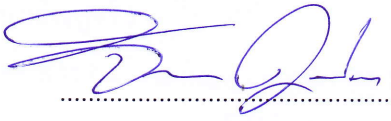
แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสี

ธิดารัตน์ ร้อยนาค

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กรกฎาคม 2560
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ธิดารัตน์ ร้อยนาค ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

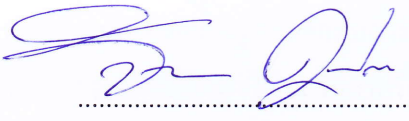
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

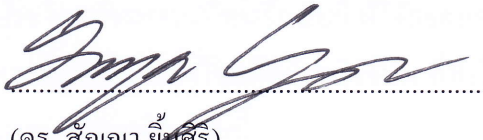
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์



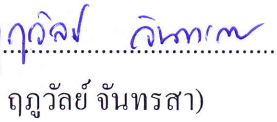
..... ประธาน

(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)



..... กรรมการ

(ดร. สัญญา ยิ้มศิริ)



..... กรรมการ

(ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 27 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2560

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. จักรวาล คุณะดิลก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สัญญา ยิ้มศิริ และ ดร. ฤภูวัลย์ จันทรสา เป็นอย่างสูง ที่ได้กรุณาเป็นกรรมการในการสอบงานนิพนธ์ และขอขอบพระคุณ คุณวสุรี ฐิติวร ที่ให้คำแนะนำแนวทาง ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขที่ถูกต้องจนสำเร็จลุล่วง ถูกต้องและมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณพนักงานและผู้บริหาร โรงงานกรณีศึกษา ที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษาผู้วิจัยเสมอมา ตลอดจนแหล่งความรู้และข้อมูลต่าง ๆ ในการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่ และพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยเสมอมา คุณค่าและประโยชน์ของงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูกตเวทิตาแด่ บุพการี บูรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้า เป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาจนตราบเท่าทุกวันนี้

ธิดารัตน์ ร้อยนาค

57921135: สาขาวิชา: การจัดการงานวิศวกรรม; วศ.ม. (การจัดการงานวิศวกรรม)
คำสำคัญ: แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม/ ปัญหาการขนส่ง/
คอยล์เหล็กชุบสังกะสี

ธิดารัตน์ ร้อยนาค: แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสี (MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR GALVANIZED STEEL COIL TRANSPORTATION PROBLEM). คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก, Ph.D., 89 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

ปัญหาการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสีจากผู้ผลิตไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ เป็นการวางแผนการขนส่งรายวันที่ต้องจัดกลุ่มคอยล์ตามรุ่นผลิตภัณฑ์และปริมาณที่กำหนดในคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายสำหรับการขนส่งบนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน จำนวนคอยล์และน้ำหนักรวมของคอยล์แต่ละกลุ่มต้องไม่เกินความสามารถสูงสุดในการบรรทุกของรถบรรทุก คอยล์ทุกกลุ่มควรมีน้ำหนักรวมไม่ต่ำกว่าน้ำหนักขั้นต่ำสำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งต่อเที่ยว จากนั้นผู้วางแผนจะมอบหมายให้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์รายต่าง ๆ จากกลุ่มบริษัทขนส่ง 3 ราย ในการขนส่งกลุ่มคอยล์ไปยังลูกค้า ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ 3 ราย มีอัตราค่าขนส่งไม่เท่ากันและสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งคอยล์รายเดือนไม่เท่ากันตามที่ระบุสัญญา ดังนั้นปัญหานี้จึงเป็นปัญหาการจัดสรรกลุ่มคอยล์ให้ขนส่งไปยังลูกค้าโดยผู้ประกอบการโลจิสติกส์แต่ละรายที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าขนส่งต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งของแต่ละบริษัท งานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-integer linear programming, MILP) สำหรับใช้ในการจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด ซอฟต์แวร์ OpenSolver ด้วยโปรแกรมประมวลผล CBC ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของตัวแบบ MILP การทดสอบประสิทธิภาพเปรียบเทียบกับปัญหาการขนส่งจริง 59 วัน ในสามเดือนที่มีจำนวนลูกค้าเฉลี่ยวันละ 11 ราย จำนวนคอยล์ที่ส่งมอบเฉลี่ยวันละ 153 คอยล์ และน้ำหนักคอยล์รวมเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,353 ตัน พบว่าตัวแบบ MILP ที่เสนอสามารถหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ในทุกวันที่ส่งมอบ ต้นทุนการขนส่งลดลงเฉลี่ย 178,161 บาทต่อเดือน สัดส่วนน้ำหนักขนส่งต่อเดือน ของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญา และน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายจากการจัดกลุ่มคอยล์ที่มีน้ำหนักไม่ถึงเกณฑ์น้ำหนักการขนส่งขั้นต่ำลดลง 180.7 ตันต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 34.1

57921135: MAJOR: ENGINEERING MANAGEMENT; M.Eng. (ENGINEERING MANAGEMENT)
KEYWORDS: MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL/ TRANSPORTATION PROBLEM/ GALVANIZED STEEL COIL
TIDARAT ROYNARK: MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING MODEL FOR GALVANIZED STEEL COIL TRANSPORTATION PROBLEM. ADVISORY COMMITTEE: JAKRAWARN KUNADILOK, Ph.D., 89 P. 2017.

A Transportation problem of galvanized steel coils from manufacturer to customers is a daily delivery planning that different coils ordered from each customer were combined as coil groups for loading each coil group on the same truck. The total number and total weight of the coils for each 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. Then the planner will assign logistic providers from three possible companies to carry which groups of coil to their corresponding customers. Three logistic providers have different transportation cost and different minimum monthly shipping proportion by weight as identified in their service contract. Therefore, the problem becomes the allocation problem of coil groups to each logistic provider with minimizing transportation cost as objectives and total shipping weight for each company as restriction. This research proposed a mixed-integer linear programming model (MILP) for coil shippment daily scheduling to minimize transportation cost. The OpenSolver software with CBC optimizer was used to find the solution from the proposed MILP model. The performance of the model was evaluated by comparing with the real coil transportation data set of 59 days in three months. The data set has the average number of customer equal to 11 customers per day, the average total number of coil equal to 153 coils per day, and the average total weight equal to 1,353 tons per day. The results revealed that the MILP was able to find all feasible solutions. The transportation cost was decreased 178,161 baths per month. The monthly shipping proportions by weight for all logistic providers were conformed to their contracts. The total weight associated with transportation cost from the shipping weight less than the minimum limit was reduced 180.7 tons per month or 34.1%.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..……... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……..……. จ

สารบัญ…….…… ฉ

สารบัญตาราง……..……. ซ

สารบัญภาพ……...…. ฌ

บทที่

1 บทนำ…… 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……...……..…… 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย……...……... 3

ขอบเขตของงานวิจัย.....……...…….. 3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……...……..……... 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 5

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการแก้ไขปัญหา……..……..…… 5

ลักษณะของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด…...……..……..…….. 7

กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด...…….……..……..... 8

ตัวแบบปัญหาการมอบหมายงานในงานด้านโลจิสติกส์……..……..…… 10

การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น…….... 14

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม OpenSolver……..……..……. 16

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……....… 19

3 วิธีดำเนินการวิจัย……..... 22

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย……..…. 22

การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดการด้านการขนส่งคอยล์ของบริษัทกรณีศึกษา……. 24

การวิเคราะห์ข้อมูล……..... 29

การวิเคราะห์ปัญหา.....……..…… 33

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการศึกษาวิจัย……	39
การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม..……...……..……	39
การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP…...……...……	48
การออกแบบไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ……...…….	48
การบันทึกข้อมูลนำเข้าและการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม…….……	51
การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการขนส่ง…….	56
การทกสอบประสิทธิภาพของ MILP…….....……	56
5 สรุปและอภิปรายผล.....…….	65
สรุปผลการวิจัย……....……...…….	65
อภิปรายผลการวิจัย……..……	67
ข้อเสนอแนะ……...…….	70
บรรณานุกรม……...	71
ภาคผนวก....…….....	73
ภาคผนวก ก……..……...……...	74
ภาคผนวก ข....……..….....	80
ภาคผนวก ค……..……..	85
ประวัติย่อของผู้วิจัย…….	89

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กม้วนชุบสังกะสี ปี พ.ศ. 2559…… 2

2-1 ต้นทุนการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้า *i* ไปยังศูนย์ลูกค้ารายที่ *j*……..…. 12

3-1 อัตราค่าขนส่ง……. 25

3-2 เงื่อนไขการขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ..…….. 28

3-3 ปริมาณการจัดส่งรายเดือนไปยังลูกค้าแต่ละราย ปี พ.ศ. 2559…..……. 30

3-4 ปริมาณ สัดส่วน และค่าใช้จ่ายการขนส่ง ปี พ.ศ. 2559...……... 31

3-5 การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ขนส่งจริงและน้ำหนักที่คิดค่าใช้จ่าย ปี พ.ศ. 2559……. 32

3-6 จำนวนรถบรรทุก ประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งที่ใช้ในวันที่ 23 ธันวาคม 2559. 34

3-7 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าเมื่อปรับเปลี่ยนบริษัทขนส่ง…..... 35

3-8 ตัวอย่างการจัดตารางการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์……..…..…. 36

3-9 สรุปปัญหา สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข.....……..… 38

4-1 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนตุลาคม…… 57

4-2 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนพฤศจิกายน…… 58

4-3 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนธันวาคม.....…… 58

4-4 สรุปเปรียบเทียบค่าขนส่งรายเดือน.....…… 62

4-5 สรุปเปรียบเทียบค่าขนส่งส่วนต่างจากค่าใช้จ่ายขั้นต่ำ…… 63

4-6 สรุปเปอร์เซนต์น้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย…… 64

4-7 สรุปน้ำหนักคอยล์เฉลี่ยที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง…… 64

5-1 สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดตารางการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสี…..……... 67

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 แผนภาพแสดงกระบวนการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลอง..... 6

2-2 ปัญหาการมอบหมายงานกรณีที่มีงานจำนวน 5 งานมอบหมายให้กับคนงาน 5 คน.... 12

2-3 การเรียกใช้งาน OpenSolver..... 18

2-4 หน้าต่าง OpenSolver-Model และตัวอย่างการบันทึกตัวแบบ..... 18

3-1 สัดส่วนของปริมาณการขนส่งคอยล์เหล็กต่อเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย..... 24

3-2 รถบรรทุกคอยล์ 18 ล้อ 27

3-3 รถบรรทุก 10 ล้อ..... 27

3-4 ภาพรวมของการจัดส่งผลิตภัณฑ์..... 28

4-1 ภาพรวมของปัญหาการขนส่งคอยล์ประจำวัน..... 39

4-2 เงื่อนไขบังคับด้านการจัดส่งคอยล์ลงบนรถบรรทุก..... 43

4-3 แบจำลอง MILP สำหรับการจัดตารางขนส่งคอยล์ประจำวัน..... 47

4-4 แผ่นงาน Shipping cost..... 49

4-5 แผ่นงาน Sort..... 49

4-6 แผ่นงาน 721: การหาผลลัพธ์ที่สัดส่วนการขนส่งบริษัท A,B และ C เท่ากับ 70 : 20 : 10..... 50

4-7 แผ่นงาน Log 721..... 51

4-8 ตัวอย่างการจัดกลุ่มคอยล์ลงบนแผ่นงานสำหรับประมวลผล..... 52

4-9 ตัวอย่างการเตรียมรถบรรทุกขนาด 18 ล้อ สำหรับลูกค้า B1 52

4-10 เลือก Model เพื่อเชื่อมโยง..... 53

4-11 การบันทึกตัวแบบใน OpenSlover..... 54

4-12 การกำหนดค่าพารามิเตอร์..... 54

4-13 การกำหนดค่า Branch and Bound tolerance และ Maximum solution time..... 55

4-14 ฟังก์ชั่น Solve..... 55

4-15 ผลลัพธ์บางส่วนหลังการประมวลผลด้วย OpenSolver..... 56

4-16 ค่าพารามิเตอร์ใน CBC Solver engine..... 61

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมเหล็กแผ่นสำหรับงานโครงสร้างรถยนต์ กลุ่มเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสีซึ่งมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไปเหนือกว่าเหล็กแผ่นธรรมดาจึงเป็นที่นิยมจากบริษัทผู้ผลิตโครงสร้างรถยนต์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นคอยล์เซนเตอร์ต่าง ๆ ที่นำวัตถุดิบเป็นเหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีมาตัดแบ่งจากเหล็กม้วนเป็นแผ่นเพื่อทำการขึ้นรูปเป็นโครงสร้างรถยนต์ต่อไป การจัดซื้อวัตถุดิบเหล็กแผ่นสำหรับงานโครงสร้างรถยนต์นั้น ผู้ผลิตรถยนต์ต้องมีการบริหารจัดการด้านการจัดซื้อในโซ่อุปทานโดยมุ่งเน้นทั้งด้านเวลาและคุณภาพที่ทำให้เหล็กม้วนที่ต้องการถูกส่งมาถึงโรงงานในเวลาที่กำหนดหลังจากออกคำสั่งซื้อแล้ว อันจะทำให้ผู้ผลิตโครงสร้างรถยนต์สูญเสียในค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บต่ำที่สุด และได้รับวัตถุดิบในปริมาณที่พอดีกับความต้องการในสายการผลิต ในมุมมองของผู้ผลิตเหล็กม้วนต้นน้ำ (Unstream steel coil) ที่ใช้สำหรับโรงงานผลิตโครงสร้างรถยนต์ จึงต้องมีการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพที่สามารถตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าได้เพื่อรักษาระดับ หรือยกระดับความสามารถในการแข่งขันที่มีอยู่สูงสำหรับกลุ่มผู้ผลิตเหล็กม้วนต้นน้ำ ดังนั้นการวางแผนการผลิต การผลิต การจัดเก็บ และการจัดส่งคอยล์ให้กับลูกค้าตามกำหนดการที่ตกลงร่วมกับลูกค้าจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจ

บริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กชุบสังกะสีที่เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นบริษัทที่มีฐานลูกค้าอยู่ร่วม 40 ราย และมีกำลังการผลิตที่เพียงพอต่อการตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าได้ การดำเนินการของบริษัทหลังจากได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้าแล้ว จะทำการวางแผนการผลิตเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการดำเนินการผลิต และวางแผนการส่งมอบคอยล์รายวันให้กับลูกค้าตามกำหนดเวลาส่งมอบในคำสั่งซื้อ ปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตทำสัญญาจ้างผู้ประกอบการขนส่งสินค้าไว้ 3 รายเพื่อให้มั่นใจได้ว่าบริษัทมีความพร้อมในการดำเนินการตามแผนการจัดส่งสินค้า อัตราค่าบริการในการขนส่งต่อตันถูกกำหนดให้แปรผันตามระยะทางการขนส่งจากบริษัทไปยังลูกค้ารายหนึ่ง ๆ แบบขั้นบันได โดยผู้ประกอบการขนส่งสินค้าแต่ละรายมีอัตราบริการแตกต่างกันตามที่กำหนดในสัญญา

การจัดตารางการขนส่งในปัจจุบันบริษัทมอบหมายให้พนักงานแผนกจัดส่งทำการวางแผนการจัดส่งคอยล์รายวัน หลังจากได้รับข้อมูลปริมาณการส่งมอบรายวันจากแผนกวางแผน

การผลิตแล้วผู้จัดตารางขนส่งมีเวลาในวางแผนประมาณ 4-6 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์ประเภทเหล็กม้วนชุบสังกะสีในปี พ.ศ. 2559 ดังแสดงในตารางที่ 1-1 พบว่า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้ามีมูลค่าทั้งสิ้นประมาณ 62 ล้านบาท ทำให้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าบริษัทจะต้องมีการบริหารระบบขนส่งและบริหารต้นทุนการขนส่งผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 1-1 ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งผลิตภัณฑ์เหล็กม้วนชุบสังกะสี 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	26,433.60	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	298,300.88	62,617,492.29

กิจกรรมการวางแผนการจัดส่งคอยล์เป็นกิจกรรมที่ต้องทำประจำวันหลังจากได้รับแผนการผลิตเสร็จและกำหนดการส่งมอบ การจัดตารางขนส่งคอยล์รายวันนี้เป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งของบริษัท เนื่องจากคอยล์ที่ผลิตเป็นสินค้าที่มีน้ำหนักมากและมีค่าไม่แน่นอนตามความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน เช่น การจัดส่งคอยล์จำนวน 200 คอยล์ ที่มีน้ำหนักของแต่ละคอยล์ผันแปรอยู่ระหว่าง 1 ถึง 20 ตัน และถูกสั่งโดยลูกค้า 10 ราย เป็นต้น ผู้จัดตารางการขนส่งคอยล์ต้องตัดสินใจว่าคอยล์ใดบ้างที่ถูกจัดให้ส่งบนรถเที่ยวเดียวกันของผู้ประกอบการขนส่งรายใด ตามข้อจำกัดด้านพื้นที่การวางคอยล์บนรถบรรทุก

และน้ำหนักรวมต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ การจัดตารางการขนส่งยังต้องคำนึงถึงเงื่อนไขตามที่กำหนดในสัญญาการจ้างของผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย ได้แก่ ราคาการขนส่งต่อตันไปยังลูกค้าแต่ละรายด้วยรถบรรทุกประเภท 18 ล้อ หรือประเภท 10 ล้อ จำนวนเที่ยวการขนส่งสูงสุดของรถบรรทุกแต่ละประเภท ปริมาณการขนส่งต่ำที่สุดของรถแต่ละเที่ยวส่ง สัดส่วนการมอบงานขนส่งให้แก่ผู้ประกอบการขนส่งแต่ละราย ด้วยความซับซ้อนของปัญหานี้การจัดตารางด้วยคน จึงใช้เวลานานและไม่สามารถจัดตารางที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุดได้

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) สำหรับการจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันแทนการจัดตารางด้วยคน ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ถูกออกแบบเพื่อจัดตารางการขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายการขนส่งรายวันมีค่าต่ำที่สุด และตารางการขนส่งที่สร้างขึ้นต้องเป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบุในสัญญาการจ้างผู้ประกอบการขนส่ง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเป็นตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP)

2. การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชั่น 2.8.5 (วันที่เริ่มให้ดาวน์โหลด 3 พฤศจิกายน พ.ศ. 2559) โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาผลลัพธ์ (Solver engine language) คือ CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) ที่พัฒนาโดย COIN-OR (The computational infrastructure for operations research foundation)

3. การทดสอบประสิทธิภาพของ MILP ที่พัฒนาขึ้นทำโดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากผลการจัดตารางการขนส่งด้วย MILP กับค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนตุลาคม 2559 ถึงเดือนธันวาคม 2559

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีของบริษัทกรณีศึกษา
2. สามารถลดเวลาในการจัดตารางการขนส่งรายวันของบริษัทกรณีศึกษาได้

3. สามารถจัดตารางการขนส่งที่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักคอยล์รายเดือนที่ขนส่งโดยผู้ประกอบการขนส่ง 3 ราย เป็นไปตามสัญญาการว่าจ้างได้อย่างเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

4. สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินงานด้านการขนส่งสินค้าด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการขนส่งผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักมากในอุตสาหกรรมโลหะการอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมเหล็กแผ่นรีดร้อน รีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบ อุตสาหกรรมโลหะแผ่นอื่น ๆ อุตสาหกรรมเหล็กทรงยาว ได้แก่ เหล็กเส้น เหล็กลวด และเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ เป็นต้น

5. เป็นตัวอย่างการใช้โปรแกรม OpenSolver สำหรับแก้ปัญหา MILP ที่ตัวแปรตัดสินใจมีหลายมิติดัชนี (Index dimensions)

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการขนส่งนี้ มีการอ้างอิงถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการประยุกต์เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการแก้ไขปัญหา ลักษณะของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ตัวแบบปัญหาการมอบหมายงานในงานด้านโลจิสติกส์ การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม OpenSolver และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มในการแก้ไขปัญหาการบริหารงานด้านการขนส่งและการผลิต

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการแก้ไขปัญหา

Eykhoff (1974) ได้อธิบายเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ว่าเป็นการใช้คณิตศาสตร์ในการอธิบายระบบ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกใช้ทั้งในสายงานวิทยาศาสตร์ สังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังถูกนิยามว่าเป็นการแสดงผลของส่วนสำคัญของระบบที่มีอยู่ หรือระบบที่กำลังจะถูกสร้าง เพื่อแสดงความรู้ของระบบในรูปแบบที่สามารถนำมาใช้งานได้

กิตติ ภักดี และพนิดา พานิชกุล (2554) ได้อธิบายลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบนิพจน์ทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายปัญหาการตัดสินใจ โดยนิพจน์ถูกสร้างขึ้นด้วยความสัมพันธ์ตามหลักการทางเหตุและผล ให้อยู่ในรูปแบบของ Function คณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

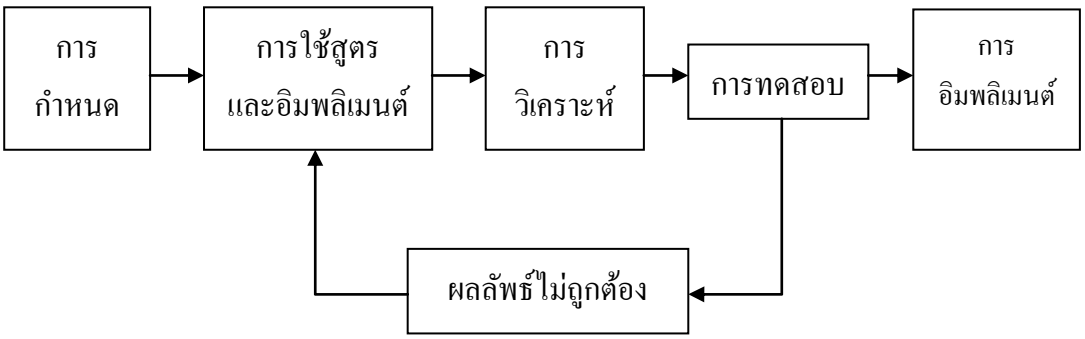
$Y = f(x_1, x_2, \ldots, x_k)$

เมื่อ Y เป็นตัวแปรตาม (Dependent variable) ซึ่งเป็นตัวแปรที่เป็นผลและเป็นตัวแปรที่ผู้บริหารสนใจ X_i เป็นตัวแปรอิสระ (Independent variables) เป็นตัวแปรที่เป็นเหตุที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตามและ $f(x)$ เป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์การตัดสินใจ สามารถสร้างได้ในหลายรูปแบบตามลักษณะปัญหาที่ต้องการตัดสินใจ ได้แก่ แบบจำลองคำสั่ง (Prescriptive model) แบบจำลองการคาดคะเน (Predictive model) และแบบจำลองคำอธิบาย (Descriptive model)

แบบจำลองคำสั่งเป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ที่ทำให้ผู้ตัดสินใจทราบว่าควรทำอะไร ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจแก้ปัญหามีความถูกต้องและแม่นยำ แบบจำลองคำสั่งนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีฟังก์ชัน *f(x)* ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ชัดเจนและทราบค่าของตัวแปรอิสระ เทคนิคที่ใช้ในการจัดการแบบจำลอง เช่น กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) เป็นต้น แบบจำลองการคาดคะเนเป็นแบบจำลองปัญหาที่ให้ผลลัพธ์เพื่อประมาณค่าตัวแปรตามว่ามีผลตามค่าเฉพาะของตัวแปรอิสระอย่างไร แบบจำลองประเภทนี้มักมีฟังก์ชัน *f(x)* ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ไม่ชัดเจน แต่ทราบค่าของตัวแปรอิสระ เทคนิคที่ใช้ในการจัดการแบบจำลอง เช่น การวิเคราะห์การถดถอย การวิเคราะห์อนุกรมเวลา เป็นต้น ส่วนแบบจำลองคำอธิบายเป็นแบบจำลองที่ใช้กับปัญหาที่ต้องการคำอธิบายผลลัพธ์หรือพฤติกรรมต่าง ๆ ในระบบ โดยส่วนใหญ่แบบจำลองประเภทนี้มักสร้างฟังก์ชัน *f(x)* ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ชัดเจน แต่ไม่ทราบค่าของตัวแปรอิสระ เช่น การจำลองสถานการณ์ เป็นต้น

กิตติ ภักดี และพนิดา พานิชกุล (2554) อธิบายขั้นตอนในกระบวนการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังภาพที่ 2-1 เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 2-1 แผนภาพแสดงกระบวนการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลอง

1. การกำหนดปัญหา ผู้ตัดสินใจจะต้องทราบก่อนว่าสถานการณ์ปัจจุบันเป็นอย่างไรและเป้าหมายขององค์กรคืออะไร ซึ่งจะทำให้ทราบได้ว่ามีปัญหาอะไรเกิดขึ้น ผู้ตัดสินใจจำเป็นต้องศึกษาสถานการณ์ต่าง ๆ ในปัญหานั้นด้วยตนเอง ซึ่งอาจจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศเป็นจำนวนมากหรืออาจจะต้องปรึกษากับผู้อื่นเพื่อให้เกิดความเข้าใจสถานการณ์และให้ทราบถึงต้นเหตุของปัญหาหรือสาเหตุของสถานการณ์ที่ยุ่งยากได้ โดยผลลัพธ์สุดท้ายของขั้นตอนการกำหนดปัญหา คือ ขอบเขตของปัญหา และมีความเข้าใจในปัญหาได้ชัดเจนขึ้น

2. การใช้สูตรและอิมพลิเมนต์แบบจำลอง คือ การสร้างหรือใช้สูตรเพื่อจำลองหรืออธิบายปัญหาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก โดยการสร้างหรือใช้สูตรจะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาว่าเหมาะสมกับสูตรในแบบจำลองชนิดใด

3. การวิเคราะห์แบบจำลอง เป็นการนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นไปวิเคราะห์ความถูกต้องและค้นหาคำตอบของผลลัพธ์ในรูปแบบของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

4. การทดสอบ เป็นการทดสอบความเป็นไปได้หรือคุณภาพของแต่ละคำตอบ ซึ่งกระบวนการทดสอบนี้จะช่วยให้เข้าใจปัญหาได้ลึกซึ้งขึ้น ดังนั้น ขั้นตอนการทดสอบจึงมีความสำคัญ เนื่องจากทำให้ผู้ตัดสินใจมีโอกาสตรวจสอบผลของแบบจำลองอีกครั้งหนึ่ง และอาจทำให้ผู้ตัดสินใจค้นพบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น แล้วสามารถย้อนกลับไปปรับปรุงแบบจำลองใหม่อีกครั้งในขั้นตอนการใช้สูตรและอิมพลิเมนต์ เพื่อให้มีความถูกต้องมากที่สุดก่อนนำไปใช้จริง

5. การนำไปใช้ เป็นขั้นตอนการนำผลการตัดสินใจที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไปใช้งานจริง ขั้นตอนนี้มีความเกี่ยวข้องกับบุคลากรและการเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเป็นความเปลี่ยนแปลงที่ดีขึ้นหรือแย่ลงก็ได้ ปัญหาที่ตามมาจากการเปลี่ยนแปลง คือ การเกิดการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงจากบุคลากรที่ได้รับผลกระทบ ดังนั้นในการนำไปใช้อาจจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงสูตรของแบบจำลองบ้าง ทั้งนี้เพื่อทำให้การเปลี่ยนแปลงนั้นมีความยืดหยุ่นและทำให้บุคลากรสามารถยอมรับการเปลี่ยนแปลงได้

ลักษณะของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

Ragdale (2011) อธิบายปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดว่ามีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยการตัดสินใจ (Decision) เลือกทางเลือกในการแก้ปัญหาที่มีอยู่มากมาย เช่น การเลือกว่าจะต้องผลิตสินค้าแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใด เลือกตำแหน่ง/ เส้นทางเดินของเครื่องเจาะแผงวงจรไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งปัญหาต่าง ๆ ที่ต้องทำการตัดสินใจส่วนใหญ่นั้นจะมีปัจจัยบางประการที่เป็น ข้อจำกัด (Constraint) ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ เช่น การตัดสินใจหาเส้นทางเดินของเครื่องเจาะแผงวงจรไฟฟ้าภายใต้ข้อจำกัดที่ว่า จะต้องไม่เคลื่อนที่ไปยังเส้นทางเดิมที่เคยเจาะแล้ว เป็นต้น ข้อจำกัดต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดทางเลือกในการตัดสินใจมากมายหลากหลายทางเลือก และผู้ตัดสินใจจะต้องเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด เพื่อให้บรรลุ วัตถุประสงค์ (Objective) ที่ต้องการจากปัญหา ซึ่งอาจมีค่าต่ำสุด (Minimize) หรือสูงสุด (Maximize) อย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น การตัดสินใจหาเส้นทางในการเดินทางของเครื่องเจาะแผงไฟฟ้าที่เมื่อนำเส้นทางนั้นมารวมกันแล้วให้ระยะทางที่สั้นที่สุด

กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (MATHEMATICAL PROGRAMMING) เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การตัดสินใจ (Decision) ข้อจำกัด (Constraint) และวัตถุประสงค์ (Objective) องค์ประกอบทั้งสามส่วนหลักถูกสร้างขึ้นให้มีความสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ลักษณะนี้เรียกว่า กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) หากผู้ตัดสินใจต้องการกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จำเป็นต้องใช้รูปแบบหรือสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะทั้งสาม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การตัดสินใจ (Decision) คือ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์ จากปัญหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านต่าง ๆ เช่น การตัดสินใจหาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่ง เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ จะต้องใช้สัญลักษณ์พยัญชนะภาษาอังกฤษใด ๆ แสดงแทนสิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์ดังกล่าว และจะเรียกสัญลักษณ์นั้นว่า ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variable) เช่น ใช้สัญลักษณ์ $x_1, x_2, ..., x_k$ เป็นตัวแปรแทนการตัดสินใจปริมาณสินค้าที่ต้องการผลิต เป็นต้น

2. ข้อจำกัด (Constraint) คือ เงื่อนไขบังคับให้ผู้ตัดสินใจจะต้องเลือกทางเลือกที่อยู่ภายในขอบเขตข้อจำกัดในแต่ละด้าน เช่น ข้อจำกัดในด้านแรงงาน จำนวนชั่วโมงในการผลิตที่ว่างอยู่ กำลังการผลิต เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองนั้นจะต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจที่อยู่ในรูปฟังก์ชันให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัด โดยมีรูปแบบทั่วไป 3 ลักษณะ คือ

น้อยกว่าหรือเท่ากับข้อจำกัด: $f_1(x_1, x_2, ..., x_n) \leq b$

มากกว่าหรือเท่ากับข้อจำกัด: $f_2(x_1, x_2, ..., x_n) \geq b$

เท่ากับข้อจำกัด: $f_3(x_1, x_2, ..., x_n) = b$

3. วัตถุประสงค์ (Objective) การตัดสินใจเลือกแก้ไขปัญหาต้องเลือกทางเลือกที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุประสงค์ที่มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุด เช่น การตัดสินใจหาปริมาณการผลิตสินค้าที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ผลกำไรสูงที่สุดหรือการตัดสินใจหาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาวัตถุประสงค์ของปัญหาจะเกิดจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจที่จะนำมาบวก ลบ คูณ หรือหาร เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นั้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงอยู่ในรูปของ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

Max หรือ Min : $f(x_1, x_2, ..., x_n)$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการตัดสินใจที่ผู้ทำการตัดสินใจนั้นต้องการ ไม่ว่าจะเป็นค่าสูงที่สุดหรือค่าต่ำที่สุด ยกตัวอย่างเช่น มีการนำฟังก์ชันมาอธิบายผลกำไรรวม อันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทรวมกัน เป็นต้น

สูตรทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด สามารถอธิบายในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

Max (หรือ Min): $f_0(x_1, x_2, ..., x_n)$

ภายใต้ข้อจำกัด: $f_1(x_1, x_2, ..., x_n) \leq b_1$

$f_k(x_1, x_2, ..., x_n) \leq b_k$

$f_m(x_1, x_2, ..., x_n) \leq b_m$

รูปแบบเหล่านี้แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุด (หรือน้อยที่สุด) รวมไปถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหา การเพิ่ม f และ b ในแต่ละสมการจะอธิบายวัตถุประสงค์และข้อจำกัดได้แตกต่างกัน เป้าหมายในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ การหาค่าของตัวแปรการตัดสินใจ x_i ที่ทำให้บรรลุเป้าหมายตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์

กำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีลักษณะแตกต่างกันในหลายรูปแบบที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรตัดสินใจและความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด เช่น กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming; LP) มีตัวแปรในการตัดสินใจทุกตัวเป็นจำนวนจริง และฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดมีลักษณะความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นแบบเส้นตรง เป็นต้น งานวิจัยนี้เป็นการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming; MILP) ที่มีตัวแปรในการตัดสินใจบางตัวแปรเป็นจำนวนจริง บางตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม และฟังก์ชันวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดมีลักษณะความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์เป็นแบบเส้นตรง รูปแบบทั่วไปของปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมแสดงได้ดังนี้

$$\text{min/max } c_1x_1 + c_2x_2 + ... + c_nx_n + d_1y_1 + d_2y_2 + d_ny_n$$

$$\text{subject to} \quad a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + ... + a_{1n}x_n \leq (\geq, =)\ b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n \leq (\geq, =)\ b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n \leq (\geq, =)\ b_m$$

$$f_{11}y_1 + f_{12}y_2 + ... + f_{1n}y_n \leq (\geq, =)\ g_1$$

$$f_{21}y_1 + f_{22}y_2 + ... + f_{2n}y_n \leq (\geq, =)\ g_2$$

.....

$$f_{m1}y_1 + f_{m2}y_2 + \ldots + f_{mn}y_n \leq (\geq, =)\ g_m$$

$$x_j \geq 0\ \forall j$$

y_i เป็นจำนวนเต็ม $\forall i$

จากสมการด้านบน ตัวแปร a, b, c, d, f และ g เป็นพารามิเตอร์ที่เป็นค่าคงที่ ตัวแปรตัดสินใจ x_j เป็นตัวแปรที่เป็นจำนวนจริง ตัวแปรตัดสินใจ y_i เป็นตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม และสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับอสมการเงื่อนไขทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ตัวแบบปัญหาการมอบหมายงานในงานด้านโลจิสติกส์

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2559) ได้อธิบายว่า โลจิสติกส์ (Logistics) เป็นระบบที่ดำเนินการเกี่ยวกับการจัดส่งสินค้าข้อมูลและทรัพยากรต่าง ๆ จากจุดต้นทางไปยังจุดปลายทาง จุดต้นทางส่วนใหญ่ หมายถึง ผู้ผลิตสินค้า ส่วนจุดปลายทาง หมายถึง ลูกค้า ดังนั้นโลจิสติกส์มีกิจกรรมต่าง ๆ เกี่ยวข้องมากมาย เช่น การขนส่ง การจัดเก็บ วัสดุคงคลัง การจัดการวัตถุดิบ การบรรจุหีบห่อ การไหล ของข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น โลจิสติกส์มีศาสตร์แขนงต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 ศาสตร์ โดยจะมีมุมมองที่ต่าง ๆ กัน ดังนี้

1. ด้านวิศวกรรมศาสตร์ งานด้านวิศวกรรมจะเข้ามาวางแผนบริการจัดการการดำเนินการเกี่ยวกับกิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้า เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการขนส่ง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดต้นทุนกับเจ้าของกิจการด้านโลจิสติกส์ กิจกรรมการเคลื่อนย้ายสินค้าอาจหมายรวมถึง การเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างการผลิต การเคลื่อนย้าย วัตถุดิบ และการเคลื่อนย้ายสินค้าสำเร็จรูปสู่ผู้บริโภค นอกจากนั้นวิศวกรรมศาสตร์ยังต้องมีส่วนช่วยในการบริหารวัสดุคงคลังให้มีความเพียงพอต่อความต้องการและประหยัดต้นทุนในการจัดเก็บมากที่สุด

2. ด้านบริหารธุรกิจ ศาสตร์ด้านนี้จะเน้นหนักเรื่องการบริการการส่งสินค้าระหว่างประเทศ กฎหมายการค้าระหว่างประเทศ นโยบายหรือยุทธศาสตร์ด้านโลจิสติกส์ระหว่างประเทศ หรืออาจจะหมายรวมถึงการบริการจัดการลูกค้าสัมพันธ์ เพื่อให้เกิดความพึงพอใจในการขนส่งสินค้าไปยังผู้บริโภค การวางแผนการตลาดด้านโลจิสติกส์ การเลือกผู้ส่งวัตถุดิบ เป็นต้น

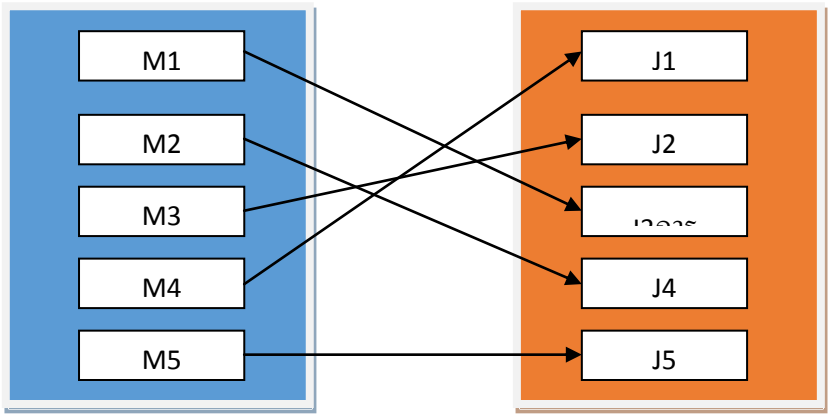
3. ด้านการจัดการสารสนเทศ ศาสตร์ด้านนี้มีความสำคัญมากกับการบริหารโลจิสติกส์ เพราะข้อมูลข่าวสารเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดในการบริการโลจิสติกส์ให้มีประสิทธิภาพ ศาสตร์ด้านนี้หมายรวมถึงการพัฒนาซอฟท์แวร์และฮาร์ดแวร์ในการบริการจัดการข้อมูลโลจิสติกส์ เช่น ซอฟท์แวร์ด้านการสั่งซื้อ ด้านการขาย ด้านข้อมูลสินค้าคงคลัง เป็นต้น พจนานุกรมของเว็บสเตอร์ (Webster) ได้ให้ความหมายไว้ดังนี้

ใน ปี ค.ศ. 1992 สภาการจัดการโลจิสติกส์ (Council of logistics management : CLM) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่าโลจิสติกส์สำหรับในธุรกิจซึ่งใช้กันโดยทั่วไปไว้ว่า โลจิสติกส์ เป็นกระบวนการที่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการการจัดการโซ่อุปทาน ซึ่งจะทำการวางแผนดำเนินการและควบคุมการไหลไปข้างหน้าและการไหลย้อนกลับซึ่งหมายรวมถึงการจัดเก็บสินค้า การบริการและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกันระหว่างจุดกำเนิดและจุดบริโภคอย่างมีประสิทธิผลและประสิทธิภาพเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ดังนั้นการจัดการโลจิสติกส์ จะหมายรวมถึงกิจกรรมทุกอย่างที่ทำให้เกิดการไหลของสินค้าตั้งแต่การวางแผน การขนส่งสินค้าและวัตถุดิบ การดำเนินการผลิต การจัดการสารสนเทศเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการสินค้าในโซ่อุปทาน

ค่าใช้จ่ายในการขนส่งนั้นมีความสำคัญกับการลดหรือเพิ่มต้นทุนในระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ซึ่งจะเน้นหนักที่การขนส่งเพื่อการกระจายสินค้าจากโรงงานหรือแหล่งผลิตหรือศูนย์กระจายสินค้าเพื่อนำไปส่งให้กับลูกค้าซึ่งอาจจะหมายถึงลูกค้ารายสุดท้าย (End customers) หรือลูกค้าที่เป็นร้านค้าปลีก (Retailers) ซึ่งปัญหาการมอบหมายลูกค้าที่จะให้ศูนย์กระจายสินค้าส่งของเป็นที่รู้จักกันในชื่อปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment problem) ปัญหาการขนส่ง (Transportation problem) ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการมอบหมายลูกค้า (Location allocation problem) ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมกรณีระบุจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่ต้องการเปิด (P-Median problem) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problem) และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle routing problem)

งานวิจัยนี้เป็นงานที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment problem) ที่เป็นปัญหาที่ใช้ในการตัดสินใจการมอบหมายให้เกิดการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้าให้กับลูกค้าโรงงานส่ง สินค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้า หรือการขนส่งจากโรงงานถึงลูกค้าโดยตรง โดยที่การมอบหมายในลักษณะนี้จะจำลองมาจากการมีงานจำนวน N งานและทำการกระจายให้กับคนงานจำนวน M คน ดังแสดงดังภาพที่ 2-2



ภาพที่ 2-2 ปัญหาการมอบหมายงานกรณีที่มีงานจำนวน 5 งานมอบหมายให้กับคนงาน 5 คน

จากภาพที่ 2-2 แสดงการมอบหมายงานจำนวน 5 งานให้กับคนงานจำนวน 5 คน ดำเนินการโดย *J1*, *J2, J3, J4* และ *J5* แทนงานที่ 1 ถึง 5 ที่จะทำการมอบหมาย และ *M1, M2, M3, M4* และ *M5* แทนคนงานที่ 1 ถึง 5 ตามลำดับ จากภาพที่ 2-1 มีการมอบให้คนงานคนที่ 1 ทำงานที่ 3 และคนงานที่ 2, 3, 4 และ 5 ให้ทำงานที่ 4, 2, 1 และ 5 ตามลำดับ

การมอบหมายงานใดให้กับคนงานใด หรือการมอบหมายลูกค้าใดให้ได้รับสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าใดจะพิจารณาจากต้นทุนในการขนส่งหรือการปฏิบัติงานนั้น ๆ ของคนงานนั้น ๆ หรือของ ศูนย์กระจายสินค้านั้น ๆ ดังแสดงได้ในตัวอย่างต่อไปนี้

บริษัทขนส่งแห่งหนึ่งต้องการวางแผนการจัดส่งสินค้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 8 แห่งให้กับลูกค้าจำนวน 8 ราย ต้นทุนการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ต้นทุนการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้า *i* ไปยังศูนย์ลูกค้ารายที่ *j*

i / *j*	1	2	3	4	5	6	7	8
1	13	13	24	33	20	50	48	37
2	46	24	28	47	50	21	31	43
3	11	15	13	35	41	47	22	15
4	15	36	3	38	14	21	50	50
5	41	12	26	50	11	10	41	33
6	49	21	48	48	35	14	38	10

ตารางที่ 2-1 (ต่อ)

i / *j*	1	2	3	4	5	6	7	8
7	36	27	24	33	17	17	19	24
8	49	29	48	14	15	23	47	50

สมมติว่ามีการมอบหมายงานเป็น 2 กรณี ดังนี้ กรณีที่ 1 มอบหมายงาน 1↔1, 2↔2, 3↔3, 4↔4, 5↔5, 6↔6, 7↔7 และ 8↔8 จะได้ระยะทางรวม 182 กิโลเมตร กรณีที่ 2 มอบหมายงาน 1↔2, 2↔6, 3↔1, 4↔5, 5↔5, 6↔8, 7↔4 และ 8↔7 ได้ระยะทางรวม 175 กิโลเมตร จากตัวอย่างการมอบหมายงานสองกรณีนี้ พบว่าการมอบหมายงานที่แตกต่างทำให้ระยะทางการขนส่งโดยรวมแตกต่างกัน ปัญหาการมอบหมายงานนี้ มีวิธีการที่ทำให้ได้ค่าระยะทางรวมที่ดีที่สุดโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการมอบหมายงานสำหรับการตัดสินใจในการส่งสินค้าจากแหล่งผลิต i ไปให้กับลูกค้า j โดยที่แหล่งผลิต i มีความสามารถในการผลิตจำกัด และลูกค้ารายที่ j มีความต้องการที่ทราบค่าแน่นอน ในการส่งสินค้าจากแหล่งผลิตสินค้า i ไปให้กับลูกค้ารายที่ j นั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่ทราบค่าแน่นอนซึ่งอาจจะหมายถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจาก i ไป j แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการขนส่งสามารถแสดงได้ดังนี้

ดัชนี (indices)

i = แหล่งผลิตสินค้า i เมื่อ i=1…I

j = ลูกค้ารายที่ j เมื่อ j=1…J

ตัวแปรที่ทราบค่าหรือพารามิเตอร์ (Parameters)

I = จำนวนแหล่งผลิต

J = จำนวนลูกค้า

c_{ij} ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อหน่วยจากแหล่งผลิต i ไปลูกค้า j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีการส่งสินค้าจาก } i \text{ ไป } j \\ 0, & \text{ถ้าไม่มีการส่งสินค้าจาก } i \text{ ไป } j \end{cases}$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการมอบหมายงาน

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J} x_{ij}\, c_{ij} \qquad (2\text{-}1)$$

สมการขอบข่าย

$$\sum_{j=1}^{J} x_{ij} = 1 \qquad \forall\ i = 1 \ldots I \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sum_{i=1}^{I} x_{ij} = 1 \qquad \forall\ j = 1 \ldots J \qquad (2\text{-}3)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีการส่งสินค้าจาก } i \text{ ไป } j \\ 0, & \text{ถ้าไม่มีการส่งสินค้าจาก } i \text{ ไป } j \end{cases} \qquad \forall\ i = 1 \ldots I, j = 1 \ldots J \qquad (2\text{-}4)$$

สมการที่ 2-1 คือ สมการเป้าหมายในปัญหาการมอบหมายงานนี้มีวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายที่จะได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้ารายที่ j ต่ำที่สุด สมการที่ 2-2 ถูกใช้เป็นเงื่อนไขให้ศูนย์กระจายสินค้าหนึ่ง ๆ จะต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายใดรายหนึ่งเท่ากัน ส่วนสมการที่ 2-3 ใช้เพื่อเป็นการรับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่ง ๆ จะได้รับสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ส่วนสมการที่ 2-4 เป็นเงื่อนไขที่ระบุให้มีค่าเป็น 1 หากมีการมอบหมายให้ศูนย์กระจายสินค้า i ไปให้ลูกค้ารายที่ j หากไม่มีการมอบหมายจะมีค่าเป็น 0

การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น

Hiller anhd Lieberman (2009) ได้อธิบายการใช้ตัวแปรแบบไบนารี่ (0-1variables) ในการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming model, IP) ไว้หลายรูปแบบดังนี้

1. Either-Or constraints เป็นการเลือกใช้ resource 1 ประเภทจาก 2 ประเภท ที่เป็นอิสระต่อกัน ตัวอย่างเช่น ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรตัดสินใจคือ x_1 และ x_2 แสดงปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ในการผลิตสามารถเลือกใช้วัตถุดิบ 2 ชนิดที่มีจำนวนจำกัด (18 หน่วย และ 16 หน่วย) และต้องเลือกใช้วัตถุดิบชนิดเดียวเท่านั้น แสดงสมการขอบข่ายได้ดังนี้

$$\text{Either } 3x_1 + 2x_2 \leq 18$$

$$\text{or } \quad x_1 + 4x_2 \leq 16$$

การจัดการกับลักษณะปัญหาที่ต้องเลือกสมการขอบข่าย 1 สมการจาก 2 สมการ มีวิธีการดังนี้

กำหนดให้ M = จำนวนเต็มบวกที่มีค่ามาก

$y = 0$, ถ้าเลือกใช้ constraint $3x_1 + 2x_2 \leq 18$

$y = 1$, ถ้าเลือกใช้ constraint $x_1 + 4x_2 \leq 16$

Either-Or Constraint สามารถเขียนได้ดังนี้

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18 + M y$$

$$x_1 + 4x_2 \leq 16+M(1-y)$$

2. *K* จาก *N* constraints must hold เป็นการเลือกใช้ resource *K* ประเภทจาก *N* ประเภทที่เป็นอิสระต่อกัน รูปแบบทั่วไปของ Constraints ประเภทนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$f_1(x_1, x_2, ..., x_n) \leq d_1 + M(1-y_1)$$

$$f_2(x_1, x_2, ..., x_n) \leq d_2 + M(1-y_1)$$

…

$$f_n(x_1, x_2, ..., x_n) \leq d_n + M(1-y_1)$$

d_n = ปริมาณ resource ที่เป็นไปได้ *N* resources; $N = 1, 2, 3, \ldots$

$$\sum_{i=1}^{N} y_i = K$$

$y_i = 1$ ถ้าเลือกใช้ constraint *i*

$y_i = 0$ ถ้าไม่เลือกใช้ constraint *i*

$i = 1, 2, \ldots, N$

กรณีที่ Resource ประเภทหนึ่ง ๆ มีปริมาณจำกัดที่ไม่เท่ากัน เช่น ในการผลิตผลิตภัณฑ์ x_1 และ x_2 ในสายการผลิตหนึ่งถูกจำกัดด้วยจำนวนชั่วโมงในการทำงาน 6, 12, หรือ 18 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ เป็นต้น Constraints ประเภทนี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$f_1(x_1, x_2, ..., x_n) \leq d_1y_1 + d_2y_2 + \ldots + d_Ny_N$$

$y_i = 1$ ถ้าเลือกใช้ resource d_i

$y_i = 0$ ถ้าไม่เลือกใช้ resource d_i

$i = 1, 2, \ldots, N$

3. Fixed-Charge หรือ setup cost เกิดขึ้นเมื่อตัวแปรในการตัดสินใจหนึ่ง ๆ มีค่ามากกว่า 0 ตัวอย่างเช่น สินค้า 1, 2 และ 3 ใช้ต้นทุนในการผลิต 48, 55 และ 50 บาทต่อชิ้น ถ้าจะผลิตสินค้าชนิดที่ 1 ต้องเสียค่าใช้จ่ายคงที่ในการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการผลิต 1,000 บาท สินค้า 2 และ 3 เสียค่าใช้จ่ายคงที่ 800 บาท และ 900 บาท ตามลำดับ ในการหาต้นทุนต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายคงที่จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการผลิตสินค้าเท่านั้น ดังนั้นตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนได้ดังนี้

Minimize $Z = 48x_1 + 55x_2 + 50x_3 + 1000y_1 + 800y_2 + 900y_3$

โดยที่ x_i = ปริมาณการผลิตสินค้า *i*

$y_i = 1$ เมื่อ $x_i > 0$

$y_i = 0$ เมื่อ $x_i = 0$, i = 1, 2, 3

subject to

1. Constraint ต่าง ๆ ที่เป็นขีดจำกัดในการผลิตและความต้องการสินค้า

2. y_i = binary, i = 1, 2, 3

$x_i - My_i \leq 0$

รูปแบบทั่วไปในการสร้าง IP model สำหรับปัญหาแบบ Fixed charge สามารถเขียนได้ดังนี้

Objective function

Minimize $Z = \sum_{j=1}^{n}(c_j x + k_j y_j)$

subject to

$x_j - My_j \leq 0$

y_j = binary , $j = 1, 2, \ldots, n$

Constraint อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม OpenSolver

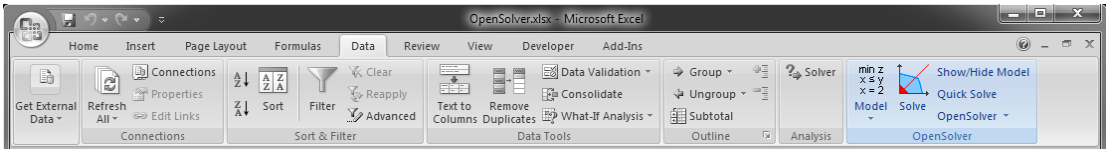
การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ทำได้โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น Simplex method, Branch and Bound, Branch and Cut, Generalized reduced gradient เป็นต้น วิธีการเหล่านี้ถูกนำมาเขียนโปรแกรมลงในซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถป้อนข้อมูลนำเข้าปัญหาและตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นมาลงในรูปแบบหรือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปเหล่านั้นกำหนด ตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม เช่น CPEX, AMPL, LINGO/LINDO เป็นต้น

ซอฟต์แวร์สำหรับจำลองตัวแบบลงในคอมพิวเตอร์และหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภาคธุรกิจ (Commercial software) เช่น AMPL, GAMS, MPL, LINGO/LINDO, CPLEX, Gurobi เป็นต้น มีราคาแพงมากกว่าการใช้ในงานด้านวิชาการและวิจัยหลายเท่าตัว และซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ไม่ต้องเขียนภาษาจำลองตัวแบบ เช่น Excel solver, Premium solver, AIMMS เป็นต้น ก็เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการจำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่าย หากต้องการใช้งานสำหรับปัญหาที่ไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่ายในภาคธุรกิจ จะเป็นซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพงมากเช่นกัน ทำให้มีผู้พัฒนาโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ง่ายโดยการออกแบบให้ทำงานได้บนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ในปัจจุบันมีสองโปรแกรมที่นิยมใช้และถูกพัฒนาประสิทธิภาพการคำนวณอย่างต่อเนื่องคือโปรแกรม OpenSolver (Mason, 2012) เกิดขึ้นตั้งแต่ปี

พ.ศ. 2555 และพัฒนาครั้งล่าสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 และโปรแกรม SolverStudio (Mason, 2013) เกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 และพัฒนาครั้งล่าสุดเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559

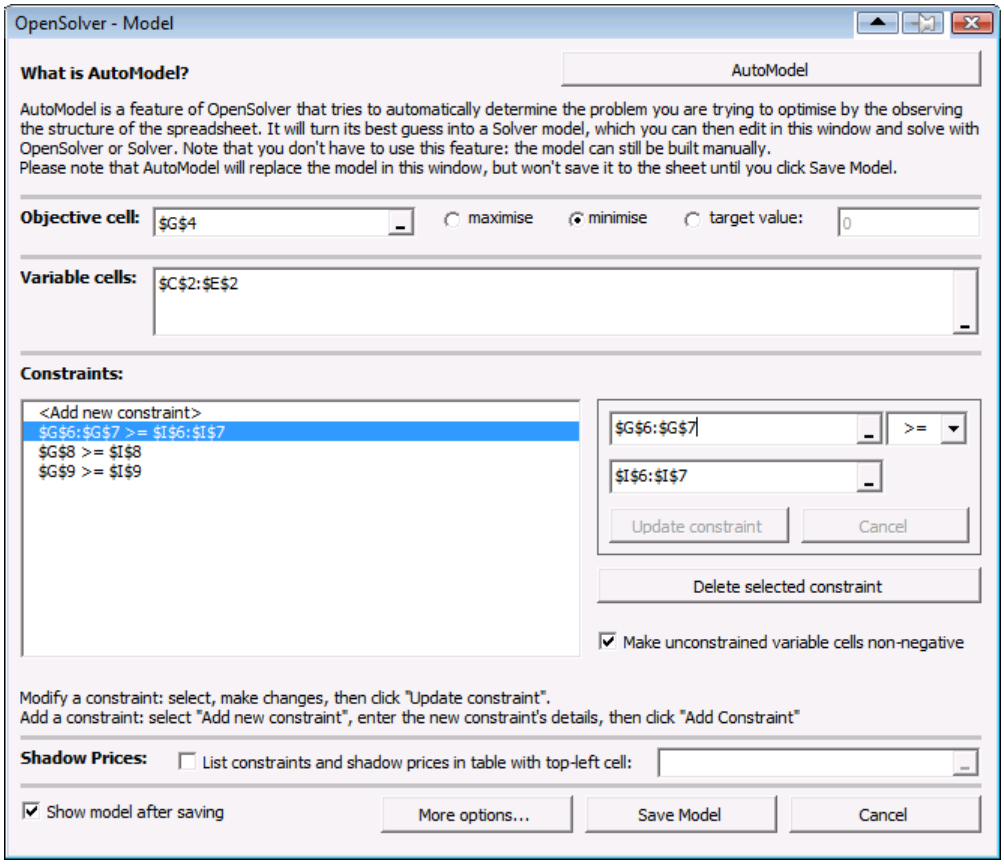
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenSolver ที่เป็นโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) ซึ่งเขียนโปรแกรมให้สามารถติดตั้งเพิ่มเติมในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Excel Add-in) ทำให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลและสูตรความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ในแผ่นงาน (Work sheet) แล้วเรียกใช้งาน OpenSolver เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม โปรแกรม OpenSolver มีความสามารถในการให้หาผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีไม่จำกัดจำนวนตัวแปรในการตัดสินใจและจำนวนขอบข่าย (Unlimited number of decision variables and constraints) ของกำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) และกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming) ซึ่งรวมถึงกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมด้วย ภาษาที่ใช้ในการคำนวณหาผลลัพธ์ (Solver engine language) ถูกพัฒนาโดย COIN-OR (The computational infrastructure for operations research foundation) คือ CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) ที่มีความสามารถในการหาผลลัพธ์ได้รวดเร็วกว่าตัวหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่ติดมากับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Solver built-in) ที่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและจำนวนขอบข่าย โปรแกรม OpenSolver ดาวน์โหลดได้จาก http://www.opensolver.org

