การกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต
สำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์

รดาธร กิตติญาณนนท์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ รดาธร กิตติญาณนนท์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

.... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อานุภาพ บุญส่งศรีกุล)

.... กรรมการ
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

.... กรรมการ
(ดร. สัญญา ยิ้มศิริ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)
วันที่...8...เดือน..สิงหาคม.....พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือ จาก ดร.จักรวาล คุณะดิลก อาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ซึ่งท่านได้สละเวลาอันมีค่า เพื่อให้คำปรึกษาแนะแนวทางการทำวิจัย รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานนิพนธ์ ด้วยความเอาใจใส่ ตั้งแต่เริ่มต้นจนงานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยรับรู้ถึงความปรารถนาดีและรู้สึกซาบซึ้งใจอย่างที่สุด รวมถึงคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่มีส่วนร่วมเป็นแรงผลักดัน ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจไม่มากก็น้อย ทั้งนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดเกิดขึ้นในงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับ

รดาธร กิตติญาณนนท์

59910253: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: กำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้น/ การกำหนดปริมาณการผลิต/ การจัดตารางการผลิต

รดาธร กิตติญาณนนท์: การกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ (LOT SIZING AND SCHEDULING FOR AUTOMOBILE BODY PART PRESSING PROCESS) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก, Ph.D., 155 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้เป็นปัญหาการวางแผนการผลิตรายวันสำหรับเครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ที่ต้องกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของลูกค้าใน 14 กะทำงานต่อเนื่อง และจัดตารางการผลิตในแต่ละกะทำงานให้สามารถผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง งานวิจัยนี้เสนอวิธีการกำหนดปริมาณการผลิต 4 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับหาเวลาสายที่สูงที่สุดจากทุกกะทำงานที่มีค่าน้อยที่สุด ขั้นตอนที่สองใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับหาผลรวมเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักให้มีค่าน้อยที่สุด โดยให้น้ำหนักความสำคัญมากกว่าสำหรับ 4 กะทำงานแรก ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้คือขีดจำกัดด้านบนของเวลาสายสำหรับแต่ละกะทำงาน ขั้นตอนที่สามใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับหาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุด เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดขีดจำกัดด้านล่างของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ย และขั้นตอนสุดท้ายใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนที่ทำให้ต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการปรับตั้งเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุด จากนั้นนำค่าตัวแปรตัดสินใจเกี่ยวกับการส่งมอบชิ้นส่วนของแบบจำลองนี้ไปทำการจัดตารางการผลิตของแต่ละกะทำงาน การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอจากปัญหาการวางแผนการผลิตจริง 21 วัน ที่มีปริมาณความต้องการชิ้นส่วนเฉลี่ยต่อกะทำงาน 29 ชิ้นส่วน รวม 3,600 ชิ้น พบว่าสามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ทุกแบบจำลองของทุกปัญหา ต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงร้อยละ 0.49 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของทุกกะทำงานและของสองกะทำงานแรกมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ของโรงงาน จำนวนกะทำงานที่ไม่สามารถผลิตเสร็จได้ 6 ชั่วโมงก่อนการส่งมอบจาก 14 กะทำงาน และจาก 2 กะทำงานแรกต่อการวางแผนหนึ่งวัน ลดลงร้อยละ 5.7 และ 11.9 ตามลำดับ และวิธีการที่เสนอใช้เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนการผลิตรายวันต่ำกว่า 1 นาที เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมของโรงงานที่ใช้เวลาเฉลี่ย 109 นาที

59910253: MAJOR: INDUSTIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)

KEYWORDS: MULTI-STAGE MATHEMATICAL PROGRAMMING/ LOT SIZING/ SCHEDULING

RADATORN KITTIYANNONT: LOT SIZING AND SCHEDULING FOR AUTOMOBILE BODY PART PRESSING PROCESS. ADVISORY COMMITTEE: JAKRAWARN KUNADILOK, Ph.D., 155 P. 2017.

A lot sizing and scheduling problem in this research is a daily production planning problem for an automobile body part pressing machine. Production volumes of the body parts are determined to meet the customer demand during next 14 working shifts and then a production schedule for each shift is created with a delivery restriction that the parts must be finished 6 hours before shipping at the end of the shift. This research proposed four steps for lot sizing determination. First, a mixed integer linear programming model for minimizing the maximum tardiness was used to discover if a production plan is capable of meeting the delivery restriction. Second, a mixed integer linear programming model for minimizing the total weighted tardiness was used to determine the upper limit of the tardiness for each shift where the first four shifts are more important than others. Third, an integer linear programming model for maximizing the average earliness was used to determine the lower limit of the average of part completion time before delivery in its production shift. Final, an integer linear programming model for minimizing the total cost of holding cost and setup cost was used for lot sizing determination. Next, the decision variables corresponding to the part delivery of the final model were utilized to build the production schedules. The performance of the proposed method was evaluated by comparing with the real production plan of 21 days with the average demand per shift equal to 3600 pieces of 29 parts. The results revealed that the optimal solutions were found for all models of all problems. The total cost was reduced 0.49% and the average completion times of parts produced in their shipping period before delivery were met the delivery restriction. The number of shifts from all 14 shifts and first two shifts per the daily production plan that fail to meet the delivery restriction was reduced 5.7% and 11.9%, respectively. The average computational time for creating the daily production plan was less than one minute comparing to 109 minutes of previous method.

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

สารบัญ ฉ

สารบัญตาราง ซ

สารบัญภาพ ฌ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

สมมติฐานของงานวิจัย 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 5

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

ข้อจำกัดของการวิจัย 6

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

ระบบการผลิต 8

การวางแผนและการจัดตารางการผลิต 10

การจัดตารางการผลิต 12

การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ 14

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 16

การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในแบบจำลองกำหนด
การเชิงเส้น 17

ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต 18

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver 21

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

หน้า

3 วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย 28

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 28

การศึกษาสภาพปัจจุบันและขั้นตอนการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา 30

การวิเคราะห์ข้อมูล 37

การวิเคราะห์ปัญหา 43

4 ผลการวิจัย 52

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้นสำหรับการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต 52

การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ 70

การทดสอบประสิทธิภาพ 85

5 สรุปและอภิปรายผล 94

สรุปผลการวิจัย 94

อภิปรายผลการวิจัย 96

ข้อเสนอแนะ 99

บรรณานุกรม 100

ภาคผนวก 102

ภาคผนวก ก 103

ภาคผนวก ข 107

ภาคผนวก ค 122

ภาคผนวก ง 124

ภาคผนวก จ 128

ภาคผนวก ฉ 150

ประวัติย่อของผู้วิจัย 155

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ข้อมูลการผลิตที่เพิ่มขึ้น ณ ปีการผลิตที่แตกต่างกัน	2
1-2	ข้อมูลการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนของแต่ละสายการผลิต	2
3-1	ช่วงเวลาการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา	33
3-2	ข้อมูลกลุ่มชิ้นส่วนผลิต	35
3-3	แผนการผลิตหลักบางส่วน	37
3-4	ความแตกต่างของปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงจากแผนการผลิต	38
3-5	ตัวอย่างปริมาณการผลิตชิ้นส่วน วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 (บางส่วน)	40
3-6	ตัวอย่างตารางการผลิตวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560	41
3-7	ชิ้นส่วนที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการส่งมอบในกะทำงาน 18D	43
3-8	ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง	45
3-9	เวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ในการสร้างแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา	49
3-10	สรุปปัญหา สาเหตุ และเสนอแนวทางการแก้ไข	50
4-1	ค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร	88
4-2	ค่าใช้จ่ายเมื่อปรับค่าขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ย	89
4-3	เวลาการประมวลผลสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต	93
5-1	สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอในการสร้างแผนการผลิตรายวัน	96

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ตำแหน่งการวางแผนการผลิตโดยเรียงจากบนลงล่าง	12
2-2	การเรียกใช้งาน OpenSolver	22
2-3	หน้าต่าง OpenSolver-Model สำหรับบันทึกกำหนดการคณิตศาสตร์แบบแผ่นงาน	23
3-1	แบบจำลองผังโรงงานกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์	30
3-2	ขั้นตอนการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา	31
3-3	ขั้นตอนการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา	32
3-4	กำหนดส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเข้าคลังสินค้า	42
3-5	ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตสร้างจากวิธีการของโรงงานกรณีศึกษา	48
4-1	แบบจำลอง ILP สำหรับกำหนดปริมาณและจัดตารางการผลิตให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด	61
4-2	วิธีการที่เสนอสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของเครื่องปั๊มขึ้นรูป	64
4-3	แบบจำลอง MinMaxTardiness	65
4-4	แบบจำลอง MinTWT	66
4-5	แบบจำลอง MaxAvgEarliness	67
4-6	ลำดับขั้นการสร้างตารางการผลิตจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง MinTC	69
4-7	แผ่นงาน “Input & Direction”	71
4-8	ลำดับชิ้นส่วนและข้อมูลการผลิต	71
4-9	แผ่นงาน “MinMaxTardiness”	72
4-10	แผ่นงาน “Min TWT”	73
4-11	แผ่นงาน “Max AvgEarliness”	74
4-12	แผ่นงาน “Min TC”	75
4-13	การบันทึกแบบจำลองแผ่นงานลงในโปรแกรม OpenSolver	76
4-14	แผ่นงาน “Production Schedule”	77
4-15	ผลการบันทึกข้อมูลนำเข้า และผลการรันโปรแกรมของแบบจำลองด้านเวลา 3 ตัวแบบ	79
4-16	ค่า g_{it} และ pd_{ijt} หลังประมวลผลแบบจำลอง MinTC ของปัญหาตัวอย่าง	80
4-17	ค่า x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, และ z_{ij}^{t} หลังประมวลผลแบบจำลอง MinTC ของปัญหาตัวอย่าง	81
4-18	ตารางการผลิตบางส่วนของแผนการผลิตวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560	82

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-19 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน (ชั่วโมง) 91
5-1 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน (ชั่วโมง) 98

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมรถยนต์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของภูมิภาคอาเซียนและมีตลาดในประเทศขนาดใหญ่ มีซัพพลายเชนที่แข็งแกร่ง ทำให้บริษัทผู้ผลิตต่างๆ ต้องมีการแข่งขันที่สูงขึ้น โดยในปี 2558 การผลิตรถยนต์ในไทยมีจำนวน 1.92 ล้านคันเป็นอันดับ 12 ของโลกและเป็นอันดับ 1 ของอาเซียน (Organization internationale des constructeurs d'automobiles [OICA], 2016) และยอดการผลิตรถยนต์ในปี 2559 มีการขยายตัวเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2558 ร้อยละ 3.3 และพบว่าตลาดในประเทศและตลาดส่งออกชะลอตัวอันเนื่องมาจากเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามในปี 2560 คาดว่าการผลิตรถยนต์จะประมาณ 2,000,000 คัน โดยเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.56 โดยแบ่งเป็นการผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศประมาณ 800,000 คัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.67 และเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกประมาณ 1,200,000 คัน ร้อยละ 3-4 และมีแนวโน้มที่ดีขึ้นตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2559) ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน โดยเริ่มจากการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการวางแผนการผลิต การผลิต การตรวจสอบคุณภาพและการบริการ เพื่อให้สามารถผลิตรถยนต์ที่มีคุณภาพ เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า การวางแผนการผลิตจึงถือว่าเป็นปัจจัยหลักของการดำเนินการของบริษัท ดังนั้นฝ่ายวางแผนการผลิตจึงควรมีการบริหารจัดการอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ (สุทธิลักษณ์ จตุพงษ์, 2550)

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตรถยนต์ ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4 รุ่นการผลิต ได้แก่ รถกระบะขนาดกลาง รถอเนกประสงค์สมรรถนะสูง รถยนต์นั่งขนาดเล็ก 4 ประตู และรถยนต์นั่งขนาดเล็ก 5 ประตู จากข้อมูลการผลิตรวมทุกสายการประกอบรถยนต์ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม ดังตารางที่ 1-1 พบว่าปริมาณการผลิตในปี พ.ศ. 2560 เพิ่มขึ้นจากปีการผลิตที่แล้วประมาณร้อยละ 40 ทำให้โรงงานต้องมีกระบวนการสำหรับจัดเตรียมชิ้นส่วนรถยนต์ให้พร้อมรอการประกอบตามปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้าและเพื่อส่งมอบลูกค้าได้ทันเวลา โดยชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่นำมาประกอบรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษามาจาก 2 แหล่ง คือ สั่งซื้อจากผู้ส่งมอบภายนอกและผลิตเอง ชิ้นส่วนประกอบหลักกลุ่มหนึ่งที่โรงงานผลิตเอง คือ ชิ้นส่วนโครงรถยนต์ เช่น ประตูหน้า-หลัง หลังคา ฝากระโปรง เป็นต้น เป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องมีการวางแผนการผลิตให้เหมาะสมเพื่อรองรับปริมาณความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 1-1 ข้อมูลการผลิตที่เพิ่มขึ้น ณ ปีการผลิตที่แตกต่างกัน

เดือนการผลิต	**ยอดการผลิต**	**เดือนการผลิต**	**ยอดการผลิต**	**คิดเป็นร้อยละ**
กรกฎาคม 2559	29,700	กรกฎาคม 2560	36,800	23.91%
สิงหาคม 2559	24,500	สิงหาคม 2560	33,300	35.92%
กันยายน 2559	28,000	กันยายน 2560	44,656	59.49%
ตุลาคม 2559	23,500	ตุลาคม 2560	32,000	36.17%

รูปแบบการผลิตรถยนต์เป็นแบบตามคำสั่งซื้อ (Make to order) ซึ่งรถยนต์แต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกันในแต่ละตัวเลือก (Option) ทำให้การประมาณการผลิตชิ้นส่วนโครงรถยนต์ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ชิ้นส่วนแต่ละชนิดมีการผลิตในปริมาณที่แตกต่างกันตามปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงมีขั้นตอนและเวลาในการผลิตแตกต่างกันออกไป ผู้ทำวิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญในการวางแผนการผลิตของชิ้นส่วนโครงรถยนต์ที่มีสายการผลิต 3 สายการผลิต ได้แก่ สายการผลิต A B และ C สำหรับปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วน ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ข้อมูลการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนของแต่ละสายการผลิต

สายการผลิต	**จำนวนกลุ่มปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วน (กลุ่ม)**	**จำนวนปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วน (ชิ้นส่วน)**
A	20	45
B	23	46
C	18	40

กิจกรรมการวางแผนการผลิตเป็นหน้าที่ของฝ่ายวางแผนการผลิตและฝ่ายผลิต เริ่มจากฝ่ายวางแผนการผลิตทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณความต้องการชิ้นส่วนรายสัปดาห์ที่ได้รับการยืนยันคำสั่งซื้อจากลูกค้า และกำหนดชั่วโมงการทำงานในแต่ละกะทำงานในรอบสัปดาห์ จากนั้นฝ่ายผลิตทำหน้าที่ในการจัดลำดับการผลิตรายวัน โดยพิจารณาจากปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง ปริมาณความต้องการรายสัปดาห์จากฝ่ายวางแผนการผลิต เงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ และเงื่อนไขการส่งมอบ เพื่อกำหนดว่าในแต่ละกะการทำงานสายการผลิตหนึ่ง ๆ ต้องผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ปริมาณเท่าใด และลำดับการผลิตเป็นอย่างไร

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนาวิธีการวางแผนการผลิตรายวันของฝ่ายผลิตที่ต้องกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตสำหรับแต่ละกะการทำงาน ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาใช้ซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์เอ็กเซลวีบีเอ (Microsoft Excel VBA) ที่พัฒนาโดยวิศวกรต่างชาติจากบริษัทแม่ การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตเริ่มจากการนำปริมาณความต้องการรายสัปดาห์และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังบันทึกลงบนโปรแกรม แล้วทำการประมวลผลเพื่อสร้างแผนการผลิตในช่วงเวลา 14 กะทำงานต่อเนื่อง กิจกรรมการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตนี้ต้องทำทุกวันเนื่องจากปริมาณชิ้นส่วนคงคลังมีค่าไม่แน่นอน ซึ่งเกิดจากปริมาณการผลิตไม่เป็นไปตามแผนการผลิต และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่เพิ่มขึ้นจากการซ่อมแซมชิ้นส่วนที่มีข้อบกพร่อง การสร้างแผนการผลิตด้วยซอฟต์แวร์นี้ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 80 นาทีถึง 150 นาทีสำหรับการกำหนดปริมาณและจัดตารางการผลิตของสายการผลิตหนึ่ง ๆ ที่มีความต้องการชิ้นส่วนประมาณ 30 ประเภทต่อกะ และปริมาณความต้องการชิ้นส่วนรวมประมาณ 3,600 ชิ้นต่อกะ การใช้เวลานานในการสร้างแผนการผลิตทำให้การทำงานของฝ่ายผลิตมีความยุ่งยากเนื่องจากต้องนำลำดับการผลิตที่ได้จากการประมวลผลไปใช้ในการทำงานทุกวันจึงต้องเผื่อเวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ให้มั่นใจได้ว่าสามารถดำเนินการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง แผนการผลิตที่สร้างขึ้นจากซอฟต์แวร์นี้เป็นแผนที่มุ่งเน้นให้สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ตามปริมาณความต้องการตามกำลังการผลิตที่กำหนดให้แปรผันตามจำนวนชั่วโมงของกะทำงานและการส่งมอบให้ทันเวลา แต่ไม่ได้คำนึงถึงระดับชิ้นส่วนคงคลัง (Inventory level) และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรุ่นการผลิต (Number of setup activities) ที่ต้องเปลี่ยนแม่พิมพ์ (Die) เมื่อชิ้นส่วนที่ต้องการขึ้นรูปเปลี่ยนไป ที่เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในเนื่องจากแผนการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาและแก้ไขปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตรายวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังก่อนส่งมอบและการเปลี่ยนแม่พิมพ์เมื่อเปลี่ยนรุ่นการผลิต ภายใต้เงื่อนไขในการสร้างแผนการผลิตที่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ตามปริมาณความต้องการและส่งมอบได้ทันเวลา และใช้เวลาไม่นานในการสร้างแผนการผลิต

