบปฏิบัติการ (System type) 64-bit Operating System, x64-based processor
4. ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์เทน (Microsoft Windows 10)
5. โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด คือ โปรแกรม OpenSolver Version 2.8.5 (2016.11.3) (http://www.opensolver.org) โดยใช้ Gurobi 7.0.2 เป็นตัวประมวลผลลัพธ์ (Solver engine) ซึ่งเป็น Academic version ใช้สำหรับการวิจัยเท่านั้น หากนำไปใช้ในการวางแผนการขนส่งจริงให้เลือกใช้ CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) แทน

# บทที่ 5
# สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

## สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการจัดตารางการขนส่งคอยล์ที่เป็นกิจกรรมการดำเนินงานประจำวันของบริษัทผู้ผลิตที่ใช้เวลาในการจัดการ 4-6 ชั่วโมงต่อวัน จากข้อมูลในรอบปี พ.ศ. 2559 พบว่าบริษัทผู้ผลิตคอยล์ต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 62 ล้านบาทในการส่งคอยล์ประมาณ 300,000 ตัน ไปยังลูกค้าทั้งสิ้น 27 ราย การขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้านี้บริษัทผู้ผลิตได้จ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 3 ราย ซึ่งแต่ละรายกำหนดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อตันไปยังลูกค้าแต่ละรายที่แตกต่างกัน และมีสัดส่วนน้ำหนักในรอบเดือนที่กำหนดไว้ในสัญญาจ้างที่แตกต่างกัน การจัดตารางการขนส่งคอยล์แบบเดิมนั้นมีรอบเวลาในการส่งมอบที่สั้นกว่า รอบในการคำนวณปริมาณขนส่งขั้นต่ำ คือ พนักงานจัดตารางการขนส่งเป็นรายวันตามสัดส่วนขั้นต่ำที่ถูกกำหนดไว้เป็นรายเดือน ทำให้เสียโอกาสในการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในการขนส่งคอยล์ทั้งหมดในรอบเดือน กล่าวคือ จากการวิเคราะห์ข้อมูลราคาค่าขนส่งต่อตันที่แตกต่างกันตามระยะทางแบบขั้นบันได พบว่า ราคาค่าขนส่งต่อตันของผู้ประกอบการโลจิสติกส์บางรายอาจจะเหมาะกับการขนส่งไปยังลูกค้าในระยะทางหนึ่งเท่านั้น แต่การจัดการขนส่งแบบเดิมนี้ ส่งผลทำให้เกิดการเลือกผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทุกรายในทุกวัน ซึ่งส่งผลให้เกิดความยุ่งยากต่อการจัดการรายวันในสถานการณ์จริง และทำให้ไม่สามารถพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือค่าขนส่งโดยรวมที่ต่ำที่สุดในรอบเดือนได้

งานวิจัยนี้เสนอการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนในการจัดตารางการขนส่งรายวัน ที่เริ่มด้วยการใช้แนวคิดในการกำหนดผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมสำหรับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน เพื่อให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งในรอบเดือนต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละราย ด้วยแบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Transportation model) ที่เป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) จากนั้นใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับวางแผนการขนส่งรายวันตามแนวทางของผลลัพธ์ของแบบจำลองปัญหาการขนส่ง และตามเงื่อนไขต่าง ๆ ของการขนส่งในการจัดตารางการขนส่งรายวัน

ข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลองปัญหาการขนส่ง คือ น้ำหนักคอยล์ทั้งหมดที่ต้องส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือนจากการพยากรณ์ ที่พยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับ

รูปแบบข้อมูลมากที่สุด 4 วิธี คือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ 4 และ 5 เดือน การปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล วิธีการคาดคะเนแนวโน้ม และวิธีของโฮลต์และวินเทอร์แบบมีผลฤดูกาลเชิงคูณ การพยากรณ์ใช้ข้อมูลการขนส่งจริงของลูกค้าทุกรายในปี พ.ศ. 2559 แล้วเลือกผลการพยากรณ์ของลูกค้าแต่ละรายจากวิธีการพยากรณ์ที่มีค่า MSE ต่ำสุด แล้วรวมผลลัพธ์เป็นแบบรายกลุ่มที่มีอัตราค่าขนส่งเท่ากัน เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นพบว่าวิธีนี้ให้ผลการพยากรณ์ที่ดีกว่าการพยากรณ์แบบกลุ่ม เพราะความต้องการของลูกค้าแต่ละรายในกลุ่มเดียวกันส่วนใหญ่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ผลการพยากรณ์ของเดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ของลูกค้าจำนวน 27 รายนี้ มีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ร้อยละ 3.39 18.65 และ 5.47 ตามลำดับ

การประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง (Transportation model) นอกจากจะทำให้ทราบว่าผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายใดเหมาะสมกับลูกค้ารายใด ด้วยสัดส่วนการขนส่งเท่าไหร่ และยังทำให้ทราบค่าผลลัพธ์ค่าขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุดที่เป็นค่า Lower bound อีกด้วย ซึ่งพบว่าในการประมวลผลข้อมูลเดือนตุลาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนธันวาคม ผลลัพธ์เป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ กลุ่มลูกค้าที่เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K ได้แก่ D E F G H J K L กลุ่มลูกค้าที่เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ N ได้แก่ B C O P ส่วนกลุ่มลูกค้า A เหมาะกับผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทั้งสามราย

การนำผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาการขนส่งไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดสัดส่วนการเลือกผู้ประกอบการในแบบจำลอง MILP พบว่า ความคลาดเคลื่อนจากการใช้ค่าพยากรณ์ประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ส่งผลให้แบบจำลอง MILP สามารถให้ผลลัพธ์ถูกต้องตามเงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ เพียงช่วงแรกของเดือนเท่านั้น ดังนั้นในช่วงท้ายของเดือน หรือหลังจากประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนวันที่ทำการขนส่ง จึงจำเป็นต้องปรับสมดุลของสัดส่วนน้ำหนักของผู้ประกอบการโลจิสติกส์เพื่อชดเชยสัดส่วนที่คลาดเคลื่อนไป ซึ่งการวางแผนการขนส่งด้วยแบบจำลองปัญหาการขนส่งและ MILP ได้ผลลัพธ์ที่มีค่าขนส่งต่ำกว่าการวางแผนแบบเดิมในทุกเดือน โดยที่สัดส่วนในรอบเดือนเป็นไปตามสัญญาจ้างสามารถลดค่าขนส่งได้เฉลี่ย 190,148 บาทต่อเดือน หรือประมาณ 3.49 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริงได้เฉลี่ย 196.26 ตันต่อเดือน หรือประมาณ 37.07 เปอร์เซ็นต์

การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยชุดคำสั่ง VBA ที่ทำงานบน Microsoft excel เพื่อเข้ามาช่วยในการจัดเตรียมไฟล์ข้อมูลสำหรับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม และการจัดทำตารางการขนส่งรายวันจากผลลัพธ์ที่ได้นั้น สามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานจากเดิม

ที่ใช้ประสบการณ์ส่วนบุคคลในการตัดสินใจ 4-6 ชั่วโมงต่อวัน เหลือเพียง 30-40 นาทีต่อวัน ส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ TIMES-iCON2017 ดังภาคผนวก ฉ

## อภิปรายผลการวิจัย

| ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| วิธีการ | *คิดสัดส่วนรายวัน* | | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง *คิดสัดส่วนรายเดือน* | | แบบจำลองปัญหาการขนส่ง และMILP *คิดสัดส่วนรายเดือน* | |
| ลำดับ | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| เดือน | แบบเดิม | Pure MILP | ค่าจริง | ค่าพยากรณ์ | ค่าจริง | ค่าพยากรณ์ |
| ตุลาคม | 4,916,231 | 4,714,780 | 4,620,147 | 4,794,034 | 4,713,923 | 4,716,511 |
| พฤศจิกายน | 6,019,962 | 5,836,381 | 5,688,414 | 4,665,710 | 5,833,046 | 5,835,327 |
| ธันวาคม | 5,595,203 | 5,404,047 | 5,328,027 | 5,541,202 | 5,400,482 | 5,409,113 |
| รวม | 16,531,395 | 15,955,209 | 15,636,589 | 15,000,946 | 15,947,451 | 15,960,950 |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 5,510,465 | 5,318,403 | 5,212,196 | 5,000,315 | 5,315,817 | 5,320,317 |

ภาพที่ 5-1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์เพื่อดูประสิทธิภาพของงานวิจัย

การวิจัยพบว่ายิ่งข้อมูลนำเข้าแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่เป็นค่าพยากรณ์มีความแม่นยำสูง ยิ่งส่งผลให้ค่าขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนมีค่าลดลง แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ พบว่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เกิดจากข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ของลูกค้าจำนวน 5-6 รายต่อเดือน มีไม่เพียงพอ หรือมีไม่ถึง 6 เดือนในรอบ 1 ปี และความต้องการของลูกค้าบางรายไม่เสถียร อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากการพยากรณ์นี้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้วิจัยยอมรับได้และเพียงพอสำหรับการนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองปัญหาการขนส่ง

การทดสอบประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้ เมื่อสมมติให้การพยากรณ์มีความแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ข้อมูลจริงในการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่มีการกำหนดสัดส่วนน้ำหนักตามสัญญาจ้างแบบรายเดือน แล้วใช้แบบจำลอง MILP ในการจัดตารางการขนส่งรายวัน (วิธีการลำดับที่ 5 ภาพที่ 5-1) แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิจัยนี้สามารถลดค่าขนส่ง จากวิธีการใช้สัดส่วนน้ำหนักแบบรายเดือนในการกำหนดตารางการขนส่งแบบรายวันในการประมวลผลด้วยแบบจำลอง MILP เพียงอย่างเดียวได้ (วิธีการลำดับที่ 2 ภาพที่ 5-1) ถึงแม้ว่าจะคิดเป็นค่าเฉลี่ย

ต่อเดือนได้เพียง 2,586 บาท แต่หากมองในสถานการณ์จริงแล้ว งานวิจัยนี้สามารถลดความวุ่นวายในการจัดสรรรถของผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายต่าง ๆ ได้ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ทุกราย ในทุก ๆ วันเหมือนวิธีการแบบเดิม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมวลผลด้วยประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน (วิธีการลำดับที่ 1 ภาพที่ 5-1) กับการประมวลผลด้วยแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ (วิธีการลำดับที่ 2 ภาพที่ 5-1) ภายใต้เงื่อนไขการคำนวณแบบเดียวกัน พบว่าการประมวลผลด้วยแบบจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเฉลี่ยต่อเดือนลงได้ 192,062 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 3.5 ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัย

การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาการขนส่ง (วิธีการลำดับที่ 3 ภาพที่ 5-1) กับผลลัพธ์จากแบบจำลองปัญหาการขนส่งและ MILP (วิธีการลำดับที่ 5 ภาพที่ 5-1) เมื่อสมมติให้การพยากรณ์มีความแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยการใช้ข้อมูลจริงในการประมวลผลนั้น พบว่าแบบจำลองปัญหาการขนส่งและ MILP มีค่าเกินจากแบบจำลองปัญหาการขนส่งที่เป็นต้นแบบที่ให้ค่า Lower bound อยู่ 103,621 บาท ซึ่งค่าที่เกินนี้ เกิดจากค่าปรับกรณีที่จัดน้ำหนักคอยล์ขึ้นรถไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ และค่าส่วนต่างของการเลือกใช้รถบรรทุก 10 ล้อของผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K จากการวิเคราะห์การประมวลผลทางคณิตศาสตร์พบว่า สำหรับลูกค้ากลุ่ม A-F ในกรณีที่มีการจัดน้ำหนักของคันรถต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของรถบรรทุก 18 ล้อ (22 ตัน) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีทางเลือกเพิ่มในการเลือกใช้รถบรรทุก 10 ล้อ เนื่องจากการใช้ 10 ล้อของลูกค้ากลุ่มนี้อาจมีราคาต่ำกว่าค่าปรับจากน้ำหนักที่ไม่ถึง 22 ตัน ดังภาพที่ 5-2

| ลูกค้า | กลุ่ม | ประเภทรถ | เกณฑ์น้ำหนัก (ตัน) | น้ำหนักจริง (ตัน) | น้ำหนักที่ถูกคิดค่าขนส่ง (ตัน) | ค่าขนส่งต่อตัน (บาท) | ค่าขนส่งต่อเที่ยว (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | กลุ่ม A ถึง F | 10 ล้อ | 8-12 | 11.7 | 11.7 | 305 | 3,569 |
| | | 18 ล้อ | 22-31 | | 22 | 163 | 3,586 |
| K | ไม่ใช่กลุ่ม A ถึง F | 10 ล้อ | 8-12 | 11.9 | 11.9 | 841 | 10,008 |
| | | 18 ล้อ | 22-31 | | 22 | 331 | 7,282 |

ภาพที่ 5-2 การเปรียบเทียบค่าขนส่งจากการเลือกใช้รถแต่ละประเภทของลูกค้า 2 กลุ่ม

## ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. สำหรับแบบจำลองปัญหาการขนส่งหากต้องการให้ข้อมูลนำเข้าที่เป็นค่าจากการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงและลดขั้นตอนในการทำงานของบริษัทผู้คอยล์โลหะควรติดต่อขอข้อมูลความต้องการรายเดือนล่วงหน้าจากลูกค้าแต่ละราย แต่ถ้าหากทำการพยากรณ์เองควรเก็บข้อมูลการสั่งซื้อเพิ่มและศึกษาพฤติกรรมการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายควบคู่กับการพิจารณารูปแบบของการพยากรณ์ เนื่องจากลูกค้าบางรายมีพฤติกรรมการสั่งซื้อที่ไม่เสถียร เช่น มีการสั่งซื้อเฉพาะช่วงสิ้นปี หรือมีการสั่งซื้อเฉพาะในบางไตรมาสของปี หากมีข้อมูลการสั่งซื้อเพิ่มเติมที่เป็นปัจจุบัน ก็จะทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้การประมวลผลในขั้นตอนต่อ ๆ ไป ได้ผลลัพธ์ที่เป็นค่าขนส่งที่ต่ำที่สุดได้

2. การจัดการขนส่งจริงในทางปฏิบัตินั้น การกำหนดเงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักรายเดือนสามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ที่ค่าหนึ่ง เช่น การกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนที่มากกว่าหรือน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถปรับการขนส่งให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ที่คิดราคาค่าขนส่งต่อตันที่ต่ำที่สุดได้รับสัดส่วนน้ำหนักในการขนส่งที่สูงที่สุดได้ เช่น ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ K ซึ่งเป็นรายที่มีค่าขนส่งต่อตันที่ต่ำที่สุด ที่มีขอบเขตของเงื่อนไขเดิมที่ 70 เปอร์เซ็นต์ การปรับใหม่เป็น 71 เปอร์เซ็นต์ นี้จะทำให้สามารถลดค่าขนส่งรายเดือนได้ต่ำกว่าเดิม

3. การกำหนดค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch-and-bound percentage tolerance) และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) ในงานวิจัยนี้กำหนดจากการทดลองอย่างง่ายเมื่อใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล Gurobi การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สองค่านี้ยังสามารถทำได้ เพื่อให้ค่าผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจากขอบเขตล่าง (Lower bound cost) มากที่สุด การปรับเปลี่ยนควรคำนึงถึงสมรรถนะของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลที่ใช้ และเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ในการวางแผนการขนส่งจริง

4. การออกแบบสเปรดชีตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หากมีการออกแบบให้สามารถมีจำนวนตัวแปรและเงื่อนไขบังคับที่น้อยลงและมีเฉพาะที่จำเป็นต่อการประมวลผลในวันนั้นได้ จะสามารถลดเวลาในการโหลดข้อมูลลงตัวประมวลผลก่อนการประมวลผลได้ ซึ่งปัจจุบันใช้เวลาในการโหลดอยู่ที่ 10-15 นาที สำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์ 276 คอยล์ ไปยังลูกค้า 15 ราย มีจำนวนตัวแปรมากกว่า 80,000 ตัวแปร และจำนวนเงื่อนไขบังคับมากกว่า 19,278 เงื่อนไข เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบสเปรดชีตตั้งต้นที่เผื่อเซลล์ไว้สำหรับการใส่ข้อมูลที่แตกต่างกันในแต่ละวันจึงทำให้สเปรดชีตที่ใช้งานซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ จึงส่งผลต่อเวลาที่ใช้ก่อนและระหว่างการประมวลผล

# บรรณานุกรม


กนกกาญจน์ สอนหมวก. (2550). *การพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจด้านการพยากรณ์ความต้องการด้วยวิชวลเบสิคแอพลิเคชั่น*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

กสิณ คงเกียรติขจร. (2560). *Forecasting (การพยากรณ์)*. เข้าถึงได้จาก https://sites.google.com/site/kmaths55/mba/operations-management/forecasting

กาญจนา คำสมบัติ. (2553). *การวิจัยดำเนินงานสำหรับคอมพิวเตอร์ 1 (Operation research for computer 1)*. มหาสารคาม: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. เอกสารการสอน.

กุสุมา ใจงาม, ปนัดดา เชื้อโท, ธาราทิพย์ ทองพิมพ์, วรัญญู ทิพย์โพธิ์ และคลอเคลีย วจนะวิชากร. (2559). การพยากรณ์ความต้องการและการวางแผนการสั่งซื้อหลังคาเหล็กที่เหมาะสม. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1778-1783). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เกศกนก เดชผล และธารชุดา พันธ์นิกุล. (2559). การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์ในคลังเลือด กรณีศึกษาโรงพยาบาลประจำอำเภอ จังหวัดอุบลราชธานี. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1799-1804). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2546). *โลจิสติกส์และโซ่อุปทาน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์นัฏพร.