การใช้งานโปรแกรม OpenSolver ทำได้โดยสร้างแผ่นงานที่มีการบันทึกข้อมูลนำเข้าและพารามิเตอร์ของปัญหาที่จำลองในกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์โดยสร้างสูตรความสัมพันธ์กับเซลล์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ให้เป็นตัวแปรตัดสินใจ โปรแกรม OpenSolver ที่พัฒนาครั้งล่าสุดยอมให้เซลล์ของตัวแปรตัดสินใจไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกัน แต่ยังคงจำกัดให้จำนวนกลุ่มเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจต้องมีจำนวนไม่มากเกินไปที่ทำให้พิมพ์ลงในช่อง “Variable cells” ได้ (ยังไม่มีรายงานใดระบุความยาวตัวอักษรสูงสุดที่แสดงค่าเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจ จากการทดลองใช้ของผู้วิจัย โปรแกรมไม่ยอมให้มีจำนวนกลุ่มเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจเกิน 18 กลุ่ม) เมื่อออกแบบตำแหน่งเซลล์วัตถุประสงค์ (Objective cell) และเซลล์ค่าคำนวณของสมการหรืออสมการขอบข่ายแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้โปรแกรม OpenSolver จากแถบเครื่องมือ “ข้อมูล (data)” ที่ปุ่ม “Model” ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การเรียกใช้งาน OpenSolver (Mason, 2012)

หน้าต่าง OpenSolver-Model ปรากฏขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-4 เพื่อให้ผู้ใช้งานบันทึกเซลล์วัตถุประสงค์ลงในช่อง Objective cell แล้วเลือกวัตถุประสงค์การหาผลลัพธ์ตาม LP, ILP, หรือ MILP ที่สร้างไว้ว่าต้องการหาค่าสูงที่สุด (Maximise) ค่าต่ำที่สุด (Minimise) หรือค่าเป้าหมาย (Target) จากนั้นกำหนดตำแหน่งเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจในช่อง Variable cells แล้วเพิ่มสมการหรืออสมการขอบข่าย รวมถึงลักษณะของตัวแปรตัดสินใจ (Binary, Integer) ลงในส่วนการเพิ่มขอบข่ายใหม่ เมื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ครบแล้วให้กดปุ่ม “บันทึกตัวแบบ (Save model)”



ภาพที่ 2-4 หน้าต่าง OpenSolver-Model และตัวอย่างการบันทึกตัวแบบ (Mason, 2012)

โปรแกรม OpenSolver สามารถตรวจสอบตัวแบบที่สร้างและบันทึกแล้วตามที่ผู้ใช้ต้องการ ด้วยเครื่องมือ Show/ Hide model บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-3 เมื่อสั่งให้โปรแกรมแสดงตัวแบบ แผ่นงานที่สร้างไว้จะแสดงผลที่เซลล์วัตถุประสงค์ว่าต้องการหาผลลัพธ์เป็นค่าสูงที่สุด (Maximise) ค่าต่ำที่สุด (Minimise) หรือค่าเป้าหมาย (Target) ที่เซลล์ตัวแปรตัดสินใจจะแสดงผลเช่น ≥ 0, Binary (b), Integer (i) เป็นต้น และที่เซลล์การคำนวณสมการหรืออสมการขอบข่ายในแผ่นจะแสดงความสัมพันธ์ " = ", " $\geq$ ", " $\leq$ " ตามที่กำหนดในตัวแบบโดยอ่านผลความสัมพันธ์จากซ้ายไปขวา หรือจากบนลงล่าง และเมื่อต้องการให้โปรแกรมคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ให้กดปุ่ม Solve บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-3 รายละเอียดการใช้งานเพิ่มเติมศึกษาได้จาก http://www.opensolver.org

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลงานวิจัยของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน เสนอรายละเอียดของกระบวนการวิจัย รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย เพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและแนวทางการดำเนินโครงการ

ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ และวิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ (2553) ทำการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุคงคลังสำหรับการขนส่งชิ้นส่วน ซึ่งกระบวนการขนส่งชิ้นส่วนมีการปรับปรุงจากการขนส่งชิ้นส่วนจากเดิมผู้ผลิตชิ้นส่วนจัดส่งชิ้นส่วนโดยตรงมายังโรงงานเป็นการจัดรถขนส่งชิ้นส่วนไปรับชิ้นส่วนของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนหลายรายด้วยรถขนส่งคันเดียวกัน โดยแบบจำลองนี้พัฒนาขึ้นเพื่อหาเส้นทางในการขนส่งที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่ง และการจัดเก็บชิ้นส่วนน้อยสุด ซึ่งมีเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนดขึ้นจากปัญหาจริง มีการทดลองแก้ปัญหา 10 ปัญหา โดยใช้โปรแกรม CPLEX จากปัญหาตัวอย่างทำให้ได้เส้นทางในการขนส่งชิ้นส่วนที่ทำให้สามารถลดต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนลงได้ 62.50 บาท หรือคิดเป็น 8.7% และได้เห็นแนวทางในการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ศิริชัย ยศวังใจ และขวัญนิธิ คำเมือง (2559) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต มีการจัดส่งภายใต้กรอบระยะเวลาและมียานพาหนะหลายความจุ โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ประกอบด้วย ต้นทุนการใช้ยานพาหนะ ต้นทุนการเดินทางและค่าปรับ การแก้ปัญหาแบบจำลองดังกล่าวนี้ ทำการสร้างชุดข้อมูลและแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป โดยแบบจำลองนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ยานพาหนะสามารถจัดส่งสินค้าให้ลูกค้าที่มีคำสั่งซื้อเข้ามาใน

ระหว่างการเดินทาง และกรณีที่ 2 ยานพาหนะจะออกเดินทางได้ก็ต่อเมื่อคำสั่งซื้อจากลูกค้าทั้งหมดเข้ามาในระบบ ซึ่งผลการทดลองพบว่า สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 17 ราย ในกรณีที่ 1 และมีลูกค้า 10 ราย ในกรณีที่ 2 ภายในระยะเวลาที่กำหนดได้และได้รับความรู้และแนวทางในการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดจากการจัดเส้นทางการขนส่ง

เพชรายุทธ แซ่หลี และอภิชัย ฤตวิรุฬห์ (2557) ได้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตขิงดอง โดยการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (MILP) สำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนสำหรับการผลิตขิงดองผ่านซอฟต์แวร์ OpenSolver พบว่าสามารถวางแผนได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาน้อยกว่า 30 วินาที นอกจากนี้แผนการจัดสรรแรงงานที่ได้ยังสอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ด้วย เมื่อนำผลลัพธ์ของแบบจำลอง MILP ที่ได้สร้างขึ้นช่วยในการวางแผนแรงงานในการผลิต เปรียบเทียบกับการดำเนินงานที่ผ่านมาของบริษัทพบว่า ค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการลดลง 273,090 บาท หรือ 8.08% ซึ่งถือว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ผลจากการใช้แบบจำลอง MILP ช่วยในการวางแผนนี้จะช่วยให้หัวหน้าฝ่ายผลิตขิงดองหรือส่วนที่เกี่ยวข้องทราบถึงจำนวนพนักงานตัดแต่งขิงดองที่จะต้องจ้างและจัดหาล่วงหน้าได้ เพื่อให้สอดคล้องกับแผนในแต่ละสัปดาห์ส่งผลให้สามารถผลิตขิงดองส่งให้ลูกค้าได้ตรงตามที่ลูกค้าดำหนด ลดการจ้างงานที่เกินความจำเป็นในกรณีที่ต้องเร่งการผลิตช่วงปลายเดือนเพื่อให้สามารถผลิตและส่งมอบสินค้าทั้งหมดให้กับลูกค้าได้

ศิริวัฒน์ รุ่งมณีรัตน์, วราธร ปัญญางาม, และพิลดา หวังพานิช (2555) ได้ศึกษาเรื่องการประยุกต์การวางแผนสั่งซื้อวัตถุดิบล่วงหน้าด้วยวิธีแบบพลวัต โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ IDEFO เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการห่วงโซ่อุปทานทางธุรกิจของการผลิตสีผงอุตสาหกรรม จากการวิเคราะห์พบว่า วัตถุดิบที่มีมูลค่าการสั่งซื้อสูงสุด ได้แก่ วัตถุดิบ รหัส10017 (อีพอกซี่ เรซิน) ซึ่งมีมูลค่าการสั่งซื้อต่อเดือนสูงและสร้างตัวแบบการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อโดยอาศัยเทคนิควิธีการกำหนดขนาดสั่งซื้อแบบพลวัต (Dynamic lot sizing) โดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (MILP) เพื่อกำหนดการสั่งซื้อในแต่ละช่วงเวลาให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อวัตถุดิบคงคลังมีค่าต่ำที่สุดและดำเนินการเปรียบเทียบผลที่เกิดจากโปรแกรมและค่าจริงของปีปัจจุบัน ต้นทุนลดลง 3,210,854.32 บาทต่อปี คิดเป็น 4.54% ดังนั้นจึงทำให้ไม่มีต้นทุนในการจัดเก็บวัตถุดิบคงคลังของรหัส10017 (อีพอกซี่ เรซิน)

เอกชัย แผ่นทอง และอภิชัย ฤตวิรุฬห์ (2555) ได้ศึกษาปัญหาการจัดซื้อและการแปรรูปขิงสดในอุตสาหกรรมแปรรูปขิง ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในการวางแผนการจัดซื้อขิงสดและจัดสรรบ่อดอง

ภาษา AMPL ถูกนำมาใช้ในการเขียนแบบจำลอง MILP และทำการหาค่าเหมาะที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ CPLEX ผลเฉลยเหมาะที่สุดเปรียบเทียบกับการดำเนินงานของทางโรงงาน จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ค่าใช้จ่ายในการซื้อขิงสดลดลง 404,040 บาท คิดเป็นร้อยละ 15.09 ค่าใช้จ่ายในการดองขิงลดลง 208,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 11.37 ค่าใช้จ่ายของคงคลังลดลง 195,500 บาท คิดเป็นร้อยละ 23.13 ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้ 807,540 บาท หรือร้อยละ 15.09 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าแผนการจัดซื้อขิงอ่อนสด และแผนจัดสรรบ่อดองขิงที่ได้จากการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเป็นแผนที่เหมาะสมในการนำไปดำเนินการ

เพชรายุทธ แซ่หลี และอภิชัย ฤตวิรุฬห์ (2557) ได้ศึกษาการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางสมุนไพร ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ค่าจ้างพนักงานผลิตและพนักงานบรรจุ ผลการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากการดำเนินการตามแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ILP ลดลง 5.06% เมื่อเทียบกับการดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ใช้ซอฟต์แวร์ SolverStudio ซึ่งดาวน์โหลดใช้งานได้ฟรี เพื่อให้ข้อมูลรับเข้า ค่าพารามิเตอร์ และผลเฉลยเหมาะที่สุดสามารถป้อนและแสดลผลได้บนตารางทำการของ Microsoft excel ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ในการวางแผนการผลิต

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันของบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีแห่งหนึ่ง ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งรายวันมีค่าต่ำที่สุด เนื้อหาบทนี้นำเสนอภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและเสนอรายละเอียดที่ประกอบด้วย สภาพปัจจุบันของการจัดการด้านการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้า จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 แล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้น และเสนอแนวทางการแก้ปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดการด้านการขนส่งคอยล์ของบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกำลังการผลิตคอยล์เหล็กชุบสังกะสี ปริมาณเหล็กต่อปีที่สั่งโดยลูกค้าแต่ละรายการจัดการขนส่งพร้อมทั้งเงื่อนไขการขนส่งต่าง ๆ ของบริษัทโลจิสติกส์ 3 รายที่ทำสัญญาจ้างไว้กับบริษัทกรณีศึกษา และการจัดการวางแผนการขนส่งประจำวัน

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกระบวนการแก้ไขปัญหา ลักษณะของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ตัวแบบปัญหาการมอบหมายงานในงานด้านโลจิสติกส์ การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม OpenSolver และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มในการแก้ไขปัญหาการบริหารงานด้านการขนส่งและการผลิต

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งคอยล์ในรอบปี พ.ศ. 2559 มีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักคอยล์ที่การจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 สัดส่วนน้ำหนักการส่งคอยล์ของบริษัทขนส่ง 3 ราย และค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งที่เกิดขึ้น

4. การวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางขนส่งและเสนอแนวทางแก้ไข

ขั้นตอนนี้เป็นวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางการขนส่งโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานและเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาการขนส่งคอยล์ประจำวัน

5. การสร้างตัวแบบ MILP สำหรับจัดตารางขนส่งคอยล์ประจำวัน

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดการออกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับการจัดตารางขนส่งรายวัน ที่ต้องตัดสินใจว่าคอยล์ใดบ้างจะถูกจัดอยู่บนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน และใช้รถบรรทุกของบริษัทโลจิสติกส์รายใดด้วยรถประเภทใด ในการส่งคอยล์ไปยังลูกค้าตามคำสั่งซื้อ ตัวแบบ MILP ที่สร้างขึ้นได้นำหลักการของกำหนดการเชิงเส้นสำหรับปัญหาการมอบหมายงานและปัญหาการขนส่ง ร่วมกับการออกแบบตัวแปรไบนารี่ที่เข้ามาช่วยในการคำนวณค่าขนส่งที่มีความซับซ้อน รายละเอียดของ MILP ประกอบด้วย 1) เซตและพารามิเตอร์ ที่เป็นข้อมูลนำเข้าและค่าคงที่ต่าง ๆ ของตัวแบบ 2) ตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรอิสระที่แสดงผลลัพธ์ตารางการขนส่งประจำวัน 3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แสดงสมการสำหรับคำนวณค่าขนส่งคอยล์ประจำวัน และ 4) เงื่อนไขบังคับในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุกแต่ละเที่ยว ด้านขอบเขตน้ำหนักบรรทุกและจำนวนคอยล์ ด้านสัดส่วนการกระจายงานขนส่งสำหรับบริษัทโลจิสติกส์ทั้ง 3 ราย และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ในการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ระบุในสัญญา

6. การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดการออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบ ที่บันทึกตัวแบบ MILP ที่เสนอ ให้พร้อมใช้ในการจัดตารางการขนส่งประจำวัน ไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบประกอบด้วยแผ่นงานต่าง ๆ (Worksheets) ในการกำหนดตำแหน่งของข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ คือ รายละเอียดจำนวนและน้ำหนักของคอยล์ที่ต้องส่งมอบไปยังลูกค้ารายหนึ่ง ๆ ประจำวัน และค่าพารามิเตอร์สำหรับการจัดตาราง เช่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของ บริษัทโลจิสติกส์แต่ละราย สัดส่วนการขนส่งที่ต้องการตามที่ระบุในสัญญา เป็นต้น การสร้างสูตรความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจสำหรับคำนวณฟังก์ชั่นเป้าหมายและเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ตามตัวแบบ MILP ที่เสนอ และการบันทึกตัวแบบใน OpenSolver เพื่อให้พร้อมใช้งานในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม รวมทั้งการแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการขนส่งที่พร้อมสำหรับใช้งาน ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 4

7. การทดสอบประสิทธิภาพของ MILP

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดการเปรียบเทียบผลการจัดตารางขนส่งด้วยตัวแบบ MILP โดยใช้ข้อมูลการขนส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการขนส่ง

การลดเวลาในการจัดตาราง และความเป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาด้านสัดส่วนน้ำหนักขนส่งต่อเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย ของตัวแบบ MILP ที่เสนอ ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 4

8. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงาน และอภิปรายผลการใช้งานของตัวแบบ MILP พร้อมทั้งสรุปข้อจำกัดในการใช้งาน และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการใช้งานของตัวแบบ ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 5

การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดการด้านการขนส่งคอยล์ของบริษัทกรณีศึกษา

การศึกษาวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นการศึกษาเพื่อการปรับปรุงกระบวนการวางแผนการจัดส่งคอยล์ของบริษัทเหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีแห่งหนึ่ง ที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 33,000 ตันต่อเดือน หรือ ประมาณ 400,000 ตันต่อปี สภาพปัจจุบันของการจัดส่งคอยล์ประกอบด้วยหัวข้อต่าง ๆ คือ บริษัทโลจิสติกส์ที่ทำสัญญาการขนส่งกับบริษัทกรณีศึกษา ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ชนิดรถบรรทุกและเงื่อนไขการบรรทุก และการวางแผนการจัดส่งคอยล์ประจำวัน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. บริษัทโลจิสติกส์ที่ทำสัญญาการขนส่งกับบริษัทกรณีศึกษา การจัดส่งคอยล์ไปยังลูกค้าของบริษัท ใช้ผู้ประกอบการโลจิสติกส์จำนวน 3 บริษัท (บริษัท A, B และ C) ที่กำหนดสัดส่วนปริมาณการขนส่งต่อเดือนแตกต่างกันตามที่ตกลงไว้ในสัญญาจ้าง ดังแสดงในภาพที่ 3-1

ภาพที่ 3-1 สัดส่วนของปริมาณการขนส่งคอยล์เหล็กต่อเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย

การจัดส่งคอยล์รายวันไม่มีการกำหนดสัดส่วนปริมาณงานที่กระจายให้บริษัททั้งสาม ซึ่งบริษัทผู้ผลิตมีหน้าที่ในการกำหนดปริมาณงานการจัดส่งไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ได้ตามที่ต้องการ โดยที่บริษัทโลจิสติกส์ทุกรายต้องปฏิบัติตาม และดำเนินการเตรียมรถบรรทุกให้เพียงพอ

ต่อการขนส่งในรอบวัน เมื่อถึงช่วงปลายเดือนบริษัทผู้ผลิตมีหน้าที่ในการตรวจสอบว่าสัดส่วนปริมาณงานขนส่งในรอบเดือนเป็นไปตามที่กำหนดในสัญญาหรือไม่ เพื่อแจ้งให้บริษัทโลจิสติกส์รับทราบต่อไป

2. ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าขนส่งรายวันเกิดจากการใช้รถบรรทุกของบริษัทต่าง ๆ ในการขนส่งภายใต้เงื่อนไขการบรรทุกที่กำหนดในสัญญาที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป ค่าขนส่งถูกคำนวณจากน้ำหนักของคอยล์ที่จัดส่งในอัตราค่าบริการการขนส่งต่อตันโดยไม่คิดจำนวนเที่ยวรถในการจัดส่ง อัตราค่าขนส่ง (บาทต่อตัน) ของบริษัทโลจิสติกส์รายต่าง ๆ ในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย แสดงในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 อัตราค่าขนส่ง

กิโลเมตร	สถานที่ส่ง	รถบรรทุก 18 ล้อ			10 ล้อ
		บริษัท A	บริษัท B	บริษัท C	บริษัท A
10	A1, A2, A3	129	151	160	258
20	B1	136	147	171	251
30	C1, C2, C3	155	166	191	311
40	D1, D2, D3, D4, D5	163	185	207	305
50	E1, E2	181	203	223	364
70	F1, F2, F3, F4, F5, F6	208	241	263	484
80	G1	226	259	285	543
100	H1	264	297	337	663
110	I1	293	315	356	722
120	J1, J2	312	334	371	782
130	K1, K2, K3	331	353	386	841
140	L1, L2, L3	349	371	406	901

หมายเหตุ: (หน่วย: บาทต่อตัน)

ตารางที่ 3-1 (ต่อ)

กิโลเมตร	สถานที่ส่ง	รถบรรทุก 18 ล้อ			10 ล้อ
		บริษัท A	บริษัท B	บริษัท C	บริษัท A
160	M1, M2	398	409	437	1,020
170	N1, N2	416	427	457	1,080
180	O1, O2	435	446	471	1,140
190	P1, P2	454	465	487	1,199

หมายเหตุ: (หน่วย: บาทต่อตัน)

รายละเอียดค่าขนส่งต่อตันในตารางที่ 3-1 มีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริษัทโลจิสติกส์ที่เลือกใช้ ประเภทรถบรรทุก (เฉพาะบริษัท A มีรถบรรทุกให้เลือกคือ 18 ล้อ หรือ 10 ล้อ) และระยะทางการขนส่งจากบริษัทผู้ผลิตคอยล์ไปยังสถานที่จัดส่ง เมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าใช้จ่ายในการขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อของบริษัททั้งสาม พบว่า การขนส่งด้วยบริษัท A มีค่าใช้จ่ายถูกที่สุด และการขนส่งของบริษัท C มีค่าใช้จ่ายแพงที่สุดในการขนส่งไปยังทุกสถานที่จัดส่ง ส่วนการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งของบริษัท A ตามประเภทของรถบรรทุก พบว่า การขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อมากกว่า 2 เท่า

เมื่อพิจารณาค่าขนส่งที่แปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดที่ 10, 20, 30, 40, 50, 70, 80, 100, 110, 120, 130, 140, 160, 170, 180, และ 190 กิโลเมตร พบว่า การเพิ่มขึ้นของค่าขนส่งในแต่ละช่วง 10 กิโลเมตร มีอัตราการเพิ่มไม่คงที่ เช่น ค่าขนส่งของบริษัท A ที่ระยะทาง 20 กิโลเมตร เพิ่มขึ้นจากระยะทาง 10 กิโลเมตร เท่ากับ 7 บาทต่อตัน (136-129 = 7) ขณะที่ค่าขนส่งที่ระยะทาง 30 กิโลเมตร เพิ่มจากระยะทาง 20 กิโลเมตร เท่ากับ 19 บาทต่อตัน (155-136 = 19) และการเพิ่มขึ้นของค่าขนส่งต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นในช่วง 10 กิโลเมตร อื่น ๆ มีอัตราการเพิ่มที่ไม่คงที่และไม่เท่ากันในทุกบริษัท

3. ชนิดของรถบรรทุก รถบรรทุกสำหรับขนส่งคอยล์มี 2 ประเภท คือ รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ และ 10 ล้อ (ภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2) จากพื้นที่การบรรทุกที่จำกัดและขนาดของคอยล์ทำให้รถบรรทุกแต่ละประเภทมีขีดจำกัดด้านจำนวนคอยล์ที่สามารถขนส่งได้ในหนึ่งเที่ยว

โดยรถบรรทุกขนาด 18 และ 10 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 5 คอยล์และ 3 คอยล์ ตามลำดับ ส่วนน้ำหนักการบรรทุกสูงสุดบนรถแต่ละคันที่ระบุไว้ในสัญญาจ้าง กำหนดให้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ บรรทุกน้ำหนักรวมได้ไม่เกิน 31 ตัน และหากบริษัทผู้ผลิตจัดคอยล์ที่มีน้ำหนักรวมต่ำกว่า 22 ตัน บริษัทโลจิสติกส์จะคิดค่าขนส่งที่น้ำหนัก 22 ตัน สำหรับรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ บรรทุกน้ำหนักรวมได้ไม่เกิน 12 ตัน และคิดค่าขนส่งที่น้ำหนักรวมต่ำที่สุดเท่ากับ 8 ตัน เงื่อนไขการบรรทุกด้านจำนวนคอยล์และน้ำหนักคอยล์สรุปได้ ดังตารางที่ 3-2

ภาพที่ 3-2 รถบรรทุกคอยล์ 18 ล้อ

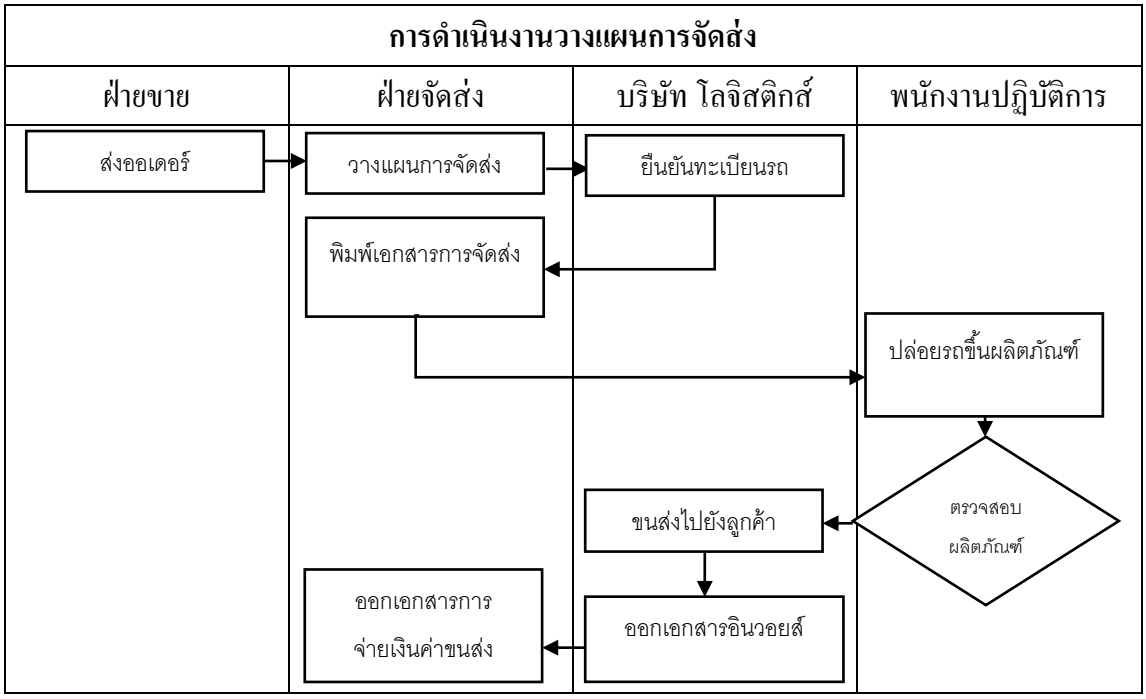
ภาพที่ 3-3 รถบรรทุกคอยล์ 10 ล้อ

ตารางที่ 3-2 เงื่อนไขการขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ

18 ล้อ				10 ล้อ			
จำนวน (คอยล์)		น้ำหนัก (ตัน)		จำนวน (คอยล์)		น้ำหนัก (ตัน)	
ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด*	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด*	สูงสุด
1	5	22	31	1	3	8	12

หมายถึง: * คือ น้ำหนักต่ำสุดสำหรับการคำนวณค่าขนส่ง

4. การวางแผนการจัดส่งคอยล์ประจำวัน การดำเนินงานวางแผนการจัดส่งคอยล์เพื่อจัดสรรคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้ารายหนึ่ง ๆ ลงบนรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ เป็นหน้าที่ของหน่วยงานจัดส่งที่ต้องประสานกับหน่วยงานขายและหน่วยงานวางแผนการผลิตในด้านข้อมูลคอยล์ที่จะจัดส่งให้ลูกค้ารายต่าง ๆ จากนั้นจึงทำการวางแผนการจัดสรรคอยล์ลงบนรถบรรทุก แล้วติดต่อให้ข้อมูลแผนการส่งคอยล์ประจำวันแก่บริษัทโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้บริษัทเหล่านั้นจัดตารางเวลาเที่ยวรถบรรทุกในการรับคอยล์ไปส่งต่อไป ขั้นตอนการดำเนินงานในการวางแผนจัดส่งคอยล์สรุปได้ดังภาพที่ 3-4



ภาพที่ 3-4 ภาพรวมของการจัดส่งผลิตภัณฑ์

ปัจจุบันหน่วยงานได้มอบหมายให้พนักงานจัดส่งเป็นผู้วางแผนการจัดส่งคอยล์ประจำวัน จากภาพที่ 3-3 เมื่อผู้วางแผนได้รับข้อมูลคอยล์ล่วงหน้าประมาณ 2 วันก่อนจัดส่งจากฝ่ายขายและวางแผนการผลิต ผู้วางแผนจะใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมงในการวางแผน การตัดสินใจว่าคอยล์ใดบ้างที่สั่งโดยลูกค้ารายเดียวกันควรถูกจัดส่งบนรถบรรทุกคันเดียวกัน ควรใช้รถบรรทุกประเภทใด จากบริษัทโลจิสติกส์รายใด ผู้วางแผนจะใช้ประสบการณ์ในการจัดทำแผนการจัดส่งคอยล์ (ตัวอย่างแผนการจัดส่งคอยล์ประจำวัน แสดงในภาคผนวก ก) แล้วส่งแผนนี้ไปบริษัทโลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นผู้วางแผนจะรอรับตารางเวลาในการรับคอยล์และการยืนยันทะเบียนรถจากบริษัทโลจิสติกส์ แล้วจัดทำเอกสารการจัดส่ง (Delivery order) ให้แก่พนักงานปฏิบัติการเพื่อเตรียมขนย้ายคอยล์ตามรอบเวลาการยกคอยล์ขึ้นรถ และทำการปล่อยรถออกไปยังลูกค้าตามเวลาที่กำหนด

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่งคอยล์ในรอบปี พ.ศ. 2559 มีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำหนักคอยล์ที่การจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 สัดส่วนน้ำหนักการส่งคอยล์ของบริษัทขนส่ง 3 ราย และค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งที่เกิดขึ้น การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ขนส่งจริงและน้ำหนักที่คิดค่าใช้จ่าย