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบวิธีการสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์

2. เพื่อลดต้นทุนรวมของการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเปลี่ยนรุ่นการผลิตต่ำที่สุดที่เกิดจากแผนการผลิต ภายใต้เงื่อนไขเวลาการผลิตงานเสร็จก่อนการส่งมอบชิ้นส่วนที่โรงงานกรณีศึกษากำหนด

3. เพื่อลดเวลาในการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตรายวัน

สมมติฐานของงานวิจัย

การวางแผนการผลิตแบบรายวันของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ เป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเดี่ยว (Single machine scheduling problem) ที่มีการลักษณะการผลิตเป็นแบบแบทช์ (Batch) คือ การขึ้นรูปชิ้นส่วนหนึ่ง ๆ ต้องทำการผลิตชิ้นส่วนนั้นให้ครบขนาดรุ่นการผลิต (lot size) ที่กำหนด การขึ้นรูปครั้งหนึ่ง ๆ (Pressing) สามารถขึ้นรูปชิ้นส่วนได้หลายชนิดตามการออกแบบของผู้ผลิตทำให้ต้องมีการกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนแต่ละชนิดในการวางแผนการผลิตนี้ด้วย เวลาการขึ้นรูปแต่ละครั้งใช้เวลาการผลิตที่ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นส่วนที่ขึ้นรูป และการเปลี่ยนแม่พิมพ์สามารถทำได้อย่างอัตโนมัติ และการเตรียมแม่พิมพ์สามารถทำได้นอกสายการผลิตทำให้ไม่เสียเวลาการเตรียมแม่พิมพ์ในสายการผลิตหลัก การวางแผนการผลิตของปัญหานี้มีเงื่อนไขด้านการผลิตให้ได้ตามปริมาณความต้องการและต้องผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนระยะเวลาส่งมอบที่กำหนด นอกจากนี้แล้วการผลิตชิ้นส่วนหลายชนิดทำให้มีกิจกรรมการเปลี่ยนแม่พิมพ์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต การเปลี่ยนรุ่นผลิตบ่อยครั้งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายการเปลี่ยนรุ่น ขณะที่การผลิตรุ่นหนึ่ง ๆ ในปริมาณมากทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนก่อนส่งมอบ และอาจทำให้ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนประเภทอื่น ๆ ได้ทันเวลาส่งมอบ ดังนั้นการวางแผนการผลิตรายวันที่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายทั้งสองด้านจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากค่าใช้จ่ายสองด้านนี้ได้ ปัญหาการวางแผนการผลิตนี้เป็นปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการวางแผนการผลิตเดิมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมงสำหรับการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของการขึ้นรูปชิ้นส่วนที่มีปริมาณความต้องการประมาณ 30 ประเภท รวม 3,600 ชิ้นต่อกะทำงาน การออกแบบวิธีการที่เหมาะสมและใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วยในการคำนวณจะช่วยลดเวลาการวางแผนการผลิตลงได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ในงานวิจัยนี้ มีเป้าหมายสำคัญ 3 ด้าน คือ 1) ผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา 2) ต้นทุนรวมของการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุด และ 3) สร้างตารางการผลิตได้อย่างรวดเร็ว งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) สำหรับแก้ไขปัญหานี้โดยพัฒนาจากแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดขนาดล๊อตแบบ Single-level capacitated lot sizing problem (Single-level CLSP) ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ให้ครบปริมาณความต้องการในช่วงเวลาของการวางแผนการผลิต โดยทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในด้านสินค้าคงคลังกับด้านการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต (Drexl & Kimms, 1997) อย่างไรก็ตามปัญหา CLSP มุ่งเน้นให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการสร้างวิธีการวางแผนการผลิตแบบหลายขั้นตอน เริ่มจากการสร้างแผนการผลิตจากแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้เวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบน้อยกว่า 6 ชั่วโมง (เสร็จไม่ทันตามข้อกำหนดโรงงาน) มีค่าน้อยที่สุดก่อน แล้วนำผลลัพธ์นี้ไปเป็นเงื่อนไขด้านเวลาการส่งมอบสำหรับการสร้างแผนการผลิตด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่มีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดต่อไป การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver ที่ติดตั้งได้บนซอฟต์แวร์ไมโครซอฟต์เอ็กเซลทำให้สะดวกต่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม และใช้ตัวประมวลผล Gurobi ที่มีประสิทธิภาพสูงในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งทำให้การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตตามวิธีการที่เสนอใช้เวลาไม่นาน และสุดท้ายงานวิจัยนี้จะออกแบบไฟล์เอ็กเซลที่ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตตามวิธีการที่เสนอ เพื่อให้ผู้วางแผนการผลิตสามารถสร้างแผนการผลิตและนำแผนการผลิตไปใช้ได้ง่าย

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของบริษัทผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง
2. ศึกษาการวางแผนการผลิตและจัดตารางการผลิตของเครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ ที่สายการผลิต B โดยใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560
3. แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นที่มีเป้าหมายให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming: ILP) ส่วนแบบจำลอง

ที่ใช้สำหรับเป้าหมายที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบมีทั้งแบบจำลอง ILP และแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP)

4. การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมใช้โปรแกรม OpenSolver เวอร์ชั่น 2.8.6 (วันที่เริ่มให้ดาวน์โหลด 6 มีนาคม พ.ศ. 2560) โดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณหาผลลัพธ์ (Solver engine language) คือ ซอฟต์แวร์ Gurobi 7.5.2 ที่เป็นโปรแกรมประมวลผลลัพธ์เชิงพาณิชย์ (Commercial software)

5. การทดสอบประสิทธิภาพทำโดยเปรียบเทียบแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการที่เสนอกับแผนการผลิตของโรงงานตัวอย่างในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 จำนวน 21 วัน โดยพิจารณาดัชนีชี้วัด 3 ด้าน คือ ต้นทุนรวม เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ และเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเปลี่ยนรุ่น ที่เกิดจากการวางแผนการผลิตได้

2. สามารถลดจำนวนกะทำงานที่มีเวลาในการผลิตชิ้นส่วนผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของบริษัทลงได้

3. สามารถลดเวลาการสร้างแผนการผลิตรายวันได้ ทำให้ฝ่ายผลิตสามารถเลือกช่วงเวลาที่สะดวกในการทำงานเพื่อสร้างแผนการผลิตรายวัน

4. สามารถวางแผนการผลิตรายวันโดยใช้ข้อมูลด้านชิ้นส่วนคงคลังที่แม่นยำมากขึ้นเพราะมีความยืดหยุ่นด้านเวลาที่ใช้ในการวางแผนการผลิตรายวัน

5. สามารถนำไปใช้ในการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตรายวันของกระบวนการผลิตที่มีรูปแบบการผลิตแบบเครื่องจักรเดี่ยวที่ต้องผลิตหลายรุ่นที่ไม่เสียเวลาในการตั้งเครื่องจักร และมีเงื่อนไขการส่งมอบด้านเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริง

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ไฟล์เอ็กเซลที่ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตที่สร้างขึ้นใช้ได้เฉพาะกลุ่มชิ้นส่วน 23 กลุ่ม รวม 46 ชิ้นส่วน

2. ตัวประมวลผลลัพธ์ (Solver engine) ของ OpenSolver เลือกใช้ Gurobi 7.5.2 สำหรับเพื่อการวิจัยเท่านั้น หากนำไปใช้ในการวางแผนการผลิตจริงต้องติดต่อผู้แทนจำหน่ายเพื่อลงโปรแกรมก่อนการใช้งานจริง

3. ขนาดรุ่นการผลิต (Lot size) ความจุอุปกรณ์วางชิ้นส่วน (Rack capacity) อัตรา

การผลิต และจำนวนชิ้นส่วนคงคลังสูงสุดเป็นไปตามที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

4. เวลาการทำงานของแต่ละกะทำงานไปตามที่ฝ่ายวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษากำหนดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

5. เวลาการขึ้นรูปชิ้นส่วนประเภทหนึ่ง ๆ เป็นค่าคงที่ทุกครั้ง

6. เวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบตามเกณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา คือ ต้องผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริง 6 ชั่วโมง เมื่อชิ้นส่วนผลิตเสร็จจะถูกส่งเข้าคลังสินค้าแล้วเก็บไว้เพื่อรอการส่งมอบ

7. เครื่องจักรทำงานได้อย่างต่อเนื่องไม่สูญเสียเวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ระหว่างเปลี่ยนรุ่น เนื่องจากเครื่องจักรติดตั้งแม่พิมพ์ไว้สำหรับผลิตชิ้นส่วน 2 รุ่น เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นผลิตเครื่องจักรจะเปลี่ยนแม่พิมพ์โดยอัตโนมัติซึ่งใช้เวลาในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ภายในเครื่องจักรน้อยมาก ส่วนกิจกรรมการเตรียมแม่พิมพ์ที่เกิดขึ้นนอกสายการผลิตจะใช้เวลาประมาณ 50 นาที ในการนำแม่พิมพ์สำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จแล้วออกจากเครื่อง และติดตั้งแม่พิมพ์สำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่จะผลิตในลำดับถัดไปจากรุ่นที่เครื่องจักรกำลังผลิตอยู่

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและการจัดตารางการผลิตที่สามารถนำไปประยุกต์กับการปรับปรุงประสิทธิภาพในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในด้านการใช้ทรัพยากร การดำเนินการผลิต ผลกำไรของบริษัท ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ต่อความต้องการของลูกค้า นอกจากนี้การจัดตารางการผลิต สามารถเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำงานและควบคุมการผลิต ผู้ทำวิจัยจึงศึกษาถึงขั้นตอนและกระบวนการทำงานต่าง ๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนและจัดตารางการผลิต ได้แก่ ระบบการผลิต การวางแผนและการจัดตารางการผลิต การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและจำนวนเต็มผสม การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม OpenSolver และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการผลิต

ระบบการผลิตประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ สำหรับเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบให้เป็นสินค้าหรือบริการ วัตถุดิบเหล่านี้จะไหลผ่านระบบการผลิตโดยผ่านกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งหน้าที่ของผู้บริหารงานผลิต คือ การจัดการให้วัตถุดิบที่ไหลผ่านกระบวนการผลิต และกลายเป็นสินค้าด้วยประสิทธิภาพสูงสุด

ระบบการผลิตสามารถจำแนกประเภทได้ตามเกณฑ์การตัดสินใจสั่งผลิต และรูปแบบการไหลของกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบเป็นสินค้า ดังนี้

ประเภทระบบการผลิตตามเกณฑ์การตัดสินใจสั่งผลิต สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบ คือ 1) การผลิตเพื่อรอการขาย (Make-to-Stock) และ 2) การผลิตตามสั่ง (Make-to-Order) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ระบบการผลิตเพื่อรอขายเป็นระบบการผลิตที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ เนื่องจากมีการผลิตและจัดเก็บสำรองไว้ล่วงหน้าในปริมาณหนึ่ง แต่ระบบจะมีความยืดหยุ่นน้อย และมีต้นทุนในการจัดเก็บพัสดุคงคลังที่สูง ระดับที่สั่งผลิตจะขึ้นอยู่กับผลจากการพยากรณ์ยอดขาย (Sales forecasting) และระดับบริการ

(Service level) ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ตัววัดประสิทธิภาพของระบบการผลิตนี้ที่สำคัญ ได้แก่ การใช้ประโยชน์จากสินทรัพย์ที่มีอยู่ ซึ่งวัดได้จากการหมุนเวียนของสินค้าคงคลัง (Inventory turnover) การใช้ประโยชน์จากกำลังการผลิต (Capacity utilization) การใช้กำลังการผลิตล่วงเวลา (Use of overtime) นอกจากนี้ ตัววัดอีกตัวหนึ่ง คือ ระดับบริการซึ่งวัดได้จากสัดส่วนจำนวนงานที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า

2. ระบบการผลิตตามสั่งเป็นระบบการผลิตสินค้าหรือบริการตามความต้องการของลูกค้า ปริมาณที่สั่งผลิตในแต่ละครั้งมักมีจำนวนไม่มากนัก โดยทั่วไปจะมีประเภทของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ด้วยเหตุผลดังกล่าวอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่นำมาใช้ในการผลิตจึงเป็นแบบอเนกประสงค์ (Multi-purposed machine) คือ สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้กับเกือบทุกประเภทของผลิตภัณฑ์ ตัววัดประสิทธิภาพของระบบการผลิตตามสั่ง คือ ระยะเวลาการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า และสัดส่วนของการส่งของได้ทันกำหนด

ระบบการผลิตตามรูปแบบการไหลของกระบวนการแปรรูปวัตถุดิบเป็นสินค้า สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous process) และ 2) กระบวนการไหลแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent process) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กระบวนการไหลแบบต่อเนื่อง (Continuous process) มักใช้กับการผลิตที่เป็นสายผลิตภัณฑ์ มีรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมาตรฐาน และเครื่องจักรที่ใช้มักเป็นเครื่องจักรแบบอัตโนมัติ

2. กระบวนการไหลแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent process) มักใช้กับการผลิตสินค้าที่มีคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตามความต้องการของลูกค้า และเครื่องจักรที่ใช้มักเป็นเครื่องจักรที่มีความยืดหยุ่นสูง ซึ่งแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

2.1 ระบบการผลิตตามสายงาน (Flow shop) เป็นระบบการผลิตที่งานรุ่นต่าง ๆ ต้องผ่านการผลิตหลายขั้นตอน และงานทุกรุ่นมีขั้นตอนการผลิตเหมือนกัน ทำให้การไหลของผลิตภัณฑ์ทุกตัวเป็นไปตามทิศทางเดียว

2.2 ระบบการผลิตตามงาน (Job shop) เป็นระบบการผลิตที่งานรุ่นต่าง ๆ ต้องผ่านการผลิตหลายขั้นตอน แต่งานแต่ละรุ่นอาจมีขั้นตอนการผลิตที่แตกต่างกัน คุณสมบัติเด่นของระบบการสั่งผลิตเป็นงาน ๆ คือ ปริมาณที่สั่งผลิตแต่ละครั้งของสินค้าแต่ละชนิดไม่มาก สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเฉพาะทาง มีลำดับการไหลของงานที่หลากหลาย อุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีความยืดหยุ่นสูง สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ และพนักงานมีทักษะที่ค่อนข้างสูง สามารถทำงานได้หลายหน้าที่

2.3 ระบบการผลิตตามสายการประกอบ (Assembly shop) เป็นระบบการผลิตที่มี

การแยกไหลเป็นรายชิ้นส่วนแบบไม่ต่อเนื่องจากสถานีงานหนึ่งไปยังอีกสถานีงานหนึ่งด้วยอัตรา การไหลที่ถูกควบคุมไว้ หลังจากนั้นนำมาประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

การวางแผนและการจัดตารางการผลิต

การไหลหรือการเคลื่อนย้ายวัสดุ (Material flow) เป็นเสมือนกิจกรรมหลักในระบบการผลิต การออกแบบระบบการผลิตที่ดีจะส่งผลให้การเคลื่อนย้ายวัสดุเป็นไปอย่างราบรื่นและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบการผลิตที่ดีเพียงอย่างเดียวยังไม่สามารถประกันได้ว่าจะก่อให้เกิดประสิทธิภาพ แต่จะต้องมีระบบการวางแผนการผลิตที่เป็นตัวกำกับให้การไหลของวัสดุเป็นไปโดยราบรื่นตามกระบวนการที่ได้ออกแบบไว้

การวางแผนและควบคุมการผลิตเป็นเครื่องมือด้านการจัดการที่นำมาใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับความต้องการทรัพยากรการผลิต การจัดสรรทรัพยากร และการจัดตารางการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตตามแผนที่ได้วางไว้ ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) เชิงปริมาณ (Quantitative) และเวลา (Time) ด้วยต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (ชุมพล ศฤงคารศิริ, 2536)

เป้าหมายหลักนี้สามารถแยกออกเป็นหัวข้อย่อยได้ ดังนี้

1. เพื่อเปลี่ยนค่าพยากรณ์การขายหรือใบสั่งซื้อให้อยู่ในรูปของแผนการผลิตอย่างประหยัด
2. เพื่อให้การดำเนินงานในหน่วยงานต่าง ๆ มีการประสานงานกันได้ดีขึ้น
3. เพื่อต้องการลดต้นทุนการผลิต โดยพิจารณาถึงการจัดตารางการผลิตของกิจกรรมการใช้แรงงานและเครื่องจักรให้เกิดประโยชน์สูงสุด
4. เพื่อช่วยให้ผลผลิตเปลี่ยนแปลงขึ้นลงไม่มากนัก
5. เพื่อให้มีวัสดุหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในเวลาที่ต้องการมีอย่างเพียงพอและถูกต้อง
6. เพื่อต้องการลดเวลาของงานระหว่างผลิตให้เหลือน้อยที่สุด
7. เพื่อต้องการลดเวลาในด้านการจัดการ
8. เพื่อต้องการรู้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพการผลิตได้อย่างรวดเร็ว

กิจกรรมในการวางแผนการผลิต ประกอบไปด้วย 6 ส่วน (ชุมพล ศฤงคารศิริ, 2536) ดังภาพที่ 2-1 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การวางแผนธุรกิจและการพยากรณ์การผลิต (Business plan and Forecasting) เป็นการวางแผนในภาพรวมหรือเชิงกลยุทธ์ของธุรกิจ และคาดการณ์ปริมาณอุปสงค์ในรอบเวลาการวางแผนถัดไป