จณัสญา แก้วประสิทธิ์ และจิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์. (2559). แนวทางการเพิ่มอัตราการบรรทุกเต็ม. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1626-1632). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

จิระเดช สุชาดา. (2554). *วิธีปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยแนวโน้ม (Trend-adjusted Exponential Smoothing)*. เข้าถึงได้จาก https://inventorymanagementmetrics.blogspot.com/2011/12/trend-adjusted-exponential-smoothing.html

จีราวุธ วารินทร์. (2560). *สร้างระบบงานเพื่อจัดการข้อมูลด้วย Excel VBA* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: รีไรว่า.

เจษฎา คำภูมี. (2555). *การศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์อินเตอร์คอม*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชนินทร์ ตั้งชัยรุ่งเรือง, สมัชชา พากวัด และณัฐนารี สุขเสกสรรค์. (2559). การปรับปรุงการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีศึกษา ร้านน้ำแข็งเด่นชัย. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1584-1590). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณิชกุล ชาวน้ำ, นันทชัย กานตานันทะ และนราภรณ์ เภาประเสริฐ. (2559). การพยากรณ์ความต้องการสารเคมีของโรงงานผลิตน้ำบางเขน. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1696-1700). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธนสรรค์ แขวงโสภา. (2553). *การจัดการกิจการขนส่ง* (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ธนาพร กุลเภตรานนท์ และณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์. (2559). การลดต้นทุนการขนส่งสินค้า กรณีศึกษาโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1557-1562). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ธิดารัตน์ ร้อยนาค. (2560). *แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสี*. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

นราธิป สุพัฒน์ธนานนท์ และรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล. (2559). ต้นทุนการขนส่งที่เหมาะสม สำหรับการจัดเส้นทางและการจัดรถบรรทุกหลายขนาด โดยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม กรณีศึกษาบริษัทกระจายสินค้าเครื่องดื่ม. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 38–43). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

บรรหาญ ลิลา. (2553). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: ท้อป.

ประชาชาติธุรกิจออนไลน์. (2558). *โรงงานเหล็กวิกฤตลดกำลังการผลิตหนีตาย*. เข้าถึงได้จาก https://www.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1434089862

พฤทธ์สรรค์ สุทธิไชยเมธ. (2555). วิธีวิทยาการการแก้ปัญหาการขนส่งอย่างง่าย. วารสารวิชาการคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, *7*(1), 126-144.

พงษ์พัฒน์ เวชการ. (2559). *Stackoverflow ถ้าไม่รู้จักไม่ใช่โปรแกรมเมอร์*. เข้าถึงได้จาก http://www. glurgeek.com/education/stackoverflow-ถ้าไม่รู้จักไม่ใช่โปรแกรมเมอร์

มาลินี บุตรพรม และณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม. (2559). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วย Visual Basic Application กรณีศึกษา บริษัทผู้ผลิตชุดสายไฟสำเร็จรูปสำหรับผลิตรถยนต์. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 1591-1596). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เมลธ. (2555). *กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อน และ เหล็กแผ่นรีดเย็น*. เข้าถึงได้จาก https://metalth.wordpress.com/2012/08/27/กระบวนการผลิตเหล็กแผ่น/

รุ่งรัตน์ ภิสัชเพ็ญ และพรธิภา องค์คุณารักษ์. (2556). *การวิจัยดำเนินงาน*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ศูนย์อาเซียน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย. (2558). *ข้อมูลการค้าการลงทุนไทย*. เข้าถึงได้จาก http://www.fact.fti.or.th

สมฤทัย ไกยวรรณ์ และวีรวิชญ์ เลิศไทยตระกูล. (2558). *การพยากรณ์ความต้องการผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปและการลดต้นทุนสินค้าคงคลังในอุตสาหกรรมอาหาร: กรณีศึกษา บริษัท ABCจำกัด*. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการโลจิสติกส์, คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศรีปทุมวิทยาเขตชลบุรี.

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร กระทรวงคมนาคม. (2557). *ยุทธศาสตร์กาพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมขนส่งของไทย พ.ศ. 2558-2565*. วันที่ค้นข้อมูล 20 กรกฎาคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.news.mot.go.th/motc/portal/graph/index_otp12.html

สุทธิมา ชำนาญเวช. (2552). *การวิจัยดำเนินงาน* . กรุงเทพฯ: วิทยพัฒน์

อำนาจ นุตะมาน. (2550). *เขียนโปรแกรมและพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย VBA บน Excel ฉบับโปรแกรมเมอร์*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เอกวิทย์ พิมพ์ปัจฉิม และรักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล. (2559). การจัดรถบรรทุกสินค้าที่เหมาะสมจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังคลังสินค้าย่อย กรณีศึกษาบริษัทกระจายสินค้าเครื่องดื่ม. ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 44–50). ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Ahmadi, A., & Jokar, M. A. (2016). An efficient multiple-stage mathematical programming method for advanced single and multi-floor facility layout problems. *Applied Mathematical Modelling*, *40*, 5605-5620.

Albright, S. C. (2012). *VBA for Modelers Developing Decision Support Systems with Microsoft office Excel* (4th ed.). Mason, OH: South-Western.

Boundless. (2016). *Forecasting.* Retrieved from https://www.boundless.com/management/textbooks/boundless-management-textbook/strategic-management-12/internal-analysis-nputs-to-strategy-88/forecasting-428-883/

FrontlineSolvers. (2017). *Standard excel solver - dealing with problem size limits.* Retrieved from http://www.solver.com/standard-excel-solver-dealing-problem-size-limits#Limits on Decision Variables

Gurobi Optimization Inc. (2016). *Gurobi Optimizer Reference Manual*. Retrieved from http://www.gurobi.com

Hanna, M. M. (2004). *Principles of designing and developing spreadsheet-based decision support systems.* Master's thesis, Industrial and Systems Engineering, Faculty of Science, University of Florida.

Heizer, J., & Render B. (2008). *Operations management* (9th ed). Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall.

Hongsheng, L. (2010). Programming VA Macro with the Recording Tool of Excel. In *Interational Conference on Computer and Communication Technologies in Agriculture Engineering* (pp. 53-56). n.p.

Mason, A. J. (2012). OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Progammes in Excel. In *Operations Research Proceedings 2011*. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29210-1_64

Ragsdale, C. T. (2011). *Managerial Decision Modeling* (6th ed.). Mason, OH: South-Western.

Sipos, M. L., & Sweeney, R. E. (2003). Behavioral data management using Visual Basic For Applications to automate data capture and analysis. *Journal of Neuroscience Methods. 128*, 53-65.

Tan, Y. & Takakuwa, S. (2016). A practical simulation approach for an effective truck dispatching system of open pit mines using VBA. *In 2016 Winter Simulation Conference* (pp. 2394-2405). n.p.

Verstichel, J., Vancroonenburg, W., Souffriau, W. & Berghe, G. V. (2011). A mixed integer programming approach to the aircraft weight and balance problem. *Procedia Social and Behavioral Sciences, 20,* 1051-1059.

Winston, W. L., & Goldberg, J. B. (2004). *Operations research: Applications and algorithms* (4th ed.). Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole.

# ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**

ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งก่อนและหลังปรับปรุง วันที่ 12 ธันวาคม 2559

ตารางภาคผนวก ก-1 ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งก่อนปรับปรุง

| วันที่ | หมายเลขคอยล์ | ลูกค้า | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | รถบรรทุก | น้ำหนักขนจริง (ตัน) | น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน) | ราคา (บาท/ตัน) | ค่าใช้จ่ายรวม (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/12 | X22231 | F2 | 8.33 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20681 | F2 | 13.73 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20762 | F2 | 7.54 | K | 18W | 29.6 | 29.6 | 208 | 6156.8 |
| 2016/12/12 | Y16931 | F2 | 11.46 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17361 | F2 | 11.79 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20471 | F2 | 6.73 | K | 18W | 29.98 | 29.98 | 208 | 6235.84 |
| 2016/12/12 | Y16541 | F2 | 11.39 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16542 | F2 | 11.66 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16602 | F2 | 6.73 | K | 18W | 29.78 | 29.78 | 208 | 6194.24 |
| 2016/12/12 | Y16632 | F2 | 10.48 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y18242 | F2 | 11.05 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20473 | F2 | 8.41 | K | 18W | 29.94 | 29.94 | 208 | 6227.52 |
| 2016/12/12 | Y15381 | F2 | 11.48 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y19222 | F2 | 11.25 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20761 | F2 | 7.39 | K | 18W | 30.12 | 30.12 | 208 | 6264.96 |
| 2016/12/12 | J07591 | F2 | 11.27 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X16182 | F2 | 9.2 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17151 | F2 | 8.77 | K | 18W | 29.24 | 29.24 | 208 | 6081.92 |
| 2016/12/12 | X20602 | F2 | 9.26 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16612 | F2 | 10.46 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17132 | F2 | 10.45 | K | 18W | 30.17 | 30.17 | 208 | 6275.36 |
| 2016/12/12 | X22232 | F2 | 9.85 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20581 | F2 | 10.37 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20692 | F2 | 9.46 | K | 18W | 29.68 | 29.68 | 208 | 6173.44 |
| 2016/12/12 | Y14931 | F2 | 10.3 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y14932 | F2 | 9.2 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16752 | F2 | 10.4 | K | 18W | 29.9 | 29.9 | 208 | 6219.2 |
| 2016/12/12 | X22433 | F5 | 10.22 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y15972 | F5 | 11.46 | K | 18W | 21.68 | 22 | 208 | 4576 |
| 2016/12/12 | Y15941 | F5 | 11.37 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y15971 | F5 | 11.31 | K | 18W | 22.68 | 22.68 | 208 | 4717.44 |
| 2016/12/12 | X29121 | F5 | 9.69 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X30653 | F5 | 6.25 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20071 | F5 | 9.36 | K | 18W | 25.3 | 25.3 | 208 | 5262.4 |
| 2016/12/12 | X20713 | F5 | 7.17 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X30651 | F5 | 6.31 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20072 | F5 | 9.43 | K | 18W | 22.91 | 22.91 | 208 | 4765.28 |
| 2016/12/12 | Y16611 | F2 | 10.19 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17121 | F2 | 10.21 | N | | | | | |

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

| วันที่ | หมายเลขคอยล์ | ลูกค้า | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | รถบรรทุก | น้ำหนักขนจริง (ตัน) | น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน) | ราคา (บาท/ตัน) | ค่าใช้จ่ายรวม (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/12 | Y20691 | F2 | 9.21 | N | 18W | 29.61 | 29.61 | 241 | 7136.01 |
| 2016/12/12 | X22494 | F2 | 8.41 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | X23682 | F2 | 8.37 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16641 | F2 | 13.85 | N | 18W | 30.63 | 30.63 | 241 | 7381.83 |
| 2016/12/12 | X21302 | F2 | 10.14 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16601 | F2 | 10.04 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17122 | F2 | 10.12 | N | 18W | 30.3 | 30.3 | 241 | 7302.3 |
| 2016/12/12 | X22023 | F2 | 9.26 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17141 | F2 | 10.17 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y18241 | F2 | 10.8 | N | 18W | 30.23 | 30.23 | 241 | 7285.43 |
| 2016/12/12 | X21281 | F2 | 9.43 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16142 | F2 | 9.76 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16631 | F2 | 10.17 | N | 18W | 29.36 | 29.36 | 241 | 7075.76 |
| 2016/12/12 | X20621 | F2 | 9.52 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16141 | F2 | 9.55 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20481 | F2 | 9.44 | N | 18W | 28.51 | 28.51 | 241 | 6870.91 |
| 2016/12/12 | W05822 | G1 | 6.75 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | W14342 | G1 | 5.15 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | W14343 | G1 | 5.42 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | X07852 | G1 | 11.53 | N | 18W | 28.85 | 28.85 | 259 | 7472.15 |
| 2016/12/12 | W05824 | G1 | 5.65 | N | | | | | |
| 2016/12/12 | X03392 | G1 | 8.04 | N | 18W | 13.69 | 22 | 259 | 5698 |
| | | | | | รวม | 582.16 | 590.79 | | 131372.79 |

ตารางภาคผนวก ก-2 ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งหลังปรับปรุง

| วันที่ | หมายเลขคอยล์ | ลูกค้า | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | รอบรรทุก | น้ำหนักขนจริง (ตัน) | น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน) | ราคา (บาท/ตัน) | ค่าใช้จ่ายรวม (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/12 | Y20681 | F2 | 13.73 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16641 | F2 | 13.85 | K | 18W | 27.58 | 27.58 | 208 | 5736.64 |
| 2016/12/12 | Y20473 | F2 | 8.41 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16612 | F2 | 10.46 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y14932 | F2 | 9.2 | K | 18W | 28.07 | 28.07 | 208 | 5838.56 |
| 2016/12/12 | Y18242 | F2 | 11.05 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X20602 | F2 | 9.26 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y14931 | F2 | 10.3 | K | 18W | 30.61 | 30.61 | 208 | 6366.88 |
| 2016/12/12 | Y16632 | F2 | 10.48 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X22494 | F2 | 8.41 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16141 | F2 | 9.55 | K | 18W | 28.44 | 28.44 | 208 | 5915.52 |
| 2016/12/12 | Y20762 | F2 | 7.54 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17132 | F2 | 10.45 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20581 | F2 | 10.37 | K | 18W | 28.36 | 28.36 | 208 | 5898.88 |
| 2016/12/12 | Y16752 | F2 | 10.4 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16611 | F2 | 10.19 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17122 | F2 | 10.12 | K | 18W | 30.71 | 30.71 | 208 | 6387.68 |
| 2016/12/12 | X22231 | F2 | 8.33 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16602 | F2 | 6.73 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X21281 | F2 | 9.43 | K | 18W | 24.49 | 24.49 | 208 | 5093.92 |
| 2016/12/12 | J07591 | F2 | 11.27 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20691 | F2 | 9.21 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X23682 | F2 | 8.37 | K | 18W | 28.85 | 28.85 | 208 | 6000.8 |
| 2016/12/12 | Y16142 | F2 | 9.76 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16631 | F2 | 10.17 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20481 | F2 | 9.44 | K | 18W | 29.37 | 29.37 | 208 | 6108.96 |
| 2016/12/12 | Y17151 | F2 | 8.77 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y18241 | F2 | 10.8 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X20621 | F2 | 9.52 | K | 18W | 29.09 | 29.09 | 208 | 6050.72 |
| 2016/12/12 | Y16542 | F2 | 11.66 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y19222 | F2 | 11.25 | K | 18W | 22.91 | 22.91 | 208 | 4765.28 |
| 2016/12/12 | Y16931 | F2 | 11.46 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20471 | F2 | 6.73 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X21302 | F2 | 10.14 | K | 18W | 28.33 | 28.33 | 208 | 5892.64 |
| 2016/12/12 | Y17361 | F2 | 11.79 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y15381 | F2 | 11.48 | K | 18W | 23.27 | 23.27 | 208 | 4840.16 |
| 2016/12/12 | X16182 | F2 | 9.2 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X22232 | F2 | 9.85 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20692 | F2 | 9.46 | K | 18W | 28.51 | 28.51 | 208 | 5930.08 |
| 2016/12/12 | Y16541 | F2 | 11.39 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17121 | F2 | 10.21 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X22023 | F2 | 9.26 | K | 18W | 30.86 | 30.86 | 208 | 6418.88 |
| 2016/12/12 | Y20761 | F2 | 7.39 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y16601 | F2 | 10.04 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y17141 | F2 | 10.17 | K | 18W | 27.6 | 27.6 | 208 | 5740.8 |

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

| วันที่ | หมายเลขคอยล์ | ลูกค้า | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | รถบรรทุก | น้ำหนักขนจริง (ตัน) | น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน) | ราคา (บาท/ตัน) | ค่าใช้จ่ายรวม (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2016/12/12 | X29121 | F5 | 9.69 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X30653 | F5 | 6.25 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X30651 | F5 | 6.31 | K | 18W | 22.25 | 22.25 | 208 | 4628 |
| 2016/12/12 | Y20071 | F5 | 9.36 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X20713 | F5 | 7.17 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y20072 | F5 | 9.43 | K | 18W | 25.96 | 25.96 | 208 | 5399.68 |
| 2016/12/12 | Y15941 | F5 | 11.37 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y15971 | F5 | 11.31 | K | 18W | 22.68 | 22.68 | 208 | 4717.44 |
| 2016/12/12 | X22433 | F5 | 10.22 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | Y15972 | F5 | 11.46 | K | 18W | 21.68 | 22 | 208 | 4576 |
| 2016/12/12 | W05822 | G1 | 6.75 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | W05824 | G1 | 5.65 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X03392 | G1 | 8.04 | K | 18W | 20.44 | 22 | 226 | 4972 |
| 2016/12/12 | W14342 | G1 | 5.15 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | W14343 | G1 | 5.42 | K | | | | | |
| 2016/12/12 | X07852 | G1 | 11.53 | K | 18W | 22.1 | 22.1 | 226 | 4994.6 |
| | | | | | รวม | 582.16 | 584.04 | | 122274.12 |

**ภาคผนวก ข**

ข้อมูลความต้องการของลูกค้าย้อนหลังปี พ.ศ. 2559 และผลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า