1. น้ำหนักคอยล์ของการจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในรอบปี พ.ศ. 2559 แสดงได้ดังตารางภาคผนวก ก-1 และสรุปไว้ในตารางที่ 3-3 พบว่าปริมาณการจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 ทั้งสิ้น 298,273.07 ตัน บริษัทมีลูกค้าทั้งสิ้น 27 ราย จากฐานข้อมูลลูกค้ารวม 39 ราย เมื่อพิจารณาความถี่การสั่งซื้อรายเดือนพบว่าลูกค้าส่วนใหญ่มีการสั่งซื้ออย่างต่อเนื่องทุกเดือน และมีเพียงบางรายที่สั่งซื้อน้อยกว่า 6 เดือนต่อปี และมีลูกค้ารายใหญ่ของบริษัทอยู่ 3 ราย (A1, F2 และ G1) ที่สั่งซื้อมากกว่า 45,000 ตัน (โดยเฉลี่ยต่อเดือนมากกว่า 3,500 ตัน) โดยปริมาณการสั่งซื้อรวมของลูกค้ารายใหญ่ประมาณ 170,000 ตัน คิดเป็น 57% ของปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด

2. สัดส่วนน้ำหนักการส่งคอยล์ของบริษัทขนส่ง 3 ราย และค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งที่เกิดขึ้น จากการสรุปข้อมูลการจัดส่งรายเดือนจากตารางการจัดส่งรายวันในรอบปี พ.ศ. 2559 แล้วคำนวณสัดส่วนการส่งคอยล์ของบริษัทโลจิสติกส์ต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายในการจัดส่งรายเดือน ดังแสดงในตารางที่ 3-4 พบว่า ความแตกต่างโดยเฉลี่ยของสัดส่วนการจัดส่งรายเดือนจากที่ระบุในสัญญาของบริษัทโลจิสติกส์ A B และ C เท่ากับ +3.5%, -3.0% และ -0.5% ตามลำดับ และความแตกต่างนี้ของบริษัท A มีค่าอยู่ระหว่าง -1.6% ถึง 7.4% บริษัท B มีค่าอยู่ระหว่าง -6.4% ถึง 1.7% และบริษัท C มีค่าอยู่ระหว่าง -1.9% ถึง 1.5%

ตารางที่ 3-3 ปริมาณการจัดส่งรายเดือนไปยังลูกค้าแต่ละราย ปี พ.ศ. 2559

สถานที่ส่ง	ปริมาณการจัดส่ง (ตัน)				
	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.-มิ.ย	ก.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ผลรวม
A1	12,024.28	10,554.85	12,849.21	17,832.99	53,261.33
A2	501.68	637.09	508.16	815.09	2,462.02
A3	678.31	471.88	1,004.33	1,393.02	3,547.54
B1	132.16	224.00	759.23	702.25	1,817.64
C1	56.51	86.02	279.35	172.49	594.37
C2	0.00	0.00	6,717.48	2,410.50	9,127.98
C3	0.00	86.49	23.01	131.48	240.98
D1	6,486.64	4,485.76	4,890.65	5,753.98	21,617.03
D2	3,402.24	473.53	3,278.97	819.66	7,974.40
D3	0.00	0.00	0.00	3,899.26	3,899.26
D5	1,563.16	1,634.17	1,135.90	1,495.27	5,828.50
E1	5,296.36	4,303.00	4,117.03	554.95	14,271.34
E2	7,001.72	3,584.35	4,263.20	2,005.68	16,854.95
F1	1,276.70	1,862.24	1,417.23	947.22	5,503.39
F2	18,650.83	14,781.67	18,097.14	19,388.02	70,917.66
F3	1,915.34	1,988.28	471.08	1,426.36	5,801.06
F4	786.10	938.06	978.45	1,411.90	4,114.51
F5	1,194.07	2,049.37	1,810.09	2,472.88	7,526.41
G1	13,356.72	14,519.24	5,435.73	11,471.41	44,783.10
H1	503.67	976.79	1,158.28	876.00	3,514.74
J2	0.00	0.00	0.00	90.98	90.98
K2	61.77	46.48	41.82	0.00	150.07
K3	980.03	2,571.22	1,895.25	1,832.30	7,278.80
L3	602.44	762.80	1,499.79	887.28	3,752.31
O1	684.48	604.46	513.67	511.86	2,314.47

ตารางที่ 3-3 (ต่อ)

สถานที่ส่ง	ปริมาณการจัดส่ง (ตัน)				
	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.-มิ.ย	ก.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ผลรวม
O2	0.00	0.00	259.2	293.7	552.86
P1	0.00	0.00	215.6	259.8	475.37
ผลรวมทั้งหมด	77,115.21	67,641.75	73,619.83	79,856.28	298,273.07

ตารางที่ 3-4 ปริมาณ สัดส่วน และค่าใช้จ่ายการขนส่ง ปี พ.ศ. 2559

เดือน	ปริมาณการส่งมอบ (ตัน)	เปอร์เซนต์การขนส่งของบริษัท			ค่าใช้จ่ายด้านการขนส่ง (บาท)
		A	B	C	
มกราคม	23,745.18	69.7%	18.8%	11.5%	4,853,775.76
กุมภาพันธ์	25,676.22	68.4%	21.7%	9.9%	5,368,903.40
มีนาคม	27,733.81	75.7%	16.2%	8.1%	5,870,067.41
เมษายน	18,268.33	75.3%	15.4%	9.3%	3,975,207.89
พฤษภาคม	22,967.63	75.4%	15.9%	8.7%	4,998,843.00
มิถุนายน	26,405.79	77.4%	13.6%	8.9%	5,688,868.47
กรกฎาคม	24,733.69	71.6%	18.5%	9.8%	5,057,531.62
สิงหาคม	24,669.48	74.2%	16.9%	9.0%	5,198,266.14
กันยายน	24,216.66	72.1%	19.6%	8.4%	5,072,602.61
ตุลาคม	23,514.27	72.7%	18.0%	9.3%	4,916,230.74
พฤศจิกายน	29,219.04	74.3%	14.2%	11.5%	6,019,961.94
ธันวาคม	27,122.97	74.8%	15.5%	9.6%	5,597,233.31
รวม	298,273.07	-	-	-	62,617,492.29
ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากเกณฑ์*		+3.5%	-3.0%	-0.5%	
ค่ามากที่สุดที่เกินกว่าเกณฑ์*		+7.4%	+1.7%	+1.5%	
ค่ามากที่สุดที่ต่ำกว่าเกณฑ์*		-1.6%	-6.4%	-1.9%	

หมายเหตุ: * สัดส่วนการจัดส่งรายเดือนของบริษัท A B C ตามที่ระบุในสัญญาเท่ากับ 70 : 20 : 10

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นพบว่าค่าใช้จ่ายในการจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 ทั้งสิ้น 62,617,492.29 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 5,218,124 บาทต่อเดือน จากปริมาณการจัดส่งในรอบปี พ.ศ. 2559 ทั้งสิ้น 298,273.07 ตัน คิดเป็นปริมาณการจัดส่งเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 24,856 ตันต่อเดือน จึงสรุปได้ว่าบริษัทต้องเสียค่าใช้จ่ายการจัดส่งคอยล์ประมาณ 209.9 บาทต่อตัน

3. การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ขนส่งจริงและน้ำหนักที่คิดค่าใช้จ่าย บริษัทกรณีศึกษามีการวางแผนการจัดส่งโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานเป็นหลักในการกำหนดจำนวนคอยล์เหล็กที่จะทำการขนส่งโดยการเลือกตามน้ำหนักของคอยล์ โดยบางครั้งมีการวางแผนรอบการจัดส่งนั้น ๆ ไม่ได้น้ำหนักขั้นต่ำ ตัวอย่างเช่น รถบรรทุก 18 ล้อกำหนดน้ำหนักขั้นต่ำที่ 22 ตันต่อ 1 คัน แต่เมื่อพนักงานวางแผนที่น้ำหนักรวม 20 ตันต่อ 1 คัน หมายความว่า น้ำหนักที่เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 22 ตัน น้ำหนักส่วนต่างอยู่ที่ 2 ตัน จึงทำให้ต้นทุนในการขนส่งมีค่าสูง อาจส่งผลกระทบต่อจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้มากขึ้นซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรอีกด้วย ผลต่างน้ำหนักคอยล์ที่ส่งมอบจริงกับน้ำหนักสำหรับคำนวณค่าขนส่งรายเดือนในปี พ.ศ. 2559 สรุปได้ดังตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 การเปรียบเทียบน้ำหนักที่ขนส่งจริงและน้ำหนักที่คิดค่าใช้จ่าย ปี พ.ศ. 2559

เดือน	น้ำหนักจริง(ตัน)	น้ำหนักที่คิดค่าใช้จ่าย (ตัน)	ผลต่าง (ตัน)
มกราคม	23,745.18	24,017.85	272.67
กุมภาพันธ์	25,676.22	26,150.28	474.05
มีนาคม	27,733.81	28,254.13	520.31
เมษายน	18,268.33	18,544.85	276.52
พฤษภาคม	22,967.63	23,531.06	563.43
มิถุนายน	26,405.79	26,955.51	549.72
กรกฎาคม	24,733.69	25,094.1	360.41
สิงหาคม	24,669.48	25,103.01	433.53
กันยายน	24,216.66	24,661.81	445.15
ตุลาคม	23,514.27	24,072.09	557.81
พฤศจิกายน	29,219.04	29,764.44	545.40
ธันวาคม	27,122.97	27,607.73	484.76
รวม	298,273.07	303,756.86	5,483.76

การวิเคราะห์ปัญหา

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานในการศึกษาว่าการจัดตารางการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานทำให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ คือ การเลือกประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งที่ไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำพอ การจัดกลุ่มคอยล์ลงบนรถบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ ไม่เหมาะสมส่งผลต่อการมีเที่ยวรถบรรทุกขนส่งคอยล์ที่มีน้ำหนักรวมต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องเสียค่าขนส่งตามน้ำหนักขั้นต่ำของการขนส่งในเที่ยวรถบรรทุกนั้น และการไม่เป็นไปตามข้อกำหนดด้านสัดส่วนน้ำหนักรวมในการขนส่งรายเดือนที่ระบุในสัญญา เพื่อสนับสนุนสมมติฐานของงานวิจัยนี้ เราจึงแบ่งการวิเคราะห์ปัญหาตารางการขนส่งที่จัดโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานออกเป็นสามส่วนหลัก คือ การเลือกประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งไม่เหมาะสม การจัดกลุ่มคอยล์ไม่เหมาะสม และสัดส่วนน้ำหนักรวมไม่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

1. การเลือกประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งไม่เหมาะสม จากตารางที่ 3-1 แสดงอัตราค่าขนส่งต่อตัน 4 อัตรา คือ อัตราค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ ของบริษัทขนส่งทั้งสามราย และอัตราค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ของบริษัทขนส่ง A พบข้อสรุปสำคัญ 2 ข้อ คือ 1) หากมีคอยล์ที่ต้องส่งในปริมาณมากพอ ควรจัดการขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ 1 เที่ยวดีกว่าการจัดการขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ หลายเที่ยว เนื่องจากมีอัตราค่าขนส่งต่อตันที่ถ่วงน้ำหนักด้วยน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่อเที่ยวที่ต่ำกว่าการขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ 2) การเพิ่มขึ้นของค่าขนส่งต่อระยะทางที่เพิ่มขึ้นในช่วง 10 กิโลเมตร ตามตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า มีอัตราการเพิ่มที่ไม่คงที่และไม่เท่ากันในทุกบริษัทขนส่ง ดังนั้นการเลือกประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งจึงส่งผลโดยตรงต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เมื่อวิเคราะห์การจัดตารางการขนส่งรายวันโดยใช้ปัญหาตัวอย่างของการขนส่งวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2559 ในภาคผนวก ก-2 ที่สรุปได้ดังตารางที่ 3-6 พบว่าผู้จัดตารางการขนส่งเลือกใช้รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ สำหรับขนส่ง 2 เที่ยวในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้า A1 และ K3 น้ำหนักรวมต่อเที่ยวเท่ากับ 10.39 ตัน และ 10.04 ตัน คิดเป็นค่าขนส่งเท่ากับ 2,681 บาท และ 8,444 บาท ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อของบริษัท A น้ำหนักการบรรทุกต่ำที่สุดสำหรับคิดค่าใช้จ่ายที่ 22 ตัน พบว่า การขนส่งไปยังลูกค้า A1 และ K3 มีค่าขนส่งเท่ากับ 2,838 บาท และ 7,281 บาท ตามลำดับ จึงเห็นได้ว่าพนักงานตัดสินใจเลือกใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ในการส่งคอยล์ไปยังลูกค้า A1 ได้ถูกต้อง ขณะที่ตัดสินใจผิดพลาดในการเลือกประเภทรถบรรทุกในการส่งคอยล์ไปยังลูกค้า K3 เนื่องจากการใช้รถบรรทุก 18 ล้อ เสียค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้รถบรรทุก 10 ล้อ อยู่เท่ากับ 8,444-7281 = 963 บาท

ตารางที่ 3-6 จำนวนรถบรรทุก ประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งที่ใช้ในวันที่ 23 ธันวาคม 2559

ลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	อัตราค่าขนส่ง (บาทต่อตัน)	จำนวนรถที่ใช้ (เที่ยว)
A1	59	393.95	A	129	16
			B	151	-
			C	160	-
			A (10 ล้อ)	258	1
D1	24	247.81	A	163	9
			B	185	-
			C	207	-
			A (10 ล้อ)	305	-
F2	31	351.67	A	208	9 (235.17 ตัน)
			B	241	-
			C	263	5 (116.5 ตัน)
			A (10 ล้อ)	484	-
G1	10	77.1	A	226	3
			B	259	-
			C	285	-
			A (10 ล้อ)	543	-
K3	1	10.04	A	331	-
			B	353	-
			C	386	-
			A (10 ล้อ)	841	1

เมื่อพิจารณาการเลือกบริษัทขนส่งพบว่าผู้จัดตารางกำหนดสัดส่วนการขนส่งในวันนี้ให้บริษัท A ส่งคอยล์ประมาณ 90% และ บริษัท C ประมาณ 10% ของปริมาณน้ำหนักการขนส่ง โดยผู้จัดตารางกำหนดให้บริษัท C ส่งคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า F2 ด้วยน้ำหนักรวม 116.5 ตัน เมื่อวิเคราะห์ทางเลือกในการขนส่งคอยล์โดยบริษัทขนส่ง C ของการขนส่งในวันนี้ พบว่ามีลูกค้าตามเกณฑ์ปริมาณน้ำหนักตั้งแต่ 116.5 ตันขึ้นไป 3 ราย คือ A1 D1 และ F2 จึงทำการคำนวณอัตราค่า

ขนส่งส่วนเพิ่มเมื่อเลือกบริษัทขนส่ง C แทนบริษัทขนส่ง A พบว่าสำหรับการส่งคอยล์ของลูกค้า A1 มีอัตราค่าขนส่งส่วนเพิ่มเท่ากับ 160-129 = 31 บาทต่อตัน การส่งคอยล์ของลูกค้า D1 มีอัตราค่าขนส่งส่วนเพิ่มเท่ากับ 207-163 = 44 บาทต่อตัน และการส่งคอยล์ของลูกค้า F2 มีอัตราขนส่งส่วนเพิ่มเท่ากับ 263-208 = 55 บาทต่อตัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้จัดตารางขนส่งตัดสินใจผิดพลาดในการกำหนดให้ส่งคอยล์ปริมาณ 116.5 ตัน ที่เป็นคอยล์ของลูกค้า F2 ด้วยบริษัทขนส่ง C เพราะว่ามีอัตราค่าขนส่งส่วนเพิ่มสูง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งในภาพรวมของวันนี้สูงขึ้นด้วย ผู้จัดตารางควรกำหนดให้ส่งคอยล์น้ำหนักรวมประมาณ 116.5 ตัน ที่เป็นคอยล์ของลูกค้า A1 ให้ขนส่งด้วยบริษัท C จะทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำกว่าเดิม ดังสรุปในตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าเมื่อปรับเปลี่ยนบริษัทขนส่ง

ลูกค้า	แผนการขนส่งเดิม				ปรับเปลี่ยนบริษัทขนส่ง			
	บริษัทขนส่ง	อัตราค่าขนส่ง	น้ำหนักรวม	ค่าขนส่ง (บาท)	บริษัทขนส่ง	อัตราค่าขนส่ง	น้ำหนักรวม	ค่าขนส่ง (บาท)
A1	A	129	393.95	50,820	A	129	277.45	35,791
	C	160	-	-	C	160	116.5	18,640
F2	A	208	235.17	48,915	A	208	351.67	73,147
	C	263	116.5	30,640	C	263	-	-
รวม			130,375				127,578	

2. การจัดกลุ่มคอยล์ไม่เหมาะสม ทำให้มีเที่ยวรถบรรทุกขนส่งคอยล์น้ำหนักรวมต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่สุดสำหรับคำนวณค่าขนส่งซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์ที่ไม่ได้เกิดจากการขนส่งคอยล์จริง ตัวอย่างการจัดตารางการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์เกิดจากการจัดกลุ่มคอยล์ที่สั่งซื้อโดยลูกค้ารายหนึ่ง ๆ ลงบนรถบรรทุกคันหนึ่ง ๆ ในบางครั้งผู้ตัดสินใจอาจมีความจำเป็นต้องจัดกลุ่มคอยล์ที่มีน้ำหนักรวมไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำที่สุดของการบรรทุกได้ เช่น ในตัวอย่างการจัดตารางการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์ของวันที่ 1 ธันวาคม 2559 ในตารางที่ 3-8 ลูกค้า G1 กับ B1 สั่งเหล็กรายละ 2 คอยล์ในวันหนึ่ง ๆ เมื่อเงื่อนไขการจัดส่งคือคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้ารายหนึ่ง ๆ ต้องบรรทุกบนรถเที่ยวเดียวกัน ดังนั้นคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้า G1 และ B1 มีน้ำหนักรวม 19.12 ตัน และ 21.33 ตัน ทำให้ต้องรถบรรทุกที่ขนส่งคอยล์ไปลูกค้าแต่ละรายบรรทุกคอยล์ที่มีน้ำหนักรวมไม่ถึง 22 ตันซึ่งเป็นน้ำหนักสำหรับค่าใช้จ่ายในการขนส่งเที่ยวนี้

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่างการจัดตารางการขนส่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ไม่พึงประสงค์

หมายเลขผลิตภัณฑ์	สถานที่จัดส่ง	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	รถบรรทุก	น้ำหนักบรรทุกจริง(ตัน)	น้ำหนักค่าขนส่ง (ตัน)	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย (บาท)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
X28121	F2	9.56	A					
X28151	F2	9.49	A					
X28152	F2	9.61	A	18W	28.66	28.66	208	5961.28
X15635	A1	10.00	A					
X25874	A1	6.00	A					
W19052	A1	5.00	A	18W	21.00	22.00	129	2838
W17702	A1	10.00	A					
X25443	A1	10.00	A					
X25772	A1	11.00	A	18W	31.00	31.00	129	3999
X25751	G1	9.7	A					
X25922	G1	9.42	A	18W	19.12	22.00	226	4972
W13232	B1	10.86	A					
X17292	B1	10.47	A	18W	21.33	22.00	136	2992
X20982	D1	10.24	C					
X22212	D1	8.48	C					
X30611	D1	10.97	C	18W	29.69	29.69	207	6145.83

การจัดตารางขนส่งบางครั้งผู้จัดกลุ่มคอยล์ลงบนรถบรรทุกอาจตัดสินใจผิดพลาดในการจัดกลุ่มคอยล์ที่ทำให้กลุ่มคอยล์บางกลุ่มมีน้ำหนักอยู่ในเกณฑ์การขนส่ง ขณะที่บางกลุ่มต่ำกว่าเกณฑ์ เช่น น้ำหนักคอยล์ 6 คอยล์ ต้องจัดส่ง คือ 10, 6, 5, 11, 10 และ 10 ตัน หากจัดเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกประกอบด้วยคอยล์น้ำหนัก 10, 6 และ 5 ตัน รวมน้ำหนัก 21 ตัน กลุ่มที่สอง

ประกอบด้วยคอยล์น้ำหนัก 10, 10 และ 11 ตัน รวมน้ำหนัก 31 ตัน จะทำให้ต้องเสียค่าน้ำหนักส่วนต่าง 1 ตัน (หากสลับคอยล์น้ำหนัก 5 ตันของกลุ่มแรก กับคอยล์น้ำหนัก 10 ตันของกลุ่มที่สอง จะทำให้น้ำหนักรวมของทั้งสองกลุ่มอยู่ในเกณฑ์)

3. สัดส่วนน้ำหนักรวมไม่เหมาะสม จากตารางที่ 3-3 ปริมาณ สัดส่วน และค่าใช้จ่ายการขนส่ง ปีพ.ศ. 2559 พบว่า ผู้จัดตารางขนส่งไม่สามารถสมดุลสัดส่วนน้ำหนักคอยล์ในรอบหนึ่งเดือนให้อยู่ในสัดส่วน 70 : 20 : 10 สำหรับการขนส่งด้วยบริษัท A, B และ C ตามลำดับ การจัดสมดุลสัดส่วนนี้ได้ยากเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ 1) การไม่กำหนดสัดส่วนการขนส่งรายวันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดทำให้เมื่อครบรอบหนึ่งเดือนน้ำหนักคอยล์รวมของการขนส่งด้วยบริษัททั้งสามไม่เป็นไปตามเกณฑ์ด้วย 2) ไม่มีการคำนวณเพื่อกำหนดน้ำหนักคอยล์ในการขนส่งที่จะมอบหมายให้แต่ละบริษัทดำเนินการขนส่งในช่วงปลายเดือน

จากปัญหาทั้งสามด้านที่เกิดจากการจัดตารางการขนส่งโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้จัดตารางสามารถสรุปปัญหา สาเหตุ และเสนอแนวทางแก้ไขได้ดังตารางที่ 3-9

ตารางที่ 3-9 สรุปปัญหา สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข

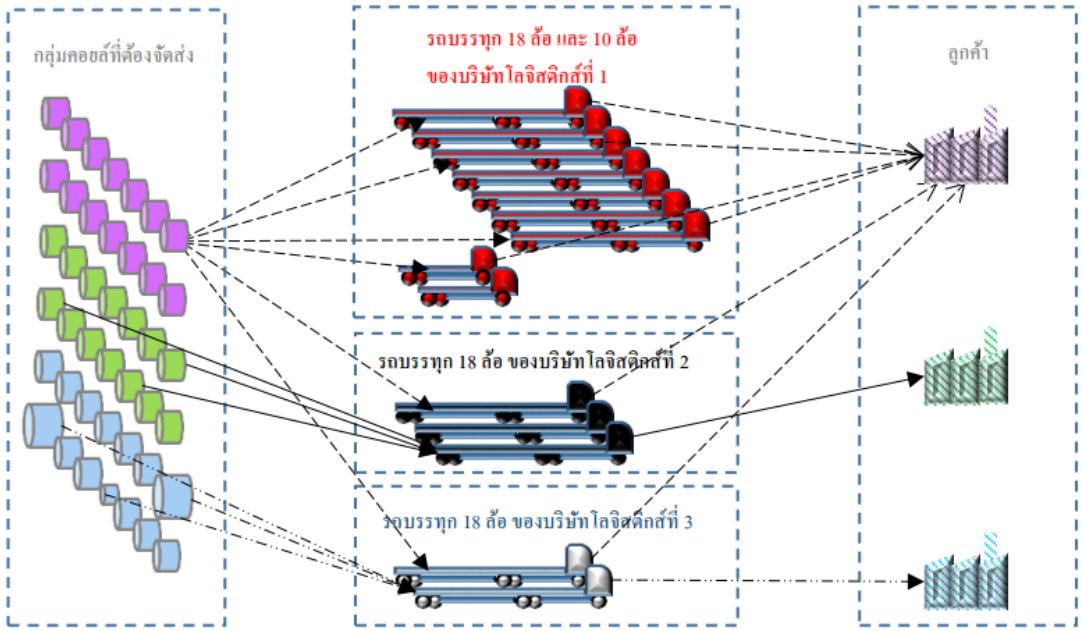
ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
การเลือกประเภทรถบรรทุกและบริษัทขนส่งไม่เหมาะสม	อัตราค่าขนส่งต่อตันไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ของบริษัทขนส่ง 3 ราย มีโครงสร้างค่าขนส่งที่ซับซ้อน และคอยล์ที่ต้องส่งแต่ละวันมีความผันแปรทั้งด้านน้ำหนัก และด้านลูกค้า ทำให้ผู้รับผิดชอบจัดตารางขนส่งให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดได้ยาก	สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยตัดสินใจสร้างตารางการขนส่ง ที่มีตัวแปรตัดสินใจในการกำหนดกลุ่มคอยล์สำหรับขนส่งด้วยรถบรรทุกแต่ละเที่ยว การกำหนดประเภทรถบรรทุก และการกำหนดบริษัทขนส่งที่ต้องการใช้บริการ และมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด
การจัดกลุ่มคอยล์สำหรับขนส่งด้วยรถบรรทุกแต่ละเที่ยวไม่เหมาะสม	คอยล์ที่ต้องส่งให้ลูกค้าแต่ละรายในแต่ละวันมีความผันแปรสูงทั้งด้านน้ำหนักคอยล์และจำนวนคอยล์ ประกอบกับความสามารถในการบรรทุกในหนึ่งเที่ยวมีจำกัด และวิธีการคิดค่าขนส่งที่มีเกณฑ์การคำนวณค่าขนส่งเริ่มจากน้ำหนักบรรทุกต่ำที่สุด ทำให้ผู้รับผิดชอบจัดตารางขนส่งให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดได้ยาก	สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยตัดสินใจสร้างการขนส่ง โดยมีการกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่มีองค์ประกอบในด้านการคำนวณค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุกต่ำที่สุดสำหรับเที่ยวรถที่บรรทุกไม่เกณฑ์น้ำหนักขั้นต่ำ และมีเงื่อนไขบังคับด้านความสามารถในการบรรทุกในหนึ่งเที่ยว
สัดส่วนน้ำหนักรวมในรอบเดือนเมื่อขนส่งด้วยบริษัท A B และ C ไม่เท่ากับ 70 : 20 : 10 ตามสัญญาจ้าง	ไม่กำหนดสัดส่วนการขนส่งรายวันให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และไม่มีการคำนวณเพื่อกำหนดน้ำหนักคอยล์ในการขนส่งที่จะมอบหมายให้แต่ละบริษัทดำเนินการขนส่งในช่วงปลายเดือน	สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยตัดสินใจสร้างการขนส่ง ที่มีเงื่อนไขบังคับด้านสัดส่วนการขนส่งของบริษัทขนส่งทั้งสามราย และกำหนดให้การจัดตารางการขนส่งรายวัน ใช้สัดส่วนที่อยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ระบุในสัญญา

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

ผลการวิจัยในการใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันของบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีแห่งหนึ่งมีสามส่วน คือ ส่วนแรกนำเสนอตัวแบบ MILP ส่วนที่สองนำเสนอการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP ส่วนสุดท้ายนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของ MILP ด้วยการเปรียบเทียบผลการจัดตารางขนส่งด้วยตัวแบบ MILP โดยใช้ข้อมูลการขนส่งในรอบปี พ.ศ. 2559

การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

การจัดตารางขนส่งคอยล์เป็นกิจกรรมที่ต้องทำประจำวันหลังจากได้รับข้อมูลจำนวนและน้ำหนักคอยล์และสถานที่ส่งมอบแล้ว ผู้จัดตารางต้องตัดสินใจจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุกขนส่งและกำหนดว่าจะใช้รถบรรทุกของบริษัทโลจิสติกส์รายใด เพื่อใช้สำหรับส่งคอยล์ไปยังลูกค้าตามคำสั่งซื้อ ปัญหาการขนส่งคอยล์ประจำวันสรุปภาพรวมได้ดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 ภาพรวมของปัญหาการขนส่งคอยล์ประจำวัน

กลุ่มคอยล์ที่ต้องจัดส่งประจำวันประกอบด้วยจำนวนคอยล์ประมาณ 60 ถึง 250 คอยล์ ตามคำสั่งซื้อของลูกค้าประมาณ 5-17 รายต่อวัน (จากลูกค้ารวม 39 ราย) คอยล์แต่ละคอยล์มีน้ำหนักแตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้า น้ำหนักคอยล์มีความผันแปรระหว่าง 1 ถึง 20 ตัน ผู้จัดตารางการขนส่งสามารถเลือกใช้บริการจากบริษัทโลจิสติกส์ได้ 3 ราย (บริษัท A, B และ C) ที่กำหนดอัตราค่าขนส่งต่อตันไม่เท่ากัน โดยทุกบริษัทใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ ในการให้บริการขนส่ง และบริษัท A มีรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ ให้เลือกใช้บริการได้เมื่อต้องการขนส่งปริมาณน้อย การจัดส่งคอยล์ไปยังลูกค้าต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. คอยล์ทุกคอยล์ต้องถูกจัดส่งบนรถคันใดคันหนึ่ง และผู้จัดตารางต้องจัดให้คอยล์แต่ละคอยล์ถูกส่งเพียง 1 ครั้ง เท่านั้น

2. รถบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ ต้องบรรทุกคอยล์ที่สั่งโดยลูกค้ารายหนึ่ง ๆ เท่านั้น (Single-customer load)

3. รถบรรทุกขนาด 18 ล้อ บรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 5 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 31 ตัน

4. รถบรรทุกขนาด 10 ล้อ บรรทุกคอยล์ได้สูงสุด 3 คอยล์ และน้ำหนักรวมสูงสุดไม่เกิน 12 ตัน

5. ค่าขนส่งต่อตันแปรผันตามระยะทางขนส่งไปยังลูกค้าแต่ละรายแบบขั้นบันได (รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3-1)

6. น้ำหนักบรรทุกต่ำที่สุดที่ใช้สำหรับคำนวณค่าขนส่งใน 1 เที่ยวของรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ และ 18 ล้อ คือ 8 ตัน และ 22 ตัน ตามลำดับ

7. จำนวนรถของทุกบริษัทมีจำนวนไม่จำกัด

8. สัดส่วนน้ำหนักคอยล์รวมต่อเดือนของการขนส่งด้วยบริษัทโลจิสติกส์ A, B และ C เท่ากับ 70 : 20 : 10 (โดยประมาณ)

9. การจัดตารางการขนส่งรายวัน ไม่จำเป็นต้องมีสัดส่วนน้ำหนักการขนส่งด้วยบริษัทโลจิสติกส์ A, B และ C เท่ากับ 70 : 20 : 10

การแก้ปัญหาการจัดตารางการขนส่ง มีจุดประสงค์หลักเพื่อลดต้นทุนการขนส่งประจำเดือน แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming; MILP) เป็นตัวแบบที่สร้างขึ้นสำหรับกำหนดว่าปริมาณการขนส่งประจำวันของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย (ตัน) บนรถขนส่งขนาด 18 ล้อแต่ละคัน และปริมาณการขนส่งประจำวันด้วยรถขนาด 10 ล้อแต่ละคัน ไปยังลูกค้าตามแผนการส่งมอบผลิตภัณฑ์ประจำวัน เพื่อให้ต้นทุนการขนส่งประจำวันต่ำ

ที่สุด ตัวแบบ MILP ที่เสนอได้นำหลักการของกำหนดการเชิงเส้นสำหรับปัญหาการมอบหมายงานและปัญหาการขนส่งร่วมกับการออกแบบตัวแปรไบนารี่ (Binary variable) ที่เข้ามาช่วยในการคำนวณค่าขนส่งที่มีความซับซ้อน รายละเอียดของ MILP ประกอบด้วย 1) เซต และพารามิเตอร์ ที่เป็นข้อมูลนำเข้าและค่าคงที่ต่าง ๆ ของตัวแบบ 2) ตัวแปรตัดสินใจ 3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แสดงสมการสำหรับคำนวณค่าขนส่งคอยล์ประจำวัน และ 4) เงื่อนไขบังคับในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุกแต่ละเที่ยว ด้านขอบเขตน้ำหนักบรรทุกและจำนวนคอยล์ ด้านสัดส่วนการกระจายงานขนส่งสำหรับบริษัทโลจิสติกส์ทั้ง 3 ราย และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ในการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ระบุในสัญญา รายละเอียดดังต่อไปนี้ เซต (Sets) เป็นการกำหนดสัญญลักษณ์สำหรับใช้ในตัวแบบ MILP ประกอบด้วยเซตต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

G = เซตของลูกค้า = $\{1,2,.....,N\}$

P^i = เซตรายการผลิตภัณฑ์ที่ส่งให้ลูกค้าที่ i เมื่อ $i \in G$

เช่น $P^1 = \{1,2,.....,NumOfCoil_1\}$, $P^N = \{1,2,.....,NumOfCoil_N\}$ เป็นต้น

L = เซตของบริษัทโลจิสติกส์ = $\{1,2,3\}$

$T^{i,k}$ = เซตของรถบรรทุก 18 ล้อของบริษัทโลจิสติกส์ k ที่ส่งสินค้าให้ลูกค้า i เมื่อ $k \in L$ และ $i \in G$

เช่น $T^{1,1} = \{1,2,.....,t_{1,1}\}$: $T^{1,2} = \{1,2,.....,t_{1,2}\}$: $T^{1,3} = \{1,2,.....,t_{1,3}\}$

$T^{N,1} = \{1,2,.....,t_{N,1}\}$: $T^{N,2} = \{1,2,.....,t_{N,2}\}$: $T^{N,3} = \{1,2,.....,t_{N,3}\}$

ST^i = เซตของรถบรรทุก 10 ล้อ ที่ส่งสินค้าให้ลูกค้า i เมื่อ $i \in G$

เช่น $ST^1 = \{1,2,.....,St_1\}$, $ST^N = \{1,2,.....,St_N\}$ เป็นต้น

พารามิเตอร์ (Parameters) แสดงสัญญลักษณ์ข้อมูลนำเข้าและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ในตัวแบบ MILP ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

N = จำนวนลูกค้าในรอบการคำนวณ (ราย)

$NumOfCoil_i$ = จำนวนคอยล์ที่ต้องการของลูกค้าที่ i (คอยล์)

w_{ij} = น้ำหนักของคอยล์ที่ j ของลูกค้าที่ i (ตัน)

c_{ik}= ค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 18 ล้อของบริษัทที่ k ไปส่งยังลูกค้าที่ i (บาทต่อตัน)

sc_i = ค่าขนส่งด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ไปส่งยังลูกค้าที่ i (บาทต่อตัน)

t_{ik}= จำนวนเที่ยวการขนส่งสูงสุดด้วยรถบรรทุก 18 ล้อของบริษัทที่ k ไปส่งยังลูกค้าที่ i (เที่ยว)

st_i= จำนวนเที่ยวการขนส่งสูงสุดด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ ไปส่งยังลูกค้าที่ i (เที่ยว)

$pmin_k$ = สัดส่วนต่ำที่สุดของปริมาณการขนส่งที่ต้องการของบริษัทที่ k

$pmax_k$ = สัดส่วนสูงที่สุดของปริมาณการขนส่งที่ต้องการของบริษัทที่ k

$maxCoil$ = จำนวนคอยล์สูงสุดในการขนส่ง 1 เที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อ

$smaxCoil$ = จำนวนคอยล์สูงสุดในการขนส่ง 1 เที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ

$maxLoad$ = น้ำหนักสูงสุดในการขนส่ง 1 เที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อ

$smaxLoad$ = น้ำหนักสูงสุดในการขนส่ง 1 เที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ

$minLoad$ = น้ำหนักต่ำที่สุดสำหรับคำนวณค่าขนส่งต่อเที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อ

$sminLoad$ = น้ำหนักต่ำที่สุดสำหรับคำนวณค่าขนส่งต่อเที่ยวด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ

M และ SM = จำนวนที่มีค่ามาก (กำหนดตามน้ำหนักบรรทุกสูงสุด M = 31 และ SM = 12)

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision variables) เป็นตัวแปรอิสระที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ตัวแปรในการตัดสินใจนี้เป็นตัวแปรที่แสดงผลลัพธ์การจัดตารางการขนส่งประจำวันของตัวแบบ MILP ประกอบด้วยตัวแปรต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$$x_{ijkl} = \begin{cases} 1, \text{ ผลิตภัณฑ์ } j \text{ ถูกส่งไปยังลูกค้า } i \text{ โดยบริษัทขนส่ง } k \text{ ด้วยในเที่ยวการขนส่งที่ } l \\ 0, \text{ อื่น ๆ} \end{cases}$$

$$y_{ijl} = \begin{cases} 1, \text{ ผลิตภัณฑ์ } j \text{ ถูกส่งไปยังลูกค้า } i \text{ ด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อเที่ยวการขนส่งที่ } l \\ 0, \text{ อื่น ๆ} \end{cases}$$

d_{kl} = ส่วนต่างน้ำหนักการขนส่งจากน้ำหนักการบรรทุกต่ำที่สุดด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อของบริษัทที่ k ในเที่ยวการขนส่งที่ l

sd_l = ส่วนต่างน้ำหนักการขนส่งจากน้ำหนักการบรรทุกต่ำที่สุด ในเที่ยวการขนส่งที่ l

$$g_{kl} = \begin{cases} 1, \text{ มีการใช้รถบรรทุกขนาด 18 ล้อของบริษัท } k \text{ ในเที่ยวที่ } l \\ 0, \text{ อื่น ๆ} \end{cases}$$

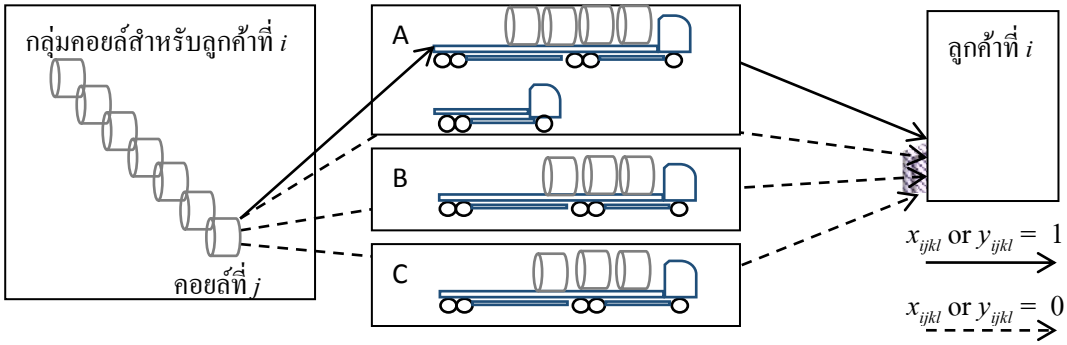
$$sg_l = \begin{cases} 1, \text{ มีการใช้รถบรรทุกขนาด 10 ล้อในเที่ยวที่ } l \\ 0, \text{ อื่น ๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective function) เป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์สำหรับค่าขนส่งคอยล์ประจำวันจากตัวแปรตัดสินใจ x_{ijkl}, y_{ijl}, d_{kl}, และ sd_{kl} ดังแสดงในสมการที่ 4-1 ที่แสดงการคำนวณค่าขนส่งรวม พจน์แรกแสดงการคำนวณผลรวมค่าขนส่งคอยล์จากน้ำหนักจริงที่ขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อ พจน์ที่สองแสดงการคำนวณผลรวมค่าขนส่งคอยล์จากน้ำหนักจริงที่ขนส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ และพจน์ที่ 3 และ 4 แสดงผลรวมการคำนวณค่าขนส่งกรณีที่น้ำหนักการขนส่งไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำของการส่งด้วยรถบรรทุกขนาด 18 ล้อและ 10 ล้อ ตามลำดับ

$$\text{Minimize} \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} c_{ik}w_{ij}x_{ijkl} + \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} sc_i w_{ij} y_{ijl} + \sum_{i\in G}\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} c_{ik}d_{kl} + \sum_{i\in G}\sum_{l\in ST^i} sc_i sd_l \quad (4\text{-}1)$$

เงื่อนไขบังคับด้านการจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุกแต่ละเที่ยวดังแสดงในสมการที่ 4-2 ที่กำหนดให้ คอยล์หนึ่ง ๆ ถูกส่งไปยังลูกค้าด้วยโดยบริษัทโลจิสติกส์หนึ่ง ๆ ที่เที่ยวส่งหนึ่ง ๆ บนรถบรรทุกขนาด 18 ล้อหรือ 10 ล้อ เท่ากับ 1 ครั้ง และคอยล์ทุกคอยล์ต้องถูกจัดส่งบนรถคันใดคันหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้ดังภาพที่ 4-2

$$\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} x_{ijkl} + \sum_{l\in ST^i} y_{ijl} = 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i\in G \text{ และ } j \in P^i \quad (4\text{-}2)$$



ภาพที่ 4-2 เงื่อนไขบังคับด้านการจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุก

เงื่อนไขบังคับด้านขอบเขตน้ำหนักบรรทุกในการขนส่งแต่ละเที่ยวสำหรับรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ ดังแสดงในอสมการที่ 4-3 และ 4-4 ตามลำดับ เป็นการกำหนดให้การขนส่งทุกเที่ยวด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ เที่ยวหนึ่ง ๆ ต้องมีน้ำหนักคอยล์ทุกคอยล์รวมกันแล้วไม่เกิน *maxLoad* (31 ตัน) และ s*maxLoad* (12 ตัน) ตามลำดับ และเงื่อนไขบังคับด้านขอบเขตจำนวนคอยล์ในการขนส่งแต่ละเที่ยวสำหรับรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ ดังแสดงในอสมการที่ 4-5 และ 4-6 ตามลำดับ เป็นการกำหนดให้การขนส่งทุกเที่ยวด้วยรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อ เที่ยวหนึ่ง ๆ บรรทุกคอยล์ได้ไม่เกิน *maxCoil* (5 คอยล์) และ s*maxCoil* (3 คอยล์) ตามลำดับ

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl} \le maxLoad \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,k} \quad (4\text{-}3)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl} \le smaxLoad \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in ST^i \tag{4-4}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} x_{ijkl} \le maxCoil \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,k} \tag{4-5}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} y_{ijl} \le smaxCoil \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in ST^i \tag{4-6}$$

เงื่อนไขบังคับด้านสัดส่วนการกระจายงานขนส่งสำหรับบริษัทโลจิสติกส์ทั้ง 3 ราย ดังแสดงในอสมการที่ 4-7 ถึง 4-10 อสมการที่ 4-7 และ 4-8 เป็นการกำหนดให้สัดส่วนน้ำหนักรวมของการขนส่งโดยบริษัทโลจิสติกส์ A ที่มีรถบรรทุก 18 ล้อและ 10 ล้อ มีค่าอยู่ระหว่างสัดส่วนต่ำสุดและสูงสุดที่กำหนด ส่วนอสมการที่ 4-9 และ 4-10 เป็นการกำหนดให้สัดส่วนน้ำหนักรวมของการขนส่งโดยบริษัทโลจิสติกส์ที่ B และ C ที่มีเฉพาะรถบรรทุก 18 ล้อ มีค่าอยู่ระหว่างสัดส่วนต่ำสุดและสูงสุดที่กำหนด

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ij1l} + \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} w_{ij}y_{ijl} - pmin_1\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij} \ge 0 \tag{4-7}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ij1l} + \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} w_{ij}y_{ijl} - pmax_1\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij} \le 0 \tag{4-8}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ijkl} - pmin_k\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij} \ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k = 2, 3 \tag{4-9}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ijkl} - pmax_k\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij} \le 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k = 2, 3 \tag{4-10}$$

เงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ในการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ระบุในสัญญาใช้สำหรับหาค่าน้ำหนักส่วนต่างจากน้ำหนักต่ำที่สุดในการคำนวณค่าขนส่งของรถบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ (เป็นการหาค่าตัวแปรตัดสินใจ d_{kl}, และ sd_{kl}) ชุดอสมการที่ 4-11, 4-12 และ 4-13 ใช้สำหรับหาค่าตัวแปรตัดสินใจ d_{kl} ที่แสดงน้ำหนักส่วนต่างที่ต่ำกว่า *minLoad* (22 ตัน) ของรถบรรทุก 18 ล้อ ส่วนชุดอสมการที่ 4-14, 4-15 และ 4-16 ใช้สำหรับหาค่าตัวแปรตัดสินใจ sd_{kl} ที่แสดงน้ำหนักส่วนต่างที่ต่ำกว่า s*minLoad* (8 ตัน) ของรถบรรทุก 10 ล้อ

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl} \le \mathrm{M}g_{kl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,k} \tag{4-11}$$

$$d_{kl} \ge g_{kl}minLoad - \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,k} \tag{4-12}$$

$$d_{kl} \ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,k} \tag{4-13}$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl} \le \mathrm{M}sg_l \quad \text{สำหรับทุกค่า } l \in ST^i \tag{4-14}$$

$$sd_l \ge sg_l sminLoad - \sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } l \in ST^i \tag{4-15}$$

$$sd_l \ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } l \in ST^i \tag{4-16}$$

เมื่อมีการขนส่งเที่ยวที่ l ด้วยบริษัทโลจิสติกส์ k (x_{ijkl} = 1, ที่ k และ l ที่สนใจ) และเมื่อรวมการขนส่งทุกคอยล์ที่ j ของลูกค้ารายที่ i ในการขนส่งเที่ยวนี้จะทำให้คำนวณน้ำหนักขนส่งได้จากสูตรด้านซ้ายมือ (Left hand side, LHS) ของอสมการที่ 4-11 หากกำหนดให้ค่าคงที่ M เป็นค่าที่มากเมื่อเทียบกับน้ำหนักขนส่งรวมของรถบรรทุกเที่ยวหนึ่ง ๆ จะทำให้อสมการที่ 4-11 บังคับให้ตัวแปรช่วย g_{kl} เท่ากับ 1 จากนั้นอสมการที่ 4-12 คำนวณส่วนต่างน้ำหนักบรรทุกที่น้อยกว่าน้ำหนักต่ำที่สุด (*minLoad*) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่ง หากน้ำหนักรวมของการขนส่งเที่ยวหนึ่ง ๆ มากกว่าน้ำหนักต่ำที่สุดจะทำให้ด้านขวามือ (Right hand side, RHS) ของอสมการที่ (4-12) มีค่าติดลบ (d_{kl} มีค่าติดลบ) ซึ่งเป็นค่าที่ไม่ต้องการให้นำไปคำนวณในฟังก์ชั่นเป้าหมาย (สมการที่ 4-1) จึงต้องใช้อสมการที่ 4-13 เป็นตัวกำหนดให้ d_{kl} มีค่าไม่ติดลบ (ซึ่งการประมวลผลหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดจะเลือกค่า d_{kl} ให้เป็นศูนย์ เพื่อการไม่เพิ่มค่าฟังก์ชั่นจุดประสงค์) กรณีที่ไม่มีการขนส่งเที่ยวที่ l ด้วยบริษัทโลจิสติกส์ k อสมการที่ 4-11 จะยอมให้ตัวแปรช่วย g_{kl} เท่ากับ 0 และการประมวลผลจากอสมการที่ 4-12 และ 4-13 จะทำให้ d_{kl} เท่ากับศูนย์เพื่อการไม่เพิ่มค่าฟังก์ชั่นจุดประสงค์ กรณีนี้เมื่อพิจารณาอสมการที่ 4-11 ค่าตัวแปรช่วย g_{kl} อาจเท่ากับ 1 ได้ ซึ่งจะทำให้การประมวลผลจากอสมการที่ 4-12 และ 4-13 จะได้ d_{kl} เท่ากับ *minLoad* (22 ตัน) ซึ่งส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังนั้นการประมวลผลจึงเลือกให้ตัวแปรช่วย g_{kl} เท่ากับ 0 ตั้งแต่ต้น

การกำหนดค่าน้ำหนักส่วนต่างที่ต่ำกว่าน้ำหนักต่ำที่สุดที่ใช้ในการคำนวณค่าขนส่งของรถบรรทุกขนาด 10 ล้อ (ค่าตัวแปรตัดสินใจ sd_l) จากชุดอสมการที่ 4-14, 4-15 และ 4-16 สามารถอธิบายได้ในลักษณะเดียวกับการทำงานของจากชุดอสมการที่ 4-11, 4-12 และ 4-13

เงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินใจดังแสดงในสมการที่ 4-17 ถึง 4-20 เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ijkl}, y_{ijl}, g_{kl}, และ sg_l ตามลำดับ เป็นการกำหนดให้ทุกตัวแปรมีลักษณะเป็นตัวแปรแบบไบนารี ส่วนตัวแปรตัดสินใจ d_{kl}, และ sd_l ที่เป็นตัวแปรแบบจำนวนจริงที่ไม่ติดลบถูกกำหนดไว้ในอสมการที่ 4-13 และ 4-16 แล้ว

$$x_{ijkl} \in \{0,1\} \text{ สำหรับทุกค่า } i \in G, j \in P^i, k \in L \text{ และ } l \in T^{i,l} \quad (4\text{-}17)$$

$$y_{ijl} \in \{0,1\} \text{ สำหรับทุกค่า } i \in G, j \in P^i \text{ และ } l \in ST^i \quad (4\text{-}18)$$

$$g_{kl} \in \{0,1\} \text{ สำหรับทุกค่า } k \in L \text{ และ } l \in T^{i,l} \quad (4\text{-}19)$$

$$Sg_l \in \{0,1\} \text{ สำหรับทุกค่า } l \in ST^i \quad (4\text{-}20)$$

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมที่ใช้สำหรับจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันของบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กแผ่นม้วนชุบสังกะสีแห่งหนึ่ง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-3

Objective function: Minimize $\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} c_{ik}w_{ij}x_{ijkl}$

$$+\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} sc_i w_{ij}y_{ijl}+\sum_{i\in G}\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} c_{ik}d_{kl}+\sum_{i\in G}\sum_{l\in ST^i} sc_i sd_l \quad (4\text{-}1)$$

Subject to:

$$\sum_{k\in L}\sum_{l\in T^{i,k}} x_{ijkl}+\sum_{l\in ST^i} y_{ijl}=1 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i\in G \text{ และ } j\in P^i \quad (4\text{-}2)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl}\le maxLoad \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in T^{i,k} \quad (4\text{-}3)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl}\le smaxLoad \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in ST^i \quad (4\text{-}4)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} x_{ijkl}\le maxCoil \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in T^{i,k} \quad (4\text{-}5)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} y_{ijl}\le smaxCoil \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in ST^i \quad (4\text{-}6)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ij1l}+\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} w_{ij}y_{ijl}-pmin_1\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}\ge 0 \quad (4\text{-}7)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ij1l}+\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in ST^i} w_{ij}y_{ijl}-pmax_1\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}\le 0 \quad (4\text{-}8)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ijkl}-pmin_k\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}\ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k=2,3 \quad (4\text{-}9)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i}\sum_{l\in T^{i,k}} w_{ij}x_{ijkl}-pmax_k\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}\le 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k=2,3 \quad (4\text{-}10)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl}\le \mathrm{M}g_{kl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in T^{i,k} \quad (4\text{-}11)$$

$$d_{kl}\ge g_{kl}minLoad-\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}x_{ijkl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in T^{i,k} \quad (4\text{-}12)$$

$$d_{kl}\ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } k\in L \text{ และ } l\in T^{i,k} \quad (4\text{-}13)$$

$$\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl}\le \mathrm{M}sg_l \quad \text{สำหรับทุกค่า } l\in ST^i \quad (4\text{-}14)$$

$$sd_l\ge sg_l sminLoad-\sum_{i\in G}\sum_{j\in P^i} w_{ij}y_{ijl} \quad \text{สำหรับทุกค่า } l\in ST^i \quad (4\text{-}15)$$

$$sd_l\ge 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } l\in ST^i \quad (4\text{-}16)$$

$$x_{ijkl}, y_{ijl}, g_{kl}Sg_l \in \{0,1\} \quad (4\text{-}17) \text{ ถึง } (4\text{-}20)$$

ภาพที่ 4-3 แบบจำลอง MILP สำหรับการจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวัน

การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP

งานวิจัยนี้เลือกใช้โอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่จำกัดจำนวนตัวแปรในการตัดสินใจ ปัจจุบันซอฟต์แวร์สำหรับจำลองตัวแบบลงในคอมพิวเตอร์และหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภาคธุรกิจ (Commercial software) เช่น AMPL, GAMS, MPL, LINGO/LINDO, CPLEX เป็นต้น มีราคาแพงมากกว่าการใช้ในงานด้านวิชาการและวิจัยหลายเท่าตัว และซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ไม่ต้องเขียนภาษาจำลองตัวแบบ เช่น Excel solver, Premium solver, AIMMS เป็นต้น ก็เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการจำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่าย หากต้องการใช้งานสำหรับปัญหาที่ไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่ายในภาคธุรกิจ จะเป็นซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพงมากเช่นกัน ทำให้มีผู้พัฒนาโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ง่ายโดยการออกแบบให้ทำงานได้บนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ในปัจจุบันมีสองโปรแกรมที่นิยมใช้และถูกพัฒนาประสิทธิภาพการคำนวณอย่างต่อเนื่อง คือ โปรแกรม OpenSolver (Mason, 2012) เกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 และพัฒนาครั้งล่าสุดเดือนมีนาคม พ.ศ. 2560 และโปรแกรม SolverStudio (Mason, 2013) เกิดขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 และพัฒนาครั้งล่าสุดเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2559 งานวิจัยนี้เลือกใช้งานของโปรแกรม OpenSolver ที่มีลักษณะการทำงานเหมือนซอฟท์แวร์ Solver ที่เป็นเครื่องมือด้านการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่ายจำกัดในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล เนื่องจากผู้วิจัยต้องการใช้ซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล และมีพื้นฐานการออกแบบแผ่นงาน (Worksheets) และการหาผลลัพธ์ของซอฟท์แวร์ Solver

รายละเอียดในการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP ที่เสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบที่บันทึกตัวแบบ MILP ที่เสนอให้พร้อมใช้ในการจัดตารางการขนส่งประจำวัน 2) การบันทึกข้อมูลนำเข้าสำหรับจัดตารางการขนส่งรายวันลงบนไฟล์ต้นแบบและการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม และ 3) การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการขนส่งที่พร้อมสำหรับใช้งาน

การออกแบบไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ

ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบประกอบด้วยแผ่นงาน (Worksheets) ทั้งสิ้น 4 แผ่นงาน ดังนี้

1. แผ่นงาน Shipping cost เป็นข้อมูลของราคาค่าขนส่งจำแนกออกตามบริษัทขนส่ง

A, B และ C ค่าขนส่งของแต่ละบริษัทถูกกำหนดตามสัญญาที่ทำไว้กับผู้ผลิตคอยล์ โดยแต่ละบริษัทขนส่งกำหนดค่าขนส่งต่อตันอย่างเป็นอิสระต่อกัน ค่าขนส่งนี้แปรผันตามระยะทางแบบขั้นบันได ครั้งละ 10 กิโลเมตร โดยวัดจากระยะเดินทางจากบริษัทผู้ผลิตคอยล์ไปยังลูกค้าแต่ละราย และค่าขนส่งของบริษัทขนส่ง A ถูกแยกออกตามประเภทรถบรรทุก 2 ประเภท คือ 10 ล้อ และ 18 ล้อ ดังภาพที่ 4-4

กิโลเมตร	สถานที่ส่ง	18 ล้อ A โลจิสติกส์ 70% (Baht/Ton)	18 ล้อ B โลจิสติกส์ 20% (Baht/Ton)	18 ล้อ C โลจิสติกส์ 10% (Baht/Ton)	10 ล้อ A โลจิสติกส์ 100% (Baht/Ton)
10	A1	129	151	160	258
10	A2	129	151	160	258
10	A3	129	151	160	258
20	B1	136	147	171	251
30	C1	155	166	191	311
30	C2	155	166	191	311

ภาพที่ 4-4 แผ่นงาน Shipping cost

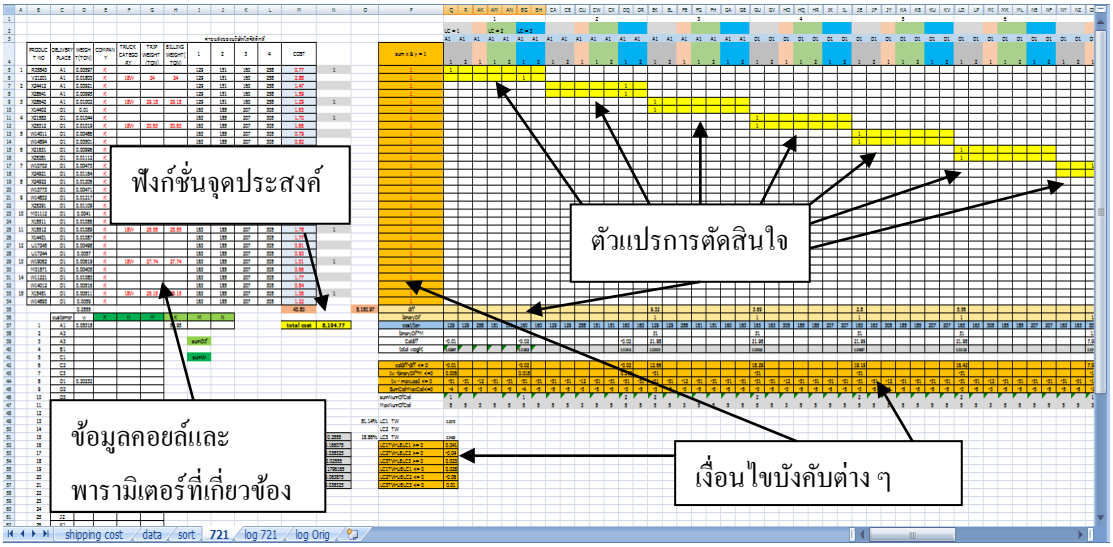
2. แผ่นงานข้อมูลคอยล์เรียงตามสดมภ์ (Column) ตั้งแต่สถานที่จัดส่ง A ถึง O เป็นข้อมูลของวันที่จัดส่ง หมายเลขคอยล์ สถานที่ส่ง ความหนา หน้ากว้าง และน้ำหนัก ตามลำดับ ส่วนข้อมูลเรียงตามแถว (Row) เป็นข้อมูลของคอยล์แต่ละลูก ดังแสดงดังภาพที่ 4-5