2. การวางแผนการผลิตรวม (Aggregate planning) เป็นแผนงานสรุปของการวางแผนอัตราผลิตในแต่ละช่วงเวลา แผนการผลิตนี้เป็นเสมือนศูนย์รวมของแผนการผลิต แผนธุรกิจและแผนการตลาด โดยนำข้อมูลมาจากการพยากรณ์ จากนั้นกำหนดทางเลือกของแผนการผลิต ซึ่งพิจารณาถึงความสัมพันธ์ ข้อจำกัดด้านการผลิต และต้นทุนการผลิต แล้วนำแผนดังกล่าวไปปฏิบัติและปรับแผนให้ทันสมัย

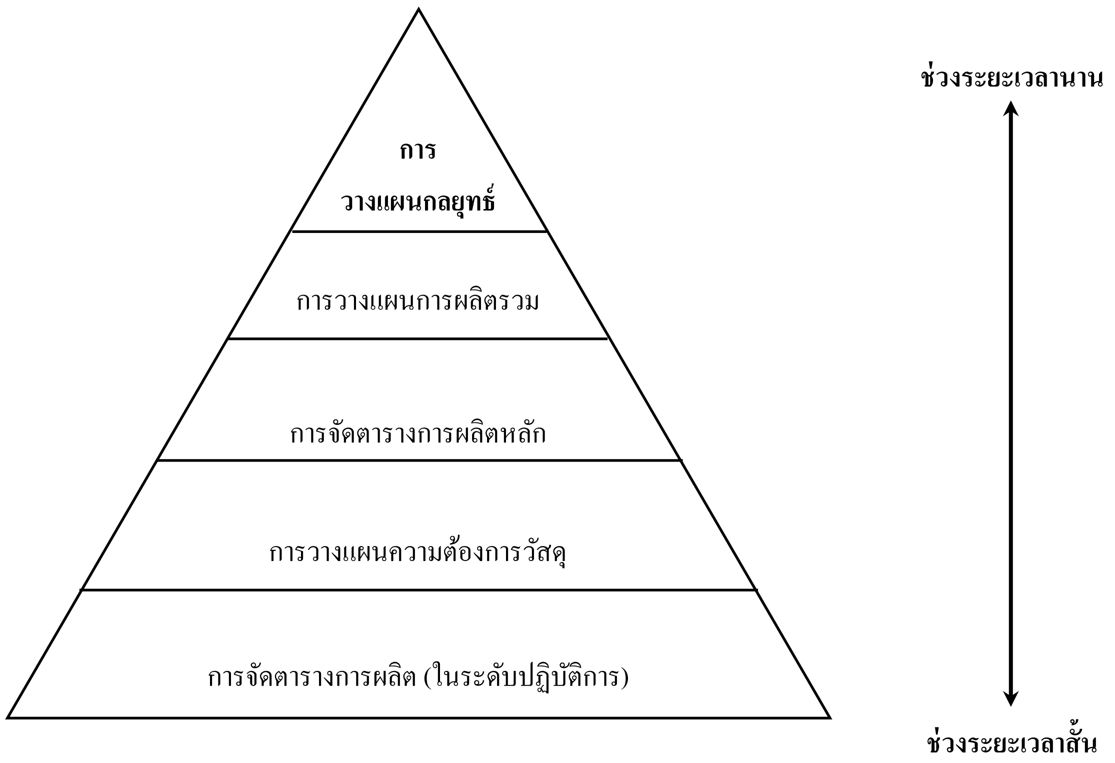
3. การจัดตารางการผลิตหลัก (Master production scheduling) เป็นแผนงานสรุปรายการและปริมาณสินค้าที่ต้องผลิตในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งให้ข้อมูลถึงกำหนดการออกใบสั่งซื้อหรือสั่งผลิตสำหรับรายการวัสดุที่มีในตารางการผลิตหลัก ใช้เป็นข้อมูลป้อนให้กับขั้นตอนการวางแผนความต้องการวัสดุ เป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดความต้องการทรัพยากร และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดวันส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า

4. การวางแผนความต้องการวัสดุ (Material requirement planning) เป็นแผนงานสรุปรายการและปริมาณชิ้นส่วนและวัตถุดิบที่ต้องใช้ในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้สอดคล้องกับการผลิตสินค้าที่กำหนดไว้ในตารางการผลิตสินค้า

5. การวางกำลังการผลิต (Capacity planning) เป็นขั้นตอนของการประมาณความต้องการทรัพยากรในแต่ละช่วงเวลา เพื่อใช้ในการผลิตสินค้าตามที่กำหนดไว้ในตารางการผลิตหลัก โดยคำนึงถึงความเพียงพอและความเหมาะสมของต้นทุน ซึ่งการวางกำลังการผลิตในขั้นตอนนี้จะเป็นการมองถึงภาพรวมปริมาณทรัพยากรที่เหมาะสมในรอบเวลาถัดไป

6. การจัดตารางการผลิต (Shop floor scheduling หรือ Detailed scheduling) เป็นการจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ที่มีอยู่ เช่น แรงงาน วัตถุดิบ เครื่องจักร เป็นต้น โดยคำนึงถึงการใช้งานทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของระบบการวางแผนการผลิต ที่มีรอบเวลาในการวางแผนที่สั้นที่สุด และมีความสลับซับซ้อน

ในแต่ละส่วนของระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของวัตถุประสงค์ ช่วงเวลาการดำเนินงาน และรายละเอียด



ภาพที่ 2-1 ตำแหน่งการวางแผนการผลิตโดยเรียงจากบนลงล่าง

การจัดตารางการผลิต

การจัดตาราง (Scheduling) เป็นกระบวนการตัดสินใจอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและอุตสาหกรรมการบริการ โดยที่ผลลัพธ์ของกระบวนการตัดสินใจในที่นี้ก็คือ ตารางหรือกำหนดการ (Scheduling) สำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ในทางปฏิบัติเราพบว่า องค์กรจำนวนมาก ได้นำเอาทฤษฎีการจัดตารางมาประยุกต์ใช้กับกิจกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น เช่น การผลิต การจัดซื้อ การขนส่ง การกระจายสินค้า การประมวลข่าวสาร และการสื่อสาร เป็นต้น

"การจัดตาราง" หมายถึง การจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับภารกิจ (Task) จำนวนหนึ่งภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดให้ เพื่อจะทำให้องค์กรสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย (Goal) หรือ วัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ที่เวลานั้นได้ คำว่า "ทรัพยากร"

หมายถึง คน หรือ สิ่งของที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำให้เกิดผลผลิตที่ต้องการขึ้นได้ เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากรนี้เอง ทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรขึ้น ดังนั้นทรัพยากรจึงต้องถูกจัดสรรให้กับกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ทรัพยากรดังกล่าวที่เวลาเดียวกัน นอกจากนี้แล้วจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่อาจจะใช้ระบุถึงความสามารถในการสร้างผลผลิตได้อีกด้วย ในขณะที่ "งาน (Job)" อาจจะประกอบด้วยภารกิจพื้นฐาน ที่มีความสัมพันธ์กันในด้านของลำดับก่อนหลังเป็นจำนวนมาก ซึ่งในบางครั้งเราจะเรียกภารกิจพื้นฐานเหล่านี้ว่า "การดำเนินงาน (Operation)"

ทฤษฎีการจัดตารางเกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการหาเทคนิคที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดตาราง ทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติร่วมกันแล้วใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นเครื่องมือช่วย โดยแนวทางดังกล่าวนี้จะแปลงโครงสร้างของปัญหาการจัดตารางไปสู่รูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับการแปลงเป้าหมายและความมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากรในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ ไปสู่ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function) และข้อจำกัด (Constraint) ต่าง ๆ ซึ่งจะเขียนขึ้นมาอย่างชัดเจนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์

ในทางทฤษฎีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการจัดตารางควรจะประกอบด้วยค่าใช้จ่าย (Cost) ทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะได้รับผลกระทบโดยตรงจากการตัดสินใจจัดตารางในครั้งนี้ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจจะวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ยาก ดังนั้นแทนที่จะแสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรูปของค่าใช้จ่าย เราจะใช้เป้าหมาย 3 รูปแบบหลักในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางแทน นั่นคือ ประสิทธิภาพในการใช้สอยทรัพยากร (Resource utilization) ความรวดเร็วในการสนองตอบต่ออุปสงค์ และการส่งมอบที่ตรงเวลา นอกจากนั้นแล้วเรายังอาจจะใช้ตัววัดสมรรถนะของระบบตัวอื่น ๆ แทนตัววัดที่เกิดจากค่าใช้จ่ายของระบบได้ด้วยเช่นกัน ตัวอย่างเช่น เวลาเดินเปล่า (Idle time) ของเครื่องจักร เวลารอคอยของงาน หรือเวลาสาย (Tardiness) ของงาน เป็นต้น ในการจัดตารางนั้นมีข้อจำกัด 2 ประเภทที่พบเสมอ คือ

1. ข้อจำกัดด้านทรัพยากร (Resource constraint): เกี่ยวข้องกับการที่ทรัพยากรมีความสามารถในการทำงานอย่างจำกัดที่ขณะใดขณะหนึ่ง เช่น เครื่องจักร เครื่องหนึ่งสามารถทำงานได้กับชิ้นงานเพียงชิ้นงานเดียวเท่านั้นที่เวลาใดเวลาหนึ่ง

2. ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยี (Technological constraint): เกี่ยวข้องกับความจำกัดในด้านลำดับก่อนหลังของการทำงาน (Precedence constraint) เช่น เราจะต้องทำงานแรกบนชิ้นงานชิ้นหนึ่งให้แล้วเสร็จก่อนที่จะเริ่มต้นทำงานที่ 2 บนชิ้นงานชิ้นเดียวกันนั้นได้

ดังนั้นตารางที่เป็นไปได้จริง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการแก้ปัญหาการจัดตาราง จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของข้อจำกัดทั้งสองที่กล่าวมา และเพื่อทำให้สามารถตอบ 2 คำถามหลักที่

เกี่ยวข้องกับการจัดตารางได้ กล่าวคือ เราจะใช้ทรัพยากรตัวไหนจากทรัพยากรหลายตัวที่มีอยู่และพร้อมใช้งานเพื่อทำงานที่กำหนดให้ และจะเริ่มทำงานแต่ละงานเมื่อใด ดังนั้นปัญหาการจัดตารางจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากร (Allocation) และการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงาน (Sequencing)

ในทางปฏิบัติพบว่า บางครั้งปัญหาการจัดตารางการผลิตอาจจะเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเพียงประเภทเดียวก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของระบบและปัญหาที่กำลังพิจารณาอยู่ เช่น ในการทำงานอย่างหนึ่งในโรงงาน พบว่ามีเครื่องจักรที่สามารถทำงานนี้ได้เพียงเครื่องจักรเดียวเท่านั้น ดังนั้นการติดสินใจเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรจึงไม่เกิดขึ้น เนื่องจากไม่สามารถเลือกทำงานนี้บนเครื่องจักรอื่นได้ จะมีก็แต่การตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงานที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้เครื่องจักรเครื่องนี้เท่านั้น หรือในทางตรงกันข้าม การทำงานอีกประเภทหนึ่งสามารถที่จะได้บนหลายเครื่องจักร แต่เมื่อได้จัดสรรงานและป้อนงานเหล่านี้ให้กับเครื่องจักรเครื่องใดเครื่องหนึ่งแล้วจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงลำดับของงานที่อยู่บนแถวคอยหน้าเครื่องจักรอีก (โดยถือเอาลำดับของการจัดสรรงานให้กับเครื่องจักรเป็นลำดับของงานบนแถวคอยเลย) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจจะก่อให้เกิดความยุ่งยากและสับสนในการทำงานของคนงานเป็นอันมาก ดังนั้นการตัดสินใจในกรณีเช่นนี้ก็จะจำกัดอยู่เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรเท่านั้น

ทฤษฎีการจัดตารางได้เสนอแนะเทคนิคเป็นจำนวนมาก ที่มีประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาการจัดตาราง เช่น เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial optimization) คอมพิวเตอร์ซิมมิวเลชัน (Simulation) การวิเคราะห์โครงข่าย (Network) และฮิวริสติก (Heuristic) เป็นต้น การเลือกเทคนิคที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา ธรรมชาติของแบบจำลอง และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมทั้งปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยข้อง

การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model)

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล (2554) ได้อธิบายว่าปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก คือ การตัดสินใจ (Decision) ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับ (Constraint) และวัตถุประสงค์ (Objective) หากผู้ตัดสินใจต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจำเป็นต้องใช้รูปแบบหรือสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะทั้งสามดังรายละเอียดต่อไปนี้

การตัดสินใจ คือ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์จากปัญหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านต่าง ๆ เช่น

การตัดสินใจ หาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่ง เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ จะต้องใช้ สัญลักษณ์พยัญชนะภาษาอังกฤษใด ๆ แสดงแทนสิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์ดังกล่าว และจะเรียก สัญลักษณ์นั้นว่า "ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variable)" เช่น ใช้สัญลักษณ์ x_1, $x_2,\ldots,x_k$ เป็นตัวแปรแทนการตัดสินใจปริมาณสินค้าที่ต้องการผลิต k ชนิด เป็นต้น นอกจาก สัญลักษณ์พยัญชนะ ภาษาอังกฤษแล้ว ตัวแปรการตัดสินใจยังสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ชนิดอื่น ก็ได้ เช่น แทนด้วยคำนามที่เป็นชื่อหรือรุ่นของสินค้า

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ คือ "ข้อจำกัด" ซึ่งเป็นเงื่อนไขบังคับให้ผู้ตัดสินใจจะต้อง เลือกทางเลือกที่อยู่ภายในขอบเขตข้อจำกัดในแต่ละด้าน เช่น ข้อจำกัดในด้านแรงงาน จำนวน ชั่วโมงในการผลิตที่ว่างอยู่ กำลังการผลิต เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ ในการแก้ปัญหาแบบจำลองนั้นจะต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจที่อยู่ในรูป ฟังก์ชันให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัด โดยมีรูปแบบทั่วไป 3 ลักษณะ คือ

น้อยกว่าหรือเท่ากับข้อจำกัด: $f(x_1, x_2,\ldots,x_k) \leq b$

มากกว่าหรือเท่ากับข้อจำกัด: $f(x_1, x_2,\ldots,x_k) \geq b$

เท่ากับข้อจำกัด: $f(x_1, x_2,\ldots,x_k) = b$

จากรูปแบบข้างต้นจะเห็นว่ามีการนำฟังก์ชันของตัวแปรการตัดสินใจ $f(x_1, x_2,\ldots,x_k)$ มา เปรียบเทียบกับข้อจำกัด (ซึ่งแทนด้วย b) 3 กรณี ได้แก่ $\leq$, $\geq$ และ = ซึ่งหมายความว่า ฟังก์ชัน ข้อจำกัดอาจจะอยู่ในรูปแบบของทั้งสมการและอสมการก็ได้

การตัดสินใจเลือกแก้ไขปัญหา นอกจากจะต้องเลือกที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ แล้ว สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องพิจารณา คือ ต้องเลือกทางเลือกที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ ไม่ว่าจะเป็น วัตถุประสงค์ที่มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุด เช่น การตัดสินใจหาปริมาณการผลิตสินค้าที่ดีที่สุด เพื่อให้ ได้ผลกำไรสูงที่สุด หรือการตัดสินใจหาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์ของปัญหาไม่ว่า จะมีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดก็ตาม จะเกิดจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจ ที่จะนำมาบวก ลบ คูณ หรือหาร เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นั้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงอยู่ใน รูปของ "ฟังก์ชันวัตถุประสงค์" ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

Maximize (หรือ Minimize): $f(x_1, x_2,\ldots,x_k)$ หรือ

Maximize (หรือ Minimize): $Z = f(x_1, x_2,\ldots,x_k)$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการตัดสินใจที่ผู้ทำการตัดสินใจ นั้นต้องการ ไม่ว่าจะเป็นค่าสูงที่สุด หรือค่าต่ำที่สุด ยกตัวอย่างเช่น มีการนำฟังก์ชันมาอธิบายผล

กำไรรวม อันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทรวมกัน อธิบายผลรวมระยะทางที่เครื่องจักรเคลื่อนที่ หรือจำนวนเงินรวมของกองทุนบำเหน็จบำนาญ เป็นต้น

สูตรทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเรียกว่า กำหนดการทางคณิตศาตร์ (Mathematical programming) สามารถแสดงในรูปแบบทั่วไปได้ ดังนี้

Max (หรือ Min): $f_0(x_1, x_2,\ldots,x_k)$

ภายใต้ข้อจำกัด: $f_1(x_1, x_2,\ldots,x_k) \leq b_1$

$f_2(x_1, x_2,\ldots,x_k) \leq b_2$

$f_m(x_1, x_2,\ldots,x_k) \leq b_m$

รูปแบบเหล่านี้แสดงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ทำให้เกิดค่ามากที่สุด (หรือน้อยที่สุด) รวมไปถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของปัญหา การเพิ่ม *f()* และ *b* ในแต่ละสมการจะอธิบายวัตถุประสงค์และข้อจำกัดได้แตกต่างกัน เป้าหมายในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ การหาค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่ามากที่สุด (หรือน้อยที่สุด) ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ

หลังจากได้ศึกษาเกี่ยวกับความรู้พื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้วผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเทคนิคกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหา โดยมุ่งศึกษาที่กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming, ILP) และกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP)

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มเป็นแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็นแบบจำนวนเต็มเท่านั้น รูปแบบปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม เช่น ปัญหาการมอบหมายงาน ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เป็นต้น

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมเป็นแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของตัวแปรตัดสินใจในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง โดยตัวแปรตัดสินใจบางตัวเป็นแบบจำนวนเต็ม และบางตัวเป็นแบบจำนวนจริง แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมมักใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนที่ต้องมีการตัดสินใจเชิงปริมาณผสมในรูปของจำนวนเต็มผสมกับจำนวนจริง เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ปัญหาการจัดตารางการผลิต ปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่ต้องใช้ตัวแปรแบบจำนวนเต็มเข้ามาช่วยในการกำหนดเงื่อนไขบังคับ เป็นต้น

รูปแบบทั่วไปของปัญหากำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มหรือจำนวนเต็มผสม (Ragsdale, 2011) ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับ ที่ลักษณะเป็นฟังก์ชั่นความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ขณะที่ตัวแปรตัดสินใจทุกตัวเป็นจำนวนเต็ม (หรือบางตัวเป็นจำนวนจริง) แสดงได้ดังนี้

Max/Min$c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n + d_1y_1 + d_2y_2 + d_ny_n$

Subject to

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n\ (\leq, \geq, =)\ b_1$$

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

.....