ตารางภาคผนวก ข-1 ความต้องการจริงของลูกค้าแต่ละรายปี พ.ศ. 2559

| ลูกค้า | ความต้องการจริงของลูกค้าในแต่ละเดือน (ตัน) | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ผลรวม |
| A1 | 4,451.05 | 4,438.89 | 3,134.34 | 2,116.02 | 3,977.10 | 4,461.73 | 4,041.38 | 4,263.15 | 4,544.68 | 5,444.19 | 6,584.57 | 5,804.23 | 53,261.33 |
| A2 | 114.64 | 89.02 | 298.02 | 246.26 | 77.96 | 312.87 | 129.92 | 290.32 | 87.92 | 134.66 | 267.89 | 412.54 | 2,462.02 |
| A3 | 185.84 | 238.17 | 254.30 | 38.41 | 201.58 | 231.89 | 337.37 | 364.82 | 302.14 | 357.93 | 704.28 | 330.81 | 3,547.54 |
| B1 | 37.23 | 16.32 | 78.61 | | 66.20 | 157.80 | 356.69 | 211.38 | 191.16 | 229.86 | 214.19 | 258.20 | 1,817.64 |
| C1 | 15.42 | 41.09 | | 20.80 | 30.47 | 34.75 | 79.50 | 55.84 | 144.01 | 22.34 | 99.52 | 50.63 | 594.37 |
| C2 | | | | | | | 3,023.75 | 2,751.44 | 942.29 | 767.13 | 728.51 | 914.86 | 9,127.98 |
| C3 | | | | | 56.55 | 29.94 | | 11.47 | 11.54 | | 53.80 | 77.68 | 240.98 |
| D1 | 2,682.23 | 1,611.82 | 2,192.59 | 1,592.49 | 1,361.87 | 1,531.40 | 1,549.79 | 1,607.19 | 1,733.67 | 1,577.16 | 2,724.86 | 1,451.96 | 21,617.03 |
| D2 | | 1,311.82 | 2,090.42 | 473.53 | | | 457.50 | 1,121.89 | 1,699.58 | 490.36 | 185.51 | 143.79 | 7,974.40 |
| D3 | | | | | | | | | | 301.21 | 1,867.79 | 1,730.26 | 3,899.26 |
| D5 | 95.9 | 736.75 | 730.51 | 223.25 | 445.89 | 965.03 | 445.08 | 310.69 | 380.13 | 481.96 | 533.98 | 479.33 | 5,828.50 |
| E1 | 1,761.84 | 2,560.20 | 974.32 | 1,006.26 | 1,380.05 | 1,916.69 | 1,529.34 | 1,089.01 | 1,498.68 | 554.95 | | | 14,271.34 |
| E2 | 2,094.94 | 2,703.40 | 2,203.38 | 1,443.45 | 1,000.39 | 1,140.51 | 2,100.87 | 1,032.72 | 1,129.61 | 711.86 | 699.58 | 594.24 | 16,854.95 |
| F1 | | 371.40 | 905.30 | 500.58 | 391.38 | 970.28 | 476.26 | 498.63 | 442.34 | 353.49 | 231.55 | 362.18 | 5,503.39 |
| F2 | 7,230.41 | 5,150.75 | 6,269.67 | 4,396.05 | 5,243.52 | 5,142.10 | 5,419.40 | 5,999.64 | 6,678.10 | 6,074.65 | 6,635.91 | 6,677.46 | 70,917.66 |
| F3 | 420.4 | 390.83 | 1,104.11 | 747.95 | 327.44 | 912.89 | 137.41 | 163.37 | 170.30 | 257.23 | 298.86 | 870.27 | 5,801.06 |
| F4 | 34.32 | 247.37 | 504.41 | 86.38 | 338.94 | 512.74 | 362.55 | 384.64 | 231.26 | 505.21 | 419.76 | 486.93 | 4,114.51 |
| F5 | 112.38 | 761.50 | 320.19 | 514.37 | 618.55 | 916.45 | 631.78 | 586.95 | 591.36 | 626.34 | 1,065.23 | 781.31 | 7,526.41 |
| G1 | 3,945.15 | 4,001.26 | 5,410.31 | 3,469.46 | 5,892.77 | 5,157.01 | 1,921.76 | 2,033.45 | 1,480.52 | 3,139.86 | 4,206.15 | 4,125.40 | 44,783.10 |
| H1 | 160.99 | 128.39 | 214.29 | 316.11 | 439.04 | 221.64 | 420.27 | 241.26 | 496.75 | 142.82 | 278.49 | 454.69 | 3,514.74 |
| J2 | | | | | | | | | | | 72.68 | 18.30 | 90.98 |
| K2 | 30.35 | 23.18 | 8.24 | 11.51 | 23.47 | 11.50 | 12.03 | 11.55 | 18.24 | | | | 150.07 |
| K3 | 263.98 | 268.60 | 447.45 | 652.44 | 708.19 | 1,210.59 | 702.27 | 451.83 | 741.15 | 775.08 | 497.91 | 559.31 | 7,278.80 |
| L3 | 67.92 | 140.81 | 393.71 | 250.93 | 177.57 | 334.30 | 382.36 | 639.36 | 478.07 | 380.17 | 328.18 | 178.93 | 3,752.31 |
| O1 | 40.19 | 444.65 | 199.64 | 162.08 | 208.70 | 233.68 | 199.38 | 200.41 | 113.88 | 152.98 | 231.11 | 127.77 | 2,314.47 |
| O2 | | | | | | | | 194.36 | 64.80 | 15.56 | 174.18 | 103.96 | 552.86 |
| P1 | | | | | | | 17.03 | 154.11 | 44.48 | 17.27 | 114.55 | 127.93 | 475.37 |
| ผลรวม | 23745.18 | 25,676.22 | 27,733.81 | 18,268.33 | 22,967.63 | 26,405.79 | 24,733.69 | 24,669.48 | 24,216.66 | 23,514.27 | 29,219.04 | 27,122.97 | 298,273.07 |

ตารางภาคผนวก ข-2 สรุปรูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมของแต่ละลูกค้าในแต่ละเดือน

| | **รูปแบบการพยากรณ์** | | |
|---|---|---|---|
| **ลูกค้า** | **ต.ค.** | **พ.ย.** | **ธ.ค.** |
| A1 | TREND | TREND | TREND |
| A2 | TREND | TREND | TREND |
| A3 | TREND | TREND | TREND |
| B1 | TREND | TREND | TREND |
| C1 | TREND | TREND | TREND |
| C2 | TREND | TREND | TREND |
| C3 | TREND | TREND | TREND |
| D1 | TREND | TREND | TREND |
| D2 | TREND | TREND | TREND |
| D3 | - | TREND | Multi-Holt |
| D5 | MA-4 | MA-4 | TREND |
| E1 | MA-5 | TREND | TREND |
| E2 | TREND | TREND | TREND |
| F1 | TREND | TREND | TREND |
| F2 | TREND | TREND | TREND |
| F3 | TREND | TREND | TREND |
| F4 | TREND | TREND | TREND |
| F5 | TREND | TREND | TREND |
| G1 | TREND | TREND | TREND |
| H1 | TREND | TREND | TREND |
| J2 | - | - | TREND |
| K2 | MA-4 | TREND | TREND |
| K3 | Multi-Holt | Multi-Holt | Multi-Holt |
| L3 | TREND | TREND | TREND |
| O1 | TREND | TREND | TREND |
| O2 | TREND | TREND | TREND |
| P1 | TREND | TREND | TREND |

ตารางภาคผนวก ข-3 ผลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเดือน ต.ค. ปี พ.ศ. 2559

| ลูกค้า | รูปแบบการพยากรณ์ | จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ | ค่าการพยากรณ์ (ตัน) | ค่าความต้องการจริง (ตัน) | ความคลาดเคลื่อนจากค่าความต้องการจริง (ตัน) | **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | TREND | 9 | 4,262.76 | 5,444.19 | -1,181.43 | -21.70% |
| A2 | TREND | 9 | 201.94 | 134.66 | 67.28 | 49.97% |
| A3 | TREND | 9 | 346.38 | 357.93 | -11.55 | -3.23% |
| B1 | TREND | 9 | 277.16 | 229.86 | 47.30 | 20.58% |
| C1 | TREND | 8 | 108.41 | 22.34 | 86.07 | 385.25% |
| C2 | TREND | 3 | 2,252.30 | 767.13 | 1,485.17 | 193.60% |
| C3 | TREND | 4 | 29.95 | - | 29.95 | 100% |
| D1 | TREND | 9 | 1,342.21 | 1,577.16 | -234.95 | -14.90% |
| D2 | TREND | 6 | 1,002.40 | 490.36 | 512.04 | 104.42% |
| D3 | - | - | - | 301.21 | -301.21 | -100% |
| D5 | MA-4 | 9 | 525.23 | 481.96 | 43.27 | 8.98% |
| E1 | MA-5 | 9 | 1,486.44 | 554.95 | 931.49 | 167.85% |
| E2 | TREND | 9 | 878.68 | 711.86 | 166.82 | 23.43% |
| F1 | TREND | 8 | 647.92 | 353.49 | 294.43 | 83.29% |
| F2 | TREND | 9 | 5,691.51 | 6,056.18 | -364.67 | -6.02% |
| F3 | TREND | 9 | 175.92 | 257.23 | -81.31 | -31.61% |
| F4 | TREND | 9 | 398.46 | 505.21 | -106.75 | -21.13% |
| F5 | TREND | 9 | 779.97 | 626.34 | 153.63 | 24.53% |
| G1 | TREND | 9 | 1,992.25 | 3,139.86 | -1,147.61 | -36.55% |
| H1 | TREND | 9 | 454.71 | 142.82 | 311.89 | 218.38% |
| K2 | MA-4 | 9 | 13.33 | - | 13.33 | 100% |
| K3 | Multi-Holt | 9 | 509.17 | 775.08 | -265.91 | -34.31% |
| L3 | TREND | 9 | 576.01 | 380.17 | 195.84 | 51.51% |
| O1 | TREND | 9 | 160.03 | 152.98 | 7.05 | 4.61% |
| O2 | TREND | 2 | 98.99 | 15.56 | 83.43 | 536.15% |
| P1 | TREND | 3 | 80.15 | 17.27 | 62.88 | 364.10% |
| ผลรวม | | | 24,292.29 | 23,495.80 | | |
| **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนรวม | | | 3.39% | | | |

** เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน $= \frac{(\text{ค่าจากการพยากรณ์} - \text{ค่าความต้องการจริง}) x100}{\text{ค่าความต้องการจริง}}$

ตารางภาคผนวก ข-4 ผลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเดือน พ.ย. ปี พ.ศ. 2559

| ลูกค้า | รูปแบบการพยากรณ์ | จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ | ค่าการพยากรณ์ (ตัน) | ค่าความต้องการจริง (ตัน) | ความคลาดเคลื่อนจากค่าความต้องการจริง (ตัน) | **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | TREND | 10 | 4,798.65 | 6,584.57 | -1,785.92 | -27.10% |
| A2 | TREND | 10 | 178.82 | 267.89 | -89.07 | -33.20% |
| A3 | TREND | 10 | 373.16 | 704.28 | -331.12 | -47.00% |
| B1 | TREND | 10 | 287.64 | 214.19 | 73.45 | 34.30% |
| C1 | TREND | 9 | 86.17 | 99.52 | -13.35 | -13.40% |
| C2 | TREND | 4 | 1,959.42 | 728.51 | 1,230.91 | 169.00% |
| C3 | TREND | 4 | 20.55 | 53.80 | -33.25 | -61.80% |
| D1 | TREND | 10 | 1,351.70 | 2,724.86 | -1,373.16 | -50.40% |
| D2 | TREND | 7 | 839.07 | 185.51 | 653.56 | 352.30% |
| D3 | TREND | 1 | 120.48 | 1,867.79 | -1,747.31 | -93.50% |
| D5 | MA-4 | 10 | 404.47 | 533.98 | -129.52 | -24.30% |
| E1 | TREND | 10 | 908.52 | - | 908.52 | 100% |
| E2 | TREND | 10 | 658.71 | 699.58 | -40.87 | -5.80% |
| F1 | TREND | 9 | 558.53 | 231.55 | 326.98 | 141.20% |
| F2 | TREND | 10 | 5,832.56 | 6,635.91 | -803.35 | -12.10% |
| F3 | TREND | 10 | 157.97 | 298.86 | -140.89 | -47.10% |
| F4 | TREND | 10 | 460.06 | 419.76 | 40.30 | 9.60% |
| F5 | TREND | 10 | 763.04 | 1,065.23 | -302.19 | -28.40% |
| G1 | TREND | 10 | 2,099.10 | 4,206.15 | -2,107.05 | -50.10% |
| H1 | TREND | 10 | 362.02 | 278.49 | 83.53 | 30.00% |
| J2 | - | 0 | 0.00 | 72.68 | -72.68 | -100% |
| K2 | TREND | 9 | 4.95 | - | 4.95 | 100.00% |
| K3 | Multi-Holt | 10 | 697.47 | 497.91 | 199.56 | 40.10% |
| L3 | TREND | 10 | 551.92 | 328.18 | 223.74 | 68.20% |
| O1 | TREND | 10 | 147.61 | 231.11 | -83.50 | -36.10% |
| O2 | TREND | 3 | 79.65 | 174.18 | -94.53 | -54.30% |
| P1 | TREND | 4 | 66.24 | 114.55 | -48.31 | -42.20% |
| ผลรวม | | | 23,768.48 | 29,219.04 | | |
| **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนรวม | | | -18.65% | | | |

** เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน $= \frac{(\text{ค่าจากการพยากรณ์} - \text{ค่าความต้องการจริง}) x100}{\text{ค่าความต้องการจริง}}$

ตารางภาคผนวก ข-5 ผลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้าเดือน ธ.ค. ปี พ.ศ. 2559

| ลูกค้า | รูปแบบการพยากรณ์ | จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ | ค่าการพยากรณ์ (ตัน) | ค่าความต้องการจริง (ตัน) | ความคลาดเคลื่อนจากค่าความต้องการจริง (ตัน) | **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | TREND | 11 | 5,575.83 | 5,804.23 | -228.40 | -3.93% |
| A2 | TREND | 11 | 211.33 | 412.54 | -201.21 | -48.77% |
| A3 | TREND | 11 | 516.35 | 330.81 | 185.54 | 56.09% |
| B1 | TREND | 11 | 287.76 | 258.20 | 29.56 | 11.45% |
| C1 | TREND | 10 | 98.52 | 50.63 | 47.89 | 94.60% |
| C2 | TREND | 5 | 1,731.99 | 914.86 | 817.13 | 89.32% |
| C3 | TREND | 5 | 33.58 | 77.68 | -44.10 | -56.77% |
| D1 | TREND | 11 | 1,779.35 | 1,451.96 | 327.39 | 22.55% |
| D2 | TREND | 8 | 614.97 | 143.79 | 471.18 | 327.69% |
| D3 | Multi-Holt | 2 | 3,434.37 | 1,730.26 | 1,704.11 | 98.49% |
| D5 | TREND | 11 | 501.34 | 479.33 | 22.01 | 4.59% |
| E1 | TREND | 10 | 483.43 | - | 483.43 | 100.00% |
| E2 | TREND | 11 | 511.23 | 594.24 | -83.01 | -13.97% |
| F1 | TREND | 10 | 451.94 | 362.18 | 89.76 | 24.78% |
| F2 | TREND | 11 | 6,139.77 | 6,677.46 | -537.69 | -8.05% |
| F3 | TREND | 11 | 163.17 | 870.27 | -707.10 | -81.25% |
| F4 | TREND | 11 | 470.13 | 486.93 | -16.80 | -3.45% |
| F5 | TREND | 11 | 909.07 | 781.31 | 127.76 | 16.35% |
| G1 | TREND | 11 | 2,575.69 | 4,125.40 | -1,549.71 | -37.56% |
| H1 | TREND | 11 | 346.70 | 454.69 | -107.99 | -23.75% |
| J2 | TREND | 1 | 26.43 | 18.30 | 8.13 | 44.42% |
| K2 | TREND | 9 | 1.32 | - | 1.32 | 100.00% |
| K3 | Multi-Holt | 11 | 844.28 | 559.31 | 284.97 | 50.95% |
| L3 | TREND | 11 | 514.12 | 178.93 | 335.19 | 187.33% |
| O1 | TREND | 11 | 167.99 | 127.77 | 40.22 | 31.48% |
| O2 | TREND | 4 | 123.51 | 103.96 | 19.55 | 18.81% |
| P1 | TREND | 5 | 91.61 | 127.93 | -36.32 | -28.39% |
| ผลรวม | | | 28,605.81 | 27,122.97 | | |
| **เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนรวม | | | 5.47% | | | |

** เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน $= \frac{(\text{ค่าจากการพยากรณ์} - \text{ค่าความต้องการจริง}) x100}{\text{ค่าความต้องการจริง}}$

**ภาคผนวก ค**

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการขนส่ง

ตารางภาคผนวก ค-1 ผลลัพธ์จากการใช้ข้อมูลความต้องการจริงเดือน ต.ค. – ธ.ค. ประมวลผล

| ลำดับที่ | วันที่ | น้ำหนักสะสม (ตัน) | | | สัดส่วนสะสม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M | K: 70% | N: 20% | M: 10% |
| 1 | 10/3/2016 | 1038.83 | 228 | 0 | 82.00% | 18.00% | 0.00% |
| 2 | 10/4/2016 | 2180.1 | 364.79 | 344.79 | 75.44% | 12.62% | 11.93% |
| 3 | 10/5/2016 | 3452.27 | 686.17 | 344.79 | 77.00% | 15.31% | 7.69% |
| 4 | 10/6/2016 | 4570.9 | 1048.5 | 344.79 | 76.64% | 17.58% | 5.78% |
| 5 | 10/7/2016 | 5325.89 | 1048.5 | 521.07 | 77.24% | 15.21% | 7.56% |
| 6 | 10/10/2016 | 5952.16 | 1067.81 | 883.54 | 75.31% | 13.51% | 11.18% |
| 7 | 10/11/2016 | 6932.71 | 1854.01 | 883.54 | 71.69% | 19.17% | 9.14% |
| 8 | 10/12/2016 | 7747.34 | 2018.96 | 1214.76 | 70.55% | 18.39% | 11.06% |
| 9 | 10/13/2016 | 8863.41 | 2567.91 | 1214.76 | 70.09% | 20.31% | 9.61% |
| 10 | 10/14/2016 | 9537.12 | 2681.39 | 1491.27 | 69.56% | 19.56% | 10.88% |
| 11 | 10/17/2016 | 10153.23 | 2939.53 | 1491.27 | 69.62% | 20.16% | 10.23% |
| 12 | 10/18/2016 | 10620.74 | 3273.12 | 1491.27 | 69.03% | 21.27% | 9.69% |
| 13 | 10/19/2016 | 11277.66 | 3423.64 | 1665.67 | 68.90% | 20.92% | 10.18% |
| 14 | 10/20/2016 | 12668.2 | 3870.24 | 1665.67 | 69.59% | 21.26% | 9.15% |
| 15 | 10/21/2016 | 13564.07 | 3870.24 | 1991.87 | 69.82% | 19.92% | 10.25% |
| 16 | 10/25/2016 | 14652.44 | 4191.14 | 1991.87 | 70.32% | 20.12% | 9.56% |
| 17 | 10/26/2016 | 15402.97 | 4622.33 | 2014.57 | 69.89% | 20.97% | 9.14% |
| 18 | 10/27/2016 | 15827.55 | 4622.33 | 2259.72 | 69.70% | 20.35% | 9.95% |
| 19 | 10/28/2016 | 16412.09 | 4646.63 | 2325.93 | 70.18% | 19.87% | 9.95% |
| 20 | 10/31/2016 | 16496.61 | 4672.11 | 2345.55 | 70.16% | 19.87% | 9.98% |