ที่	FROM DELIVERY DATE	PRODUCT NO	DELIVERY PLACE	THICKNESS (MM)	WIDTH (MM)	WEIGHT(TON)
1	2016/12/12	X22231	F2	0.7	1520	8.33
2	2016/12/12	Y20681	F2	0.7	1455	13.73
3	2016/12/12	Y20762	F2	0.7	1455	7.54
4	2016/12/12	Y16931	F2	1.2	1065.3	11.46
5	2016/12/12	Y17361	F2	0.8	1200.3	11.79
6	2016/12/12	Y20471	F2	0.75	1430	6.73
7	2016/12/12	Y16541	F2	0.8	1250	11.39
8	2016/12/12	Y16542	F2	0.8	1250	11.66
9	2016/12/12	Y16602	F2	0.9	985.3	6.73
10	2016/12/12	Y16632	F2	0.9	985.3	10.48
11	2016/12/12	Y18242	F2	1.2	1460.3	11.05
12	2016/12/12	Y20473	F2	0.75	1430	8.41

ภาพที่ 4-5 แผ่นงาน Sort

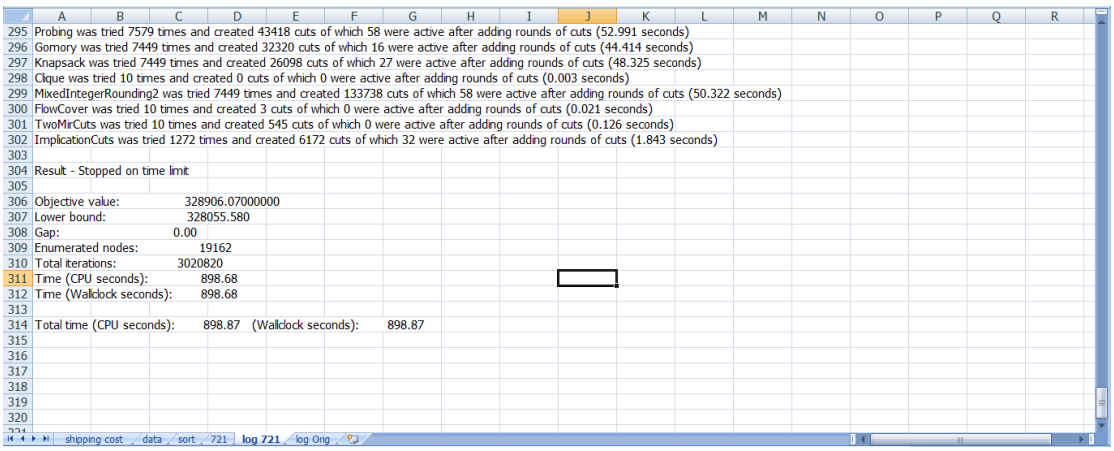
3. แผ่นงานการจัดตารางการขนส่งเพื่อหาผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งถูกสร้างเป็นตัวแบบ (Spreadsheet model) จากตัวแบบ MILP ที่นำเสนอและเชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าของตัวแบบที่เป็นค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ต่าง ๆ ของแผ่นงาน Sort และแผ่นงาน Shipping cost

การเขียนสูตรในเซลล์เพื่อแสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ตามตัวแบบ MILP กำหนดการเชื่อมโยงในส่วนของข้อมูลคอยล์พร้อมกับพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องจากแผ่นงาน Sort จากนั้นเริ่มเขียนสูตรเชื่อมโยงค่าขนส่งจากแผ่นงาน Shipping cost จากนั้นจึงเขียนสูตรด้านซ้ายมือและขวามือของเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ลงบนเซลล์ในตำแหน่งที่สามารถคำนวณได้ง่ายโดยพิจารณาจากตำแหน่งของตัวแปรตัดสินใจ ตัวอย่างแผ่นงานนี้แสดงได้ดังภาพที่ 4-6



ภาพที่ 4-6 แผ่นงาน 721: การหาผลลัพธ์ที่สัดส่วนการขนส่งบริษัท A, B และ C เท่ากับ 70 : 20 : 10

4. แผ่นงานการรายงานผลลัพธ์ของ OpenSolver ดังตัวอย่างในภาพที่ 4-7 เป็นแผ่นงานที่แสดงรายละเอียดการประมวลผลตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งประมวลผลเสร็จที่มีการสรุปผลสำคัญ คือ ค่าฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่แสดงค่าใช้จ่ายการขนส่งหลังการจัดตารางขนส่งด้วยตัวแบบ MILP และแสดงให้เห็นค่าขอบเขตต่ำที่สุดของผลลัพธ์ (Lower bound) ที่เป็นค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่สุดที่ต้องเสียในการส่งคอยล์ให้ลูกค้า

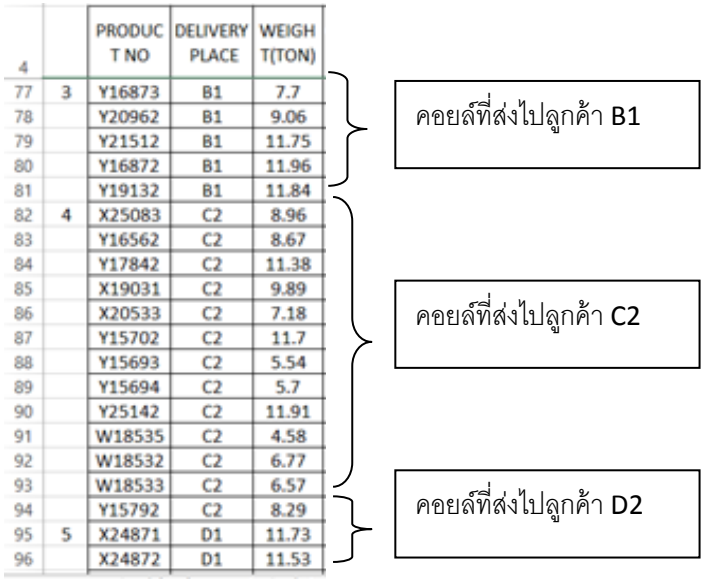


	A
295	Probing was tried 7579 times and created 43418 cuts of which 58 were active after adding rounds of cuts (52.991 seconds)
296	Gomory was tried 7449 times and created 32320 cuts of which 16 were active after adding rounds of cuts (44.414 seconds)
297	Knapsack was tried 7449 times and created 26098 cuts of which 27 were active after adding rounds of cuts (48.325 seconds)
298	Clique was tried 10 times and created 0 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.003 seconds)
299	MixedIntegerRounding2 was tried 7449 times and created 133738 cuts of which 58 were active after adding rounds of cuts (50.322 seconds)
300	FlowCover was tried 10 times and created 3 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.021 seconds)
301	TwoMirCuts was tried 10 times and created 545 cuts of which 0 were active after adding rounds of cuts (0.126 seconds)
302	ImplicationCuts was tried 1272 times and created 6172 cuts of which 32 were active after adding rounds of cuts (1.843 seconds)
303	
304	Result - Stopped on time limit
305	
306	Objective value: 328906.07000000
307	Lower bound: 328055.580
308	Gap: 0.00
309	Enumerated nodes: 19162
310	Total iterations: 3020820
311	Time (CPU seconds): 898.68
312	Time (Wallclock seconds): 898.68
313	
314	Total time (CPU seconds): 898.87 (Wallclock seconds): 898.87
315	
316	
317	
318	
319	
320	

ภาพที่ 4-7 แผ่นงาน Log 721

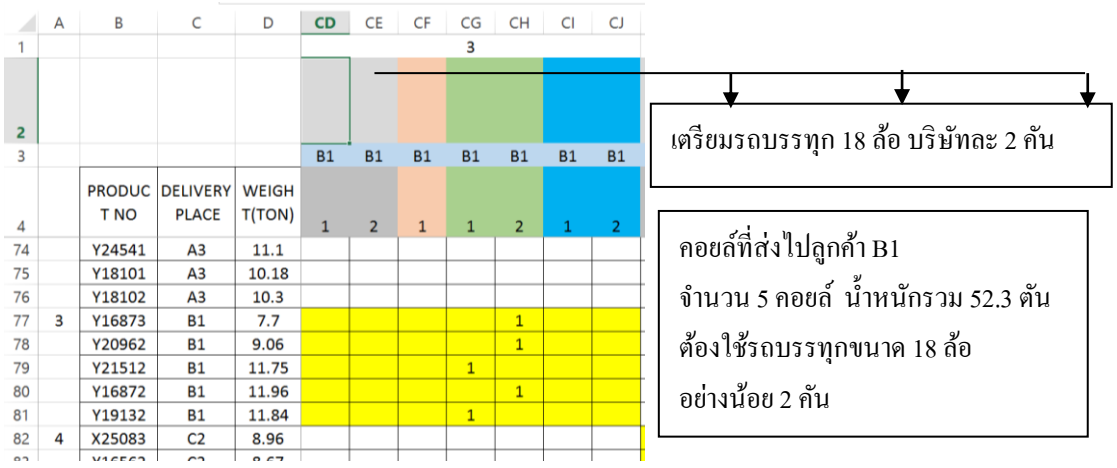
การบันทึกข้อมูลนำเข้าและการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม

ข้อมูลนำเข้าของตัวแบบที่ทำการบันทึกประจำวันลงในแผ่นงานข้อมูลคอยล์ก่อนทำการประมวลผลสร้างตารางการขนส่งประกอบไปด้วยวันที่จัดส่ง หมายเลขคอยล์ สถานที่ส่ง ความหนา หน้ากว้าง และน้ำหนักคอยล์ จากนั้นผู้ใช้งานจะทำการจัดเรียงคอยล์ที่จะส่งมอบตามลำดับลูกค้า ขั้นตอนถัดมา คือ การเตรียมแผ่นงานสำหรับจัดตารางการขนส่ง (แผ่นงาน 721) ให้พร้อมสำหรับการประมวลผล โดยมีส่วนที่ต้องเตรียม 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เตรียมแถวในแผ่นงานนี้ในส่วนแสดงข้อมูลคอยล์ให้เพียงพอต่อจำนวนคอยล์ที่ต้องส่งในวันนั้น การเพิ่มแถวในแผ่นงานจะต้องเพิ่มแถวในช่วงคอยล์ที่ถูกส่งไปยังลูกค้ารายเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 4-8



ภาพที่ 4-8 ตัวอย่างการจัดกลุ่มคอยล์บนแผ่นงานสำหรับประมวลผล

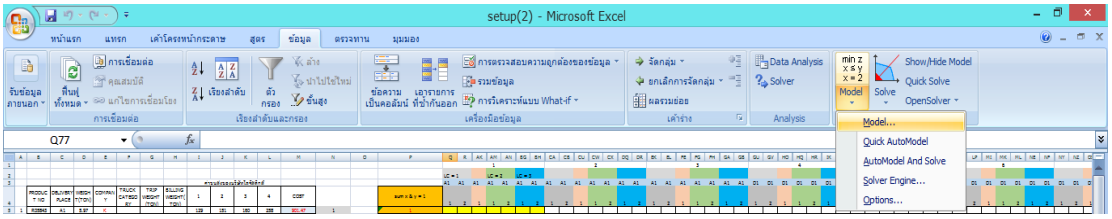
ส่วนที่ 2 เตรียมคอลัมน์ในส่วนจำนวนรถบรรทุกแต่ละเภทของทุกบริษัทให้เพียงพอต่อการขนส่งแยกตามจำนวนคอยล์และน้ำหนักคอยล์ที่ถูกสั่งโดยลูกค้ารายหนึ่ง ๆ ดังภาพที่ 4-9 แสดงตัวอย่างการเตรียมรถบรรทุกขนาด 18 ล้อบริษัทละ 2 คัน สำหรับเป็นทางเลือกในการส่งคอยล์ไปยังลูกค้า B1 ที่มีการสั่งซื้อจำนวน 5 คอยล์และมีน้ำหนักรวม 52.3 ตัน



ภาพที่ 4-9 ตัวอย่างการเตรียมรถบรรทุกขนาด 18 ล้อสำหรับลูกค้า B1

เมื่อเตรียมแถวและคอลัมภ์เพียงพอแล้วจึงดึงข้อมูลที่สำคัญ คือ หมายเลขคอยล์ สถานที่ส่ง และน้ำหนักคอยล์ลงในเซลล์ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นกำหนดสัดส่วนการขนส่งของบริษัทขนส่งทั้งสามงานวิจัยนี้กำหนดให้สัดส่วนการขนส่งรายวันคงที่เท่ากับร้อยละ 70, 20 และ 10 สำหรับบริษัทขนส่ง A, B และ C ตามลำดับ ในการกำหนดสัดส่วนเหล่านี้สำหรับการประมวลผล ต้องกำหนดสัดส่วนแบบเป็นช่วงเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลสามารถหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ จากพิจารณาโครงสร้างราคาขนส่งแล้วพบว่า บริษัท A มีค่าขนส่งที่ถูกที่สุดจึงกำหนดสัดส่วนสูงสุดไม่เกินร้อยละ 70.30 และบริษัท C มีค่าขนส่งที่แพงที่สุดจึงกำหนดสัดส่วนต่ำที่สุดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10.00 หลังจากบันทึกข้อมูลนำเข้าครบถ้วนแล้วในแผ่นงานสำหรับประมวลผล ขั้นตอนถัดไปเป็นการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วย OpenSolver โดยมีขั้นตอนในการใช้โปรแกรมมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือก Model เพื่อเชื่อมโยงเซลล์ต่าง ๆ ใน Spread sheet model ลงในซอฟต์แวร์ OpenSolver ดังภาพที่ 4-10



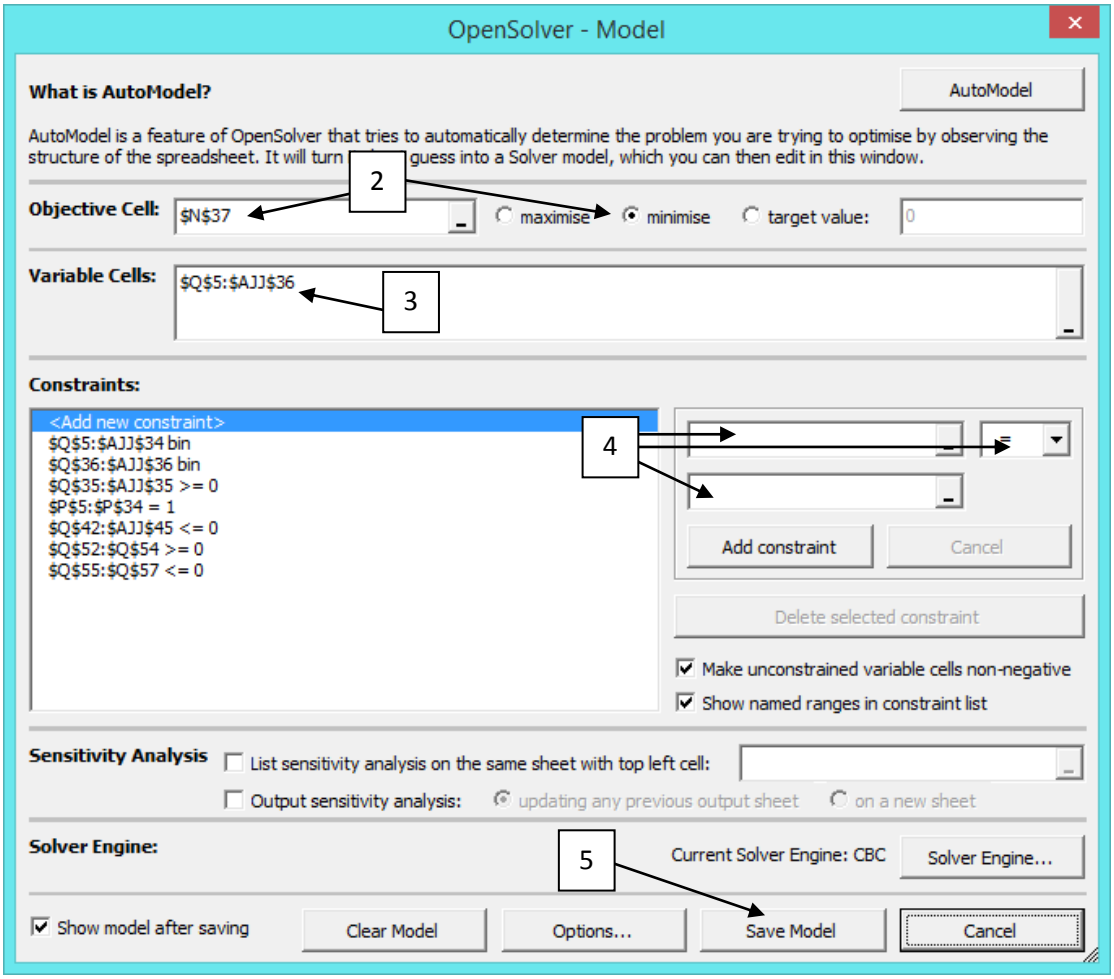
ภาพที่ 4-10 เลือก Model เพื่อเชื่อมโยง

ขั้นตอนที่ 2 ใส่เซลล์ที่แสดงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ลงในช่อง Objective cell และเลือก Minimize ดังภาพที่ 4-11

ขั้นตอนที่ 3 ใส่เซลล์ที่แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจโดยช่วงเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวจะถูกคั่นด้วยเครื่องหมายคอมมา (Comma, “,”) ดังภาพที่ 4-11

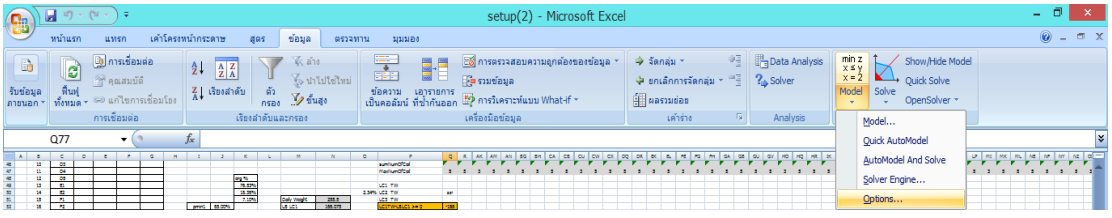
ขั้นตอนที่ 4 ใส่เงื่อนไขบังคับ (Constraint) ครั้งละ 1 สมการ ดังภาพที่ 4-11

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อใส่เซลล์ความสัมพันธ์ตาม MILP ที่เสนอเสร็จแล้วให้เลือก “Save model” ดังภาพที่ 4-11



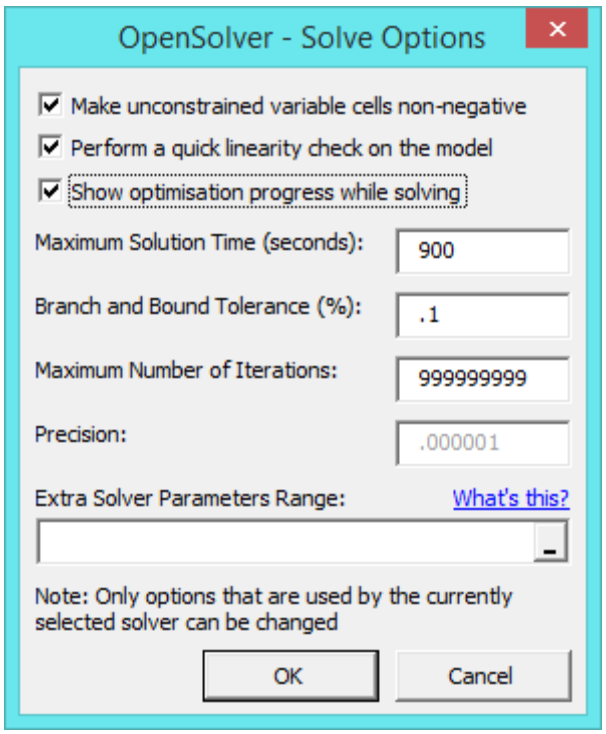
ภาพที่ 4-11 การบันทึกตัวแบบใน OpenSolver

ขั้นตอนที่ 6 ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่เสนอเป็นตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นผสม (Mixed integer linear programming) ดังนั้นก่อนการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ใน OpenSolver โดยไปที่ฟังก์ชั่น “Model” แล้วเลือก “Option” ดังภาพที่ 4-12



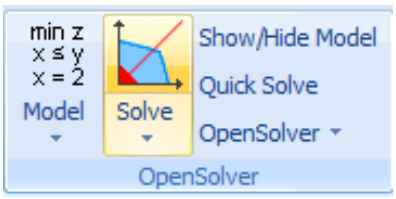
ภาพที่ 4-12 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

ขั้นตอนที่ 7 กำหนดค่า “Branch and Bound tolerance” ที่ 0.1% และ Maximum solution time (Seconds) ที่ 900 วินาที สำหรับงานวิจัยนี้ ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 การกำหนดค่า Branch and Bound tolerance และ Maximum solution time

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อต้องการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมให้ไปที่ฟังก์ชั่น Solver ดังภาพที่ 4-14



ภาพที่ 4-14 ฟังก์ชั่น Solve

การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการขนส่ง

เมื่อ OpenSolver ทำการหาผลลัพธ์ที่สมบูรณ์แล้วจะแสดงค่าตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ โดยการแปลงผลลัพธ์ให้เป็นตารางการขนส่งนี้จะอ่านค่า i ที่ x_{ijkl} และ y_{ijl} ที่เท่ากับ 1 ที่ค่าคงที่ j, k, l หนึ่ง ๆ เป็นการแสดงถึงกลุ่มคอยล์ (กลุ่มคอยล์ที่ i) ที่จัดส่งไปยังลูกค้ารายหนึ่ง ๆ (ลูกค้ารายที่ j) บนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน (เที่ยวที่ l) ของบริษัทขนส่งหนึ่ง ๆ (บริษัทขนส่ง k) โดยค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ijkl} และ y_{ijl} เป็นตัวแปรตัดสินใจสำหรับรถบรรทุก 18 ล้อ และ 10 ล้อตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 4-15 แสดงผลลัพธ์บางส่วนหลังการประมวลผลด้วย OpenSolver พบว่าคอยล์ที่ต้องส่งไปยังลูกค้า D3 ($j = 4$) มีทั้งสิ้น 19 คอยล์ ($i = 21,\ldots,39$) เมื่อพิจารณาที่รถคันที่ 1 ของบริษัทขนส่ง A ($k = 1$) จะเป็นรถคันที่ส่งคอยล์ที่ 23, 28 และ 30 ในการส่งสินค้า ($x_{23,4,1,1} = 1$, $x_{28,4,1,1} = 1$และ $x_{30,4,1,1} = 1$)

				บริษัทขนส่ง A : k =1								บริษัทขนส่ง B: k=2							บริษัทขนส่ง C: k =3							
				D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D5
	PRODUCT NO	DELIVERY PLACE	WEIGHT(TON)	1	2	3	4	5	6	7	1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	<= l
i	Y16903	D1	9.45																							
21	K15472	D3	7.17							1																
22	Y17812	D3: j = 4	7.12									1														
23	Y17813	D3	7.17	1																						
24	Y20592	D3	8.66															1								
25	X29943	D3	5.53							1																
26	Y21982	D3	11.74															1								
27	Y27511	D3	11.88											1												
28	Y16403	D3	6.06	1																						
29	Y23321	D3	11.19									1														
30	Y23322	D3	11.09	1																						
31	Y15562	D3	10.47											1												
32	Y18511	D3	6.17											1												
33	Y23311	D3	10.32									1														
34	Y16401	D3	6.8							1																
35	Y24921	D3	9.83															1								
36	Y25732	D3	10.29			1																				
37	L02361	D3	9.08			1																				
38	Y23312	D3	9.45			1																				
39	Y26222	D3	9.27							1																

ภาพที่ 4-15 ผลลัพธ์บางส่วนหลังการประมวลผลด้วย OpenSolver

การทดสอบประสิทธิภาพของ MILP

การทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบ MILP ที่เสนอทำโดยการเปรียบเทียบผลการจัดตารางขนส่งด้วยตัวแบบ MILP โดยใช้ข้อมูลการขนส่งในปี พ.ศ. 2559 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการขนส่ง การลดเวลาในการจัดตาราง และความเป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาด้านสัดส่วนน้ำหนักขนส่งต่อเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วยข้อมูลปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ ค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลตัวแบบ MILP ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และผลการทดสอบ ดังต่อไปนี้

1. ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ ปัญหาสำหรับทดสอบเป็นข้อมูลการขนส่งรายวันในช่วงเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 รวมทั้งสิ้น 59 วัน จำนวนลูกค้าเฉลี่ยวันละ 11 ราย จำนวนคอยล์ที่ส่งมอบเฉลี่ยวันละ 153 คอยล์ และน้ำหนักคอยล์รวมเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,353 ตัน สรุปลักษณะปัญหาตามจำนวนลูกค้า จำนวนคอยล์ และน้ำหนักที่ส่งมอบในแต่ละวัน ได้ดังตารางที่ 4-1 ถึง 4-3 ส่วนรายละเอียดตัวอย่างข้อมูลการขนส่งรายวันที่เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับจัดตารางการขนส่งแสดงในภาคผนวก ก-1

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนตุลาคม

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
3/10/2016	9	134	1,266.83
4/10/2016	14	171	1,622.85
5/10/2016	11	195	1,593.55
6/10/2016	13	174	1,480.96
7/10/2016	7	128	931.27
10/10/2016	8	131	1,008.05
11/10/2016	13	189	1,766.75
12/10/2016	10	168	1,310.8
13/10/2016	11	192	1,665.02
14/10/2016	11	114	1,063.70
17/10/2016	9	120	874.25
18/10/2016	12	116	801.10
19/10/2016	10	101	981.84
20/10/2016	13	217	1,837.14
21/10/2016	10	142	1,222.07
25/10/2016	12	147	1,409.27
26/10/2016	10	125	1,204.42
27/10/2016	10	91	669.73

ตารางที่ 4-1 (ต่อ)

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
28/10/2016	10	71	675.05
31/10/2016	3	16	129.62
รวม		2,742	23,514.27

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนพฤศจิกายน

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
1/11/2016	15	161	1,412.09
2/11/2016	14	167	1,352.06
3/11/2016	15	203	1,746.79
4/11/2016	12	212	2,123.19
7/11/2016	11	87	1,403.59
8/11/2016	13	134	1,191.82
9/11/2016	7	181	1,453.50
10/11/2016	10	178	1,492.40
11/11/2016	3	19	150.32
14/11/2016	16	172	1,449.30
15/11/2016	15	166	1,369.73
16/11/2016	11	135	1,072.07
17/11/2016	13	224	1,997.70
18/11/2016	12	211	1,899.61
21/11/2016	17	127	1,225.05
22/11/2016	11	96	934.01
23/11/2016	12	116	1,079.67

ตารางที่ 4-2 (ต่อ)

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
24/11/2016	11	158	1,535.47
25/11/2016	13	140	1,377.21
28/11/2016	10	167	1,494.33
29/11/2016	10	107	813.79
30/11/2016	4	65	645.34
รวม		3,226	29,219.04