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

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

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

.....

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

$x_j \geq 0$ สำหรับทุกค่า j

y_i เป็นจำนวนเต็ม สำหรับทุกค่า j

จากชุดสมการด้านบน ตัวแปร *a, b, c, d, f* และ *g* เป็นพารามิเตอร์ที่เป็นค่าคงที่ ตัวแปรตัดสินใจ x_i เป็นตัวแปรที่เป็นจำนวนจริง ตัวแปรตัดสินใจ y_i เป็นตัวแปรที่เป็นจำนวนเต็ม และสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์กับอสมการเงื่อนไขทั้งหมดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

การใช้ตัวแปรแบบไบนารี่สำหรับการสร้างเงื่อนไขในแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น

Hiller and Lieberman (2009) ได้อธิบายการใช้ตัวแปรแบบไบนารี่ในการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer programming model, IP) ไว้หลายรูปแบบ รูปแบบที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบของปัญหาค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed-Charge หรือ Setup cost problem) เมื่อตัดสินใจดำเนินการกิจกรรมหนึ่ง ๆ เกิดขึ้น โดยการกำหนดให้ตัวแปรในการตัดสินใจหนึ่ง ๆ มีค่ามากกว่าศูนย์ 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 บาทตามลำดับ

ในการหาต้นทุนต่ำที่สุด ค่าใช้จ่ายคงที่จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการผลิตสินค้าเท่านั้น ดังนั้นแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สามารถเขียนได้ดังนี้

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

โดยที่ x_i = ปริมาณการผลิตสินค้า i

$y_i = 1$ เมื่อ $x_i > 0$ ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

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

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

subject to

$x_j - My_j \leq 0$

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

เงื่อนไขอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต (Lot sizing and Scheduling problem)

การวางแผนและการจัดตารางการผลิตเป็นการหาทางที่จัดสรรทรัพยากรการผลิตเพื่อทำให้สามารถผลิตสินค้าได้ตามความต้องของลูกค้า ปัญหาการวางแผนการผลิตนี้เป็นการพิจารณาร่วมกันทั้งการวางแผนระยะสั้นในระดับการจัดตารางการผลิตรายวันและการวางแผนระยะกลางในระดับการจัดตารางการผลิตหลัก (Master production schedule) เช่น ปัญหาการจัดสรรกำลังคนและการกำหนดขนาดล๊อตและลำดับการผลิต เป็นต้น (Clark, Almada-Lobo, & Almeder, 2011) การกำหนดขนาดรุ่นในการผลิตเป็นการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับเวลาการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นนั้น และส่วนการจัดลำดับการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ตามปริมาณการผลิตที่กำหนด ให้เหมาะสมกับกำลังการผลิตและกำหนดส่งมอบ

Drexl & Kimms (1997) ได้อธิบายสรุปเกี่ยวกับรูปแบบปัญหา Lot sizing and Scheduling (LSS) แบบต่าง ๆ และการสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหานี้ ภายใต้ขอบเขตของการจัดตารางการผลิตระยะสั้นที่เชื่อมต่อกับปริมาณความต้องการ

ผลิตภัณฑ์ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ จากตารางการผลิตหลัก เป้าหมายของการกำหนดขนาดล๊อตการผลิตและจัดตารางการผลิตระยะสั้นนี้คือการสร้างแผนการผลิตที่สามารถผลิตสินค้ารุ่นต่าง ๆ บนสายการผลิตหนึ่ง ๆ ให้ได้ตามปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดในตารางการผลิตหลัก โดยประสิทธิภาพแผนการผลิตที่สร้างขึ้นถูกประเมินจากค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการผลิต เช่น ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บสินค้าคงคลังเป็นต้น การกำหนดล๊อตการผลิตให้มีปริมาณมาก ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ต้องจัดเก็บเพื่อรอการส่งมอบมีปริมาณมากส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงในด้านการจัดเก็บสินค้าคงคลัง แต่มีค่าใช้จ่ายต่ำในการตั้งเครื่องจักรเนื่องจากไม่ต้องเปลี่ยนรุ่นการผลิตบ่อยครั้ง ดังนั้นการกำหนดขนาดล๊อตที่เหมาะสมจะทำให้ค่าใช้จ่ายรวมทั้งสองด้านนี้มีค่าต่ำที่สุดได้

ปัญหา LSS ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ กำลังการผลิตของสายการผลิต จำนวนรุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตบนสายผลิตเดียวกัน และปริมาณความต้องการและกำหนดส่งมอบตามที่กำหนดในแผนการผลิตหลัก เนื่องจากหากกำหนดขนาดล๊อตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้สูญเสียเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นสูงกว่าการกำหนดให้ล๊อตมีปริมาณน้อย การใช้เวลาการผลิตสินค้ารุ่นหนึ่ง ๆ นานเกินไปอาจทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้ารุ่นอื่นได้ตามปริมาณและเวลาที่กำหนดไว้ในตารางการผลิตหลัก ขอบเขตของการวางแผนการผลิตของปัญหา LSS เป็นปัญหาแบบดีเทอร์มินิสติก (Deterministic) การกำหนดให้วางแผนการผลิตระยะสั้นเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนแผนการผลิตได้ในช่วงเวลาสั้น ๆ เมื่อตารางการผลิตหลักเปลี่ยนไปตามเวลาเนื่องจากคำสั่งซื้อจากลูกค้าภายนอก (Dynamic demand) และความผันแปรของการผลิตจริงจากแผนที่ส่งผลให้ปริมาณสินค้าที่ผลิตเสร็จไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้

Drexl & Kimms (1997) ได้แยกประเภทของปัญหา Lot sizing and scheduling ไว้สองประเภทหลักตามจำนวนขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์ คือ รูปแบบปัญหา Lot sizing and scheduling เมื่อผ่านขั้นตอนการผลิตขั้นตอนเดียว (Single-Level model) และหลายขั้นตอน (Multi-level model) และได้อธิบายรูปแบบปัญหา Batching and scheduling (BSP) ว่าเป็นปัญหา Lot sizing and Scheduling ที่รวมการผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 รุ่นให้ผลิตพร้อมกันเพื่อลดจำนวนครั้งในการตั้งเครื่องจักร

ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์หลายรุ่นบนเครื่องจักรเดียว เป็นรูปแบบปัญหาการกำหนดขนาดล๊อตแบบ Single-level capacitated lot sizing problem (Single-level CLSP) ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องตัดสินใจเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นต่าง ๆ ให้ครบปริมาณความต้องการในช่วงเวลาของการวางแผนการผลิต โดยทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในด้านสินค้าคงคลังกับด้านการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดด้านกำลังการผลิต สามารถใช้

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการแก้ปัญหา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Drexl & Kimms, 1997)

ตัวแปรตัดสินใจ

q_{jt} = ปริมาณการผลิตชิ้นส่วน j ในช่วงเวลา t

x_{jt} = 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน j ในช่วงเวลา t ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0

I_{jt} = ปริมาณชิ้นส่วน j คงคลัง เมื่อสิ้นสุดการทำงานในช่วงเวลา t

พารามิเตอร์

C_t = กำลังการผลิตในช่วงเวลา t (นาที)

d_{jt} = ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน j ในช่วงเวลา t

I_{j0} = ปริมาณชิ้นส่วน j คงคลังตั้งต้น

p_j = เวลาการผลิตชิ้นส่วน j (นาทีต่อชิ้น)

s_j = ค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรเมื่อต้องผลิตชิ้นส่วน j (บาท)

h_j = ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วน j (บาทต่อชิ้น)

J = ประเภทชิ้นส่วนที่ต้องผลิต

T = จำนวนช่วงเวลาในการวางแผนการผลิต

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

$$\text{Min} \quad \sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}(h_j I_{jt} + s_j x_{jt}) \tag{2-1}$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$I_{jt} = I_{j(t-1)} + q_{jt} - d_{jt}, \qquad j = 1, \dots, J\,;\, t = 1, \dots, T \tag{2-2}$$

$$\sum_{j=1}^{J} p_j q_{jt} \le C_t\,, \qquad t = 1, \dots, T \tag{2-3}$$

$$p_j q_{jt} \le C_t x_{jt}, \qquad j = 1, \dots, J\,;\, t = 1, \dots, T \tag{2-4}$$

$$x_{jt} = binary, \qquad j = 1, \dots, J\,;\, t = 1, \dots, T \tag{2-5}$$

$$q_{jt,} I_{jt} \ge 0, \qquad j = 1, \dots, J\,;\, t = 1, \dots, T \tag{2-6}$$

สมการที่ 2-1 แสดงฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่ต้องการให้ค่าใช้จ่ายรวมในด้านสินค้าคงคลังกับด้านการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุด สมการที่ 2-2 เป็นสมการสมดุลสินค้าคงคลัง ใช้สำหรับคำนวณปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดการทำงานที่ช่วงเวลา t ใด ๆ เท่ากับปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดการทำงานที่ช่วงเวลาก่อนหน้า รวมกับปริมาณที่ต้องการผลิต แล้วหักออกด้วยปริมาณความต้องการ สมการที่ 2-3 เป็นการกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ช่วงเวลา t ใด ๆ ต้องไม่เกินกำลังการผลิต สมการที่ 2-4 เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าใช้จ่ายด้านการตั้งเครื่องจักรต้องเกิดขึ้น

เมื่อวางแผนให้ผลิตชิ้นส่วน j ที่ช่วงเวลา t ใด ๆ ส่วนสมการที่ 2-5 และ 2-6 แสดงเงื่อนไขประเภทของตัวแปรตัดสินใจ

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver

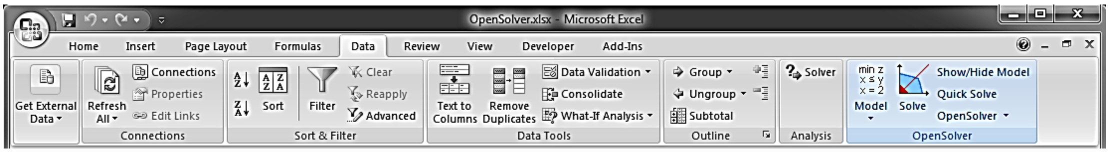
ซอฟต์แวร์สำหรับจำลองตัวแบบลงในคอมพิวเตอร์และหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภาคธุรกิจ (Commercial software) เช่น AMPL, GAMS, MPL, LINGO/LINDO เป็นต้น มีราคาแพงมากกว่าการใช้ในงานด้านวิชาการและวิจัยหลายเท่าตัว และซอฟต์แวร์ประเภทติดตั้งเพิ่ม (Add-in) ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ไม่ต้องเขียนภาษาจำลองตัวแบบ เช่น Excel solver, Premium solver, AIMMS เป็นต้น ก็เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการจำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและเงื่อนไขบังคับ หากต้องการใช้งานสำหรับปัญหาที่ไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและขอบข่ายในภาคธุรกิจ จะเป็นซอฟต์แวร์ที่มีราคาแพงมากเช่นกัน ทำให้มีผู้พัฒนาโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ง่ายโดยการออกแบบให้ทำงานได้บนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenSolver (Mason, 2012) เป็นโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ที่เริ่มพัฒนาขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 และพัฒนาครั้งล่าสุดเดือนมกราคม พ.ศ. 2561 โปรแกรม OpenSolver เป็นโปรแกรมที่สามารถติดตั้งเพิ่มเติมในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Excel add-in) ทำให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลและสูตรความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ในแผ่นงาน (Worksheet) 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) คือ CBC solver (COIN-OR Branch and Cut solver) ที่มีความสามารถในการหาผลลัพธ์ได้รวดเร็วกว่าตัวหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่ติดมากับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Solver built-in) ที่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและจำนวนขอบข่าย โปรแกรม OpenSolver ดาวน์โหลดได้จาก http://www.opensolver.org

งานวิจัยนี้เลือกใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์กูโรบิ (Gurobi) ที่สามารถติดตั้งได้บนโปรแกรม OpenSolver ซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์กูโรบิ (Gurobi) ถูกพัฒนาโดยสมาชิกของทีมพัฒนาโปรแกรม CPLEX ประกอบด้วย Zonghao Gu, Edward Rothberg และ Robert Bixby โดย

Gurobi เป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถประมวลผลแบบมัลติคอร์ (Multi-core) จากการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลกับปัญหามาตรฐาน พบว่า Gurobi สามารถแก้ปัญหาได้ดีที่สุด มีเวลารวมที่ใช้ในการแก้ปัญหาน้อยว่าซอฟต์แวร์ประมวลผลตัวอื่น จึงเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ตัวหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากในภาคอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามการนำ Gurobi มาใช้งานในเชิงพาณิชย์นั้นมีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 420,000 บาท (ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์, 2561)

การใช้งานโปรแกรม OpenSolver ทำได้โดยสร้างแผ่นงานที่มีการบันทึกข้อมูลนำเข้าและพารามิเตอร์ของปัญหาที่จำลองในกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์โดยสร้างสูตรความสัมพันธ์กับเซลล์ต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ให้เป็นตัวแปรตัดสินใจ โปรแกรม OpenSolver ที่พัฒนาครั้งล่าสุดยอมให้เซลล์ของตัวแปรตัดสินใจไม่จำเป็นต้องอยู่ติดกัน แต่ยังคงจำกัดให้จำนวนกลุ่มเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจต้องมีจำนวนไม่มากเกินไป เมื่อออกแบบตำแหน่งเซลล์วัตถุประสงค์ (Objective cell) และเซลล์ค่าคำนวณของสมการหรืออสมการขอบข่ายแล้ว ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้โปรแกรม OpenSolver จากแถบเครื่องมือ “ข้อมูล (Data)” ที่ปุ่ม “Model” ดังแสดงในภาพที่ 2-2

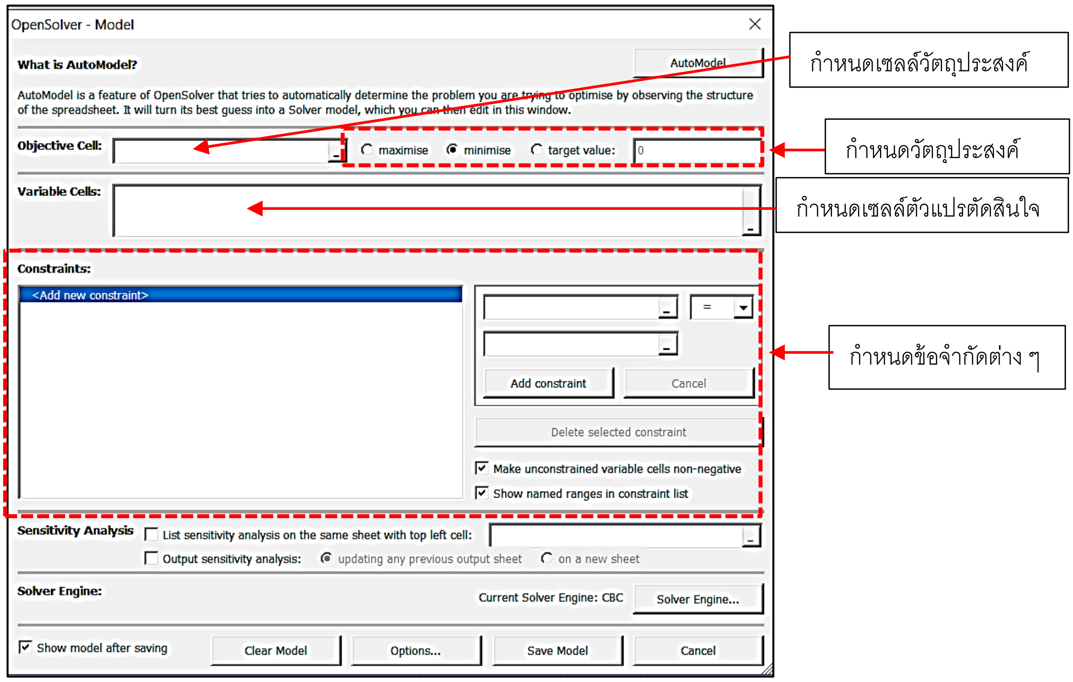


ภาพที่ 2-2 การเรียกใช้งาน OpenSolver (OpenSolver, 2017)

หน้าต่าง “OpenSolver-Model” ปรากฏขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2-8 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)”

โปรแกรม OpenSolver สามารถตรวจสอบตัวแบบที่สร้างและบันทึกแล้วด้วยเครื่องมือ “Show/ Hide Model” บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-2 เมื่อสั่งให้โปรแกรมแสดงตัวแบบ แผ่นงานที่สร้างไว้จะแสดงผลที่เซลล์วัตถุประสงค์ว่าต้องการหาผลลัพธ์เป็นค่าสูงที่สุด (Maximise) ค่าต่ำที่สุด (Minimise) หรือค่าเป้าหมาย (Target) ที่เซลล์ตัวแปรตัดสินใจจะแสดงผล เช่น ≥ 0, Binary (b), Integer (i) เป็นต้น และที่เซลล์การคำนวณสมการขอบข่ายในแผ่นจะแสดงความสัมพันธ์ตามที่