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

| ลำดับที่ | วันที่ | น้ำหนักสะสม (ตัน) | | | สัดส่วนสะสม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M | K: 70% | N: 20% | M: 10% |
| 1 | 11/1/2016 | 1213.54 | 198.55 | 0 | 85.94% | 14.06% | 0.00% |
| 2 | 11/2/2016 | 1072.96 | 22.79 | 256.31 | 82.72% | 8.01% | 9.27% |
| 3 | 11/3/2016 | 932.1 | 814.69 | 0 | 71.35% | 22.97% | 5.68% |
| 4 | 11/4/2016 | 1518.46 | 196.38 | 408.35 | 71.40% | 18.58% | 10.02% |
| 5 | 11/7/2016 | 1055.18 | 348.41 | 0 | 72.06% | 19.67% | 8.27% |
| 6 | 11/8/2016 | 803.94 | 387.88 | 0 | 71.47% | 21.33% | 7.20% |
| 7 | 11/9/2016 | 766.45 | 0 | 687.05 | 68.92% | 18.43% | 12.65% |
| 8 | 11/10/2016 | 1344.56 | 142.78 | 0 | 71.54% | 17.35% | 11.11% |
| 9 | 11/11/2016 | 75.3 | 80.08 | 0 | 71.25% | 17.78% | 10.97% |
| 10 | 11/14/2016 | 1151 | 298.3 | 0 | 72.11% | 18.08% | 9.81% |
| 11 | 11/15/2016 | 955.82 | 413.91 | 0 | 71.90% | 19.17% | 8.93% |
| 12 | 11/16/2016 | 739.98 | 332.09 | 0 | 71.71% | 19.95% | 8.34% |
| 13 | 11/17/2016 | 1355.18 | 159.22 | 483.3 | 71.29% | 18.64% | 10.07% |
| 14 | 11/18/2016 | 1127.74 | 657.11 | 114.76 | 70.16% | 20.15% | 9.69% |
| 15 | 11/21/2016 | 887.2 | 337.85 | 0 | 70.29% | 20.57% | 9.14% |
| 16 | 11/22/2016 | 728.31 | 205.7 | 0 | 70.61% | 20.63% | 8.75% |
| 17 | 11/23/2016 | 808.81 | 0 | 270.86 | 70.81% | 19.68% | 9.51% |
| 18 | 11/24/2016 | 1311.2 | 224.27 | 0 | 71.71% | 19.37% | 8.92% |
| 19 | 11/25/2016 | 970.29 | 36.49 | 370.43 | 71.65% | 18.49% | 9.86% |
| 20 | 11/28/2016 | 823.99 | 648.34 | 22 | 70.76% | 19.83% | 9.41% |
| 21 | 11/29/2016 | 397.93 | 193.08 | 222.78 | 70.13% | 19.94% | 9.92% |
| 22 | 11/30/2016 | 413.37 | 115.93 | 116.04 | 70.00% | 19.90% | 10.10% |

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

| ลำดับที่ | วันที่ | น้ำหนักสะสม (ตัน) | | | สัดส่วนสะสม | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | K | N | M | K: 70% | N: 20% | M: 10% |
| 1 | 12/1/2016 | 1806.49 | 570.36 | 0 | 76.00% | 24.00% | 0.00% |
| 2 | 12/2/2016 | 1031.14 | 395.18 | 361.65 | 68.13% | 23.18% | 8.68% |
| 3 | 12/6/2016 | 1334.56 | 353.62 | 0 | 71.28% | 22.54% | 6.18% |
| 4 | 12/7/2016 | 1113.64 | 22.5 | 301.98 | 72.50% | 18.40% | 9.10% |
| 5 | 12/8/2016 | 1328.55 | 63.25 | 0 | 76.18% | 16.18% | 7.64% |
| 6 | 12/9/2016 | 1561.23 | 869.76 | 0 | 73.56% | 20.47% | 5.97% |
| 7 | 12/12/2016 | 582.16 | 0 | 0 | 74.88% | 19.45% | 5.67% |
| 8 | 12/13/2016 | 1416 | 196.67 | 468.46 | 73.84% | 17.94% | 8.22% |
| 9 | 12/14/2016 | 1402.54 | 357.65 | 0 | 74.51% | 18.21% | 7.29% |
| 10 | 12/15/2016 | 1297.37 | 114.16 | 591.94 | 73.39% | 16.78% | 9.83% |
| 11 | 12/16/2016 | 605.94 | 890.98 | 0 | 70.80% | 20.14% | 9.06% |
| 12 | 12/19/2016 | 1628.49 | 124.96 | 426.18 | 71.21% | 18.66% | 10.13% |
| 13 | 12/20/2016 | 1359.17 | 723.65 | 0 | 70.67% | 20.10% | 9.23% |
| 14 | 12/21/2016 | 1206.41 | 555.92 | 0 | 70.52% | 20.90% | 8.58% |
| 15 | 12/22/2016 | 541.56 | 207.57 | 116.13 | 70.25% | 21.01% | 8.74% |
| 16 | 12/23/2016 | 643.27 | 43.35 | 393.95 | 69.82% | 20.33% | 9.85% |
| 17 | 12/26/2016 | 114.58 | 0 | 0 | 69.95% | 20.24% | 9.81% |

ตารางภาคผนวก ค-2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแบบเดิมกับวิธีการของงานวิจัยนี้เดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | TP+MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 3/10/2016 | 9 | 134 | 1266.83 | 70.10% | 27.03% | 2.87% | 258,140.29 | 82.00% | 1.53% | 16.47% | 252,944.43 | 252,919.64 | 4.52 | 5,195.86 |
| 4/10/2016 | 14 | 171 | 1622.85 | 81.72% | 14.60% | 3.68% | 361,737.69 | 75.44% | 5.40% | 19.15% | 356,243.12 | 355,544.26 | 900.04 | 5,494.57 |
| 5/10/2016 | 11 | 195 | 1593.55 | 75.40% | 17.76% | 6.84% | 353,261.16 | 77.95% | 3.87% | 18.19% | 329,444.39 | 330,796.15 | 7.24 | 23,816.77 |
| 6/10/2016 | 13 | 174 | 1480.96 | 75.83% | 16.64% | 7.53% | 343,242.48 | 77.35% | 4.18% | 18.47% | 319,174.30 | 319,174.30 | 1.78 | 24,068.18 |
| 7/10/2016 | 7 | 128 | 931.27 | 75.27% | 18.21% | 6.51% | 187,339.31 | 77.85% | 3.61% | 18.54% | 175,876.95 | 175,859.45 | 404.33 | 11,462.36 |
| 10/10/2016 | 8 | 131 | 1008.05 | 73.83% | 19.33% | 6.84% | 197,159.85 | 75.84% | 3.40% | 20.76% | 187,449.36 | 187,431.28 | 267.31 | 9,710.49 |
| 11/10/2016 | 13 | 189 | 1766.75 | 73.55% | 18.89% | 7.56% | 341,866.05 | 72.33% | 5.16% | 22.51% | 342,411.43 | 343,093.43 | 10.84 | -545.38 |
| 12/10/2016 | 10 | 168 | 1310.8 | 72.68% | 19.07% | 8.25% | 287,859.88 | 71.11% | 9.07% | 19.82% | 276,632.80 | 276,071.66 | 900.03 | 11,227.08 |
| 13/10/2016 | 11 | 192 | 1665.02 | 73.30% | 18.93% | 7.77% | 329,638.15 | 70.74% | 12.04% | 17.21% | 325,392.56 | 325,864.36 | 119.54 | 4,245.59 |
| 14/10/2016 | 11 | 114 | 1063.7 | 72.17% | 19.83% | 8.00% | 216,598.79 | 70.46% | 13.66% | 15.88% | 205,537.72 | 206,371.90 | 900.02 | 11,061.07 |
| 17/10/2016 | 9 | 120 | 874.25 | 72.57% | 19.43% | 8.01% | 163,834.64 | 70.46% | 14.61% | 14.92% | 159,560.16 | 159,560.16 | 82.09 | 4,274.48 |
| 18/10/2016 | 12 | 116 | 801.1 | 73.43% | 18.41% | 8.16% | 190,736.95 | 69.83% | 16.02% | 14.15% | 169,768.66 | 169,028.20 | 900.02 | 20,968.29 |
| 19/10/2016 | 10 | 101 | 981.84 | 72.92% | 18.55% | 8.53% | 205,556.22 | 69.76% | 16.94% | 13.30% | 196,224.63 | 196,708.63 | 4.19 | 9,331.59 |
| 20/10/2016 | 13 | 217 | 1837.14 | 74.49% | 17.44% | 8.07% | 371,036.62 | 70.36% | 17.68% | 11.96% | 361,449.20 | 361,449.20 | 7.13 | 9,587.42 |
| 21/10/2016 | 10 | 142 | 383.94 | 74.20% | 17.32% | 8.48% | 248,441.60 | 70.77% | 17.39% | 11.85% | 235,127.88 | 235,127.88 | 10.84 | 13,313.72 |
| 25/10/2016 | 12 | 147 | 404.57 | 74.06% | 17.55% | 8.39% | 294,896.20 | 70.00% | 18.95% | 11.05% | 289,290.96 | 288,212.63 | 900.03 | 5,605.24 |
| 26/10/2016 | 10 | 125 | 202.94 | 73.18% | 18.03% | 8.79% | 242,410.22 | 70.00% | 19.56% | 10.44% | 228,137.75 | 226,253.01 | 74.11 | 14,272.47 |
| 27/10/2016 | 10 | 91 | 669.73 | 72.70% | 18.06% | 9.24% | 148,315.38 | 70.00% | 19.87% | 10.13% | 135,795.23 | 134,755.23 | 900.02 | 12,520.15 |
| 28/10/2016 | 10 | 71 | 675.05 | 72.65% | 18.11% | 9.24% | 148,905.86 | 69.99% | 19.99% | 10.02% | 141,126.08 | 140,581.48 | 900.02 | 7,779.78 |
| 31/10/2016 | 3 | 16 | 129.62 | 72.71% | 18.01% | 9.27% | 25,253.40 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 28,923.00 | 28,923.00 | 0.61 | -3,669.60 |
| รวม | | 2742 | 20,669.96 | | | | 4,916,230.74 | | | | 4,716,510.61 | 4,713,725.85 | | 199,720.13 |

## ตารางภาคผนวก ค-2 (ต่อ)

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | TP+MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 1/11/2016 | 15 | 161 | 1412.09 | 70.25% | 12.48% | 17.28% | 323,348.69 | 85.94% | 6.75% | 7.31% | 312,539.67 | 312,539.67 | 9.12 | 10,809.02 |
| 2/11/2016 | 14 | 167 | 1352.06 | 74.38% | 11.78% | 13.84% | 295,443.48 | 83.52% | 4.27% | 12.21% | 285,395.55 | 286,066.68 | 25.49 | 10,047.93 |
| 3/11/2016 | 15 | 203 | 1746.79 | 76.52% | 11.38% | 12.10% | 332,824.36 | 71.84% | 7.93% | 20.23% | 338,251.34 | 337,952.71 | 900.03 | -5,426.98 |
| 4/11/2016 | 12 | 212 | 2123.19 | 75.95% | 12.16% | 11.89% | 426,103.77 | 71.74% | 8.35% | 19.91% | 413,739.82 | 413,700.49 | 335.38 | 12,363.95 |
| 7/11/2016 | 11 | 87 | 1403.59 | 74.67% | 13.49% | 11.85% | 288,801.13 | 73.70% | 7.05% | 19.25% | 275,826.80 | 279,021.42 | 900.02 | 12,974.33 |
| 8/11/2016 | 13 | 134 | 1191.82 | 72.68% | 14.98% | 12.34% | 264,583.13 | 72.89% | 7.45% | 19.66% | 252,123.43 | 252,015.85 | 900.02 | 12,459.70 |
| 9/11/2016 | 7 | 181 | 1453.5 | 73.43% | 14.94% | 11.63% | 268,529.73 | 70.15% | 12.87% | 16.99% | 267,430.63 | 267,430.63 | 12.30 | 1,099.10 |
| 10/11/2016 | 10 | 178 | 1492.4 | 73.34% | 15.29% | 11.37% | 325,301.42 | 69.28% | 15.81% | 14.91% | 316,166.05 | 316,136.93 | 123.00 | 9,135.37 |
| 11/11/2016 | 3 | 19 | 150.32 | 73.67% | 15.10% | 11.23% | 37,332.42 | 69.30% | 15.80% | 14.90% | 38,341.78 | 38,341.78 | 25.49 | -1,009.36 |
| 14/11/2016 | 16 | 172 | 1441.86 | 73.67% | 15.10% | 11.23% | 308,721.80 | 70.36% | 16.30% | 13.34% | 292,159.57 | 291,857.97 | 900.03 | 16,562.23 |
| 15/11/2016 | 15 | 166 | 1369.73 | 73.54% | 15.11% | 11.35% | 267,263.77 | 70.31% | 17.56% | 12.13% | 258,342.75 | 258,342.75 | 9.64 | 8,921.02 |
| 16/11/2016 | 11 | 135 | 1072.07 | 73.87% | 14.63% | 11.50% | 217,565.45 | 71.25% | 17.43% | 11.33% | 208,902.21 | 208,902.21 | 25.49 | 8,663.24 |
| 17/11/2016 | 13 | 224 | 1997.7 | 72.49% | 16.08% | 11.43% | 423,507.17 | 70.98% | 18.93% | 10.09% | 399,683.36 | 399,683.36 | 25.49 | 23,823.81 |
| 18/11/2016 | 12 | 211 | 1890.39 | 73.92% | 14.44% | 11.64% | 361,709.37 | 69.15% | 18.11% | 12.73% | 361,163.97 | 357,837.18 | 900.00 | 545.40 |
| 21/11/2016 | 17 | 127 | 1225.05 | 73.92% | 14.44% | 11.64% | 290,977.55 | 69.86% | 18.14% | 12.00% | 269,133.22 | 268,756.45 | 900.02 | 21,844.33 |
| 22/11/2016 | 11 | 96 | 934.01 | 73.75% | 14.55% | 11.71% | 188,070.12 | 70.49% | 18.01% | 11.50% | 178,845.81 | 181,229.92 | 900.02 | 9,224.31 |
| 23/11/2016 | 12 | 116 | 1079.67 | 74.72% | 13.79% | 11.49% | 221,766.04 | 71.86% | 17.18% | 10.97% | 213,621.90 | 213,605.08 | 120.73 | 8,144.14 |
| 24/11/2016 | 11 | 158 | 1535.47 | 74.42% | 14.26% | 11.32% | 340,304.05 | 70.01% | 19.70% | 10.29% | 334,114.55 | 334,015.11 | 900.04 | 6,189.50 |
| 25/11/2016 | 13 | 140 | 1377.21 | 74.50% | 14.44% | 11.06% | 272,899.41 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 265,180.31 | 265,180.30 | 25.49 | 7,719.10 |
| 28/11/2016 | 10 | 167 | 1494.33 | 74.06% | 14.37% | 11.57% | 284,673.84 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 278,484.74 | 276,651.89 | 900.02 | 6,189.10 |
| 29/11/2016 | 10 | 107 | 813.79 | 74.41% | 13.92% | 11.67% | 163,260.22 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 157,208.02 | 157,054.79 | 900.02 | 6,052.20 |
| 30/11/2016 | 4 | 65 | 645.34 | 74.27% | 13.96% | 11.78% | 116,975.02 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 118,671.15 | 118,659.68 | 584.33 | -1,696.13 |
| รวม | | 3226 | 29,202.38 | | | | 6,019,961.94 | | | | 5,835,326.63 | 5,834,982.84 | | 184,635.31 |

ตารางภาคผนวก ค-2 (ต่อ)