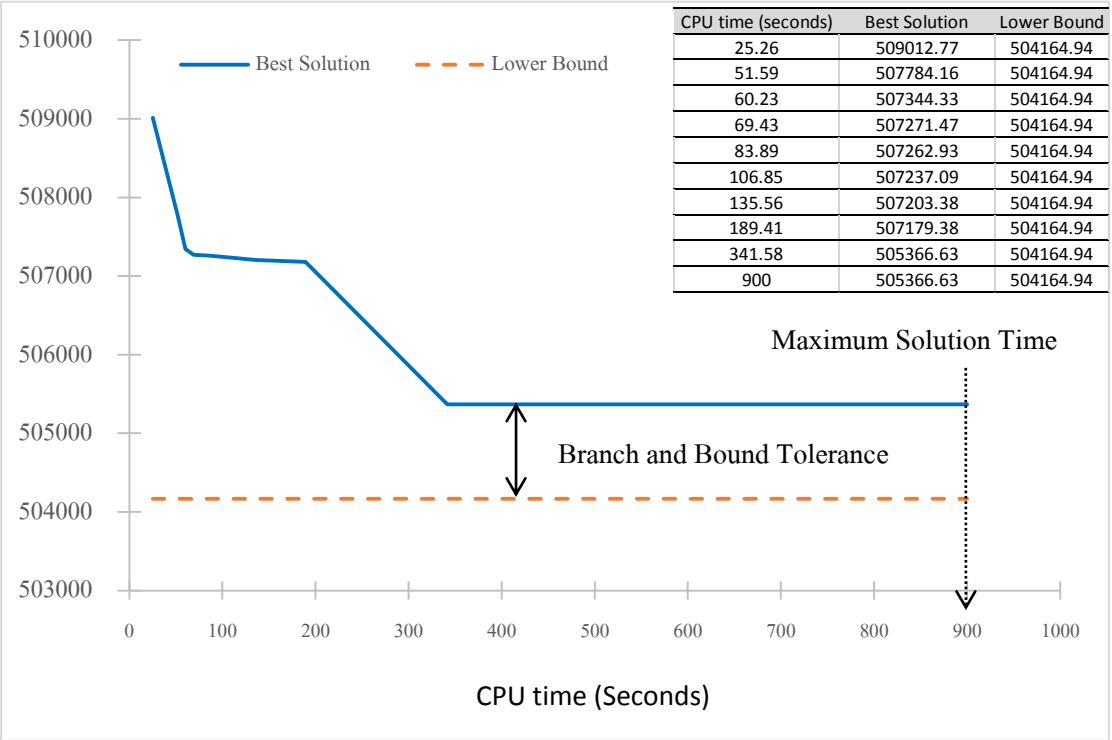
ตารางที่ 4-3 ข้อมูลการขนส่งประจำเดือนธันวาคม

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
1/12/2016	15	276	2,376.85
2/12/2016	14	209	1,787.97
6/12/2016	11	209	1,688.18
7/12/2016	9	178	1438.12
8/12/2016	9	150	1391.80
9/12/2016	13	262	2,430.99
12/12/2016	3	63	598.31
13/12/2016	14	232	2064.98
14/12/2016	11	190	1760.19
15/12/2016	15	206	2003.47
16/12/2016	9	179	1496.92
19/12/2016	12	230	2,179.63
20/12/2016	16	234	2,082.82

ตารางที่ 4-3 (ต่อ)

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)
21/12/2016	14	204	1,762.33
22/12/2016	7	100	865.26
23/12/2016	5	125	1,080.57
26/12/2016	1	11	114.58
รวม		3,058	27,122.97

2. ค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลตัวแบบ MILP ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver ใช้ตัวประมวลผลลัพธ์ (Solver engine) ของมูลนิธิคอมพิวเตชั่นนัลอินฟราสตรัคเจอร์สำหรับการวิจัยการดำเนินงาน (Computational infrastructure for operations research foundation, COIN-OR) ที่พัฒนา Solver engine แบบ Open source software เรียกว่า CBC (Coin-OR Branch and Cut) สำหรับการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ซึ่งรวมถึงการแก้ปัญหา MILP ด้วย งานวิจัยนี้ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประมวลผลตัวแบบ คือ เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (% Branch and Bound tolerance, % BBT) เท่ากับ 0.1% และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) เท่ากับ 900 วินาที ค่าพารามิเตอร์สองตัวนี้ถูกกำหนดจากการทดลองประมวลผลตัวแบบเพื่อเปรียบเทียบเวลาการประมวลผลกับคุณภาพผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเทียบกับค่าขอบเขตผลลัพธ์ด้านล่าง (Lower bound) ดังภาพที่ 4-16



CPU time (seconds)	Best Solution	Lower Bound
25.26	509012.77	504164.94
51.59	507784.16	504164.94
60.23	507344.33	504164.94
69.43	507271.47	504164.94
83.89	507262.93	504164.94
106.85	507237.09	504164.94
135.56	507203.38	504164.94
189.41	507179.38	504164.94
341.58	505366.63	504164.94
900	505366.63	504164.94

ภาพที่ 4-16 ค่าพารามิเตอร์ใน CBC solver engine

ภาพที่ 4-16 แสดงตัวอย่างการผลการหาผลลัพธ์ของ CBC จากปัญหาการจัดตารางขนส่ง วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลาการประมวลผลสูงสุดที่กำหนดไว้ 900 วินาที และ % BBT เท่ากับ 1% พบว่า การประมวลผลในช่วงต้น (0-300 วินาที) CBC สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่ Lower bound มีค่าคงที่เท่ากับ 504,164.94 บาท ตั้งแต่เริ่มประมวลผล หลังการประมวลผล 341.58 วินาที ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 505,336.63 บาท ซึ่งมีค่าสูงกว่า Lower bound เท่ากับ 1,201.69 บาท หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ความแตกต่าง (% Difference, %D) เท่ากับ 0.2% สำหรับปัญหานี้ %D ยังมีค่ามากกว่า %BBT ทำให้ CBC ประมวลผลต่อไปจนกระทั่งครบ 900 วินาที

3. ผลการทดสอบ การหาผลลัพธ์ด้วยตัวแบบ MILP ที่เสนอด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ทำการหาผลลัพธ์โดยใช้ค่าร้อยละสัดส่วนน้ำหนักคอยล์โดยรวมในการขนส่งด้วยบริษัทขนส่ง A, B และ C เท่ากับ 70 : 20 : 10 ตามลำดับ และค่าสัดส่วนนี้กำหนดให้เป็นค่าคงที่ในการจัดตารางขนส่งประจำวัน ผลการทดสอบประสิทธิภาพในเบื้องต้นพบว่า ตัวแบบ MILP สามารถสร้างตารางการขนส่งที่เป็นไปได้ทุกปัญหาตัวอย่าง 59 วัน ตารางการขนส่งที่จัดด้วยตัวแบบ MILP แสดงตัวอย่างในภาคผนวก ข

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการขนส่งระหว่างตารางการขนส่งที่จัดโดยใช้พนักงานกับใช้ตัวแบบ MILP ที่เสนอ แสดงรายละเอียดผลการทดสอบในภาคผนวก ค งานวิจัยกำหนดดัชนีสำหรับชี้วัดประสิทธิภาพของตัวแบบ MILP ทั้งสิ้น 4 ดัชนี คือ 1) ค่าขนส่ง 2) ความแตกต่างของค่าขนส่งจากขอบเขตล่าง (Lower bound) ของค่าขนส่งที่เป็นค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่ต้องเสียในการส่งคอยล์ให้ลูกค้า 3) ความแตกต่างของเปอร์เซนต์น้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย จากสัดส่วนน้ำหนักขนส่งที่ระบุในสัญญา 4) น้ำหนักคอยล์เฉลี่ยที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตันต่อเดือน)

การเปรียบเทียบดัชนีค่าขนส่งแสดงผลดังตารางที่ 4-4 สรุปได้ว่าการจัดตารางขนส่งรายวันด้วยตัวแบบ MILP สามารถลดค่าขนส่งได้ประมาณ 178,161 บาทต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 3.2

ตารางที่ 4-4 สรุปเปรียบเทียบค่าขนส่งรายเดือน

เดือน	ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท)			% ลดลง
	แบบเดิม	MILP	ลดลง	
ตุลาคม	4,916,230	4,724,493	191,737	3.9
พฤศจิกายน	6,019,962	5,854,954	165,008	2.7
ธันวาคม	5,597,233	5,419,495	177,738	3.2
รวม	16,533,425	15,998,942	534,483	3.2
เฉลี่ยต่อเดือน	5,511,142	5,332,981	178,161	3.2

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ MILP ด้วยดัชนีที่คำนวณจากร้อยละการลดลงของความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งแต่ละวิธีเทียบกับ Lower bound จากสมการที่ 4-21

$$\frac{\left(C_o\text{-lower bound}\right)-\left(C_{MILP}\text{-lower bound}\right)}{\left(C_o\text{-lower bound}\right)} \text{ X } 100 \qquad (4\text{-}21)$$

เมื่อกำหนดให้ C_o = ต้นทุนการขนส่งจากการจัดตารางด้วยวิธีเดิม

C_{MILP} = ต้นทุนการขนส่งจากการจัดตารางด้วยตัวแบบ MILP

ดัชนีนี้เกิดจากแนวคิดเกี่ยวกับการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าต้องมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นเสมอ ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่ประมวลผลจาก Lower bound จึงอนุมานได้ว่าเป็นค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่สุด (ที่ไม่อาจต่ำกว่าค่านี้ได้) ในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักคอยล์ที่ส่งโดยบริษัทขนส่ง A, B, C เท่ากับ 70 : 20 : 10 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ MILP ด้วยดัชนีนี้แสดงได้ดังตารางที่ 4-6 สรุปได้ว่าการจัดตารางขนส่งรายวันด้วยตัวแบบ MILP สามารถลดค่าขนส่งส่วนต่างจากค่าใช้จ่ายขั้นต่ำในการขนส่งคอยล์ลงได้ร้อยละ 84.2

ตารางที่ 4-5 สรุปเปรียบเทียบค่าขนส่งส่วนต่างจากค่าใช้จ่ายขั้นต่ำ

เดือน	ค่าขนส่งต่อเดือน (บาท)			% ลดลง
	Lower Bound	แบบเดิม-LB	MILP-LB	
ตุลาคม	4,701,250	214,980	23,243	89.2
พฤศจิกายน	5,815,557	204,405	39,397	80.7
ธันวาคม	5,382,036	215,197	37,459	82.6
รวม	15,898,844	634,581	100,098	84.2

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการขนส่งด้วย MILP จากความแตกต่างของเปอร์เซนต์น้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 รายจากสัดส่วนน้ำหนักขนส่งที่ระบุในสัญญา ดังแสดงในตารางที่ 4-6 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของน้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 รายจากสัดส่วนน้ำหนักขนส่งที่ระบุในสัญญาโดยเฉลี่ยทั้งสามบริษัทลดลงจากมากกว่า ±2.77% เหลือไม่เกิน ±0.02% หรือลดลงได้ประมาณ ±2.75%

ตารางที่ 4-6 สรุปเปอร์เซนต์น้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย

เดือน	แบบเดิม			MILP		
	% A	% B	% C	% A	% B	% C
ตุลาคม	72.63	17.76	9.61	70.02	19.94	9.99
พฤศจิกายน	74.31	14.24	11.46	70.01	19.93	10.06
ธันวาคม	74.85	15.55	9.61	70.04	20.05	9.92
เฉลี่ย	73.93	15.85	10.23	70.02	19.97	9.99
%แตกต่างเฉลี่ย	+3.93	-4.15	+0.23	+0.02	-0.03	-0.01
%ค่ามากที่สุดที่เกินกว่าเกณฑ์*	+4.85	-	+1.46	+0.04	+0.05	+0.06
%ค่ามากที่สุดที่ต่ำกว่าเกณฑ์*	-	-5.76	-0.39	-	-0.07	-0.08
ค่าเฉลี่ย % ความแตกต่างจากเกณฑ์*		2.77			0.02	

หมายเหตุ: * คือ สัดส่วนน้ำหนักขนส่งที่ระบุในสัญญา A = 70%, B = 20%, C = 10%

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการขนส่งด้วย MILP จากความแตกต่างของเปอร์เซนต์น้ำหนักขนส่งจริงโดยบริษัทโลจิสติกส์ 3 รายจากน้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตัน) แสดงในตารางที่ 4-7 พบว่าการใช้ตัวแบบ MILP จัดตารางการขนส่งสามารถลดน้ำหนักคอยล์เฉลี่ยที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริงประมาณ 180.7 ตันต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 34.1

ตารางที่ 4-7 สรุปน้ำหนักคอยล์เฉลี่ยที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง

เดือน	น้ำหนักคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตัน)	
	แบบเดิม	MILP
ตุลาคม	557.8	274.0
พฤศจิกายน	545.4	477.7
ธันวาคม	484.8	294.2
เฉลี่ย	529.3	348.6

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการในการจัดตารางการขนส่งคอยล์ที่เป็นกิจกรรมการดำเนินงานประจำวันของบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กชุบสังกะสีแห่งหนึ่ง จากการเก็บข้อมูลในรอบปี พ.ศ. 2559 พบว่าบริษัทผู้ผลิตคอยล์เหล็กต้องเสียค่าใช้จ่ายประมาณ 62 ล้านบาทในการส่งคอยล์ประมาณ 300,000 ตัน ไปยังลูกค้าทั้งสิ้น 27 ราย การขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้านี้บริษัทผู้ผลิตได้จ้างบริษัทโลจิสติสก์ 3 ราย ซึ่งแต่ละรายกำหนดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อตันไปยังลูกค้าแต่ละรายที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming model, MILP) เป็นเครื่องมือช่วยในการจัดตารางการขนส่งคอยล์เหล็กประจำวันที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด แบบจำลอง MILP ที่เสนอนี้ทำการตัดสินใจเลือกกลุ่มคอยล์ใส่รถบรรทุกของแต่ละบริษัทโลจิสติกส์และทำการขนส่งตรงไปยังลูกค้าที่สั่งซื้อคอยล์ การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการศึกษากำลังการผลิตคอยล์เหล็กชุบสังกะสี ปริมาณเหล็กต่อปีที่สั่งโดยลูกค้าแต่ละราย การจัดการขนส่งพร้อมทั้งเงื่อนไขการขนส่งต่าง ๆ ของบริษัทโลจิสติกส์ 3 รายที่ทำสัญญาจ้างไว้กับบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการขนส่งคอยล์ในรอบปี พ.ศ. 2559 พบว่าบริษัทผู้ผลิตไม่สามารถแบ่งสัดส่วนการขนส่งคอยล์ให้แก่บริษัทโลจิสติกส์ 3 รายตามสัดส่วนที่ระบุในสัญญาได้ทั้ง 12 เดือน และมีปริมาณคอยล์ 5,483.76 ตัน ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายการขนส่งทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง โดยปริมาณคอยล์ที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายส่วนเกินนี้เกิดจากการจัดกลุ่มคอยล์ลงบนรถบรรทุกในน้ำหนักที่ไม่ถึงเกณฑ์ขั้นต่ำของการบรรทุก (22 ตันสำหรับรถบรรทุก 18 ล้อ และ 8 ตันสำหรับรถบรรทุก 10 ล้อ)

งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแบบจำลอง MILP สำหรับการจัดตารางขนส่งรายวัน ที่ต้องตัดสินใจว่าคอยล์ใดบ้างจะถูกจัดอยู่บนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน และใช้รถบรรทุกของบริษัทโลจิสติกส์รายใดด้วยรถประเภทใดในการส่งคอยล์ไปยังลูกค้าตามคำสั่งซื้อ ตัวแบบ MILP ที่สร้างขึ้นได้นำหลักการของกำหนดการเชิงเส้นสำหรับปัญหาการมอบหมายงานและปัญหาการขนส่งร่วมกับการออกแบบตัวแปรไบนารี่ที่เข้ามาช่วยในการคำนวณค่าขนส่งที่มีความซับซ้อน รายละเอียดของ MILP ประกอบด้วย 1) เซตและพารามิเตอร์ ที่เป็นข้อมูลนำเข้าและค่าคงที่ต่าง ๆ ของตัวแบบ 2) ตัวแปรตัดสินใจที่แสดงผลลัพธ์การจัดตารางการขนส่งประจำวัน 3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แสดงสมการสำหรับคำนวณค่าขนส่งคอยล์ประจำวันและ 4) เงื่อนไขบังคับในด้าน

ต่าง ๆ ได้แก่ ด้านการจัดคอยล์ลงบนรถบรรทุกแต่ละเที่ยว ด้านขอบเขตน้ำหนักบรรทุกและจำนวนคอยล์ ด้านสัดส่วนการกระจายงานขนส่งสำหรับบริษัทโลจิสติกส์ทั้ง 3 ราย และเงื่อนไขบังคับอื่น ๆ ในการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่ระบุในสัญญา จากนั้นจึงออกแบบไฟล์เอ็กเซลเพื่อใช้เป็นไฟล์สำหรับกำหนดข้อมูลนำเข้าในการจัดตารางการขนส่งรายวัน และทำการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และแปลงผลลัพธ์จากการประมวลผลเป็นตารางการขนส่ง

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP ที่เสนอด้วยการเปรียบเทียบผลการจัดตารางขนส่งด้วยตัวแบบ MILP กับการจัดตารางขนส่งด้วยวิธีเดิมโดยใช้ข้อมูลการขนส่งระหว่างเดือนตุลาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559 ที่มีจำนวนลูกค้าเฉลี่ยวันละ 11 ราย จำนวนคอยล์ที่ส่งมอบเฉลี่ยวันละ 153 คอยล์ และน้ำหนักคอยล์รวมเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 1,353 ตัน พบว่าต้นทุนการขนส่งลดลงเฉลี่ย 178,161 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงร้อยละ 3.2 และสามารถจัดตารางการขนส่งที่เป็นไปตามเงื่อนไขในสัญญาได้ทุกเดือนในด้านสัดส่วนน้ำหนักขนส่งต่อเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย และปริมาณคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริงลดลง 180.7 ตันต่อเดือน คิดเป็นปริมาณที่ลดลงร้อยละ 34.1 จึงสรุปได้ว่า การใช้แบบจำลอง MILP สำหรับจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวันสามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และยังสามารถจัดตารางการขนส่งที่ทำให้สัดส่วนน้ำหนักขนส่งรายเดือนของบริษัทโลจิสติกส์ทั้งสามรายเป็นไปตามที่กำหนดในสัญญาจ้าง นอกจากนี้ยังสามารถลดปริมาณคอยล์ที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายการขนส่งทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริงซึ่งส่งผลต่อจิตวิทยาในการทำงานด้านการลดความสูญเปล่าของต้นทุนลงได้ เมื่อพิจารณาเวลาด้านเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการขนส่งพบว่าวิธีการที่เสนอใช้เวลาในการจัดตารางจากการบันทึกข้อมูลนำเข้าลงในไฟล์ต้นแบบรอการประมวลผลจากโปรแกรม และอ่านผลลัพธ์จากโปรแกรมแล้วจัดการไฟล์ให้อยู่ในรูปตารางการขนส่งสำหรับใช้งานในขั้นตอนการทำงานถัดไป รวมไม่เกิน 30 นาที (สำหรับผู้ที่ฝึกฝนจนชำนาญแล้ว) จึงสรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดเวลาในการจัดตารางการขนส่งลงได้ไม่ต่ำกว่า 3.5 ชั่วโมง การสรุปเปรียบเทียบการจัดตารางการขนส่งด้วยวิธีเดิมกับวิธีการใช้แบบจำลอง MILP แสดงได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดตารางการขนส่งคอยล์เหล็กชุบสังกะสี

หัวข้อเปรียบเทียบ	วิธีเดิม	แบบจำลอง MILP
ต้นทุนการขนส่งเฉลี่ย (บาทต่อเดือน)	5,511,142	5,332,981
สัดส่วนน้ำหนักขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน (ร้อยละปริมาณขนส่งด้วยบริษัทโลจิสติกส์ A: B: C)	73.5 : 17.0 : 9.5	70.0 : 20.0 : 10.0
ปริมาณคอยล์เฉลี่ยที่ถูกคิดค่าใช้จ่ายทั้งที่ไม่ได้ขนส่งจริง (ตันต่อเดือน)	529.3	348.6
เวลาในการจัดตารางขนส่ง (ชั่วโมงต่อวัน)	4 ถึง 6	0.5

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการวิจัยการดำเนินงานโดยการออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed-integer linear programming: MILP) เพื่อใช้สำหรับการจัดตารางการขนส่งคอยล์ประจำวัน ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้นแสดงให้เห็นว่าการใช้แบบจำลอง MILP สำหรับจัดตารางการขนส่งสามารถลดต้นทุนการขนส่งคอยล์ได้ร้อยละ 3.2 เมื่อเทียบกับต้นทุนการขนส่งเมื่อใช้วิธีการเดิมที่จัดด้วยประสบการณ์ของพนักงานผู้รับผิดชอบ อย่างไรก็ตามวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เหมาะสม ควรทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ลดลงเมื่อเทียบกับต้นทุนขอบเขตที่ต่ำที่สุดของปัญหา (Lower bound cost) ที่คำนวณได้จากการผ่อนคลายเงื่อนไขการประมวลผล (Relaxation) ของแบบจำลอง MILP เนื่องจากต้นทุนนี้สามารถอธิบายถึงค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่สุด (ที่ไม่อาจต่ำกว่าค่านี้ได้) ในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งเกิดขึ้นเสมอ

ผลการคำนวณประสิทธิภาพจากค่าขนส่งส่วนต่างจากค่าใช้จ่ายขั้นต่ำ พบว่าการใช้แบบจำลอง MILP สำหรับจัดตารางการขนส่งสูญเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มขึ้นจากค่าใช้จ่ายขั้นต่ำที่ต้องเสียน้อยกว่าวิธีการเดิมถึงร้อยละ 84.2 จากดัชนีตัวหลังนี้ทำให้เห็นภาพได้ว่าการใช้วิธีการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการใช้ประสบการณ์ในการตัดสินใจได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการวิจัยการดำเนินงาน เมื่อพิจารณาข้อจำกัดในการใช้แบบจำลอง MILP ที่เสนอในการจัดตารางการขนส่ง พบว่า การทำให้ผลการกระจายปริมาณน้ำหนักคอยล์ในการขนส่งประจำเดือนสำหรับบริษัทโลจิสติกส์รายที่ A, B และ C อยู่ในสัดส่วนร้อยละ 70 : 20 : 10 นั้น ต้องกำหนดพารามิเตอร์สัดส่วนนี้ในการจัดตารางขนส่งรายวันให้ใกล้เคียงกับสัดส่วนในช่วงการขนส่งคอยล์ตั้งแต่ต้นเดือนจนถึงปลายเดือน

(งานวิจัยนี้กำหนดสัดส่วนคงที่เท่ากับ 70 : 20 : 10 เป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง) และในช่วง 1 หรือ 2 วันสุดท้ายของเดือน จะต้องคำนวณค่าพารามิเตอร์นี้ก่อนจัดตารางการขนส่ง เพื่อปรับแต่งผลลัพธ์การคำนวณในส่วนนี้ให้มีค่าสัดส่วนเป็น 70 : 20 : 10 ตามที่กำหนดในสัญญาเมื่อครบรอบประเมินสัดส่วนในหนึ่งเดือน การดำเนินการเช่นนี้อาจส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งโดยรวมที่อาจลดลงได้อีก เนื่องจากบริษัทโลจิสติกส์แต่ละรายอาจมีโครงสร้างราคาที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งมีค่าต่ำสำหรับกลุ่มลูกค้าบางบริษัทที่แตกต่างกัน เช่น บริษัทโลจิสติกส์ A อาจมีโครงสร้างค่าขนส่งต่อตันที่ต่ำเมื่อส่งคอยล์ไปยังลูกค้า C1 แต่ค่าขนส่งต่อตันสูงสำหรับลูกค้า F1 ขณะที่ บริษัทโลจิสติกส์ B มีลักษณะโครงสร้างราคาที่ตรงกันข้ามกับบริษัท A ในการขนส่งคอยล์ไปยังลูกค้าสองรายนี้ ดังนั้นหากการจัดตารางการขนส่งรายวัน ณ วันหนึ่ง ๆ มีกลุ่มคอยล์ของลูกค้า C1 เป็นปริมาณมาก และกลุ่มคอยล์ของลูกค้า F1 เป็นปริมาณน้อย เช่น 90% ต่อ 10% ของน้ำหนักรวมที่ส่งในวันนั้น ๆ ตามลำดับ เป็นต้น การทำให้ต้นทุนการขนส่งในวันนี้ต่ำที่สุดจึงควรจัดคอยล์ของลูกค้า C1 และ F1 ให้บริษัทโลจิสติกส์ A และ B เป็นผู้ขนส่ง ตามลำดับ ข้อจำกัดนี้จึงเป็นโจทย์ที่ต้องทำการวิจัยต่อไปว่าควรกำหนดพารามิเตอร์ด้านสัดส่วนนี้ในแต่ละวันของการขนส่งอย่างไร ที่ทำให้เมื่อครบ 1 เดือนแล้วจะมีสัดส่วนการขนส่งเป็นไปตามสัญญาจ้างและมีต้นทุนการขนส่งทั้งเดือนต่ำที่สุด

การสร้างตารางการขนส่งคอยล์รายวันด้วยตัวแบบ MILP โดยใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามตัวแบบ MILP นี้ ต้องทำการออกแบบแผ่นงานในไฟล์เอ็กเซลให้เป็นตัวแบบสเปรดชีท (Spreadsheet model) ก่อนเซตค่า OpenSolver model เพื่อหาผลลัพธ์ การออกแบบแผ่นงานมีความยุ่งยากซับซ้อนต้องใช้ประสบการณ์ในการสร้างแผ่นงาน กรณี MILP ที่เสนอเป็นตัวแบบที่มีตัวแปรในการตัดสินใจแบบ 4 มิติ ทำให้การออกแบบแผ่นงานมียุ่งยากมาก นอกจากนี้แล้วจำนวนตัวแปรตัดสินใจ และจำนวนเงื่อนไขบังคับมีจำนวนมาก (สำหรับการขนส่ง 276 คอยล์ไปยังลูกค้า 15 ราย มีจำนวนตัวแปรมากกว่า 77,284 ตัวแปร และจำนวนเงื่อนไขบังคับมากกว่า 1,672 เงื่อนไข) ทำให้การออกแบบแผ่นงานต้องใช้เวลามากและอาจมีข้อผิดพลาดระหว่างการออกแบบ การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากตัวแบบ MILP ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการประมวลผล 2 ค่า ได้แก่ เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (% Branch and Bound tolerance) ที่ 0.1% และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) เท่ากับ 900 วินาที ค่าพารามิเตอร์ 2 ค่านี้ถูกกำหนดจากการทดลอง โดย เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขตถูกกำหนดขึ้นโดยพิจารณาจากการปล่อยให้โปรแกรมประมวลผลเป็นระยะเวลานาน พบว่าผลลัพธ์ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ได้จากการประมวลผลมีค่าเข้าใกล้เคียงมากกับค่าใช้จ่ายจากขอบเขตล่าง (Lower bound cost) จึงกำหนดเปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขตให้เป็นค่าที่ต่ำมาก (0.1%) สำหรับเวลาสูงสุดที่ใช้ในการประมวลผลถูกกำหนดจากการทดลองให้

โปรแกรมหาผลลัพธ์จนกระทั่งไม่มีการผลลัพธ์ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง เช่น 300 วินาที เป็นต้น ผลจากการทดลองพบว่าหลังจากเริ่มประมวลผลประมาณ 500 ถึง 600 วินาทีแล้ว โปรแกรมไม่สามารถหาตารางการขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลงได้ งานวิจัยนี้จึงกำหนดเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ที่ 900 วินาที อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิสูจน์ว่า ขนาดปัญหาที่แตกต่างกัน (อาจหมายถึงจำนวนคอยล์ที่ต้องจัดส่ง และจำนวนลูกค้าในแต่ละวัน) อาจทำให้ค่าพารามิเตอร์การหยุดประมวลผลจะแตกต่างจากค่าที่กำหนดในงานวิจัยนี้ได้ ทั้งนี้การกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุดที่เหมาะสมยังขึ้นอยู่กับความเป็นไปได้ในการจัดตารางการขนส่งรายวันในทางปฏิบัติด้วย การจัดตารางการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษานี้เป็นกิจกรรมที่ต้องทำประจำวัน เดิมบริษัทต้องจ้างพนักงานหนึ่งคนเพื่อทำหน้าที่นี้ที่ต้องใช้เวลามากกว่า 4 ชั่วโมงต่อวันในการจัดตาราง ดังนั้นการใช้แบบจำลอง MILP ที่เสนอ ผ่านการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยไฟล์เอ็กเซลต้นแบบสำหรับจัดตารางการขนส่งรายวันจึงสามารถลดเวลาการจัดตารางการขนส่งรายวันได้ไม่น้อยกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานต้องมีความชำนาญในการจัดการกับไฟล์เอ็กเซลต้นแบบก่อนการประมวลผล โดยผู้ใช้งานต้องป้อนข้อมูลนำเข้าในไฟล์ต้นแบบ ปรับแต่งเซลล์ต่าง ๆ ในแผ่นงานหลายแผ่นงาน และอาจรวมถึงค่า Setting ต่าง ๆ ใน OpenSolver model ด้วย ปัญหาความยุ่งยากในการใช้งานนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเลือกใช้ซอฟต์แวร์ที่เป็นแบบโอเพ่นซอร์ส (Open source software) ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ต้องการให้ตัวแบบ MILP ที่เสนอสามารถนำไปใช้ในการจัดตารางการขนส่งได้จริง จึงเลือกใช้ซอฟต์แวร์ที่ไม่ต้องลงทุนซื้อ (ซอฟต์แวร์ที่เป็นเชิงธุรกิจที่มีราคาแพงมาก) อย่างไรก็ตามยังมีซอฟต์แวร์ทางเลือกที่เป็นแบบโอเพ่นซอร์สและเป็นซอฟต์แวร์แบบติดตั้งเพิ่มบนไมโครซอฟต์เอ็กเซล คือ ซอฟต์แวร์ Solver studio ดังนั้นจึงควรศึกษาว่าซอฟต์แวร์ Solver studio (หรือซอฟต์แวร์อื่น ๆ) สามารถลดความซับซ้อนในการจัดการกับไฟล์ต้นแบบก่อนประมวลผลเพื่อหาตารางการขนส่งประจำวันได้หรือไม่ เพื่อพิจารณาเป็นทางเลือกในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของปัญหานี้

การใช้แบบจำลอง MILP ในการสร้างตารางขนส่ง นอกจากที่ผู้ใช้งานจะต้องปรับแต่งแผ่นงานสำหรับประมวลผลให้เป็นไปตามข้อมูลนำเข้าของการขนส่งรายวันแล้ว หลังจากที่ซอฟต์แวร์ OpenSolver ประมวลผลเสร็จผู้ใช้งานยังคงต้องแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ ที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมออกมาเป็นตารางการขนส่ง ที่ต้องอาศัยความละเอียดและชำนาญ ในการใช้งานโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลของผู้จัดตาราง ดังนั้นหากสามารถสร้างระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision support system) ด้วย Excel VBA มาจัดการกับไฟล์ต้นแบบ เพื่อให้กระบวนการประมวลผลเป็นอัตโนมัติ โดยผู้จัดตารางเพียงป้อนข้อมูลนำเข้ารายวันที่ได้จากฝ่าย

ผลิตลงในไฟล์แล้วรอการประมวลผลแล้วอ่านผลลัพธ์เป็นตารางการขนส่ง จะทำให้แบบจำลอง MILP ที่เสนอสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย (User friendly)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาวิธีการในการกำหนดสัดส่วนการขนส่งรายวันของบริษัทโลจิสติกส์ 3 ราย ก่อนการประมวลผล เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งรายเดือนต่ำลงกว่านี้ และสัดส่วนการขนส่งรายเดือนยังคงเป็นไปตามสัญญา

2. ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ % Brand and Bound tolerance และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการประมวลผลที่เหมาะสม โดยอาจพิจารณาจากจำนวนคอยล์และจำนวนลูกค้าที่ต้องส่ง และเวลาในการจัดตารางการขนส่งรายวันที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

3. ควรเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver ด้วยตัวประมวลผล CBC กับซอฟต์แวร์สำเร็จรูปตัวอื่น (เช่น LINDO/ LINGO/ CPLEX เป็นต้น) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความสามารถในการประมวลผล ความเสถียรของผลการประมวล และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

4. ควรสร้างระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision support system) ด้วย Excel VBA มาจัดการกับตัวแบบ MILP ที่เสนอเพื่อให้เกิดการสร้างตารางการขนส่งรายวันที่เป็นอัตโนมัติ

บรรณานุกรม

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และพนิดา พานิชกุล. (2554). *การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการตัดสินใจ,* พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: เคทีพี.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2559) *วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์,* พิมพ์ครั้งที่ 1, อุบลราชธานี: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

ณัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์ และ วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ. (2553). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุคงคลัง. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. *20*(3), 544-551.