กำหนดในตัวแบบโดยอ่านผลความสัมพันธ์จากซ้ายไปขวา หรือจากบนลงล่าง และเมื่อต้องการให้โปรแกรมคำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ให้กดปุ่ม “Solve” บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-2 รายละเอียดการใช้งานเพิ่มเติมศึกษาได้จาก http://www.opensolver.org



ภาพที่ 2-3 หน้าต่าง OpenSolver-Model สำหรับบันทึกกำหนดการคณิตศาสตร์แบบแผ่นงาน

ดัดแปลงจาก: http://www.opensolver.org

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา (2556) เสนอวิธีการวางแผนการผลิตเพื่อลดเวลาการผลิตของกระบวนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติก โดยศึกษาที่กระบวนการอบและกระบวนการเคลือบผิว ซึ่งแต่ละกระบวนการมีหลายเครื่องจักรแบบขนาน กระบวนการอบมีเงื่อนไขที่อัตราการผลิตที่แตกต่างกัน ในขณะที่กระบวนการเคลือบผิวมีเงื่อนไขของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตที่แตกต่างกัน การวางแผนการผลิตในแต่ละกระบวนการมีความซับซ้อนจากความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และคำสั่งซื้อของลูกค้า งานวิจัยนี้ได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของเลนส์แว่นตาพลาสติกที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิตในกระบวนการอบและกระบวนการเคลือบผิวโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการผลิต ผลจากการประยุกต์ข้อมูลและแก้ปัญหาโดยใช้ Microsoft excel solver พบว่าเวลาการผลิตของกระบวนการอบลดลงจากเดิมร้อยละ 12.99 และเวลาการผลิตของกระบวนการเคลือบผิวลดลงจากเดิมร้อยละ 21.74

เพชรายุทธ แซ่หลี และอภิชัย ฤตวิรุฬห์ (2557) เสนอปัญหาการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพรซึ่งมีผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตที่หลากหลาย แต่ละรายการสินค้าใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันภายใต้การผลิตแบบกลุ่ม (Batch) สินค้าที่ได้จากการผลิตลักษณะนี้ในบางครั้งจะมีจำนวนไม่สอดคล้องกับยอดความต้องการสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยมีสินค้าขาดมือที่เกิดขึ้น การวางแผนการผลิตนี้ต้องการจัดสรรงานตามทักษะของพนักงานผลิตแต่ละคนและให้ได้ดุลภาระงานที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายโดยรวมในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ค่าจัดเก็บสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายจากสินค้าขาดมือ ค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้า ค่าจ้างพนักงานผลิตและพนักงานบรรจุ ผลจากการวิจัยพบว่าค่าใช้จ่ายโดยรวมจากการดำเนินการตามแผนการผลิตที่ได้จากแบบจำลอง ILP ลดลง 5.06% เมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินการของบริษัทกรณีศึกษา

ธันยพร อุดม, ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และขวัญนิธิ คำเมือง (2559) ได้พัฒนาและปรับปรุงตัวแบบของปัญหากำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer programming: MIP) สำหรับปัญหาการวางแผนและการจัดตารางการผลิตขั้นสูง (Advanced planning and Scheduling: APS) ซึ่งเป็นเทคนิคในการวางแผนและจัดตารางการผลิต ที่สามารถพิจารณาข้อจากัดต่าง ๆ ได้แก่ กำลังการผลิตของเครื่องจักร การจัดลำดับงาน และเวลาส่งมอบ กับปัญหาที่มีหลายเครื่องจักรหลายคำสั่งซื้อและแต่ละผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์หลายระดับและหลายชิ้นส่วน ซึ่งแต่ละชิ้นส่วนสามารถเลือกผลิตได้กับเครื่องจักรในกลุ่มที่กำหนดไว้ พร้อมกับขยายตัวแบบให้มีการเพิ่มการพิจารณาข้อจำกัดในเรื่องของกรอบเวลาของการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน โดยมี

จุดประสงค์ของการจัดตารางการผลิตเพื่อทำให้ค่าปรับรวมในการผลิต ซึ่งประกอบไปด้วยค่าปรับเนื่องจากเกิดการว่างงานของเครื่องจักร ค่าปรับเนื่องจากทางานเสร็จก่อนเวลาที่กาหนด และค่าปรับเนื่องจากงานเสร็จล่าช้ากว่าเวลาที่กำหนด ให้มีค่าต่ำที่สุด ผลการวิจัยสามารถจัดตารางการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ภัทราภรณ์ สัจจนดำรงค์ และธารทัศน์ โมกขมรรคกุล (2551) ได้พัฒนาเครื่องมือช่วยในการวางแผนการผลิตของโรงงานโดยใช้หลักการการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงเส้นตรง ซึ่งประมวลผลด้วย Solver engine ผ่านโปรแกรม Microsoft excel เพื่อสร้างแผนการผลิตหลักที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมต่ำที่สุด บนเงื่อนไขที่จำกัดทั้งในส่วนของกำลังการผลิตและจำนวนวัตถุดิบที่มีอยู่ และสามารถนำแผนการผลิตหลักที่ได้นี้ไปใช้วางแผนความต้องการด้านวัสดุต่อไป ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นในการวางแผนการผลิตของโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง พบว่าผู้วางแผนสามารถจัดแผนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การลดเวลาในการจัดแผนการผลิตลงจากปกติประมาณ 2-3 วันต่อสัปดาห์ เหลือเพียง 3-5 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ การลดกำลังคนที่ใช้ในการจัดแผน และการลดความผิดพลาดของข้อมูลที่เกิดจากบุคคล

รัชฎากร โคตรเจริญ (2554) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตที่มีหลายเป้าหมาย โดยใช้หลักการโปรแกรมเชิงเส้นแบบพอสสิบิลิสติก (Possibilistic linear programming) มาประยุกต์กับปัญหาการวางแผนการผลิตของโรงงานชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันใช้การวางแผนการผลิตรวมโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานวางแผนการผลิตเอง ตัวแบบที่นำเสนอในการแก้ปัญหามี 2 เป้าหมาย คือ ผลกำไรสูงสุดและมีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงงานต่ำสุด ผลการิจัยพบว่า การแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นแบบพอสสิบิลิสติก ให้ค่าของผลกำไรและการเปลี่ยนแปลงแรงงานดีขึ้น 122.50% และ 100%

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์ (2561) เสนอวิธีการแก้ปัญหาการวางแผนการขนส่งคอยล์โลหะรายวันของผู้ผลิตที่ต้องจัดกลุ่มคอยล์สำหรับการขนส่งบนรถบรรทุกเที่ยวเดียวกัน ตามคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย การจ้างผู้ประกอบการโลจิสติกส์หลายราย ที่มีเงื่อนไขและข้อจำกัดในการขนส่ง ทำให้ผู้วางแผนต้องใช้เวลา 4-6 ชั่วโมงต่อวัน ในการจัดตารางการขนส่ง โดยวิธีเดิมผู้วางแผนจะใช้ประสบการณ์ในการนำเงื่อนไขแบบรายเดือนมากำหนดเป็นเงื่อนไขในการจัดการขนส่งแบบรายวัน ส่งผลให้มีการเลือกใช้ผู้ประกอบการทุกรายในทุก ๆ วัน ทำให้เกิดข้อจำกัดและการเสียโอกาสในการเลือกผู้ประกอบการให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนในการจัดตารางการขนส่งรายวัน จากแนวคิดในการกำหนดผู้ประกอบการโลจิสติกส์ให้เหมาะสมกับลูกค้าแต่ละรายในรอบเดือน โดยขั้นตอน

แรก เป็นการประมวลผลแบบจำลองปัญหาการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขสัดส่วนน้ำหนักแบบรายเดือนที่ระบุในสัญญาจ้างเพื่อให้ได้แนวทางในการจัดการขนส่งที่มีค่าขนส่งรายเดือนที่ต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ โดยใช้ข้อมูลนำเข้าจากการพยากรณ์ ขั้นตอนที่สองเป็นการใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการขนส่งรายวันตามแนวทางของผลลัพธ์จากขั้นตอนแรก และข้อจำกัดต่าง ๆ ในการขนส่ง ผลการวิจัยพบว่าค่าขนส่งจากวิธีการที่เสนอลดลงต่ำกว่าการวางแผนแบบเดิม 190,148 บาทต่อเดือน งานวิจัยนี้มีการสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยชุดคำสั่ง VBA ในการจัดเตรียมข้อมูลและสร้างตารางการขนส่งรายวัน ซึ่งลดเวลาในการจัดตารางการขนส่งเหลือเพียง 30-40 นาทีต่อวัน จากเดิมใช้พนักงานจัดตารางขนส่งใช้เวลาในการจัดประมาณ 4-6 ชั่วโมง

Drake, Pentico, and Toew (2011) ศึกษาการวางแผนการผลิตสินค้าสำเร็จรูปชนิดเดียวที่มีสัดส่วนสินค้าค้างส่งคงที่ โดยคำนึงถึงผลกระทบจากปริมาณสะสมของชิ้นส่วนประกอบในระบบก่อนที่จะถูกเปลี่ยนเป็นสินค้าสำเร็จรูป ตัวแปรตัดสินใจมี 3 ตัวแปร ได้แก่ รอบเวลาในการสั่งผลิตสินค้าสำเร็จรูป สัดส่วนความต้องการสินค้าสำเร็จรูปที่ได้รับการเติมเต็มทันที (Fill rate) และความถี่ในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชนิดในช่วงเวลาการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 รอบ เนื่องจากผู้วิจัยกำหนดให้นโยบายตอบสนองความต้องการแบบเข้าก่อนออกก่อน (First in first out: FIFO) จึงใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับการคำนวณค่าใช้จ่ายในส่วนของสินค้าสำเร็จรูป และพัฒนาตัวแบบต่อไปโดยเพิ่มค่าใช้จ่ายในส่วนของการสั่งผลิตและค่าถือครองชิ้นส่วนประกอบเข้าไปในตัวแบบ และใช้วิธีการหาอนุพันธ์เพื่อกำหนดค่าของตัวแปรตัดสินใจที่ดีที่สุด จากนั้นใช้วิธี Heuristic integerization procedure สำหรับหาค่าความถี่ในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชนิดในช่วงเวลาการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 รอบที่มีคำตอบเป็นตัวเลขจำนวนเต็มด้วยเหตุผลสองประการ คือ ประการแรกเพื่อความง่ายและความสมเหตุสมผลในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบ และประการที่สองเพื่อให้ตัวแบบสมการค่าใช้จ่ายสินค้าคงคลังของระบบมีรูปแบบที่ง่ายและไม่ซับซ้อน เนื่องจากหากความถี่ในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชนิดในช่วงเวลาการผลิตสินค้าสำเร็จรูป 1 รอบไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม และสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบด้วยปริมาณที่เท่ากันทุกรอบ จะทำให้มีประมาณชิ้นส่วนประกอบถูกจัดเก็บในคงคลังค้างไปจนถึงการผลิตสินค้าสำเร็จรูปต่อไป โดยทดสอบผลทางตัวเลขจำนวน 96 ตัวอย่าง พบว่าค่าใช้จ่ายสินค้าคงคลังของระบบทั้ง 96 ตัวอย่าง เมื่อค่าความถี่ในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชนิดเป็นเลขจำนวนเต็ม มีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายสินค้าคงคลังของระบบที่ดีที่สุด (เมื่อค่าความถี่ในการสั่งผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชนิดไม่ใช่เลขจำนวนเต็ม) เพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือ ไม่เกิน 0.005%

Aggarwal and Wyman (1973) นำเสนอถึงผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการจัดลำดับความสำคัญตามต้นทุน (Cost-oriented priority dispatching rule) ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนในการจัดเก็บ การตั้งเครื่อง การผลิต และความล่าช้า กับวิธีการจัดลำดับความสำคัญตามเวลา (Time-oriented priority dispatching rule) ได้แก่ SPT, SST และ S/OPN โดยใช้ตัววัดสมรรถนะในการเปรียบเทียบ คือ ต้นทุนรวมต่องาน จำนวนงานล่าช้า การใช้อรรถประโยชน์จากเครื่องจักร (Machine utilization) พัสดุคงคลังในกระบวนการผลิตและจำนวนงานล่าช้าในกระบวนการ จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (Mean comparison) พบว่า วิธีการจัดลำดับการผลิตตามวิธี SPT และการจัดลำดับการผลิตตามต้นทุนให้ผลลัพธ์ดีที่สุด

Doganis and Sarimveis (2007) เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) เพื่อสร้างตารางการผลิตโยเกิร์ต (Production scheduling) ซึ่งทำการพิจารณาความสามารถของเครื่องจักรและพนักงาน รวมถึงปริมาณสินค้าคงคลังที่ต้องจัดเก็บ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีหลายรูปแบบ เช่น หลากหลายรสชาติ มีส่วนผสมพิเศษสำหรับลูกค้าพิเศษ ซึ่งจำเป็นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการจัดเตรียมการผลิต (Setup time) ที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบวิธีการสำหรับวางแผนการผลิตประจำวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เนื้อหาบทนี้นำเสนอภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และเสนอรายละเอียดที่ประกอบด้วย สภาพปัจจุบันของการวางแผนการผลิต จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผนการผลิตในอดีต แล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาด้านต่าง ๆ ของแผนการผลิตรายวันที่ใช้ในปัจจุบัน และเสนอแนวทางการแก้ปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาสภาพปัจจุบันของวางแผนการผลิตประจำวันของโรงงานกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสภาพปัจจุบันของขั้นตอนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ ขั้นตอนและวิธีการในการวางแผนการผลิตตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการผลิตรายวันประกอบด้วยรายละเอียดด้านเวลาการทำงาน และรายละเอียดของกลุ่มชิ้นส่วน ได้แก่ ขนาดล๊อต ความจุของอุปกรณ์วางชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา ได้แก่ ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับการวางแผนและจัดตารางการผลิต การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด รวมถึงการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแก้ไขปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดการวางแผนการผลิตประจำวัน จากตัวอย่างแผนการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 และการวิเคราะห์แผนการผลิตรายวันในด้านเวลาการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้า ปริมาณสินค้าคงคลัง และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนรุ่นผลิต

4. การวิเคราะห์ปัญหาและเสนอแนวทางแก้ไข

ขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ปัญหาการวางแผนการผลิตรายวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ และเสนอแนวทางแก้ไขปัญหา

5. การออกแบบวิธีการสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 4 เกี่ยวกับการออกแบบวิธีการสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอน (Multi-stage mathematical programming) ที่ต้องตัดสินใจเกี่ยวกับปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ในแต่ละกะทำงานตลอดรอบเวลาการวางแผน 14 กะทำงานต่อเนื่อง ภายใต้เงื่อนไขการผลิตด้านต่าง ๆ แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เสนอถูกสร้างขึ้นจากหลักการของปัญหาพื้นฐานในการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต (Lot sizing and scheduling, LSS) เป็นต้นแบบ การแก้ปัญหา LSS มีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมด้านการจัดเก็บสินค้าคงคลังกับด้านการเตรียมเครื่องจักรเมื่อเปลี่ยนรุ่นการผลิตมีค่าน้อยที่สุด แบบจำลองที่เสนอมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขเฉพาะจากปัญหา LSS ได้แก่ ด้านของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ เช่น การปั๊มขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วน และชิ้นส่วน (Part group and part item) และด้านกำหนดส่งมอบชิ้นส่วนที่กำหนดให้ผลิตเสร็จก่อนส่งมอบจริง 6 ชั่วโมง และเพิ่มเติมจุดประสงค์ในด้านเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบสำหรับใช้ในการสร้างแผนการผลิต

6. การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดในบทที่ 4 เกี่ยวกับการออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบ ที่บันทึกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เสนอในรูปแบบของแบบจำลองแผ่นงาน (Spreadsheet model) ให้พร้อมใช้ในการสร้างแผนการผลิตประจำวัน ประกอบด้วย แผ่นงานต่าง ๆ (Worksheet) ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลนำเข้า การคำนวณผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการแสดงผลลัพธ์ในรูปตารางการผลิต