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | TP+MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 12/1/2016 | 15 | 276 | 2,376.85 | 77.64% | 13.71% | 8.65% | 518,096.85 | 76.86% | 4.26% | 18.88% | 507,796.54 | 507,690.21 | 900.06 | 10,300.31 |
| 12/2/2016 | 14 | 209 | 1,787.97 | 77.61% | 14.12% | 8.27% | 361,647.07 | 73.19% | 11.92% | 14.89% | 348,261.04 | 354,371.33 | 440.41 | 13,386.03 |
| 12/6/2016 | 11 | 209 | 1,688.18 | 75.11% | 14.83% | 10.06% | 356,288.91 | 75.78% | 12.86% | 11.37% | 331,084.39 | 334,868.26 | 900.03 | 25,204.52 |
| 12/7/2016 | 9 | 178 | 1438.12 | 74.76% | 15.92% | 9.32% | 309,039.05 | 76.10% | 10.63% | 13.27% | 294,668.44 | 294,668.44 | 8.68 | 14,370.61 |
| 12/8/2016 | 9 | 150 | 1391.8 | 72.69% | 17.40% | 9.91% | 321,995.71 | 79.32% | 9.22% | 11.46% | 293,191.41 | 293,183.20 | 14.86 | 28,804.30 |
| 12/9/2016 | 13 | 262 | 2,430.99 | 73.94% | 16.55% | 9.51% | 471,693.45 | 76.02% | 9.22% | 14.77% | 476,627.07 | 471,085.41 | 900.05 | -4,933.62 |
| 12/12/2016 | 3 | 63 | 598.31 | 73.34% | 15.73% | 9.04% | 131,372.79 | 77.21% | 8.76% | 14.03% | 122,274.12 | 122,274.12 | 172.53 | 9,098.67 |
| 12/13/2016 | 14 | 232 | 2064.98 | 73.21% | 15.80% | 9.39% | 433,491.36 | 75.82% | 8.86% | 15.31% | 420,288.51 | 419,981.78 | 900.04 | 13,202.85 |
| 12/14/2016 | 11 | 190 | 1760.19 | 72.82% | 16.04% | 9.71% | 359,746.96 | 76.26% | 7.86% | 15.88% | 344,531.91 | 344,529.83 | 25.63 | 15,215.05 |
| 12/15/2016 | 15 | 206 | 2003.47 | 72.81% | 15.92% | 10.01% | 407,786.11 | 74.07% | 11.57% | 14.36% | 402,302.75 | 400,755.25 | 900.04 | 5,483.36 |
| 12/16/2016 | 9 | 179 | 1496.92 | 73.46% | 15.30% | 10.08% | 275,752.80 | 71.27% | 15.27% | 13.46% | 272,382.82 | 272,043.62 | 900.01 | 3,369.98 |
| 12/19/2016 | 12 | 230 | 2,179.63 | 73.59% | 15.10% | 10.26% | 454,123.61 | 71.31% | 16.35% | 12.34% | 439,338.29 | 439,232.94 | 900.01 | 14,785.32 |
| 12/20/2016 | 16 | 234 | 2,082.82 | 74.29% | 14.62% | 10.14% | 443,102.98 | 70.00% | 18.76% | 11.24% | 424,596.80 | 424,594.07 | 164.64 | 18,506.18 |
| 12/21/2016 | 14 | 204 | 1,762.33 | 74.44% | 14.74% | 9.93% | 355,251.27 | 70.00% | 19.55% | 10.45% | 339,085.91 | 338,267.45 | 900.03 | 16,165.36 |
| 12/22/2016 | 7 | 100 | 865.26 | 74.58% | 14.25% | 9.60% | 169,536.38 | 70.00% | 19.90% | 10.10% | 169,100.34 | 169,092.64 | 284.52 | 436.04 |
| 12/23/2016 | 5 | 125 | 1,080.57 | 75.16% | 13.68% | 9.65% | 198663.67 | 70.00% | 20.00% | 10.00% | 196,933.27 | 196,933.27 | 172.53 | 1,730.40 |
| 12/26/2016 | 1 | 11 | 114.58 | 74.85% | 14.05% | 9.61% | 27,613.78 | 69.97% | 20.00% | 10.03% | 26,649.42 | 26,649.42 | 1.90 | 964.36 |
| รวม | | 3058 | 27,122.97 | | | | 5,595,202.75 | | | | 5,409,113.03 | 5,410,221.23 | | 186,089.72 |

ตารางภาคผนวก ค-3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการแบบเดิมกับการใช้แบบจำลอง MILP เพียงอย่างเดียวประมวลผล เดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 3/10/2016 | 9 | 134 | 1266.83 | 70.10% | 27.03% | 2.87% | 258,140.29 | 69.94% | 20.16% | 9.90% | 255,799.54 | 255,783.00 | 61.48 | 2,340.75 |
| 4/10/2016 | 14 | 171 | 1622.85 | 81.72% | 14.60% | 3.68% | 361,737.69 | 69.97% | 20.13% | 9.90% | 354,678.40 | 352,528.00 | 900.03 | 7,059.29 |
| 5/10/2016 | 11 | 195 | 1593.55 | 75.40% | 17.76% | 6.84% | 353,261.16 | 69.98% | 20.12% | 9.90% | 332,885.02 | 332,855.00 | 265.44 | 20,376.14 |
| 6/10/2016 | 13 | 174 | 1480.96 | 75.83% | 16.64% | 7.53% | 343,242.48 | 69.97% | 20.12% | 9.91% | 319,734.27 | 319,718.00 | 51.14 | 23,508.21 |
| 7/10/2016 | 7 | 128 | 931.27 | 75.27% | 18.21% | 6.51% | 187,339.31 | 69.96% | 19.88% | 10.16% | 177,623.70 | 177,515.00 | 900.03 | 9,715.61 |
| 10/10/2016 | 8 | 131 | 1008.05 | 73.83% | 19.33% | 6.84% | 197,159.85 | 69.96% | 19.91% | 10.13% | 183,350.39 | 183,220.00 | 900.00 | 13,809.46 |
| 11/10/2016 | 13 | 189 | 1766.75 | 73.55% | 18.89% | 7.56% | 341,866.05 | 69.97% | 19.94% | 10.09% | 333,960.79 | 333,548.00 | 900.00 | 7,905.26 |
| 12/10/2016 | 10 | 168 | 1310.8 | 72.68% | 19.07% | 8.25% | 287,859.88 | 69.97% | 19.96% | 10.07% | 275,537.20 | 273,455.00 | 900.04 | 12,322.68 |
| 13/10/2016 | 11 | 192 | 1665.02 | 73.30% | 18.93% | 7.77% | 329,638.15 | 69.98% | 19.98% | 10.05% | 326,261.57 | 326,010.00 | 900.02 | 3,376.58 |
| 14/10/2016 | 11 | 114 | 1063.7 | 72.17% | 19.83% | 8.00% | 216,598.79 | 69.98% | 19.99% | 10.04% | 205,827.09 | 205,540.00 | 900.04 | 10,771.70 |
| 17/10/2016 | 9 | 120 | 874.25 | 72.57% | 19.43% | 8.01% | 163,834.64 | 69.98% | 19.99% | 10.03% | 160,430.68 | 160,177.00 | 900.01 | 3,403.96 |
| 18/10/2016 | 12 | 116 | 801.1 | 73.43% | 18.41% | 8.16% | 190,736.95 | 69.98% | 19.94% | 10.08% | 168,516.02 | 164,255.00 | 900.00 | 22,220.93 |
| 19/10/2016 | 10 | 101 | 981.84 | 72.92% | 18.55% | 8.53% | 205,556.22 | 69.96% | 19.96% | 10.07% | 196,925.44 | 196,906.00 | 797.70 | 8,630.78 |
| 20/10/2016 | 13 | 217 | 1837.14 | 74.49% | 17.44% | 8.07% | 371,036.62 | 69.97% | 19.98% | 10.06% | 365,388.88 | 364,540.00 | 900.04 | 5,647.74 |
| 21/10/2016 | 10 | 142 | 383.94 | 74.20% | 17.32% | 8.48% | 248,441.60 | 69.97% | 19.98% | 10.05% | 236,928.89 | 236,449.00 | 900.03 | 11,512.71 |
| 25/10/2016 | 12 | 147 | 404.57 | 74.06% | 17.55% | 8.39% | 294,896.20 | 69.97% | 19.99% | 10.04% | 287,272.16 | 286,144.00 | 900.00 | 7,624.04 |
| 26/10/2016 | 10 | 125 | 202.94 | 73.18% | 18.03% | 8.79% | 242,410.22 | 69.97% | 20.00% | 10.03% | 229,878.70 | 229,872.00 | 159.07 | 12,531.52 |
| 27/10/2016 | 10 | 91 | 669.73 | 72.70% | 18.06% | 9.24% | 148,315.38 | 69.97% | 20.00% | 10.03% | 136,392.24 | 135,352.00 | 900.02 | 11,923.14 |
| 28/10/2016 | 10 | 71 | 675.05 | 72.65% | 18.11% | 9.24% | 148,905.86 | 69.97% | 20.00% | 10.03% | 141,575.43 | 140,232.00 | 900.02 | 7,330.43 |
| 31/10/2016 | 3 | 16 | 129.62 | 72.71% | 18.01% | 9.27% | 25,253.40 | 69.95% | 19.99% | 10.06% | 25,813.96 | 25,814.00 | 0.20 | -560.56 |
| รวม | | 2742 | 20,669.96 | | | | 4,916,230.74 | | | | 4,714,780.37 | 4,699,913.00 | | 201,450.37 |

## ตารางภาคผนวก ค-3 (ต่อ)

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 1/11/2016 | 15 | 161 | 1412.09 | 70.25% | 12.48% | 17.28% | 323,348.69 | 69.69% | 19.86% | 10.44% | 318,587.03 | 308,412.00 | 900.04 | 4,761.66 |
| 2/11/2016 | 14 | 167 | 1352.06 | 74.38% | 11.78% | 13.84% | 295,443.48 | 69.84% | 19.98% | 10.18% | 288,015.52 | 287,994.00 | 721.95 | 7,427.96 |
| 3/11/2016 | 15 | 203 | 1746.79 | 76.52% | 11.38% | 12.10% | 332,824.36 | 69.90% | 20.02% | 10.08% | 328,243.34 | 327,801.00 | 900.05 | 4,581.02 |
| 4/11/2016 | 12 | 212 | 2123.19 | 75.95% | 12.16% | 11.89% | 426,103.77 | 69.93% | 20.04% | 10.02% | 412,703.52 | 411,372.00 | 900.01 | 13,400.25 |
| 7/11/2016 | 11 | 87 | 1403.59 | 74.67% | 13.49% | 11.85% | 288,801.13 | 69.94% | 20.05% | 10.01% | 279,052.91 | 278,722.00 | 900.02 | 9,748.22 |
| 8/11/2016 | 13 | 134 | 1191.82 | 72.68% | 14.98% | 12.34% | 264,583.13 | 69.95% | 20.05% | 10.00% | 250,101.37 | 249,992.00 | 900.03 | 14,481.76 |
| 9/11/2016 | 7 | 181 | 1453.5 | 73.43% | 14.94% | 11.63% | 268,529.73 | 69.96% | 20.05% | 10.00% | 263,040.37 | 263,018.00 | 206.56 | 5,489.36 |
| 10/11/2016 | 10 | 178 | 1492.4 | 73.34% | 15.29% | 11.37% | 325,301.42 | 69.96% | 20.05% | 9.99% | 315,224.07 | 314,316.00 | 900.01 | 10,077.35 |
| 11/11/2016 | 3 | 19 | 150.32 | 73.67% | 15.10% | 11.23% | 37,332.42 | 69.88% | 20.08% | 10.04% | 38,501.52 | 38,498.40 | 2.20 | -1,169.10 |
| 14/11/2016 | 16 | 172 | 1441.86 | 73.67% | 15.10% | 11.23% | 308,721.80 | 70.89% | 20.13% | 8.98% | 295,517.28 | 291,857.97 | 900.02 | 13,204.52 |
| 15/11/2016 | 15 | 166 | 1369.73 | 73.54% | 15.11% | 11.35% | 267,263.77 | 70.81% | 20.13% | 9.07% | 259,497.46 | 259,412.00 | 900.03 | 7,766.31 |
| 16/11/2016 | 11 | 135 | 1072.07 | 73.87% | 14.63% | 11.50% | 217,565.45 | 70.75% | 20.12% | 9.13% | 213,382.07 | 213,064.00 | 900.03 | 4,183.38 |
| 17/11/2016 | 13 | 224 | 1997.7 | 72.49% | 16.08% | 11.43% | 423,507.17 | 70.67% | 20.12% | 9.22% | 407,482.72 | 403,942.00 | 900.01 | 16,024.45 |
| 18/11/2016 | 12 | 211 | 1890.39 | 73.92% | 14.44% | 11.64% | 361,709.37 | 70.60% | 20.11% | 9.29% | 345,496.08 | 340,907.00 | 900.03 | 16,213.29 |
| 21/11/2016 | 17 | 127 | 1225.05 | 73.92% | 14.44% | 11.64% | 290,977.55 | 70.71% | 20.54% | 8.75% | 273,416.05 | 271,556.40 | 900.02 | 17,561.50 |
| 22/11/2016 | 11 | 96 | 934.01 | 73.75% | 14.55% | 11.71% | 188,070.12 | 70.68% | 20.52% | 8.80% | 182,526.06 | 182,512.00 | 29.12 | 5,544.06 |
| 23/11/2016 | 12 | 116 | 1079.67 | 74.72% | 13.79% | 11.49% | 221,766.04 | 70.65% | 20.50% | 8.85% | 221,571.52 | 221,533.00 | 900.03 | 194.52 |
| 24/11/2016 | 11 | 158 | 1535.47 | 74.42% | 14.26% | 11.32% | 340,304.05 | 70.61% | 20.42% | 8.97% | 324,008.44 | 323,908.00 | 8927.76 | 16,295.61 |
| 25/11/2016 | 13 | 140 | 1377.21 | 74.50% | 14.44% | 11.06% | 272,899.41 | 70.57% | 20.40% | 9.02% | 265,723.20 | 265,098.00 | 900.02 | 7,176.21 |
| 28/11/2016 | 10 | 167 | 1494.33 | 74.06% | 14.37% | 11.57% | 284,673.84 | 70.54% | 20.38% | 9.07% | 278,492.97 | 277,533.00 | 900.00 | 6,180.87 |
| 29/11/2016 | 10 | 107 | 813.79 | 74.41% | 13.92% | 11.67% | 163,260.22 | 70.53% | 20.38% | 9.10% | 157,208.69 | 155,480.00 | 900.04 | 6,051.53 |
| 30/11/2016 | 4 | 65 | 645.34 | 74.27% | 13.96% | 11.78% | 116,975.02 | 70.52% | 20.30% | 9.19% | 118,589.19 | 118,543.00 | 900.03 | -1,614.17 |
| รวม | | 3226 | 29,202.38 | | | | 6,019,961.94 | | | | 5,836,381.38 | 5,805,471.77 | | 183,580.56 |

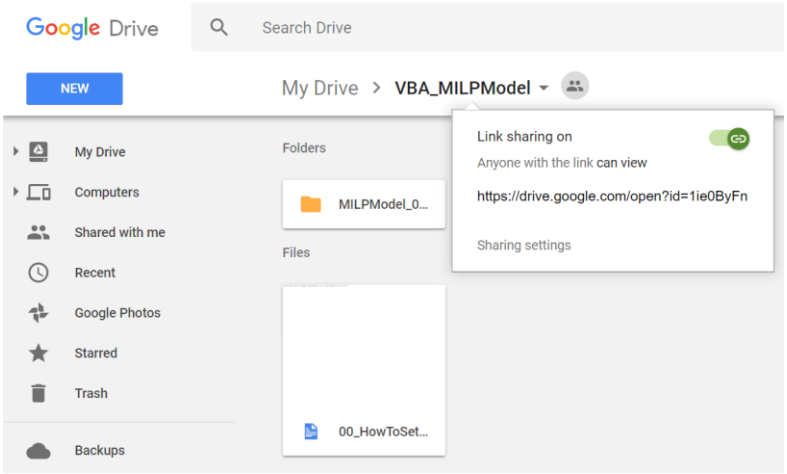
## ตารางภาคผนวก ค-3 (ต่อ)

| วันที่ส่งมอบ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) | Current Solution | | | | MILP Solution : BBT 0.01% : Max CPU Time 900 Sec. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | %K | %N | %M | Cost (Baht) | %K | %N | %M | Cost (Baht) | Lower Bound (Baht) | CPU Time (Sec.) | Reduced Cost (Baht) |
| 12/1/2016 | 15 | 276 | 2,376.85 | 77.64% | 13.71% | 8.65% | 518,096.85 | 70.00% | 20.10% | 9.90% | 509,520.86 | 507,402.00 | 900.00 | 8,575.99 |
| 12/2/2016 | 14 | 209 | 1,787.97 | 77.61% | 14.12% | 8.27% | 361,647.07 | 69.99% | 20.04% | 9.97% | 348,055.90 | 343,649.00 | 900.05 | 13,591.17 |
| 12/6/2016 | 11 | 209 | 1,688.18 | 75.11% | 14.83% | 10.06% | 356,288.91 | 69.99% | 19.97% | 10.04% | 336,381.86 | 334,386.00 | 900.01 | 19,907.05 |
| 12/7/2016 | 9 | 178 | 1438.12 | 74.76% | 15.92% | 9.32% | 309,039.05 | 69.98% | 20.01% | 10.01% | 295,605.65 | 295,582.00 | 815.62 | 13,433.40 |
| 12/8/2016 | 9 | 150 | 1391.8 | 72.69% | 17.40% | 9.91% | 321,995.71 | 69.98% | 20.02% | 10.00% | 303,642.12 | 303,255.00 | 900.01 | 18,353.59 |
| 12/9/2016 | 13 | 262 | 2,430.99 | 73.94% | 16.55% | 9.51% | 471,693.45 | 69.99% | 20.04% | 9.97% | 464,578.40 | 464,250.00 | 900.05 | 7,115.05 |
| 12/12/2016 | 3 | 63 | 598.31 | 73.34% | 15.73% | 9.04% | 131,372.79 | 69.99% | 20.04% | 9.97% | 129,309.72 | 129,216.00 | 900.00 | -3,634.93 |
| 12/13/2016 | 14 | 232 | 2064.98 | 73.21% | 15.80% | 9.39% | 433,491.36 | 69.99% | 20.05% | 9.96% | 417,033.40 | 416,690.00 | 900.03 | 24,186.52 |
| 12/14/2016 | 11 | 190 | 1760.19 | 72.82% | 16.04% | 9.71% | 359,746.96 | 69.99% | 20.06% | 9.95% | 346,640.38 | 346,628.00 | 313.76 | 13,106.58 |
| 12/15/2016 | 15 | 206 | 2003.47 | 72.81% | 15.92% | 10.01% | 407,786.11 | 69.99% | 20.06% | 9.95% | 395,435.97 | 388,965.00 | 900.00 | 12,350.14 |
| 12/16/2016 | 9 | 179 | 1496.92 | 73.46% | 15.30% | 10.08% | 275,752.80 | 69.99% | 20.06% | 9.95% | 262,922.27 | 262,751.00 | 900.02 | 12,830.53 |
| 12/19/2016 | 12 | 230 | 2,179.63 | 73.59% | 15.10% | 10.26% | 454,123.61 | 69.99% | 20.07% | 9.94% | 440,131.68 | 439,803.00 | 900.03 | 13,991.93 |
| 12/20/2016 | 16 | 234 | 2,082.82 | 74.29% | 14.62% | 10.14% | 443,102.98 | 69.99% | 20.07% | 9.94% | 420,341.04 | 420,330.17 | 551.88 | 22,761.94 |
| 12/21/2016 | 14 | 204 | 1,762.33 | 74.44% | 14.74% | 9.93% | 355,251.27 | 69.99% | 20.07% | 9.94% | 340,661.00 | 340,433.00 | 900.01 | 14,590.27 |
| 12/22/2016 | 7 | 100 | 865.26 | 74.58% | 14.25% | 9.60% | 169,536.38 | 69.99% | 20.07% | 9.94% | 169,878.80 | 169,866.00 | 374.94 | -342.42 |
| 12/23/2016 | 5 | 125 | 1,080.57 | 75.16% | 13.68% | 9.65% | 198663.67 | 69.99% | 20.07% | 9.94% | 197,295.07 | 197,161.00 | 900.02 | 1,368.60 |
| 12/26/2016 | 1 | 11 | 114.58 | 74.85% | 14.05% | 9.61% | 27,613.78 | 69.96% | 20.07% | 9.97% | 26,613.12 | 26,613.10 | 3.42 | 1,000.66 |
| รวม | | 3058 | 27,122.97 | | | | 5,595,202.75 | | | | 5,404,047.24 | 5,386,980.27 | | 193,186.07 |