ศิริชัย ยศวังใจ และ ขวัญนิธิ คำเมือง. (2559). แบบจำลองกำหนดการเชิงเต็มจำนวนแบบผสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต, *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *26*(2), 223-238.

เพชรายุทธ แซ่หลี และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์. (2557). แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร*, *9*(2), 48-54.

เพชรายุทธ แซ่หลี และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์. (2557). แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางสมุนไพร, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ, 37*(3), 347-360

ศิริวัฒน์ รุ่งมณีรัตน์, วราธร ปัญญางาม และ พิลดา หวังพานิช. (2555). การประยุกต์การวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบล่วงหน้าด้วยวิธีแบบพลวัต กรณีศึกษา โรงงานผลิตสีผลอุตสาหกรรม,ใน *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ*, 17-19 ตุลาคม 2555, หน้า 1892-1898

เอกชัย แผ่นทอง และ อภิชัย ฤตวิรุฬห์. (2555). การวางแผนจัดซื้อวัตถุดิบและจัดสรรทรัพยากรในอุตสาหกรรมแปรรูปขิงโดยประยุกต์ใช้กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม" *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, *22*(2), 339-348.

Eykhoff P.(1974). *System Identification: Parameter and State Estimation*, Wiley & Sons.

Hiller F.S., & Lieberman G.J.(2009), *Introduction to Operations Research*, 9th edition, New York: McGraw-Hill, Inc,.

Mason AJ. (2012). OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Progammes in Excel. *Operations Research Proceedings 2011. Springer Berlin Heidelberg,* 401-406.

Mason AJ. (2013). SolverStudio: A new tool for better optimisation and simulation modelling in Excel. *INFORMS Trans. Ed.14*(1), 45–52.

Ragsdale C.T.(2011). *Managerial Decision Modeling*, South-Western, Cengage Learning.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งก่อนปรับปรุง วันที่ 22 ธันวาคม 2559

ตารางภาคผนวก ก-1 ปริมาณการจัดส่งรายเดือนไปยังลูกค้าแต่ละราย ปี พ.ศ. 2559

สถานที่ส่ง	ปริมาณการจัดส่ง (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
ผลรวมทั้งหมด	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 ก-2 ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งก่อนปรับปรุง

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก(ตัน)	บริษัทขนส่ง	รถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง (ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน)	ราคา (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
X17541	F2	3.16	N					
X20611	F2	5.39	N					
Y15544	F2	3.02	N					
Y25642	F2	12.24	N	18W	23.81	23.81	241	5738.21
X18944	F2	5.51	N					
X23022	F2	5.63	N					
X23293	F2	5.41	N					
X28823	F2	5.78	N	18W	22.33	22.33	241	5381.53
X21303	F2	5.65	N					
X27743	F2	3.37	N					
Y16603	F2	3.66	N					
Y26412	F2	11.88	N	18W	24.56	24.56	241	5918.96
X14492	F2	5.7	N					
X20641	F2	3.43	N					
X22513	F2	3.67	N					
Y23542	F2	10.85	N	18W	23.65	23.65	241	5699.65
B04091	F2	3.43	N					
X20623	F2	4.9	N					
X20631	F2	3.82	N					
Y26411	F2	11.75	N	18W	23.9	23.9	241	5759.9
X17533	F2	3.67	N					
X20622	F2	3.84	N					
X30373	F2	5.13	N					
Y23541	F2	10.45	N	18W	23.09	23.09	241	5564.69
W17834	F2	3.82	N					
Y15541	F2	3.83	N					
Y15542	F2	5.71	N					
Y16431	F2	8.91	N	18W	22.27	22.27	241	5367.07
X23992	F2	4.37	N					
X28722	F2	10.79	N					

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	รถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง (ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา(บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
X29572	F2	3.33	N					
X29573	F2	4.32	N	18W	22.81	22.81	241	5497.21
Y19661	H1	9.88	K					
Y20742	H1	8.46	K	18W	18.34	22	264	5808
Y19662	H1	9.88	K					
Y20741	H1	8.46	K	18W	18.34	22	264	5808
Y19413	G1	4.26	K					
Y25251	G1	11.23	K					
Y26622	G1	11.37	K	18W	26.86	26.86	226	6070.36
Y15791	G1	8.17	K					
Y24722	G1	10.94	K					
Y24882	G1	7.16	K	18W	26.27	26.27	226	5937.02
Y22742	G1	10.89	K					
Y24712	G1	7.87	K					
Y24721	G1	10.71	K	18W	29.47	29.47	226	6660.22
Y24682	G1	10.79	K					
Y24711	G1	7.95	K					
Y25232	G1	10.76	K	18W	29.5	29.5	226	6667
Y24651	G1	10.69	K					
Y25261	G1	7.98	K					
Y26381	G1	10.55	K	18W	29.22	29.22	226	6603.72
E07881	G1	8.7	K					
Y24652	G1	10.33	K					
Y26382	G1	10.54	K	18W	29.57	29.57	226	6682.82
Y19395	G1	8.92	K					
Y22811	G1	10.17	K					
Y22812	G1	10.28	K	18W	29.37	29.37	226	6637.62
E07882	G1	9.15	K					
Y19381	G1	9.64	K					
Y27092	G1	10.03	K	18W	28.82	28.82	226	6513.32
Y24731	G1	11.46	K					
Y24732	G1	11.63	K	18W	23.09	23.09	226	5218.34
Y16351	F1	9.7	K					
Y16352	F1	9.41	K	18W	19.11	22	208	4576

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	รถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง (ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา(บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
Y23201	A3	9.68	K	10W	9.68	9.68	258	2497.44
X27111	D5	5.48	K					
Y15922	D5	10.89	K	18W	16.37	22	163	3586
Y15921	D5	10.84	K					
Y17002	D5	10.29	K	18W	21.13	22	163	3586
Y23102	A1	9.17	K					
Y23381	A1	10.77	K					
Y23382	A1	10.61	K	18W	30.55	30.55	129	3940.95
X27435	A1	10.55	K					
Y17613	A1	10.1	K					
Y19613	A1	10.17	K	18W	30.82	30.82	129	3975.78
X20193	A1	7.58	K					
Y25661	A1	11.42	K					
Y25662	A1	11.41	K	18W	30.41	30.41	129	3922.89
Y15141	A1	7.03	K					
Y25592	A1	11.18	K					
Y25652	A1	11.32	K	18W	29.53	29.53	129	3809.37
X28253	A1	10	K					
X29752	A1	6.78	K					
Y18492	A1	13.26	K	18W	30.04	30.04	129	3875.16
X23591	A1	15.18	K					
X28392	A1	4.28	K					
Y20292	A1	10.97	K	18W	30.43	30.43	129	3925.47
Y17701	A1	17.83	K					
Y18812	A1	4.01	K					
Y23101	A1	9.13	K	18W	30.97	30.97	129	3995.13
X28391	A1	5.22	K					
Y17623	A1	5.9	K					
Y25811	A1	18.5	K	18W	29.62	29.62	129	3820.98
Y24821	A1	10.51	K					
Y25831	A1	18.79	K	18W	29.3	29.3	129	3779.7
Y18551	A1	19.05	K					

ตารางภาคผนวก ก-2 (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	รถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง (ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา(บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
Y26502	A1	8.57	K	18W	27.62	27.62	129	3562.98
X19881	A1	15.21	K					
Y17624	A1	4.12	K					
Y18814	A1	5.08	K	18W	24.41	24.41	129	3148.89
		รวม			865.26	881.97		169,536.68

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งด้วยตัวแบบ MILP วันที่ 22 ธันวาคม 2559

ตารางภาคผนวก ข ตัวอย่างการวางแผนการจัดส่งของตัวแบบ MILP

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	ประเภทรถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง(ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย (ตัน)	ราคา (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
X20193	A1	7.58	A	18W				
Y25662	A1	11.41	A	18W				
X28253	A1	10	A	18W	28.99	28.99	129	3739.71
Y23381	A1	10.77	A	18W				
Y20292	A1	10.97	A	18W				
Y17624	A1	4.12	A	18W				
Y18814	A1	5.08	A	18W	30.94	30.94	129	3991.26
Y19613	A1	10.17	B	18W				
X23591	A1	15.18	B	18W				
X28391	A1	5.22	B	18W	30.57	30.57	151	4616.07
Y18492	A1	13.26	B	18W				
Y23101	A1	9.13	B	18W				
Y17623	A1	5.9	B	18W	28.29	28.29	151	4271.79
Y17613	A1	10.1	B	18W				
Y25811	A1	18.5	B	18W	28.60	28.60	151	4318.60
Y23382	A1	10.61	B	18W				
Y18551	A1	19.05	B	18W	29.66	29.66	151	4478.66
X28392	A1	4.28	B	18W				
Y17701	A1	17.83	B	18W				
Y26502	A1	8.57	B	18W	30.68	30.68	151	4632.68
Y15141	A1	7.03	B	18W				
Y25592	A1	11.18	B	18W				
Y24821	A1	10.51	B	18W	28.72	28.72	151	4336.72
Y23102	A1	9.17	C	18W				
Y25661	A1	11.42	C	18W				
X29752	A1	6.78	C	18W	27.37	27.37	160	4379.20
X27435	A1	10.55	C	18W				
Y25831	A1	18.79	C	18W	29.34	29.34	160	4694.40
Y25652	A1	11.32	C	18W				
Y18812	A1	4.01	C	18W				
X19881	A1	15.21	C	18W	30.54	30.54	160	4886.40

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	ประเภทรถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง(ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
Y23201	A3	9.68	A	10W	9.68	9.68	258	2497.44
Y15922	D5	10.89	A	18W				
Y15921	D5	10.84	A	18W	21.73	22.00	163	3586.00
X27111	D5	5.48	A	18W				
Y17002	D5	10.29	A	18W	15.77	22.00	163	3586.00
Y16351	F1	9.7	A	18W				
Y16352	F1	9.41	A	18W	19.11	22.00	208	4576.00
X23293	F2	5.41	A	18W				
X27743	F2	3.37	A	18W				
Y16603	F2	3.66	A	18W				
X20623	F2	4.9	A	18W				
Y15542	F2	5.71	A	18W	23.05	23.05	208	4794.40
Y23542	F2	10.85	A	18W				
X20622	F2	3.84	A	18W				
X30373	F2	5.13	A	18W				
X28722	F2	10.79	A	18W	30.61	30.61	208	6366.88
X22513	F2	3.67	A	18W				
B04091	F2	3.43	A	18W				
W17834	F2	3.82	A	18W				
Y16431	F2	8.91	A	18W				
X29573	F2	4.32	A	18W	24.15	24.15	208	5023.20
X18944	F2	5.51	A	18W				
X23022	F2	5.63	A	18W				
Y26411	F2	11.75	A	18W				
X29572	F2	3.33	A	18W	26.22	26.22	208	5453.76
X17541	F2	3.16	A	18W				
Y25642	F2	12.24	A	18W				
X21303	F2	5.65	A	18W				
X20631	F2	3.82	A	18W	24.87	24.87	208	5172.96
X20611	F2	5.39	A	18W				
X28823	F2	5.78	A	18W				
Y26412	F2	11.88	A	18W				
X20641	F2	3.43	A	18W				

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	ประเภทรถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง(ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
X17533	F2	3.67	A	18W	30.15	30.15	208	6271.20
Y15544	F2	3.02	A	18W				
X14492	F2	5.7	A	18W				
Y23541	F2	10.45	A	18W				
Y15541	F2	3.83	A	18W				
X23992	F2	4.37	A	18W	27.37	27.37	208	5692.96
Y24682	G1	10.79	A	18W				
E07882	G1	9.15	A	18W				
Y27092	G1	10.03	A	18W	29.97	29.97	226	6773.22
Y24722	G1	10.94	A	18W				
Y24721	G1	10.71	A	18W				
Y25261	G1	7.98	A	18W	29.63	29.63	226	6696.38
Y26381	G1	10.55	A	18W				
Y24652	G1	10.33	A	18W				
Y19395	G1	8.92	A	18W	29.80	29.80	226	6734.80
Y22742	G1	10.89	A	18W				
Y24712	G1	7.87	A	18W				
Y19381	G1	9.64	A	18W	28.40	28.40	226	6418.40
Y19413	G1	4.26	A	18W				
Y25251	G1	11.23	A	18W				
Y25232	G1	10.76	A	18W	26.25	26.25	226	5932.50
Y24711	G1	7.95	A	18W				
E07881	G1	8.7	A	18W				
Y22811	G1	10.17	A	18W	26.82	26.82	226	6061.32
Y15791	G1	8.17	A	18W				
Y26382	G1	10.54	A	18W				
Y22812	G1	10.28	A	18W	28.99	28.99	226	6551.74
Y24882	G1	7.16	A	18W				
Y24651	G1	10.69	A	18W				
Y24732	G1	11.63	A	18W	29.48	29.48	226	6662.48
Y26622	G1	11.37	A	18W				
Y24731	G1	11.46	A	18W	22.83	22.83	226	5159.58
Y19661	H1	9.88	A	18W				

ตารางภาคผนวก ข (ต่อ)

หมายเลขคอยล์	ลูกค้า	น้ำหนัก (ตัน)	บริษัทขนส่ง	ประเภทรถบรรทุก	น้ำหนักขนจริง(ตัน)	น้ำหนักคิดค่าใช้จ่าย(ตัน)	ราคา (บาท/ตัน)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
Y19662	H1	9.88	A	18W	19.76	22.00	264	5808.00
Y20742	H1	8.46	A	18W				
Y20741	H1	8.46	A	18W	16.92	22.00	264	5808.00
		รวม			865.26	881.97		169,972.71

ภาคผนวก ค

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการขนส่ง

ตารางภาคผนวก ค-1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม 2559

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)	Current Solution				MILP Solution : BBT 0.1% : Max CPU Time 900 Sec.						
				%A	%B	%C	Cost	%A	%B	%C	Cost	Lower Bound	CPU Time (Sec.)	Reduced Cost
3/10/2016	9	134	1266.83	70.10%	27.03%	2.87%	258,140.29	70.27%	19.38%	10.35%	256,027.50	254,220.88	896.84	2,112.79
4/10/2016	14	171	1622.85	90.79%	4.89%	4.32%	361,737.69	70.28%	19.62%	10.10%	355,864.71	355,200.30	899.04	5,872.98
5/10/2016	11	195	1593.55	63.93%	23.50%	12.57%	353,261.16	70.27%	19.36%	10.37%	333,005.59	332,780.69	79	20,255.57
6/10/2016	13	174	1480.96	77.14%	13.24%	9.62%	343,242.48	70.30%	19.67%	10.03%	320,709.99	320,393.09	322.67	22,532.49
7/10/2016	7	128	931.27	71.71%	28.29%	0.00%	187,339.31	70.00%	18.11%	11.89%	177,734.80	177,417.43	900.84	9,604.51
10/10/2016	8	131	1008.05	63.97%	26.98%	9.05%	197,159.85	70.29%	19.68%	10.03%	183,318.35	183,162.82	56.81	13,841.50
11/10/2016	13	189	1766.75	72.28%	16.91%	10.81%	341,866.05	70.29%	19.69%	10.02%	334,267.68	333,586.71	897.18	7,598.37
12/10/2016	10	168	1310.8	66.28%	20.39%	13.33%	287,859.88	70.30%	19.67%	10.03%	276,386.40	270,423.06	897.65	11,473.48
13/10/2016	11	192	1665.02	77.41%	18.03%	4.56%	329,638.15	70.18%	19.81%	10.01%	326,479.79	326,330.03	36.65	3,158.36
14/10/2016	11	114	1063.7	58.70%	30.45%	10.85%	216,598.79	70.28%	18.90%	10.82%	206,588.20	206,392.02	501.12	10,010.59
17/10/2016	9	120	874.25	78.79%	13.15%	8.05%	163,834.64	70.30%	19.58%	10.12%	160,394.24	159,648.67	899.58	3,440.40
18/10/2016	12	116	801.1	89.06%	0.00%	10.94%	190,736.95	70.27%	18.04%	11.69%	168,875.76	164,167.90	898.78	21,861.19
19/10/2016	10	101	981.84	64.96%	20.69%	14.35%	205,556.22	70.26%	19.58%	10.16%	197,662.20	196,222.78	899.49	7,894.02
20/10/2016	13	217	1837.14	88.49%	7.56%	3.95%	371,036.62	70.30%	19.69%	10.01%	365,592.25	365,236.04	585.85	5,444.37
21/10/2016	10	142	383.94	73.16%	6.22%	20.63%	248,441.60	70.30%	19.70%	10.00%	237,122.56	236,887.49	655.5	11,319.04
25/10/2016	12	147	404.57	70.08%	19.68%	10.25%	294,896.20	70.30%	19.70%	10.00%	287,460.37	287,117.27	899.86	7,435.83
26/10/2016	10	125	202.94	55.43%	32.15%	12.43%	242,410.22	70.23%	19.62%	10.15%	230,285.16	230,109.27	892.28	12,125.06
27/10/2016	10	91	669.73	56.93%	18.84%	24.24%	148,315.38	70.28%	17.93%	10.16%	136,750.20	133,136.49	900.36	11,565.18
28/10/2016	10	71	675.05	70.81%	20.00%	9.19%	148,905.86	70.05%	19.79%	10.16%	142,056.57	140,238.93	900.96	6,849.29
31/10/2016	3	16	129.62	84.86%	0.00%	15.14%	25,253.40	70.30%	15.14%	14.57%	27,579.96	27,579.96	42.41	(2,326.56)
รวม		2742	20,669.96				4,916,230.74				4,724,162.28	4,700,251.83		192,068.46

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)	Current Solution				MILP Solution : BBT 0.1% : Max CPU Time 900 Sec.						
				%A	%B	%C	Cost	%A	%B	%C	Cost	Lower Bound	CPU Time (Sec.)	Reduced Cost
1/11/2016	15	161	1412.09	70.25%	12.48%	17.28%	323,348.69	69.98%	19.95%	10.07%	319,331.51	307,592.50	897.89	4,017.18
2/11/2016	14	167	1352.06	78.70%	11.06%	10.25%	295,443.48	70.29%	19.71%	10.00%	287,970.73	285,241.00	424.35	7,472.75
3/11/2016	15	203	1746.79	79.91%	10.75%	9.35%	332,824.36	70.30%	19.69%	10.01%	329,036.06	328,656.19	897.01	3,788.30
4/11/2016	12	212	2123.19	74.75%	13.80%	11.45%	426,103.77	70.24%	19.24%	10.52%	415,418.42	413,128.81	898.28	10,685.35
7/11/2016	11	87	1403.59	68.59%	19.77%	11.64%	288,801.13	69.93%	19.83%	10.24%	281,475.28	278,641.45	900.36	7,325.85
8/11/2016	13	134	1191.82	59.28%	25.02%	15.71%	264,583.13	69.89%	20.11%	10.00%	250,912.31	250,633.31	899.19	13,670.82
9/11/2016	7	181	1453.5	78.20%	14.68%	7.12%	268,529.73	69.75%	19.98%	10.27%	263,414.68	263,177.09	14.12	5,115.05
10/11/2016	10	178	1492.4	72.75%	17.82%	9.43%	325,301.42	70.30%	19.69%	10.01%	316,970.69	315,870.98	896.93	8,330.73
11/11/2016	3	19	150.32	100.00%	0.00%	0.00%	37,332.42	69.40%	16.42%	14.18%	34,953.30	34,953.30	4.59	2,379.12
14/11/2016	16	172	1441.86	80.00%	10.97%	9.03%	308,721.80	70.26%	19.74%	10.00%	295,517.28	293,600.79	897.92	13,204.52
15/11/2016	15	166	1369.73	72.32%	15.17%	12.51%	267,263.77	70.30%	19.68%	10.02%	260,186.12	260,141.78	151.12	7,077.65
16/11/2016	11	135	1072.07	78.08%	8.53%	13.39%	217,565.45	70.06%	19.55%	10.39%	214,783.82	213,364.73	897.41	2,781.63
17/11/2016	13	224	1997.7	62.30%	26.79%	10.92%	423,507.17	69.64%	20.34%	10.02%	410,179.38	405,379.85	894.08	13,327.79
18/11/2016	12	211	1890.39	86.47%	0.00%	13.53%	361,709.37	70.29%	19.71%	10.01%	345,949.12	343,670.48	893.9	15,760.25
21/11/2016	17	127	1225.05	61.29%	22.87%	15.84%	290,977.55	70.27%	19.37%	10.37%	273,416.05	270,988.35	900.28	17,561.50
22/11/2016	11	96	934.01	70.30%	16.64%	13.07%	188,070.12	70.30%	19.61%	10.09%	183,451.49	183,182.99	902.17	4,618.63
23/11/2016	12	116	1079.67	92.41%	0.00%	7.59%	221,766.04	70.21%	19.69%	10.10%	221,596.00	221,477.60	331.69	170.04
24/11/2016	11	158	1535.47	70.37%	20.66%	8.97%	340,304.05	70.29%	18.95%	10.76%	324,668.53	324,344.29	605.62	15,635.52
25/11/2016	13	140	1377.21	75.76%	17.33%	6.91%	272,899.41	70.28%	19.03%	10.70%	266,259.86	265,652.13	900.34	6,639.55
28/11/2016	10	167	1494.33	67.16%	13.27%	19.56%	284,673.84	70.30%	19.28%	10.43%	280,540.95	278,836.64	894.61	4,132.89
29/11/2016	10	107	813.79	85.06%	0.00%	14.94%	163,260.22	70.29%	17.60%	12.11%	157,957.18	157,586.38	898.47	5,303.04
30/11/2016	4	65	645.34	82.02%	17.98%	0.00%	116,975.02	70.28%	16.45%	13.26%	118,553.83	118,361.51	900.62	(1,578.81)
รวม		3226	29,202.38				6,019,961.94				5,852,542.59	5,814,482.13		167,419.35

ตารางภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

วันที่ส่งมอบ	จำนวนลูกค้า	จำนวนคอยล์	น้ำหนัก (ตัน)	Current Solution				MILP Solution : BBT 0.1% : Max CPU Time 900 Sec.						
				%A	%B	%C	Cost	%A	%B	%C	Cost	Lower Bound	CPU Time (Sec.)	Reduced Cost
2016/12/01	15	276	2,376.85	77.64%	13.71%	8.65%	518,096.85	70.27%	19.55%	10.17%	509,571.36	508,344.39	895.76	8,525.49
2016/12/02	14	209	1,787.97	77.58%	14.67%	7.76%	361,647.07	70.19%	19.81%	10.00%	349,398.25	343,636.18	899.82	12,248.82
2016/12/06	11	209	1,688.18	68.92%	16.60%	14.48%	356,288.91	79.08%	19.56%	1.36%	333,030.42	324,215.77	987.26	23,258.49
2016/12/07	9	178	1438.12	73.35%	20.34%	6.31%	309,039.05	70.26%	19.68%	10.07%	295,637.99	295,503.04	16.59	13,401.06
2016/12/08	9	150	1391.8	61.82%	25.19%	13.00%	321,995.71	69.85%	20.00%	10.15%	304,413.98	302,443.42	898.29	17,581.73
2016/12/09	13	262	2,430.99	78.41%	13.51%	8.08%	471,693.45	70.48%	19.81%	9.71%	464,031.18	463,570.15	662.8	7,662.27
2016/12/12	3	63	598.31	60.33%	39.67%	0.00%	133,403.35	70.25%	19.71%	10.03%	132,811.84	133,323.62	31.56	591.51
2016/12/13	14	232	2064.98	73.03%	15.52%	11.46%	433,491.36	70.24%	19.32%	10.44%	413,770.29	411,498.55	896.35	19721.07
2016/12/14	11	190	1760.19	69.78%	17.95%	12.26%	359,746.96	70.30%	19.66%	10.04%	347,021.98	347,233.68	340.01	12,724.98
2016/12/15	15	206	2003.47	72.74%	14.95%	12.31%	407,786.11	70.24%	19.66%	10.10%	397,992.25	388,486.79	897.99	9,793.86
2016/12/16	9	179	1496.92	81.05%	8.04%	10.91%	275,752.80	70.26%	19.65%	10.09%	263,705.48	263,442.46	608.8	12,047.32
2016/12/19	12	230	2,179.63	74.73%	13.41%	11.86%	454,123.61	70.29%	19.33%	10.37%	440,660.18	439,697.32	898.89	13,463.43
2016/12/20	16	234	2,082.82	81.42%	9.70%	8.87%	443,102.98	70.29%	19.44%	10.27%	428,929.56	424,331.37	898.74	14,173.42
2016/12/21	14	204	1,762.33	76.47%	16.38%	7.15%	355,251.27	70.30%	19.74%	9.97%	340,571.43	338,768.84	898.49	14,679.84
2016/12/22	7	100	865.26	78.46%	21.54%	0.00%	169,536.38	69.52%	20.40%	10.08%	169,972.71	169,816.86	115.82	(436.33)
2016/12/23	5	125	1,080.57	89.22%	0.00%	10.78%	198663.67	70.30%	19.70%	10.00%	197,289.20	197,099.50	55.56	1,374.47
2016/12/26	1	11	114.58	0.00%	100.00%	0.00%	27,613.78	68.32%	18.03%	18.01%	26,613.12	25,574.01	902.97	1,000.66
รวม		3058	27,122.97				5,597,233.31				5,415,421.22	5,376,985.94		181,812.09