7. การทดสอบประสิทธิภาพ

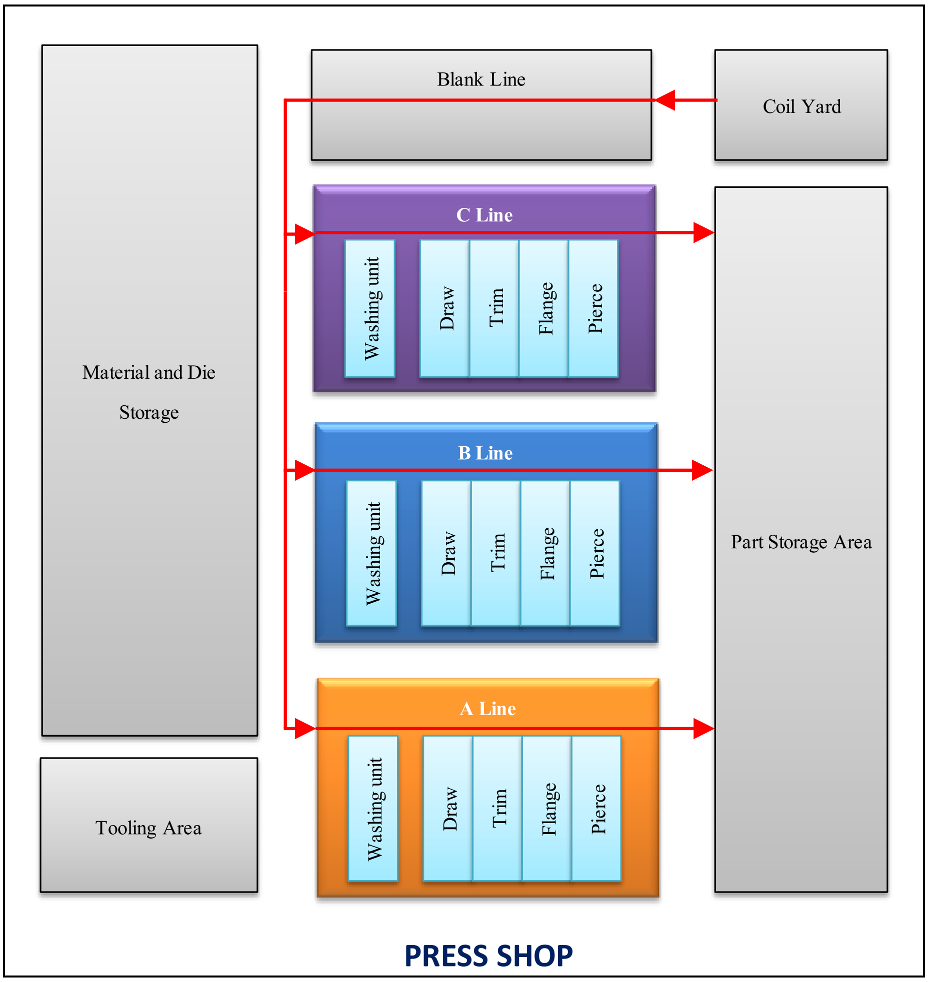
ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดในบทที่ 4 เกี่ยวกับการเปรียบเทียบแผนการผลิตประจำวันที่สร้างจากวิธีการที่เสนอกับวิธีการเดิมที่ใช้งานในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาในระหว่างเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 3 ส่วน ส่วนแรกเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแผนการผลิตในด้านสินค้าคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร ส่วนที่สองเปรียบเทียบเกี่ยวกับเวลาเฉลี่ยของการส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบ และส่วนที่สามเปรียบเทียบด้านเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต

8. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงาน และอภิปรายผล พร้อมทั้งสรุปข้อจำกัดในการใช้งาน และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการใช้งานของตัวแบบ ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 5

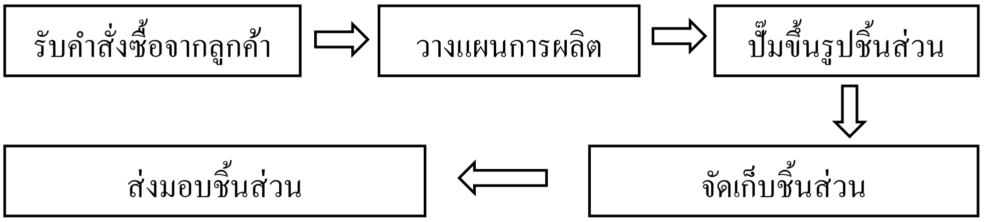
การศึกษาสภาพปัจจุบันและขั้นตอนการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตรถยนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งมีสายการผลิตสำหรับการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ ประกอบ 3 สายการผลิต ได้แก่ สายการผลิต A B และ C โดยสายการผลิตที่ผู้ทำวิจัยทำการศึกษา ได้แก่ สายการผลิต B ที่รับผิดชอบการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนทั้งหมด 23 กลุ่ม รวมจำนวนชิ้นส่วนทั้งสิ้น 46 ชิ้นส่วน เช่น โครงรถยนต์ หลังคารถยนต์ ประตูรถยนต์ เป็นต้น การจัดสัดส่วนของพื้นสายการผลิต B จะแบ่งสัดส่วนต่าง ๆ ตามรายละเอียดภาพที่ 3-1

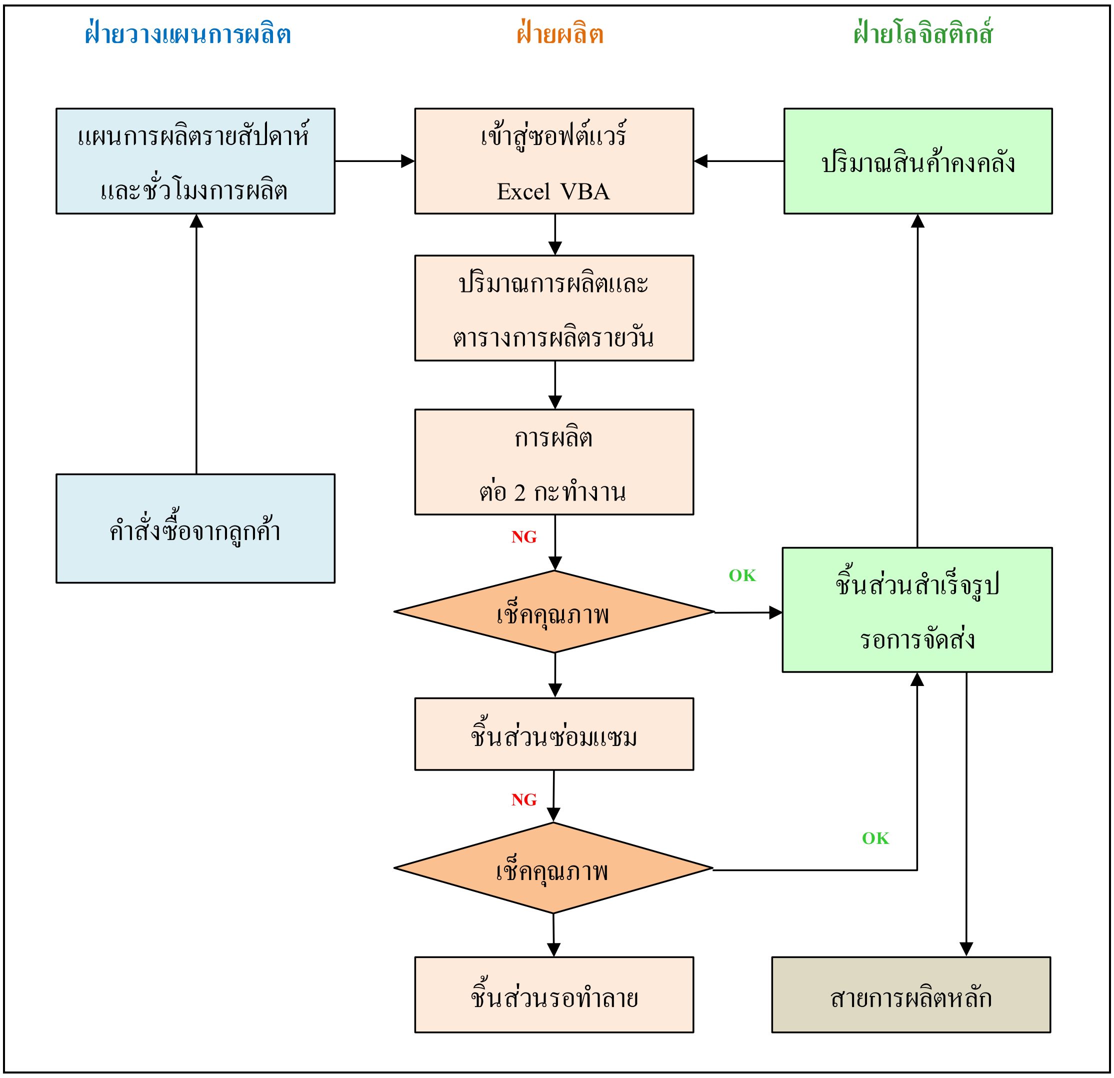


ภาพที่ 3-1 แบบจำลองผังโรงงานกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์

ขั้นตอนการทำงานในปัจจุบันประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ๆ ได้แก่ รับคำสั่งซื้อจากลูกค้า วางแผนการผลิต ทำการผลิตชิ้นส่วน จัดเก็บชิ้นส่วน และส่งมอบชิ้นส่วน ดังภาพที่ 3-2 มีรายละเอียดดังนี้ เริ่มจากลูกค้าส่งข้อมูลคำสั่งซื้อมาที่แผนกรวมรวบคำสั่งซื้อ จากนั้นทำการกระจายข้อมูลใบสั่งซื้อชิ้นส่วนผ่านระบบไปยังแผนกที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เริ่มที่ฝ่ายวางแผนการผลิตทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณความต้องการชิ้นส่วนรายสัปดาห์โดยการระบุหมายเลขชิ้นส่วน (Part no.) และปริมาณความต้องการ (Unit) ที่ได้รับการยืนยันคำสั่งซื้อจากลูกค้า จากนั้นกำหนดชั่วโมงในการทำงานแต่ละกะการทำงานในรอบสัปดาห์ และกำหนดเอกสารคำสั่งผลิต (Customer order, CO) ไปยังฝ่ายผลิต จากนั้นฝ่ายผลิตทำหน้าที่ในการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตรายวัน โดยจะต้องพิจารณาข้อมูลประกอบก่อนการผลิต ได้แก่ ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจากฝ่ายโลจิสติกส์ ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนและเวลาการทำงานในแต่ละกะทำงานจากฝ่ายวางแผนการผลิต เงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ และเงื่อนไขการส่งมอบ การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตที่กะทำงานต่าง ๆ มีเป้าหมายให้ผลิตชิ้นส่วนให้ทันต่อความต้องการของสายการผลิตรถยนต์หลัก (ลูกค้า) ให้ดีที่สุด เพื่อลดผลกระทบที่ส่งผลต่อสายการผลิตหลัก เช่น ชิ้นส่วนไม่เพียงพอต่อการจัดส่ง ชิ้นส่วนมีปริมาณเหลือน้อย เป็นต้น หลังจากผลิตเสร็จฝ่ายผลิตต้องรายงานผลเข้าสู่ระบบผลการผลิต โดยจะต้องผลิตเสร็จก่อนจัดส่ง 6 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นเวลาที่ฝ่ายผลิตสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร หรือปัญหาการส่งมอบอื่น ๆได้ดีที่สุด จากนั้นฝ่ายโลจิสติกส์จะนำชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จแล้วจัดเก็บไว้ในคลังสินค้า และเมื่อถึงกำหนดส่งชิ้นส่วน (สิ้นสุดกะทำงาน) จะทำการขนส่งชิ้นส่วนเข้าสู่สายการผลิตหลัก ดังภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา



ภาพที่ 3-3 ขั้นตอนการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

เมื่อฝ่ายผลิตรวบรวมแผนผลิตรายสัปดาห์จากฝ่ายวางแผนการผลิต และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจากฝ่ายโลจิสติกส์ครบถ้วนแล้ว จะบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel VBA เพื่อวางแผนการผลิตรายวันที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับปริมาณการผลิตและลำดับการผลิตของชิ้นส่วนต่าง ๆ ใน 14 กะทำงานต่อเนื่อง แผนการผลิตที่สร้างขึ้นนี้จะใช้สำหรับการผลิตจริง 2 กะทำงานแรกเท่านั้น คือ กะกลางวัน (Day shift, D) และ กะกลางคืน (Night shift, N) ช่วงเวลาการผลิตตามชั่วโมงการทำงานที่ฝ่ายวางแผนการผลิตกำหนด ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ช่วงเวลาการทำงานของโรงงานกรณีศึกษา

กะการทำงาน	ช่วงเวลาทำงานปกติ	ชั่วโมงทำงานปกติ (ชั่วโมง)	ช่วงเวลาทำงานล่วงเวลา	ชั่วโมงทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)
กะกลางวัน	08.00-17.00	8	17.00-20.00	3
กะกลางคืน	20.00-05.00	8	05.00-08.00	3

รายละเอียดของชิ้นส่วนโครงรถยนต์ที่ทำการผลิตทั้งหมดบนสายการผลิต B จำนวน 23 กลุ่มชิ้นส่วนแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ รวมทั้งสิ้น 46 ชิ้นส่วน ดังตารางที่ 3-2 การผลิตชิ้นส่วนแต่ละกลุ่มมีเงื่อนไขในการผลิตที่แตกต่างกันตามลักษณะชิ้นส่วนในกลุ่มว่าประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก (Main part) เพียงอย่างเดียว หรือมีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม (Co-part) รวมถึงการพิจารณาจำนวนชิ้นส่วนที่ผลิตได้จากการปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้ง (1 stroke) เช่น กลุ่มชิ้นส่วนที่ 1 เมื่อปั๊มขึ้นรูป 1 ครั้งจะได้ชิ้นส่วนหลักหมายเลข 343V และ 344V อย่างละ 1 ชิ้น ขณะที่การปั๊มขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วนที่ 6 จำนวน 1 ครั้ง จะได้ชิ้นส่วนหลักหรือชิ้นส่วนร่วมจำนวน 1 ชิ้น คือ 557V หรือ 141V ขึ้นอยู่กับการกำหนดว่าชิ้นส่วนใดถูกเลือกให้ผลิต เป็นต้น และยังมีกลุ่มชิ้นส่วนกรณีพิเศษอีก 1 ประเภท รวมประเภทของกลุ่มชิ้นส่วนทั้งสิ้น 3 ประเภท มีรายละเอียดต่อไปนี้

1. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก (Main part) เพียงอย่างเดียว มีทั้งสิ้น 15 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 1 ถึง 15 การผลิตกลุ่มชิ้นส่วนประเภทเมื่อปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วนหลัก 2 ชิ้นส่วนจำนวน 13 กลุ่ม และได้ชิ้นส่วนหลัก 1 ชิ้นจำนวน 2 กลุ่ม (กลุ่มที่ 14 และ 15) การขึ้นรูปชิ้นส่วนต้องผลิตให้ครบตามจำนวนที่ระบุด้วยขนาดรุ่นผลิต (lot size) เช่น กลุ่มชิ้นส่วนที่ 4 ต้องผลิตทั้งสิ้นรวม 740 ชิ้น ดังนั้นจึงใช้เวลาในการผลิตรวมทั้งสิ้น 102.78 นาที (lot size 740 ชิ้น หารด้วยอัตราการผลิต 7.2 ชิ้นต่อนาที) และชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จจะนำไปวางบนอุปกรณ์วางชิ้นงาน (แรค, Rack) เพื่อใช้ในการขนถ่ายลำเลียง จัดเก็บ และส่งมอบให้เต็มตามความจุของแรค (Rack capacity) ในกรณีการผลิตชิ้นส่วนกลุ่มที่ 4 นี้ต้องใช้ทั้งหมด 20 แรค (lot size 740 ชิ้น หารด้วย Rack capacity = 37 ชิ้น) เป็นต้น เงื่อนไขการวางชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จบนแรคให้เต็มจำนวนนี้ได้รับการยกเว้นสำหรับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนบางกลุ่มที่เมื่อผลิตชิ้นส่วนครบตาม lot size แล้ว แต่มีแรคที่ยังบรรจุชิ้นงานไม่เต็มความจุ เช่น การผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ 1 เมื่อผลิตครบ 680 ชิ้น และใช้แรคเต็มจำนวนไปแล้ว 56 แรควางชิ้นส่วนรวม 672 ชิ้น (Rack capacity 12 ชิ้น คูณด้วย 56 racks) กรณีนี้อนุญาตให้แรคที่ 57 วางชิ้นส่วนจำนวน 680-672 = 8 ชิ้นได้

2. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม มีทั้งสิ้น 7 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 16 ถึง 22 การผลิตกลุ่มชิ้นส่วนประเภทเมื่อปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วน 1 ชิ้น (ยกเว้นกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21) ผู้วางแผนต้องกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่อยู่ภายในกลุ่มชิ้นส่วน โดยมีเงื่อนไข 2 ด้าน คือ จำนวนการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่ม รวมแล้วต้องเท่ากับ lot size ที่กำหนด และชิ้นส่วนแต่ละชิ้นส่วนเมื่อผลิตเสร็จต้องถูกวางบนแรคเดียวกันไม่สามารถผสมชิ้นส่วนหลายชนิดบนแรคใด ๆ ได้ การบรรจุชิ้นส่วนต้องวางเต็มตามความจุของแรคทุกแรค (ยกเว้นความจุของแรคกับขนาดล๊อตไม่สัมพันธ์กัน สามารถกำหนดให้แรคสุดท้ายมีชิ้นส่วนไม่เต็มความจุได้ แต่ต้องไม่ผสมชิ้นส่วนมากกว่า 1 ชนิด) สำหรับการคำนวณเวลาที่ใช้ในการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนล๊อตหนึ่ง ๆ สามารถคำนวณได้จาก lot size หารด้วยอัตราการผลิตได้โดยตรง เนื่องจากการผลิตชิ้นส่วนแต่ละชิ้นหลายชนิดในกลุ่มชิ้นส่วนเดียวกันใช้เวลาในการผลิตเท่ากัน

การปั๊มขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 มีแบ่งกลุ่มย่อยชิ้นส่วนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มย่อยที่ 1 ประกอบด้วยชิ้นส่วนหมายเลข 615V กับ 616V และกลุ่มย่อยที่ 2 ประกอบด้วย ชิ้นส่วนหมายเลข 617V กับ 618V การผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 เมื่อปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วน 2 ชิ้น จากกลุ่มย่อยใดกลุ่มย่อยหนึ่ง เช่น ชิ้นส่วนหมายเลข 615V กับ 616V หรือ ชิ้นส่วนหมายเลข 617V กับ 618V เป็นต้น ผู้วางแผนต้องกำหนดปริมาณการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนย่อยที่ 1 และ 2 ให้รวมกันได้ตาม lot size ที่กำหนด และเมื่อผลิตชิ้นส่วนของกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มเสร็จแล้วจะต้องถูกวางบนแรคเดียวกัน

3. กลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมที่แยกออกเป็นสองกลุ่มย่อยและการปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งได้ชิ้นส่วน 2 ชิ้น คือ ชิ้นส่วนจากกลุ่มชิ้นส่วนย่อยที่ 1 และ 2 โดยต้องเลือกว่าจะผลิตชิ้นส่วนใดภายในกลุ่มย่อย กลุ่มชิ้นส่วนประเภทนี้ คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 23 การผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนนี้ผู้วางแผนต้องกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่ม และผลรวมของปริมาณการผลิตชิ้นส่วนภายในกลุ่มย่อยต้องเท่ากับ lot size เช่น ผลรวมของปริมาณการผลิตชิ้นส่วนหมายเลข 281V กับ 285V ต้องเท่ากับ 680 ชิ้น และ ผลรวมของปริมาณการผลิตชิ้นส่วนหมายเลข 282V กับ 286V ต้องเท่ากับ 680 ชิ้น เป็นต้น และใช้เงื่อนไขการกำหนดปริมาณการผลิตอื่น ๆ เหมือนกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 23

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลกลุ่มชิ้นส่วนผลิต

กลุ่มชิ้นส่วน	ลำดับชิ้นส่วน	Parts Name	Parts Number	Rack Size	Lot Size	Inventory max
1	1	FENDER FR (L/R)	343V/344V	12	680	900
2	2	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	37	870	1160
3	3	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	42	660	880
4	4	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	37	740	960
5	5	FENDER FR (L/R)	957V/958V	12	564	680
6	6	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	42	546	660
7	7	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	35	560	680
8	8	RR DR INR (L/R) GA	021V/022V	20	450	720
9	9	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	40	870	1000
10	10	FR DOOR OTR (L/R)	759V/760V	40	440	520
11	11	FR DOOR INR (L/R)	757V/758V	35	450	520
12	12	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	40	400	800
13	13	RR DOOR OTR (L/R)	317V/318V	30	420	600
14	14	SIDE OTR (L)	663V	12	180	240
15	15	SIDE OTR (R)	664V	12	180	240
16	16	SIDE OTR (L)	141V	12	660	880
	17	SIDE OTR (L)	557V	12	660	880
17	18	SIDE OTR (R)	558V	12	660	880
	19	SIDE OTR (R)	144V	12	660	880
	20	SIDE OTR (R)	142V	12	660	880
	21	SIDE OTR (R)	346V	12	660	880
	22	SIDE OTR (R)	726V	12	660	880

ตารางที่ 3-2 (ต่อ)

กลุ่มชิ้นส่วน	ลำดับชิ้นส่วน	Parts Name	Parts Number	Rack Size	Lot Size	Inventory max
18	23	SIDE OTR (L)	601V	12	552	660
	24	SIDE OTR (L)	695V	12	552	660
19	25	SIDE OTR (R)	602V	12	552	660
	26	SIDE OTR (R)	690V	12	552	660
	27	SIDE OTR (R)	734V	12	552	660
20	28	T/GATE OTR	393V	25	400	660
	29	T/GATE OTR	394V	25	400	660
	30	T/GATE OTR	541V	25	400	660
	31	T/GATE OTR	546V	25	400	660
	32	T/GATE OTR	549V	25	400	660
	33	T/GATE OTR	714V	25	400	660
21	34	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	20	750	900
	35	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	20	750	900
22	36	ROOF	859V	12	400	800
	37	ROOF	860V	12	400	800
	38	ROOF	861V	12	400	800
	39	ROOF	862V	12	400	800
	40	ROOF	963V	12	400	800
	41	ROOF	964V	12	400	800
	42	ROOF	853V	12	400	800
23	43	FR DOOR OTR (L)	281V	43	680	970
	44	FR DOOR OTR (L)	285V	43	680	970
	45	FR DOOR OTR (R)	282V	43	680	970
	46	FR DOOR OTR (R)	286V	43	680	970

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวางแผนการผลิตรายวันของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ สายการผลิต B จากตัวอย่างแผนการผลิตในวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ประกอบด้วยแผนการผลิตหลัก (Master production plan) ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น (Initial inventory) และปริมาณการผลิตของแต่ละกะการทำงาน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แผนการผลิตหลักแสดงปริมาณความต้องการชิ้นส่วนของแต่ละกะการทำงานในรอบ 7 วันทำงาน โดยแผนการผลิตหลักจะกำหนดชั่วโมงการทำงานของแต่ละกะการทำงานไว้ด้วย จากการวิเคราะห์แผนการผลิตหลักในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 พบว่า มีความต้องการชิ้นส่วนประมาณ 30 ประเภทต่อกะ และประมาณความต้องการชิ้นส่วนรวมประมาณ 3,600 ชิ้นต่อกะ ตัวอย่างแผนการผลิตหลักของในวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 แสดงไว้ในภาคผนวก ก และแผนการผลิตหลักบางส่วน ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 แผนการผลิตหลักบางส่วน

Requirement on 18 Jul'17		Fixed	Firm	Firm	FC	FC	FC	…	FC	FC
Working hours			11	11	11	11	11	…	8	8
Part Group	Part no.	17N	18D	18N	19D	19N	20D	…*	25D	25N
1	343V/344V		156	156	156	126	126	…	194	128
23	281V		27	24	17	19	19	…	20	17
	285V		279	282	289	287	287	…	224	227
	282V		195	130	85	144	144	…	156	134
	286V		119	176	221	162	162	…	96	110

หมายเหตุ: Fixed = ผลิตแล้ว Firm = ได้รับการยืนยันคำสั่งซื้อจากลูกค้า FC = ค่าพยากรณ์ความต้องการ

*วันที่ 23 ไม่ทำงาน

ฝ่ายวางแผนการผลิตเป็นผู้สร้างแผนการผลิตหลักเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับฝ่ายผลิตเป็นผู้กำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละกะทำงานรวม 14 กะ ในแผนการผลิตหลักฝ่ายวางแผนได้กำหนดเวลาการทำงานไว้ 2 แบบตามที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้นแล้ว ในการกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละกะทำงานของฝ่ายผลิต จะต้องคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนใน

แต่ละกะทำงานนั้นด้วย สำหรับกะทำงานปกติ 8 ชั่วโมงทำงาน และกะทำงานรวมล่วงเวลา 11 ชั่วโมงทำงาน มีเวลาการผลิตชิ้นส่วนที่กำหนดใช้ในการวางแผนต้องไม่เกิน 455 นาที และ 610 นาที ตามลำดับ กรณีที่วางแผนการผลิตชิ้นส่วนเกินเวลาที่กำหนดนั้นสามารถทำได้ แต่ต้องนำเวลาส่วนที่เกินไปหักออกจากเวลาที่เป็นไปได้ในกะทำงานถัดไป เช่น ในวันที่ 18 กำหนดเวลาทำงานไว้ 11 ชั่วโมงทั้งสองกะทำงาน หากวางแผนให้ผลิตชิ้นส่วนในกะทำงาน 18D ใช้เวลา 650 นาที (เกินจากเวลาที่เป็นไปได้ 40 นาที) จะทำให้เวลาที่เหลือในการวางแผนการผลิตชิ้นส่วนในกะ 18N เท่ากับ 570 นาที (610-40 นาที) เป็นต้น

2. ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น (Initial inventory) แสดงปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริง (Actual inventory) ที่เก็บอยู่ในคลังสินค้าก่อนที่ฝ่ายผลิตจะกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละกะทำงาน ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงนี้มีค่าผันแปรไปจากแผนการผลิตในวันก่อนหน้า เช่น จากตัวอย่างแผนการผลิตและปริมาณสินค้าคงคลังตั้งต้นของชิ้นส่วนหมายเลข 343V ในตารางที่ 3-4 ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น 417 ชิ้น และกำหนดให้ผลิตตามแผน 680 ชิ้น ขณะที่ปริมาณความต้องการรวม 2 กะทำงาน 282 ชิ้น ทำให้เมื่อสิ้นสุดกะทำงาน 17N จะมีชิ้นส่วนคงคลังตามแผน 814 ชิ้น (=417+680-282) แต่ข้อมูลปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงสำหรับวางแผนในวันที่ 18 พบว่ามีชิ้นส่วนคงคลัง 631 ชิ้น เป็นต้น

ตารางที่ 3-4 ความแตกต่างของปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงจากแผนการผลิต

ข้อมูลการวางแผน	ปริมาณชิ้นส่วนหมายเลข 343V (ชิ้น)
วันที่ 17	
- ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น	417
- ปริมาณการผลิต	680
- ปริมาณความต้องการ	282
- ปริมาณชิ้นส่วนคงเหลือตามแผนการผลิต	814
วันที่ 18	
- ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้น	631

ความแตกต่างของปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงจากแผนการผลิตนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ปัญหาการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าล่าช้า ปัญหาการผลิตล่าช้ากว่าแผน ปัญหาคุณภาพ

ชิ้นส่วนที่มีจำนวนชิ้นส่วนเสียหรือชิ้นส่วนที่ต้องแก้งาน (Rework) ปัญหาการนำชิ้นส่วนผ่านการแก้งานเข้าสู่คลังสินค้าทำให้มีปริมาณชิ้นส่วนคงคลังมากกว่าแผนการผลิต เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้อยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยนี้ที่จะทำการปรับปรุงแก้ไข แต่ปัญหาเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ฝ่ายผลิตต้องทำการวางแผนการผลิตทุกวัน

3. ปริมาณการผลิตและตารางการผลิตชิ้นส่วนของแต่ละกะการทำงาน การกำหนดปริมาณการผลิตและตารางการผลิตรายวันของฝ่ายผลิตในปัจจุบันใช้ซอฟต์แวร์ Microsoft Excel VBA ซึ่งถูกพัฒนาโดยวิศวกรต่างชาติจากบริษัทแม่ของโรงงานกรณีศึกษา การสร้างแผนการผลิตรายวันนี้ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 80-150 นาที ขั้นตอนในการใช้งานโปรแกรมเริ่มจากการนำข้อมูลแผนการผลิตหลักและปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้นบันทึกลงบนโปรแกรม จากนั้นโปรแกรมจะประมวลผลให้ได้ผลลัพธ์สองส่วนหลัก คือปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ในแต่ละกะทำงาน ดังตัวอย่างในตารางที่ 3-5 และตารางการผลิตในแต่ละกะทำงาน ดังตัวอย่างในตารางที่ 3-6

ตัวอย่างปริมาณการผลิตดังตารางที่ 3-5 ในส่วนตาราง Plan ที่กะทำงาน 18D ได้กำหนดให้ผลิตชิ้นส่วนกลุ่มที่ 23 ตามเกณฑ์ของกลุ่มชิ้นส่วนประเภทที่ 3 คือ เลือกผลิตชิ้นส่วนหมายเลข 281V จำนวน 43 ชิ้น (ครบ 1 แรค) และหมายเลข 285V จำนวน 637 ชิ้น (15 แรค โดยแรคที่ 15 บรรจุชิ้นงาน 35 ชิ้น) รวม 680 ชิ้น (ตาม lot size ที่กำหนด) และเลือกผลิตชิ้นส่วนหมายเลข 282V จำนวน 258 ชิ้น (ครบ 6 แรค) และหมายเลข 286V จำนวน 422 ชิ้น (10 แรค โดยแรคที่ 10 บรรจุชิ้นงาน 35 ชิ้น) รวม 680 ชิ้น (ตาม lot size ที่กำหนด) ในส่วนตาราง Balance stock แสดงผลปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน ที่คำนวณจาก ปริมาชิ้นส่วนคงคลังในกะการทำงานก่อนหน้า รวมกับ ปริมาณการผลิตตามแผน หักออกด้วย ปริมาณความต้องการจากแผนการผลิตหลัก

ตารางการผลิตในตารางที่ 3-6 ของกะทำงาน 18D ต้องทำการเตรียมเครื่องจักรรวม 7 ครั้ง เพราะมีกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตจำนวน 7 กลุ่ม เวลารวมในการเตรียมเครื่องจักรประมาณ 350 นาที โดยการเตรียมเครื่องจักรนี้เป็นกิจกรรมการเปลี่ยนแม่พิมพ์ที่ทำระหว่างที่เครื่องจักรกำลังผลิตกลุ่มชิ้นส่วนหนึ่ง ๆ อยู่ เช่น เมื่อเครื่องจักรผลิตกลุ่มชิ้นส่วนในลำดับที่ 1 (ผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ 20) เสร็จเครื่องจักรจะผลิตกลุ่มชิ้นส่วนในลำดับที่ 2 และ 3 (ผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ 16) ต่อเนื่องทันทีและระหว่างผลิตอยู่นั้นพนักงานฝ่ายผลิตจะเตรียมติดตั้งแม่พิมพ์ (Die) สำหรับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนในลำดับที่ 4 (ผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ 10) เป็นต้น ส่วนเวลาที่ใช้ในการผลิตรวมในกะทำงานนี้รวมทั้งสิ้น 649 นาที เกินจากเวลาในการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน 7 กลุ่มตามที่กำหนดในตารางการผลิต (610 นาที)

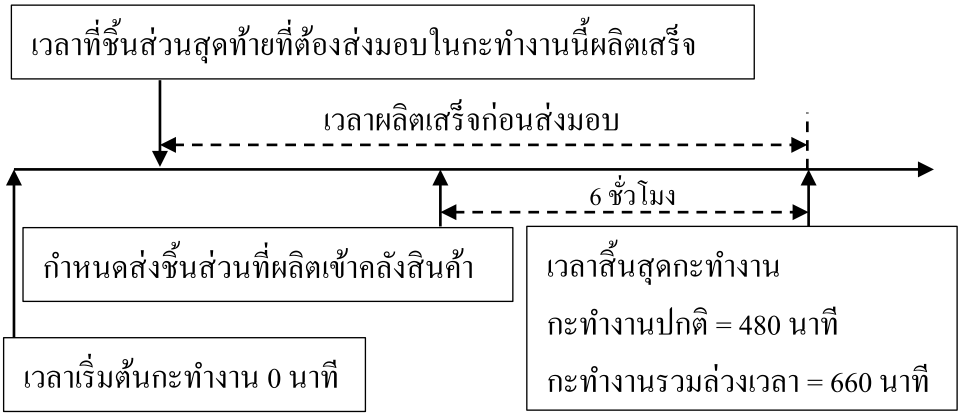
ตารางที่ 3-5 ตัวอย่างปริมาณการผลิตชิ้นส่วน วันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 (บางส่วน)

Requirement on 18 Jul'17			Firm	Firm	FC	FC	…	FC	FC
Working hours			11	11	11	11	…	8	8
Part Group	Part no.		18D	18N	19D	19N	…	25D	25N
1	343V/344V		156	156	156	126		194	128
23	281V		27	24	17	19		20	17
	285V		279	282	289	287		224	227
	282V		195	130	85	144		156	134
	286V		119	176	221	162		96	110
Plan on 18 Jul'17			Firm	Firm	FC	FC	…	FC	FC
Part Group	Parts no.		18D	18N	19D	19N	…	25D	25N
1	343V/344V		0	0	0	680		0	0
23	281V		43	0	0	43		0	0
	285V		637	0	0	637		680	0
	282V		258	0	0	422		465	0
	5700B286V		422	0	0	258		215	0
Balance Stock on 17 Jul'17		Fixed	Firm	Firm	FC	FC	…	FC	FC
Part Group	Parts no.	Initial Inv.	18D	18N	19D	19N	…	25D	25N
1	343V/344V	631	475	319	163	717		689	561
23	281V	86	102	78	61	85		24	7
	285V	472	830	548	259	609		758	531
	282V	258	321	191	106	384		410	276
	286V	215	518	342	121	217		239	129

ตารางที่ 3-6 ตัวอย่างตารางการผลิตวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

Shift	Seq.	Parts No (Group No.)	Volume	Duration (min)
18D	1	261V/262V (12)	400	59
18D	2	615V/616V (21)	730	106
18D	3	617V/618V (21)	20	3
18D	4	139V/140V (7)	560	90
18D	5	601V (18)	552	87
18D	6	282V (23)	258	23
18D	7	286V (23)	422	38
18D	8	285V (23)	637	57
18D	9	281V (23)	43	4
18D	10	957V/958V (5)	564	92
18D	11	137V/138V (6)	546	90
			Total	**649**
18N	1	549V (20)	25	4
18N	2	393V (20)	175	26
18N	3	394V (20)	200	30
18N	4	963V (22)	160	28
18N	5	860V (22)	120	21
18N	6	964V (22)	48	8
18N	7	853V (22)	72	12
18N	8	141V (16)	600	81
18N	9	557V (16)	60	8
18N	10	261V/262V (12)	400	59
18N	11	991V/992V (4)	740	102
18N	12	021V/022V (8)	450	77
			Total	**452**

ดัชนีที่สำคัญที่สุดสำหรับชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตในปัจจุบัน คือ เวลาผลิตเสร็จของชิ้นส่วนในกะทำงานที่ส่งมอบ และเป็นชิ้นส่วนที่ผลิตเป็นลำดับสุดท้ายหากมีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานมากกว่า 1 ชนิด เวลานี้กำหนดให้มีค่าอย่างน้อย 6 ชั่วโมงก่อนสิ้นสุดกะทำงาน (กำหนดส่งมอบเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน) ดังภาพที่ 3-4 เกณฑ์เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงนี้เป็นเกณฑ์ที่โรงงานกรณศึกษากำหนด เพื่อให้ชิ้นส่วนทุกชิ้นส่วนเมื่อผลิตเสร็จแล้วต้องจัดเก็บเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบ และหากมีความผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้นที่ทำให้มีชิ้นส่วนไม่เพียงพอตามกำหนดส่งมอบที่ตกลงไว้กับลูกค้า โรงงานกรณีศึกษาจะสามารถใช้เวลา 6 ชั่วโมงนี้ในการแก้ไขปัญหาได้ทันเวลา



ภาพที่ 3-4 กำหนดส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเข้าคลังสินค้า

ตัวอย่างการคำนวณเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบตามภาพที่ 3-4 ของตารางการผลิตสำหรับกะทำงาน 18D เริ่มจากการตรวจสอบก่อนเริ่มกะทำงานว่ามีชิ้นส่วนใดบ้างในคลังสินค้าที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการส่งมอบในกะทำงานนี้ ซึ่งสรุปได้ว่ามีชิ้นส่วน 4 ประเภท คือ ชิ้นส่วนหมายเลข 261V/262V ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ 12 และชิ้นส่วนหมายเลข 615V/616V ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 ดังตารางที่ 3-7