**ภาคผนวก ง**

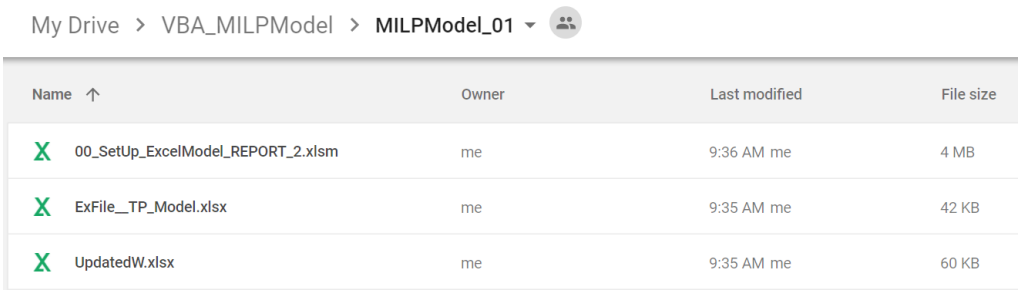
การเข้าถึงไฟล์ที่มีชุดคำสั่ง VBA ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การเข้าถึงไฟล์ที่มีชุดคำสั่ง VBA สำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจของงานวิจัยนี้สามารถเข้าได้จากลิงค์ https://drive.google.com/open?id=1ie0ByFn3UYt2LqP0lma-zfuf08qgHGgL ซึ่งเป็นการเก็บรักษาไฟล์บน Google drive ภายในลิงค์นี้จะประกอบด้วยโฟลเดอร์ “MILPModel_01” และไฟล์ “00_HowtoSetUp” ดังภาพภาคผนวก ง-1




ภาพภาคผนวก ง-1 เมื่อเข้าถึงลิงค์ที่กำหนด

ภายในโฟลเดอร์ “MILPModel_01” ประกอบด้วยไฟล์ที่จะนำมาใช้งานตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในในบทที่ 4 และไฟล์ตัวอย่างของแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ดังภาพภาคผนวก ง-2




ภาพภาคผนวก ง-2 ไฟล์ที่อยู่ใน “MILPModel_01”

ไฟล์ “00_HowtoSetUp” ระบุให้ผู้ใช้จะต้อง Download “MILPModel_01” ไปวางไว้ที่ Drive C ของคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งาน

**ภาคผนวก จ**

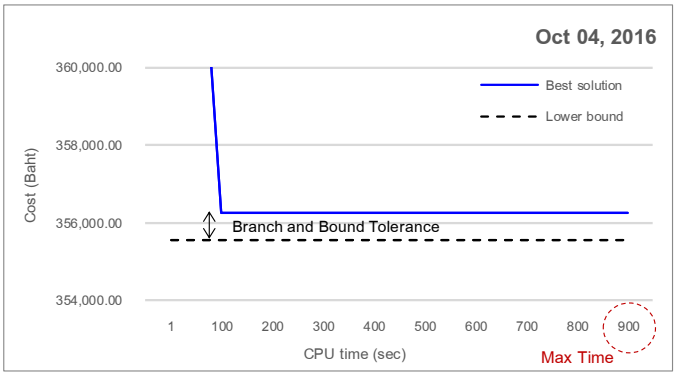
การหาค่าพารามิเตอร์สำหรับการหยุดประมวลผล

การทดลองหาค่า Branch-and-bound percentage tolerance (%BBT) และค่าเวลาประมวลผลสูงสุดสำหรับการกำหนดให้แบบจำลองหยุดประมวลผล เป็นการดูผลลัพธ์จากการทดลอง โดยใช้ข้อมูลจริง 5 วัน ที่มีจำนวนลูกค้าต่อวันเกิน 10 ราย และน้ำหนักต่อวันมากกว่า 1,200 ตัน กำหนดเวลาประมวลผลสูงสุดที่ 900 วินาที และ %BBT ที่ 0.01 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลของแต่ละวันแสดง ดังตารางภาคผนวก จ-1 ผลลัพธ์ ดังภาพภาคผนวก จ-1 ถึง จ-5

ตารางภาคผนวก จ-1 ข้อมูลที่ใช้ทดลองหาค่าพารามิเตอร์

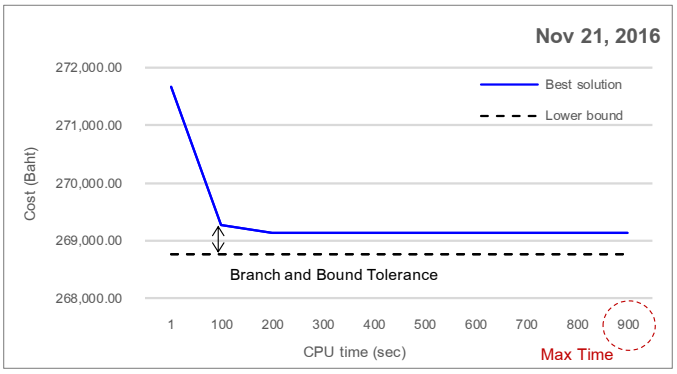
| วันที่ | จำนวนลูกค้า | จำนวนคอยล์ | น้ำหนัก (ตัน) |
|---|---|---|---|
| เฉลี่ยต่อวันในรอบ 12 เดือน | 5-12 | 100-250 | 1,247 |
| 4/10/2016 | 14 | 171 | 1,623 |
| 21/11/2016 | 17 | 127 | 1,225 |
| 28/11/2016 | 10 | 167 | 1,494 |
| 12/1/2016 | 15 | 276 | 2,377 |
| 12/9/2016 | 13 | 262 | 2,431 |

| Time (s) | Best solution | Lower bound | Gap (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 375,296.08 | 355,544.26 | 5.56% |
| 100 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 200 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 300 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 400 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 500 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 600 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 700 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 800 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |
| 900 | 356,243.12 | 355,544.26 | 0.20% |



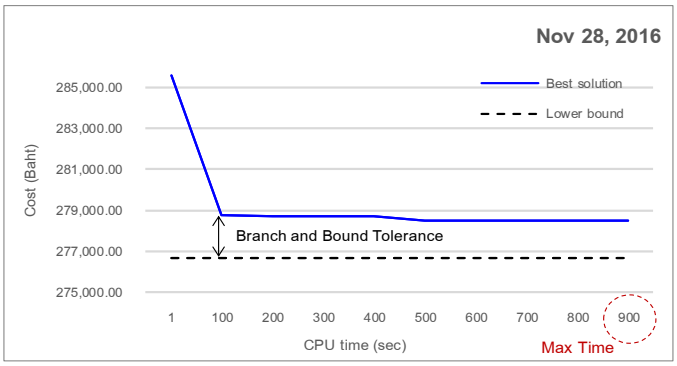

ภาพภาคผนวก จ-1 ผลลัพธ์ของวันที่ 4 ตุลาคม พ.ศ. 2559

| Time (s) | Best solution | Lower bound | Gap (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 271,677.02 | 268,756.45 | 1.09% |
| 100 | 269,266.72 | 268,756.45 | 0.19% |
| 200 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 300 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 400 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 500 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 600 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 700 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 800 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |
| 900 | 269,133.22 | 268,756.45 | 0.14% |



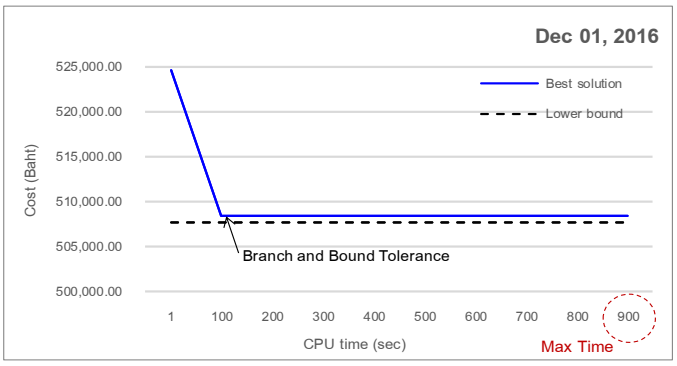

ภาพภาคผนวก จ-2 ผลลัพธ์ของวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

| Time (s) | Best solution | Lower bound | Gap (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 285,595.01 | 276,651.89 | 3.23% |
| 100 | 278,758.32 | 276,651.89 | 0.76% |
| 200 | 278,713.76 | 276,651.89 | 0.75% |
| 300 | 278,710.28 | 276,651.89 | 0.74% |
| 400 | 278,700.07 | 276,651.89 | 0.74% |
| 500 | 278,490.42 | 276,651.89 | 0.66% |
| 600 | 278,490.42 | 276,651.89 | 0.66% |
| 700 | 278,490.42 | 276,651.89 | 0.66% |
| 800 | 278,484.74 | 276,651.89 | 0.66% |
| 900 | 278,484.74 | 276,651.89 | 0.66% |



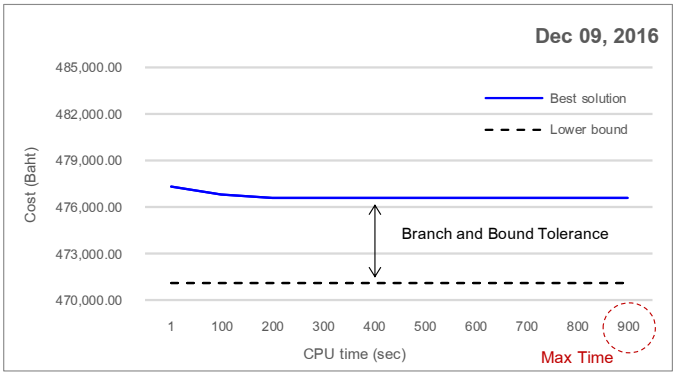

ภาพภาคผนวก จ-3 ผลลัพธ์ของวันที่ 28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559

| Time (s) | Best solution | Lower bound | Gap (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 524,591.75 | 507,690.21 | 3.33% |
| 100 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 200 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 300 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 400 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 500 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 600 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 700 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 800 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |
| 900 | 508,478.54 | 507,690.21 | 0.16% |




ภาพภาคผนวก จ-4 ผลลัพธ์ของวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2559

| Time (s) | Best solution | Lower bound | Gap (%) |
|---|---|---|---|
| 1 | 477,291.87 | 471,085.41 | 1.32% |
| 100 | 476,847.51 | 471,085.41 | 1.22% |
| 200 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 300 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 400 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 500 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 600 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 700 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 800 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |
| 900 | 476,627.07 | 471,085.41 | 1.18% |




ภาพภาคผนวก จ-5 ผลลัพธ์ของวันที่ 9 ธันวาคม พ.ศ. 2559

ผลการทดลองพบว่า Gurobi เริ่มให้ค่าผลลัพธ์คงที่ ที่ช่วงเวลาหลังจาก 500 วินาที ขณะที่ค่า Lower bound มีค่าคงที่ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง (%Gap) ดังภาพ จ-1 ถึง จ-5 ทั้งหมด มีค่า %Gap มากกว่า %BBT ที่กำหนดไว้ จึงทำให้มีการประมวลผลต่อจนครบ 900 วินาที

**ภาคผนวก ฉ**

ผลงานที่ตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ TIMES-iCON2017

TIMES-iCON
The Technology Innovation Management and
Engineering Science International Conference
Best
PAPER
AWARD
THIS CERTIFICATE IS PRESENTED TO
ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์
แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหา
การขนส่งคอยล์โลหะ
Track: การจัดการวิศวกรรม
THE 2ND TECHNOLOGY INNOVATION MANAGEMENT AND
ENGINEERING SCIENCE INTERNATIONAL CONFERENCE
(TIMES-iCON2017)
Asst.Prof Supaporn Kiattisin, PhD.
TIMES-iCON2017 General Chair

The 2017 Technology Innovation Management and Engineering Science international conference (TIMES-iCON2017)

# แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ
# Mixed-integer Linear Programming Model for Metal Coil Transportation Problem

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์[1], ธิดารัตน์ ร้อยนาค[1], และ จักรวาล คุณะดิลก[1]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี
E-mail: apeewpeew@gmail.com[1], omelette0711@gmail.com[2], jakrawarn@eng.buu.ac.th[3]

**บทคัดย่อ**

ปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการวางแผนการขนส่งรายวันที่ต้องจัดกลุ่มคอยล์ตามคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายสำหรับการขนส่งบนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน จำนวนคอยล์และน้ำหนักรวมของคอยล์แต่ละกลุ่มต้องไม่เกินความสามารถสูงสุดในการบรรทุกของรถบรรทุก คอยล์ทุกกลุ่มควรมีน้ำหนักรวมไม่ต่ำกว่าน้ำหนักขั้นต่ำสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งต่อเที่ยว ผู้วางแผนจะต้องเลือกประเภทรถบรรทุกและผู้ประกอบการขนส่งเพื่อส่งกลุ่มคอยล์ไปยังลูกค้า ผู้ประกอบการขนส่งแต่ละรายมีอัตราค่าขนส่งไม่เท่ากัน และมีสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งคอยล์ขั้นต่ำรายเดือนไม่เท่ากันตามที่ระบุไว้ในสัญญา งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-integer linear programming, MILP) สำหรับแก้ปัญหาการจัดกลุ่มคอยล์ให้เหมาะสมกับประเภทรถบรรทุก และเลือกผู้ประกอบการขนส่งสำหรับคอยล์แต่ละกลุ่มแบบรายวัน เพื่อให้ค่าขนส่งต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งของแต่ละผู้ประกอบการขนส่ง โดยแบบจำลองนี้ประมวลผลบนโปรแกรม OpenSolver 2.8.6 และซอฟต์แวร์ประมวลผล Gurobi 7.0.2 เวอร์ชันสำหรับการศึกษาและงานวิจัย การทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับปัญหาการขนส่งจริง 59 วันในสามเดือน พบว่าแบบจำลอง MILP ที่เสนอสามารถหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในทุกวันที่ส่งมอบ ต้นทุนการขนส่งลดลง 185,314 บาทต่อเดือน และน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายจากการจัดกลุ่มคอยล์ที่มีน้ำหนักไม่ถึงเกณฑ์น้ำหนักการขนส่งขั้นต่ำลดลง 155.84 ตันต่อเดือน

คำสำคัญ: กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม, ปัญหาการขนส่ง, คอยล์โลหะ

**Abstract**

A Transportation problem of metal coils from manufacturer to customers in this research is a daily delivery planning problem by forming coil groups ordered from each customer for loading on the same truck. The total number and total weight of each coil group must not exceed the maximum loading capacities of the truck. Every coil group should have the total weight at least the minimum weight for transportation cost calculation of each shipment. Truck types and logistic providers will be assigned to carry which coil groups to their corresponding customers. The logistic providers are different from each other in terms of transportation cost and minimum monthly shipping proportion by weight. This research proposed a mixed- integer linear programming model ( MILP) to form groups of coil with suitable to truck types and allocate them to logistic companies for daily shipment with minimizing transportation cost as objectives and total shipping weight for each logistic company as restriction. This MILP model was executed by OpenSolver 2. 8. 6 and Gurobi 7. 0. 2 ( Academic version). The performance of the model was evaluated by comparing with the real coil transportation data set of 59 days in three months. The results revealed that the MILP was able to find all feasible solutions. The transportation cost was decreased 185,314 baths per month. The total weight associated with transportation cost from the shipping weight less than the minimum limit was reduced 155. 84 tons per month.

Keywords: mixed-integer programming, transportation problem, metal coil

## 1. บทนำ

ต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 จนถึงปัจจุบัน [1-2] เนื่องจากปริมาณสินค้าและต้นทุนด้านพลังงานที่ใช้ในการขนส่งที่สูงขึ้น นอกจากนี้ความต้องการพัฒนาระบบบริหารการขนส่งของผู้ส่งมอบเพื่อให้มั่นใจได้ว่าสินค้าถูกส่งไปยังลูกค้าได้ตรงเวลาทำ

ให้ต้นทุนด้านโลจิสติกส์สูงขึ้นด้วย การขนส่งที่มีประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการจัดการด้านวัสดุคงคลังของลูกค้าที่สามารถสั่งซื้อสินค้าให้พอดีเวลากับความต้องการในการผลิตได้ ซึ่งทำให้ต้นทุนด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังลดลง ดังนั้นผู้ส่งมอบที่มีการจัดการด้านการขนส่งได้ตามความต้องการของลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันในตลาดได้ [3] การบริหารวัสดุคงคลังของลูกค้าที่ให้ผู้ส่งมอบส่งสินค้าให้ทันเวลาพอดีกับความต้องการในการผลิตนี้ทำให้ผู้ส่งมอบต้องลงทุนด้านการขนส่งมากขึ้น

บริษัทผู้ผลิตโลหะแผ่นสำหรับเป็นผลิตภัณฑ์ต้นน้ำ (Upstream product) ในห่วงโซ่อุปทาน ต้องมีการบริหารสินค้าคงคลังที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์โลหะมีน้ำหนักมาก ต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้างในการจัดเก็บ ส่งผลให้ต้นทุนด้านการจัดเก็บสินค้ามีมูลค่าสูง ดังนั้นการดำเนินการทางธุรกิจของบริษัทผู้ผลิตต้องสามารถตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าด้วยการจัดส่งสินค้าไปสู่ลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว เพื่อให้กลุ่มลูกค้าสามารถบริหารสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความพึงพอใจ โดยทั่วไปการดำเนินการทางธุรกิจนี้มีองค์ประกอบสำคัญคือ การวางแผนการผลิต การผลิต และการจัดส่งสินค้า เมื่อบริษัทรับคำสั่งซื้อจากลูกค้าแล้ว เพื่อให้บริษัทผู้ผลิตไม่ต้องจัดเก็บสินค้าไว้นานเกินไป บริษัทผู้ผลิตจะวางแผนการผลิตให้มีกำหนดการผลิตเสร็จที่เหมาะสมกับเวลาส่งมอบสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้า แล้ววางแผนจัดส่งสินค้าไปสู่ลูกค้าทันทีที่ผลิตเสร็จ การจัดส่งสินค้าด้วยแนวทางการบริหารสินค้าคงคลังนี้ต้องอาศัยการจัดการด้านการขนส่งที่มั่นใจได้ว่าสามารถส่งมอบสินค้าไปยังลูกค้าได้ตามแผนการขนส่งที่กำหนดไว้ แนวทางหนึ่งในการจัดการขนส่งนี้คือการทำสัญญาจ้างผู้ประกอบการขนส่งหลายราย การดำเนินการนี้ทำให้มั่นใจได้ว่าสามารถส่งมอบสินค้าไปยังลูกค้าได้ตามแผน แต่ทำให้เพิ่มความซับซ้อนในการวางแผนขนส่งสินค้า เนื่องจากบริษัทต้องตัดสินใจในการกำหนดว่าจะใช้ผู้ประกอบการรายใดในการส่งสินค้าใดไปยังลูกค้ารายใด ที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด และเป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ระบุไว้ในสัญญาจ้างของผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย

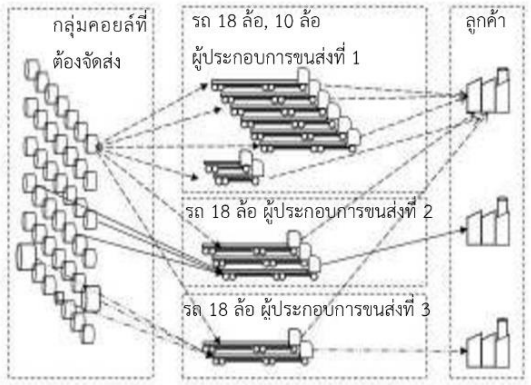
ปัญหาเรื่องต้นทุนค่าขนส่งนั้นเป็นปัญหาหลักที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไรของหลายบริษัท ปัญหาการวางแผนจัดการด้านขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุดนั้นเป็นปัญหาที่สามารถจัดการได้ด้วยการประยุกต์ทฤษฎีของการวิจัยการดำเนินงานในการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) [4] งานวิจัยในอดีตที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดการปัญหาการขนส่งในรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป เช่น ด้านการจัดการเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่ใช้ในการขนส่งให้เต็มประสิทธิภาพในการปรับปรุงการจัดสรรรถบรรทุก 5 ชนิด จำนวน 59 คันของบริษัทประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ ที่ขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังคลังสินค้าย่อย 18 แห่ง [2] และการจัดการปัญหาสมดุลน้ำหนักของสินค้าที่ขนส่งโดยใช้เครื่องบิน ในประเทศเบลเยียม เพื่อเพิ่มน้ำหนักสินค้าที่ขนส่งให้มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความปลอดภัยต่อการบิน [5] ด้านการจัดเส้นทางการขนส่ง เช่น การปรับปรุงทั้งการจัดเส้นทางและการจัดรถบรรทุกขนส่งสินค้าหลายขนาด จากแหล่งผลิต 17 แห่งมาเก็บที่ศูนย์กระจายสินค้า โดยการขนส่งใช้รถบรรทุกที่สามารถไปยังแหล่งผลิตได้เพียงที่เดียวเท่านั้น [1] การปรับปรุงการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตภายใต้กรอบระยะเวลา และยานพาหนะหลายความจุ โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว [6] สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาได้ด้วยการออกแบบอัลกอริทึ่มในการจัดเส้นทาง เช่น ปัญหาการปรับปรุงระยะการขนส่งให้ลดลงโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีอัลกอริทึ่มแบบประหยัด และอัลกอริทึ่มเพื่อนบ้านใกล้เคียง [7] สำหรับงานวิจัยนี้จะเสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเพื่อการจัดกลุ่มสินค้าขึ้นรถให้เต็มประสิทธิภาพของรถบรรทุกเพื่อส่งไปยังลูกค้าแบบปลายทางเดียว ภายใต้เงื่อนไขความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถ และเงื่อนไขในสัญญาจ้างที่ทำไว้กับผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย เพื่อให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด

## 2. การจัดการด้านการขนส่งคอยล์ของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทผู้ผลิตคอยล์โลหะสำหรับกรณีศึกษานี้ ตั้งอยู่ในภาคตะวันออก มีกำลังการผลิตประมาณ 400,000 ตันต่อปี ทำการผลิตแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีที่ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตโครงรถยนต์ให้กับลูกค้าจำนวนมากกว่า 30 ราย การผลิตเป็นแบบผลิตตามสั่งที่มีเวลานำ (lead time) ไม่เกิน 3 วัน ค่าใช้จ่ายด้านการจัดส่งคอยล์โลหะไปยังลูกค้าเป็นความรับผิดชอบของผู้ผลิต ในรอบปี พ.ศ. 2559 บริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งประมาณ 62 ล้านบาท การวางแผนการจัดส่งคอยล์เป็นกิจกรรมที่ต้องทำประจำวันหลังจากได้รับแผนการผลิตเสร็จเพื่อส่งแผนการจัดส่งไปยังผู้ประกอบการขนส่งที่ทำสัญญาจ้างไว้ จากนั้นผู้ประกอบการขนส่งจะส่งรายละเอียดเกี่ยวกับกำหนดการขนส่งด้วยรถบรรทุกกลับมายังบริษัทเพื่อเตรียมพร้อมในการจัดส่งไปยังลูกค้าต่อไป

การวางแผนการการจัดส่งคอยล์รายวันนี้เป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งของบริษัท เนื่องจากคอยล์โลหะเป็นสินค้าที่มีน้ำหนักมาก และมีปริมาณไม่แน่นอนตามความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน เช่น การวางแผนจัดส่งคอยล์จำนวน 200 คอยล์ที่ถูกสั่งโดยลูกค้า 10 ราย โดยน้ำหนักของแต่ละคอยล์แปรผันอยู่ระหว่าง 1 ถึง 20 ตัน เป็นต้น ผู้วางแผนการขนส่งต้องตัดสินใจว่าคอยล์ใดบ้างที่ถูกจัดให้ส่งบนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน และใช้รถบรรทุกประเภทใด ดังแสดงในรูปที่ 1 การจัดนี้ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านพื้นที่การวางคอยล์บนรถบรรทุก น้ำหนักรวมในการขนส่งเที่ยวหนึ่ง ๆ ต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ และควรมีน้ำหนักรวมมากกว่าน้ำหนักขั้นต่ำที่ใช้ในการคำนวณค่าขนส่ง นอกจากนี้ผู้วางแผนต้องตัดสินใจเลือกใช้ผู้ประกอบการขนส่งรายใด เนื่องจากค่าขนส่งต่อตันในการขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายด้วยรถบรรทุกประเภทต่าง ๆ มีความแตกต่างกันตามสัญญาจ้างที่บริษัททำไว้ นอกจากนี้ผู้วางแผนยังต้องปรับสัดส่วนปริมาณการขนส่งที่มอบหมายให้กับผู้ประกอบการขนส่งในแต่ละวันเพื่อให้เมื่อถึงรอบเวลา 1 เดือนแล้ว

สัดส่วนน้ำหนักคอยล์ที่ขนส่งโดยผู้ประกอบการทั้งสามรายเป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบุในสัญญา ด้วยความซับซ้อนของปัญหานี้ผู้วางแผนใช้เวลาในการวางแผนการขนส่งคอยล์ประจำวันประมาณ 4-6 ชั่วโมง




รูปที่ 1 ภาพรวมปัญหาการจัดคอยล์ขึ้นรถบรรทุกเพื่อส่งไปยังลูกค้า

## 3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การจัดกลุ่มคอยล์ขึ้นรถบรรทุกเป็นปัญหาการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแบบการจัดกลุ่ม (Combinatorial optimization) การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ จึงมีลักษณะเป็นกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Interger programming) สำหรับปัญหานี้กำหนดให้คิดค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักขั้นต่ำในการบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ ดังนั้นการสร้างแบบจำลอง จึงกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจ ด้านน้ำหนักการบรรทุกต่อเนื่องเป็นจำนวนจริง เมื่อรวมกับปัญหาการจัดกลุ่มคอยล์ทำให้งานวิจัยนี้ เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับการวางแผนการส่งคอยล์ประจำวัน เพื่อให้ต้นทุนการขนส่งประจำวันต่ำที่สุด

### 3.1 ดัชนีและเซต

$i$ ดัชนีของลูกค้า ที่เป็นสมาชิกของเซตลูกค้า $I = \{1, 2, ...\}$

$j$ ดัชนีของคอยล์ ที่เป็นสมาชิกของเซตคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$, $J_i = \{1, 2, ...\}$

$l$ ดัชนีของผู้ประกอบการขนส่ง ที่เป็นสมาชิกของเซตผู้ประกอบการขนส่ง $L = \{1, 2, ...\}$

$s$ ดัชนีของประเภทรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตประเภทรถบรรทุก $S = \{1, 2, ...\}$

$t$ ดัชนีของเที่ยวรถบรรทุก ที่เป็นสมาชิกของเซตรถบรรทุกประเภท $s$ ของผู้ประกอบการขนส่ง $l$ ที่ไปส่งลูกค้า $i$, $T_s^{il} = \{1, 2, ...\}$

### 3.2 พารามิเตอร์

$c_s^{il}$ ค่าขนส่งของรถบรรทุกประเภท $s$ ไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการขนส่ง $l$ (บาทต่อตัน)

$w_{ij}$ น้ำหนักที่ถูกส่งไปยังลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ (ตัน)

$minW_s$ เกณฑ์น้ำหนักต่ำที่สุดที่ใช้คิดค่าขนส่ง (ตัน) ของรถประเภท $s$

$maxW_s$ น้ำหนักคอยล์ที่มากที่สุด (ตัน) ที่รถบรรทุกประเภท $s$ สามารถบรรทุกได้

$maxN_s$ จำนวนคอยล์ที่มากที่สุดที่รถบรรทุกประเภท $s$ สามารถบรรทุกได้

$M$ ค่าคงที่ สำหรับกำหนดขอบเขตบน (Upper bound) ของการขนส่งของรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ ซึ่งเท่ากับ $maxW_s$

$minP_l$ ค่าสัดส่วนต่ำที่สุด ตามเงื่อนไขการขนส่งของผู้ประกอบการขนส่ง $l$ ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง

$maxP_l$ ค่าสัดส่วนสูงที่สุด ตามเงื่อนไขการขนส่งของผู้ประกอบการขนส่ง $l$ ที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง

### 3.3 ตัวแปรตัดสินใจ

$x_{jst}^{il}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า $i$ คอยล์ที่ $j$ ถูกส่งโดยผู้ประกอบการขนส่ง $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ เที่ยวที่ $t$ ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

$y_{st}^{il}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อเกิดการขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการขนส่ง $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ เที่ยวที่ $t$ ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

$d_{st}^{il}$ น้ำหนักที่ขนส่งไปยังลูกค้า $i$ โดยผู้ประกอบการขนส่ง $l$ รถบรรทุกประเภท $s$ เที่ยวที่ $t$ ที่เกินจากน้ำหนักขั้นต่ำของความสามารถในการบรรทุกของรถคันนั้น

### 3.4 สมการวัตถุประสงค์

$$min\ Z = \sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} minW_s c_s^{il} y_{st}^{il} + \sum_{i\in I}\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} d_{st}^{il} c_s^{il} \quad (1)$$

สมการ (1) คำนวณค่าขนส่งรายวันที่ต่ำที่สุด ค่าขนส่งถูกแยกเป็นสองส่วน ส่วนแรกคำนวณค่าขนส่งเมื่อมีรถบรรทุกถูกใช้งานตามรูปแบบปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ [4], [8] สำหรับปัญหาขนส่งนี้ค่าใช้จ่ายคงที่เป็นการคำนวณจากค่าขนส่งของน้ำหนักขั้นต่ำที่บริษัทต้องจ่ายตามสัญญาเมื่อมีการใช้รถบรรทุกขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้า ส่วนที่สองเป็นการคำนวณค่าขนส่งรวมทุกเที่ยวส่งเฉพาะน้ำหนักส่วนที่เพิ่มจากน้ำหนักขั้นต่ำในการขนส่งแต่ละเที่ยว

### 3.5 เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{l\in L}\sum_{s\in S}\sum_{t\in T_s^{il}} x_{jst}^{il} = 1\ ;\ i\in I, j\in J_i \quad (2)$$

$$\sum_{j\in J_i} x_{jst}^{il} w_{ij} - maxW_s \le 0\ ;\ i\in I,\ l\in L,\ s\in S,\ t\in T_s^{il} \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J_i} x_{jst}^{il} - maxN_s \leq 0 \; ; i \in I, \; l \in L, \; s \in S, \; t \in T_s^{il} \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J_i} x_{jst}^{il} w_{ij} - My_{st}^{il} \leq 0 \; ; i \in I, \; l \in L, \; s \in S, \; t \in T_s^{il} \quad (5)$$

$$d_{st}^{il} \geq \sum_{j \in J_i} x_{jst}^{il} w_{ij} - minW_s \; ; i \in I, \; l \in L, \; s \in S, \; t \in T_s^{il} \quad (6)$$

$$d_{st}^{il} \geq 0 \; ; \; i \in I, l \in L, s \in S, t \in T_s^{il} \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w_{ij} - minP_l \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} w_{ij} \geq 0 \; ; l \in L \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s^{il}} x_{jst}^{il} w_{ij} - maxP_l \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} w_{ij} \leq 0 \; ; l \in L \quad (9)$$

$$x_{jst}^{il} = binary, \; y_{st}^{il} = binary \; ; \; i \in I, j \in J_i, \; l \in L, \; s \in S, \; t \in T_s^{il} \quad (10)$$

สมการ (2) เป็นเงื่อนไขบังคับด้านการจัดสรรคอยล์ให้กับรถบรรทุกแต่ละเที่ยว ที่กำหนดให้คอยล์ต้องถูกส่งไปยังลูกค้าโดยรถบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ ของผู้ประกอบการขนส่งรายหนึ่ง ๆ สมการ (3) และ (4) บังคับด้านความสามารถในการบรรทุกของรถ ที่ทำให้มั่นใจได้ว่าการจัดกลุ่มคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้าแต่ละรายต้องมีน้ำหนักและจำนวนคอยล์รวมไม่เกินความสามารถในการบรรทุกตามประเภทรถที่เลือกใช้ในการขนส่งไปยังลูกค้ารายนั้น สมการ (5) เป็นเงื่อนไขบังคับถูกสร้างขึ้นเพื่อให้มั่นใจว่าเมื่อมีการขนส่งเที่ยวหนึ่ง ๆ เกิดขึ้น จะต้องมีการคิดค่าใช้จ่ายขั้นต่ำเสมอ สมการ (6) และ (7) บังคับการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งส่วนที่บรรทุกเกินเกณฑ์น้ำหนักขั้นต่ำ สมการ (8) และ (9) เป็นเงื่อนไขบังคับด้านการกระจายงานขนส่งของผู้ประกอบการขนส่งในแต่ละวันให้เป็นไปตามเงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งที่ต้องการของผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย และสมการ (10) เป็นเงื่อนไขบังคับของตัวแปรตัดสินใจ

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการประมวลผล และตัวอย่างผลการทดสอบ

แบบจำลอง MILP ที่เสนอถูกนำมาใช้ในการทดสอบการวางแผนการจัดส่งคอยล์แล้วเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับข้อมูลการขนส่งจริง จำนวน 59 วัน ในช่วงเดือน ต.ค. - ธ.ค. พ.ศ. 2559 ที่มีการขนส่งคอยล์จำนวน 9,026 คอยล์ น้ำหนักรวม 79,856.28 ตัน ไปยังลูกค้า 27 ราย กลุ่มคอยล์ที่ต้องจัดส่งประจำวันประกอบด้วยจำนวนคอยล์เฉลี่ยและสูงสุด 153 และ 276 คอยล์ ตามลำดับ จำนวนลูกค้าเฉลี่ยและสูงสุด 11 และ 17 รายต่อวันตามลำดับ คอยล์มีน้ำหนักแตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้าโดยน้ำหนักคอยล์มีความผันแปรระหว่าง 1 ถึง 20 ตัน ผู้วางแผนการขนส่งสามารถเลือกใช้บริการจากผู้ประกอบการขนส่งได้ 3 ราย (A, B และ C) โดยทุกบริษัทใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อในการให้บริการขนส่ง และบริษัท A มีรถบรรทุกขนาด 10 ล้อให้เลือกใช้บริการได้เมื่อต้องการขนส่งปริมาณน้อย การจัดส่งคอยล์ไปยังลูกค้าต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดดังนี้

1. รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ บรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 5 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 31 ตัน
2. รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ บรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 3 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 12 ตัน
3. ค่าขนส่งต่อตันแปรผันตามระยะทางขนส่งไปยังลูกค้า โดยผู้ประกอบการขนส่งกำหนดอัตราค่าขนส่งต่อตันไม่เท่ากัน
4. น้ำหนักบรรทุกต่ำที่สุดที่ใช้สำหรับคำนวณค่าขนส่งต่อเที่ยวของรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ และ 18 ล้อ คือ 8 ตัน และ 22 ตัน ตามลำดับ
5. จำนวนรถของผู้ประกอบการทุกรายมีจำนวนไม่จำกัด
6. สัดส่วนน้ำหนักคอยล์รวมต่อเดือนที่ขนส่งด้วยผู้ประกอบการ A B และ C เท่ากับ 70:20:10 ภายใต้ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด

งานวิจัยนี้กำหนดให้วางแผนการขนส่งรายวันที่มีสัดส่วนน้ำหนักรวมต่อวันของการขนส่งด้วยผู้ประกอบการ A B และ C มีค่าคงที่เท่ากับ 70:20:10 เพื่อให้งานขนส่งที่มอบให้กับผู้ประกอบการแต่ละรายเมื่อครบรอบหนึ่งเดือน จะมีสัดส่วนเป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาทุกราย

การประมวลผลแบบจำลองใช้โปรแกรม OpenSolver 2.8.6 ที่สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานร่วมกับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม และไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจ โดยปกติ OpenSolver ใช้ซอฟท์แวร์ประมวลผล (Solver engine language) เป็น CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) ที่พัฒนาโดย COIN-OR (The computational infrastructure for operations research foundation) [9] สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล Gurobi 7.0.2 (Academic version) เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลแบบจำลอง MILP ที่มีประสิทธิภาพสูงในการหาผลลัพธ์ได้ดีที่สุด และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยว่าซอฟต์แวร์ประมวลผลตัวอื่น อย่าง SCIP CBC และ MATLAB [10] งานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับประมวลผล 2 ค่าที่ได้จากการทดลอง คือ เปอร์เซ็นต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch-and-bound percentage tolerance) เท่ากับ 0.01% และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) กำหนดเท่ากับ 900 วินาที

ตัวอย่างการขนส่งรายวันบางส่วน ที่มีคำสั่งซื้อจากลูกค้า 2 ราย จำนวนคอยล์ที่ต้องขนส่งรวม 20 คอยล์ น้ำหนักรวม 175.69 ตัน มีแผนการขนส่งรายวันแบบเดิมดังตารางที่ 1 ที่จัดกลุ่มคอยล์ของลูกค้าที่ 1 แยกเป็น 5 กลุ่ม และเลือกใช้รถบรรทุก 18 ล้อของผู้ประกอบการขนส่ง B ส่วนกลุ่มคอยล์ของลูกค้าที่ 2 ถูกจัดเป็น 2 กลุ่ม แล้วเลือกใช้รถบรรทุกทั้งสองประเภทของผู้ประกอบการขนส่ง A เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการขนส่งจากแบบจำลอง MILP ดังตารางที่ 2 พบว่ามีความแตกต่างทั้งด้านกลุ่มคอยล์ ประเภทรถบรรทุก และผู้ประกอบการขนส่ง

ตารางที่ 1 แผนการขนส่งรายวันบางส่วนด้วยวิธีการแบบเดิม

| ลูกค้า | คอยล์ที่ | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | ประเภทรถบรรทุก | น้ำหนักต่อเที่ยว (ตัน) | น้ำหนักที่คิดราคา (ตัน) | น้ำหนักที่ถูกปรับ (ตัน) | ค่าขนส่งต่อเที่ยว (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 11.56 | B | 18 ล้อ | 29.24 | 29.24 | - | 7,047 |
| | 2 | 11.51 | | | | | | |
| | 3 | 6.17 | | | | | | |
| | 4 | 9.48 | B | 18 ล้อ | 24.03 | 24.03 | - | 5,791 |
| | 5 | 6.34 | | | | | | |
| | 6 | 8.21 | | | | | | |
| | 7 | 8.1 | B | 18 ล้อ | 26.99 | 26.99 | - | 6,505 |
| | 8 | 8.02 | | | | | | |
| | 9 | 10.87 | | | | | | |
| | 10 | 8.72 | B | 18 ล้อ | 27.54 | 27.54 | - | 6,637 |
| | 11 | 7.44 | | | | | | |
| | 12 | 11.38 | | | | | | |
| | 13 | 6.78 | B | 18 ล้อ | 27.20 | 27.20 | - | 6,555 |
| | 14 | 6.41 | | | | | | |
| | 15 | 6.98 | | | | | | |
| | 16 | 7.03 | | | | | | |
| 2 | 1 | 9.87 | A | 18 ล้อ | 30.24 | 30.24 | - | 10,009 |
| | 2 | 9.97 | | | | | | |
| | 3 | 10.4 | | | | | | |
| | 4 | 10.45 | A | 10 ล้อ | 10.45 | 10.45 | - | 8,788 |
| | | | | รวม | 175.69 | 175.69 | - | 51,333 |

ตารางที่ 2 แผนการขนส่งรายวันบางส่วนด้วยแบบจำลอง MILP

| ลูกค้า | คอยล์ที่ | น้ำหนัก (ตัน) | บริษัทขนส่ง | ประเภทรถบรรทุก | น้ำหนักต่อเที่ยว (ตัน) | น้ำหนักที่คิดราคา (ตัน) | น้ำหนักที่ถูกปรับ (ตัน) | ค่าขนส่งต่อเที่ยว (บาท) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 11.56 | A | 18 ล้อ | 29.48 | 29.48 | - | 6,132 |
| | 2 | 11.51 | | | | | | |
| | 3 | 6.41 | | | | | | |
| | 4 | 9.48 | A | 18 ล้อ | 26.69 | 26.69 | - | 5,552 |
| | 5 | 6.34 | | | | | | |
| | 6 | 10.87 | | | | | | |
| | 7 | 8.1 | A | 18 ล้อ | 24.84 | 24.84 | - | 5,167 |
| | 8 | 8.02 | | | | | | |
| | 9 | 8.72 | | | | | | |
| | 10 | 6.17 | A | 18 ล้อ | 28.85 | 28.85 | - | 6,001 |
| | 11 | 8.21 | | | | | | |
| | 12 | 7.44 | | | | | | |
| | 13 | 7.03 | | | | | | |
| | 14 | 11.38 | A | 18 ล้อ | 25.14 | 25.14 | - | 5,229 |
| | 15 | 6.78 | | | | | | |
| | 16 | 6.98 | | | | | | |
| 2 | 1 | 9.97 | A | 18 ล้อ | 20.37 | 22.00 | 1.63 | 7,282 |
| | 2 | 10.4 | | | | | | |
| | 3 | 9.87 | | | 20.32 | 22.00 | 1.68 | 7,282 |
| | 4 | 10.45 | | | | | | |
| | | | | รวม | 175.69 | 179.00 | 3.31 | 42,644 |

ค่าขนส่งตามแผนการขนส่งที่สร้างจาก MILP ต่ำกว่าแบบเดิม เกิดจากการขนส่งคอยล์ของลูกค้าที่ 1 เดิมกำหนดให้ใช้ผู้ประกอบการขนส่ง B ที่มีค่าขนส่งต่อตันสูงกว่าผู้ประกอบการขนส่ง A อาจเกิดจากการขนส่งในภาพรวมของวันนั้นที่ผู้วางแผนจำเป็นต้องมอบงานให้ผู้ประกอบการขนส่ง B ส่วนแผนการขนส่งคอยล์ของลูกค้าที่ 2 เดิมใช้รถบรรทุก 10 ล้อที่มีค่าขนส่งต่อตันสูง ส่วนแผนการขนส่งจาก MILP ได้แบ่งคอยล์ออกเป็นสองกลุ่มที่มีน้ำหนักไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำในการคำนวณค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ แต่ทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งคอยล์ของลูกค้ารายนี้ต่ำกว่าแผนการขนส่งแบบเดิม

## 4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

การวางแผนการจัดส่งด้วยแบบจำลอง MILP จำนวน 59 วัน พบว่าโปรแกรม OpenSolver สามารถจัดกลุ่มคอยล์ เลือกประเภทรถบรรทุก และเลือกผู้ประกอบการขนส่ง ที่มีค่าใช้จ่ายการขนส่งในแต่ละวันเข้าใกล้ขอบเขตล่างของปัญหาที่แสดงถึงค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และแผนการจัดส่งรายวันมีการกระจายสัดส่วนการขนส่งที่เป็นไปตามข้อจำกัดด้านสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งของผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย ซึ่งทำให้สัดส่วนรายเดือนเป็นไปตามสัญญาการจ้าง และมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งรายเดือนที่เข้าใกล้ค่าต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรายเดือนในการขนส่งและน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริง ของแผนการขนส่งแบบเดิมกับแผนการขนส่งที่จัดด้วย MILP พบว่า การวางแผนการขนส่งด้วยแบบจำลอง MILP มีค่าขนส่งที่ต่ำกว่าการวางแผนแบบเดิมในทุกเดือน ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยสามารถลดค่าขนส่งได้เฉลี่ย 185,314 บาทต่อเดือน และสามารถลดน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริงได้เฉลี่ย 155.84 ตันต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าขนส่งต่อเดือน

| เดือน | ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท) | | |
|---|---|---|---|
| | แบบเดิม | MILP | ลดลง |
| ตุลาคม | 4,916,230 | 4,714,780 | 201,450 |
| พฤศจิกายน | 6,019,962 | 5,837,425 | 182,537 |
| ธันวาคม | 5,597,233 | 5,425,276 | 171,957 |
| รวม | 16,533,425 | 15,977,482 | 555,943 |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 5,511,142 | 5,325,827 | 185,314 |

ตารางที่ 4 น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่มีการขนส่งจริง

| เดือน | น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตัน) | | |
|---|---|---|---|
| | แบบเดิม | MILP | ลดลง |
| ตุลาคม | 557.80 | 274.26 | 283.54 |
| พฤศจิกายน | 545.40 | 440.50 | 104.90 |
| ธันวาคม | 484.80 | 405.71 | 79.09 |
| เฉลี่ยต่อเดือน | 529.30 | 373.49 | 155.84 |

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการวิจัยการดำเนินงานโดยการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับวางแผนประจำวันในการขนส่งคอยล์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ต่ำ

ที่สุด แบบจำลอง MILP ที่เสนอนี้ทำการตัดสินใจเลือกกลุ่มคอยล์ใส่รถบรรทุกแต่ละประภทของผู้ประกอบการขนส่งแต่ละรายที่ทำสัญญาจ้างไว้กับบริษัทเพื่อทำการขนส่งตรงไปยังลูกค้าที่สั่งซื้อคอยล์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทำให้สรุปได้ว่าการใช้แบบจำลอง MILP สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย เมื่อรวมน้ำหนักคอยล์ที่จัดส่งโดยผู้ประกอบการขนส่งแต่ละรายจากแผนการขนส่งรายวันที่ได้จากแบบจำลอง จนครบรอบเดือนจะทำให้สัดส่วนน้ำหนักขนส่งรายเดือนของผู้ประกอบการขนส่งทั้งสามรายเป็นไปตามสัญญาจ้าง จากองค์ประกอบของการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งของแบบจำลอง MILP ที่คำนวณค่าขนส่งจากน้ำหนักขนส่งขั้นต่ำของเที่ยวรถบรรทุกที่เลือกใช้งาน ทำให้การประมวลผลจะพยายามใช้จำนวนเที่ยวรถให้น้อยที่สุด และจัดกลุ่มคอยล์ให้มีน้ำหนักอย่างน้อยเท่ากับน้ำหนักขนส่งขั้นต่ำของประเภทรถบรรทุกที่เลือกใช้งาน ดังนั้นการใช้แบบจำลอง MILP จึงช่วยลดน้ำหนักคอยล์ที่ต้องเสียค่าปรับจากการบรรทุกไม่เต็มความสามารถของรถ ซึ่งทำให้ลดความสูญเปล่าของต้นทุนลงด้วย เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งพบว่าการใช้แบบจำลอง MILP สามารถลดเวลาการวางแผนการขนส่งประจำวันลงได้อย่างมีนัยสำคัญ และหากสร้างระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision support system) ด้วย Excel VBA มาจัดการกับตัวแบบ MILP ที่ประมวลผลบนโปรแกรม OpenSolver จะทำให้เพิ่มความสะดวกต่อผู้วางแผนการขนส่งรายวันได้มากยิ่งขึ้น

การวางแผนการขนส่งคอยล์ของบริษัทกรณีศึกษานี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักในการขนส่งของผู้ประกอบการขนส่งแบบรายเดือนตามเงื่อนไขในสัญญาการจ้าง แต่ปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายเป็นการสั่งแบบรายวัน ทำให้งานวิจัยนี้ต้องใช้แบบจำลอง MILP ในการวางแผนขนส่งแบบรายวัน แล้วกำหนดให้สัดส่วนน้ำหนักในการขนส่งของผู้ประกอบการขนส่งให้คงที่ทุกวันเท่ากับสัดส่วนที่ระบุในสัญญาแบบรายเดือนเท่ากับ 70:20:10 อย่างไรก็ตามแนวทางการกำหนดสัดส่วนการมอบหมายงานขนส่งรายวันแบบไม่คงที่ทุกวันอาจทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งรายเดือนลดลงต่ำกว่านี้ได้ ซึ่งต้องค้นหาวิธีการกำหนดสัดส่วนที่ไม่คงที่ในแต่ละวัน และตรวจสอบข้อสมมติฐานนี้ต่อไป

การกำหนดค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch-and-bound percentage tolerance) และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) ในงานวิจัยนี้กำหนดจากการทดลองอย่างง่ายเมื่อใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผล Gurobi การปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สองค่านี้ยังสามารถทำได้ เพื่อให้ค่าผลลัพธ์มีค่าเข้าใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจากขอบเขตล่าง (Lower bound cost) มากที่สุด การปรับเปลี่ยนควรคำนึงถึงสมรรถนะของซอฟต์แวร์สำหรับประมวลผลที่ใช้ และเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ในการวางแผนการขนส่งจริง

## เอกสารอ้างอิง

[1] N. Supattananon and R. Akararungruangkul, "The Optimal Transportation Cost for Truck Routing and Truck Selection with Various Size by Mixed Integer Programming Model: A Case Study of Beverage Distribution Firm," in Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2016, Khonkean, Thailand, July 7-8, 2016. pp. 38-43.

[2] A. Pimpatchim and R. Akararungruangkul, "The Optimal Truck Selection from Distribution Center to Sub Warehouse: A Case Study of Beverage Distribution Firm," in Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2016, Khonkean, Thailand, July 7-8, 2016. pp. 44-50.

[3] N. Phosumrit and W. Tharmmaphornphilas, " A Mathematical Model for Inventory-routing Problem," The Journal of KMUTNB, vol. 20, no. 3, pp. 544-551, Sep. - Dec. 2010.

[4] W. L. Winston, Operations research: Applications and algorithms, 4th ed. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole, 2004.

[5] J. Verstichela, W. Vancroonenburga, W. Souffriaua and G. V. Berghe, "A mixed integer programming approach to the aircraft weight and balance problem," Procedia Social and Behavioral Sciences, vol. 20, pp. 1051-1059, 2011.

[6] S. Yodwangjai and K. Khammuang, "A Mixed Integer Programming Model for Dynamic Vehicle Routing Problem," The Journal of KMUTNB, vol. 26, no. 2, pp. 224-238, May.–Aug. 2016.

[7] C. Tungchairungrueang, S. Pakwat1 and N. Sooksaksun, "The Improvement of Vehicle Routing: Case Study Den Chai Shop," in Proceeding of Industrial Engineering Network Conference 2016, Khonkean, Thailand, July 7-8, 2016. pp. 1584-1590.

[8] C. T. Ragsdale, Managerial Decision Modeling, 6th ed. Mason, OH: South-Western, 2011.

[9] A. J. Mason, "OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Progammes in Excel," in Proceeding of International Conference on Operations Research 2011, Zurich, Switzerland, August 30 – September 2, 2011. pp. 401-406.

[10] Gurobi Optimization Inc. ( 2017, February 25). Gurobi Optimizer Reference Manual. [Online]. Available: http://www.gurobi.com