ตารางที่ 3-7 ชิ้นส่วนที่มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการส่งมอบในกะทำงาน 18D

Part Group	Parts no.	Initial Inv.	Requirement
12	261V/262V	60	320
21	615V/616V	140	278

เมื่อพิจารณาตารางการผลิตที่สร้างขึ้นดังตารางที่ 3-6 พบว่าชิ้นส่วนทั้งสองกลุ่มทำการผลิตเป็นลำดับที่ 1 และ 2 ของกะการทำงาน 18D โดยใช้เวลาผลิต 59 และ 106 นาทีตามลำดับ จากภาพที่ 3-4 การคำนวณเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ ทำได้โดยรวมเวลาที่ชิ้นส่วนสุดท้ายที่ต้องส่งมอบในกะทำงานนี้ผลิตเสร็จเท่ากับ 165 นาที ขณะที่กะทำงาน 18D เป็นกะทำงานที่รวมการทำงานล่วงเวลา ดังนั้นเวลาสิ้นสุดกะการทำงานเท่ากับ 660 นาที จึงทำให้เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบเท่ากับ 660-165 = 495 นาที หรือคิดเป็น 8.3 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการผลิตเสร็จก่อนถึงกำหนดส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเข้าคลังสินค้า

การวิเคราะห์ปัญหา

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานในการศึกษาว่า การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตรายวันของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์นี้เป็นปัญหาที่ซับซ้อน เนื่องจากชิ้นส่วนที่ต้องผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งเครื่องที่ใช้ในกระบวนการนี้มีจำนวนมากและมีความหลากหลายในการกำหนดปริมาณการผลิตของชิ้นส่วนแต่ละประเภท เช่น การปั๊มขึ้นรูป 1 ครั้งอาจได้ชิ้นส่วน 1 ชิ้น หรือ 2 ชิ้น ตามประเภทของกลุ่มชิ้นส่วน ยังมีเงื่อนไขการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องให้ผลิตให้เต็มความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วน และปริมาณการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนหนึ่ง ๆ รวมแล้วต้องเป็นไปตาม lot size ที่กำหนด การวางแผนการผลิตยังมีเงื่อนไขด้านเวลาการผลิตของกะทำงานที่เป็นตัวกำหนดกำลังการผลิต และเงื่อนไขด้านกำหนดส่งมอบชิ้นส่วนที่ต้องส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ปัญหาที่เกิดขึ้นจากวิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบันสามารถสรุปได้เป็น 3 ส่วนหลัก ดังต่อไปนี้

1. ขาดการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์นี้เป็นปัญหาเชิงทฤษฎีแบบ Lot sizing and scheduling ที่ต้องกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการและกำลังการผลิต เพื่อให้ระดับสินค้าคงคลัง

ไม่สูงเกินไป ขณะที่หากกำหนดปริมาณการผลิตต่ำเกินไปจะทำให้ต้องเปลี่ยนรุ่นการผลิตบ่อยครั้ง ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านการตั้งเครื่องจักร การสร้างแผนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลวีบีเอที่เขียนโดยวิศวกรต่างชาติจากบริษัทแม่ การเขียนโปรแกรมนี้ทำให้เชื่อได้ว่าใช้อัลกอริทึมในคำนวณเพื่อสร้างแผนการผลิตในแต่ละกะทำงานที่ไม่น่าจะทำให้เกิดต้นทุนรวมของการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังกับการเตรียมเครื่องจักรมีค่าต่ำที่สุดได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับแก้ปัญหา LSS ถึงแม้ว่าจะสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีระดับชิ้นส่วนคงคลังที่ต่ำ และจำนวนครั้งในการตั้งเครื่องจักรไม่บ่อยครั้งเกินความจำเป็น ผลลัพธ์ด้านต้นทุนรวมไม่น่าจะเป็นค่าที่ต่ำที่สุด (Optimal solution) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเริ่มจากการประมาณต้นทุนด้านการจัดเก็บสินค้าคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายรวมสองด้านนี้ของแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการปัจจุบัน และใช้เป็นดัชนีชี้วัดสำหรับเปรียบเทียบกับวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตที่งานวิจัยนี้เสนอ

ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง 46 ชนิด (หน่วย: บาทต่อชิ้นต่อกะ) ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าตามตารางที่ 3-8 ค่าใช้จ่ายนี้เป็นการประมาณจากสัดส่วนของราคาขายชิ้นส่วนที่เป็นความลับของโรงงานกรณีศึกษา จึงอาจไม่ใช่ค่าใช้จ่ายการจัดเก็บที่แท้จริงแต่สามารถเทียบเคียงมูลค่าการจัดเก็บต่อชิ้นที่มีความแตกต่างกันของชิ้นส่วนแต่ละชนิดได้ และสามารถเทียบเคียงกับต้นทุนการเตรียมเครื่องจักรต่อครั้งได้ การเทียบเคียงที่ถูกต้องสองส่วนนี้มีผลต่อแผนการผลิตที่สร้างขึ้น เช่น หากชิ้นส่วน A มีค่าจัดเก็บต่อหน่วยสูงกว่าชิ้นส่วน B แสดงว่าควรจัดเก็บชิ้นส่วน B ในปริมาณมากเนื่องจากเสียค่าจัดเก็บไม่มาก และชิ้นส่วน A จะจัดเก็บเมื่อจำเป็นเท่านั้น ส่วนการเทียบเคียงค่าจัดเก็บชิ้นส่วนกับค่าใช้จ่ายในการเตรียมจักรต่อครั้งนั้น ตามทฤษฎีของปัญหา LSS หากค่าใช้จ่ายในการเตรียมเครื่องจักรต่ำเมื่อเทียบกับค่าจัดเก็บ แผนการผลิตที่สร้างขึ้นควรกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนให้พอดีกับปริมาณความต้องการ เพื่อไม่ต้องจัดเก็บชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก การกำหนดปริมาณการผลิตเช่นนี้จะทำให้ต้องผลิตชิ้นส่วนบ่อย ๆ จึงเหมาะสมกับกรณีที่การเตรียมเครื่องจักรแต่ละครั้งไม่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายด้านการเตรียมเครื่องจักรในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1,704 บาทต่อครั้ง ค่าใช้จ่ายนี้เป็นการประมาณจากค่าแรงงานซึ่งเป็นความลับของโรงงานกรณีศึกษาเช่นกัน

ตารางที่ 3-8 ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง

กลุ่มชิ้นส่วน	**ลำดับชิ้นส่วน**	**Parts Number**	**ค่าจัดเก็บ (บาทต่อชิ้นต่อกะ)**
1	1	343V/344V	0.11
2	2	679V/680V	0.15
3	3	989V/990V	0.12
4	4	991V/992V	0.13
5	5	957V/958V	0.10
6	6	137V/138V	0.15
7	7	139V/140V	0.15
8	8	021V/022V	0.20
9	9	607V/608V	0.18
10	10	759V/760V	0.17
11	11	757V/758V	0.25
12	12	261V/262V	0.15
13	13	317V/318V	0.19
14	14	663V	0.67
15	15	664V	0.68
16	16	141V	0.41
17	17	557V	0.41
	18	558V	0.34
	19	144V	0.36
	20	142V	0.36
	21	346V	0.36
	22	726V	0.34

ตารางที่ 3-8 (ต่อ)

กลุ่มชิ้นส่วน	ลำดับชิ้นส่วน	Parts Number	ค่าจัดเก็บ (บาทต่อชิ้นต่อกะ)
18	23	601V	0.37
	24	695V	0.39
19	25	602V	0.39
	26	690V	0.39
	27	734V	0.39
20	28	393V	0.32
	29	394V	0.32
	30	541V	0.32
	31	546V	0.32
	32	549V	0.32
	33	714V	0.32
21	34	615V/616V	0.25
	35	617V/618V	0.25
22	36	859V	0.33
	37	860V	0.32
	38	861V	0.30
	39	862V	0.30
	40	963V	0.30
	41	964V	0.30
	42	853V	0.30
23	43	281V	0.14
	44	285V	0.13
	45	282V	0.11
	46	286V	0.12

การคำนวณต้นทุนรวมด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังกับด้านการเตรียมเครื่องจักร คำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

ต้นทุนรวม = ผลรวมต้นทุนทุกกะทำงานของ

(ต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังที่กะทำงาน *t* + ต้นทุนการเตรียมเครื่องจักรที่กะทำงาน *t*)

เมื่อต้นทุนการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังที่กะทำงาน *t*

= ผลรวมค่าใช้จ่ายทุกชิ้นส่วนของ (ค่าใช้จ่ายต่อชิ้นในการจัดเก็บชิ้นส่วน *j*

X จำนวนชิ้นส่วน *j* คงคลังเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน *t*)

และต้นทุนการเตรียมเครื่องจักรที่กะทำงาน *t*

= ค่าใช้จ่ายต่อครั้งในการเตรียมเครื่องจักร

X จำนวนกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงาน *t*

ต้นทุนรวมด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังกับด้านการเตรียมเครื่องจักรของแผนการผลิตรายวัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ดังภาพที่ 3-5 ที่แสดงดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตสร้างจากวิธีการของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าต้นทุนรวมเฉลี่ยจากแผนการผลิต 21 วัน เท่ากับ 143,472 บาท

2. เวลาผลิตเสร็จของชิ้นส่วนในกะทำงานที่ส่งมอบ จากที่กล่าวมาแล้วว่าเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบนี้เป็นดัชนีชี้วัดแผนการผลิตที่สำคัญที่สุดของโรงงานกรณีศึกษา การคำนวณเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบตามภาพที่ 3-5 ของแผนการผลิตรายวัน เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ได้ผลดังภาพที่ 3-6 ที่แสดงดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตสร้างจากวิธีการของโรงงานกรณีศึกษา พบว่ามีกะทำงานที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่ทัน 6 ชั่วโมงก่อนสิ้นสุดกะการทำงานเป็นจำนวนมาก แต่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบเฉลี่ยมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง จำนวน 19 วันจากการวางแผน 21 วัน โดยแผนการผลิตวันที่ 6 และ 20 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบเฉลี่ยมีค่าต่ำกว่า 6 ชั่วโมงเล็กน้อย (5.9 ชั่วโมง และ 5.5 ชั่วโมง, ตามลำดับ)

3. เวลาที่ใช้ในการวางแผนการผลิตรายวัน จากการทดสอบการใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล VBA ที่ใช้ในการวางแผนการผลิตรายวันในปัจจุบัน จำนวน 21 วัน ช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 พบว่าคอมพิวเตอร์ใช้เวลาในการประมวลผลสำหรับสร้างตารางการผลิตเฉลี่ย 109 นาที (1 ชั่วโมง 49 นาที) ค่าต่ำสุด* 85 นาที (1 ชั่วโมง 25 นาที) และค่าสูงสุด 148 นาที (2 ชั่วโมง 28 นาที) ดังตารางที่ 3-9

วันที่ \ กะที่	เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ (ชั่วโมง) 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย	ต้นทุนรวม (บาท)
1	6.5	6.6	3.9	5.6	9.0	6.5	10.0	8.7	4.2	8.7	6.3	2.3	8.0	8.0	6.7	127,430
3	7.0	7.9	3.8	8.6	5.7	7.6	7.9	11.0	6.2	2.7	8.0	8.0	6.5	-0.5	6.5	135,997
4	5.7	7.7	7.4	9.2	5.5	11.0	3.9	8.0	8.0	8.0	2.7	3.0	4.1	6.0	6.4	135,724
5	7.7	9.6	5.4	10.9	5.7	4.7	8.0	8.0	0.6	4.2	3.7	6.0	5.2	9.5	6.4	131,239
6	4.3	9.5	0.0	5.8	8.0	8.0	5.7	5.1	1.7	6.3	5.2	8.0	4.4	11.0	5.9	131,746
7	2.8	6.7	8.0	8.0	5.7	6.4	4.7	9.3	7.6	11.0	6.5	9.2	7.8	3.9	7.0	138,344
10	6.9	7.5	1.5	7.4	9.2	11.0	7.5	9.2	8.0	2.3	11.0	9.1	8.7	9.2	7.8	155,800
11	4.5	3.7	9.2	8.7	10.0	5.0	5.0	3.6	9.5	9.7	5.3	7.7	11.0	11.0	7.4	151,929
12	6.0	8.7	3.0	5.4	5.0	2.6	9.3	9.7	7.5	7.7	9.3	9.5	9.2	9.6	7.3	152,799
13	4.2	5.2	3.7	4.4	7.6	10.4	6.7	9.5	5.2	9.5	8.7	7.8	5.5	9.2	7.0	151,059
15	8.2	10	5.4	9.8	6.9	9.0	8.7	7.1	5.7	9.2	5.7	6.5	5.7	11.0	7.5	149,216
17	7.8	9.4	5.4	8.5	8.7	9.0	5.2	9.2	8.0	2.6	9.0	11.0	7.3	11.0	8.0	150,599
18	8.3	11	6.8	9.0	2.4	10.4	8.0	6.2	3.0	9.0	11.0	6.5	5.5	6.5	7.4	154,506
19	5.0	8.7	5.8	6.1	6.1	3.8	6.7	6.9	5.8	5.7	6.1	5.3	7.6	6.1	6.1	151,353
20	2.3	3.4	4.3	1.8	3.3	6.1	4.3	5.1	8.8	6.1	9.4	6.3	8.4	7.9	5.5	150,882
24	1.5	5.2	5.3	5.5	1.1	8.2	6.1	7.8	7.4	3.5	8.7	10.2	5.8	7.9	6.0	142,816
25	2.6	5.3	2.9	5.4	6.1	8.4	5.8	3.5	7.2	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	6.3	138,324
26	2.1	4.9	5.4	6.9	5.8	3.6	8.7	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	10.2	5.9	6.8	144,137
27	5.3	7.8	3.6	1.4	10.2	9.2	7.6	6.1	9.2	7.9	8.4	7.9	8.4	6.4	7.1	140,495
28	3.4	0.8	6.0	8.7	7.6	6.1	10.2	10.2	7.9	6.4	8.4	7.9	5.8	5.3	6.7	134,244
29	4.1	4.9	7.6	5.8	7.2	8.7	4.6	10.2	5.0	8.4	5.3	5.8	7.9	4.7	6.4	144,272
เฉลี่ย	5.1	6.9	5.0	6.8	6.5	7.4	6.9	7.8	6.4	6.9	7.4	7.2	7.3	7.5	6.8	**143,472**

หมายเหตุ: ■ = เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบน้อยกว่า 6 ชั่วโมง

ภาพที่ 3-5 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตสร้างจากวิธีการของโรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 3-9 เวลาการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ในการสร้างแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

แผนการผลิต	**จำนวนประเภทชิ้นส่วนเฉลี่ยต่อกะ (ชิ้น)**	**ปริมาณความต้องการรวมเฉลี่ยต่อกะ (ชิ้น)**	**เวลาในการรันโปรแกรม (นาที)**
1 กรกฎาคม 2560	28	3,643	85*
3 กรกฎาคม 2560	28	3,549	148**
4 กรกฎาคม 2560	30	3,837	90
5 กรกฎาคม 2560	30	3,826	90
6 กรกฎาคม 2560	30	3,825	90
7 กรกฎาคม 2560	30	3,871	98
10 กรกฎาคม 2560	28	3,748	135
11 กรกฎาคม 2560	28	3,748	135
12 กรกฎาคม 2560	28	3,738	135
13 กรกฎาคม 2560	28	3,774	142
15 กรกฎาคม 2560	28	3,648	128
17 กรกฎาคม 2560	28	3,722	135
18 กรกฎาคม 2560	30	3,643	128
19 กรกฎาคม 2560	30	3,621	108
20 กรกฎาคม 2560	29	3,625	115
24 กรกฎาคม 2560	29	3,429	92
25 กรกฎาคม 2560	29	3,299	90
26 กรกฎาคม 2560	29	3,327	90
27 กรกฎาคม 2560	28	3,273	87
28 กรกฎาคม 2560	28	3,276	87
29 กรกฎาคม 2560	28	3,310	87
ค่าเฉลี่ย	**28.8**	**3,606**	**109**

จากการวิเคราะปัญหาที่เกิดขึ้นในการวางแผนการผลิตรายวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ เราสามารถสรุปสาเหตุและเสนอแนวทางแก้ไขสรุปได้ ดังตารางที่ 3-10

ตารางที่ 3-10 สรุปปัญหา สาเหตุ และเสนอแนวทางการแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
วิธีการสร้างแผนการผลิตเดิมใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จากบริษัทแม่ในการสร้างแผนผลิตรายวันที่ไม่มีการป้อนข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวกับค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บสินค้าคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร ซึ่งอาจทำให้ต้นทุนรวมของแผนการผลิตไม่ใช่ต้นทุนที่ต่ำที่สุด	อัลกอริทึมที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์อาจพิจารณาระดับชิ้นส่วนคงคลัง และจำนวนครั้งในการตั้งเครื่องจักรเพื่อสร้างแผนการผลิต แต่เนื่องจากปัญหานี้มีความซับซ้อนทำให้ไม่สามารถประเมินขั้นตอนกระบวนวิธีในการประมวลผลของโปรแกรมได้	ออกแบบวิธีการสร้างแผนการผลิตใหม่ โดยประยุกต์ทฤษฎีปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต (Lot sizing and scheduling) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยสำหรับการวางแผนการผลิตรายวันให้เป็นไปตามเงื่อนไขต่าง ๆ ในการผลิตและการส่งมอบ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากวิธีที่เสนอกับวิธีการวางแผนเดิม
เวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของแผนการผลิตเดิมมีค่าเฉลี่ยเป็นไปตามที่โรงงานกำหนด แต่ยังมีหลายกะทำงานที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบต่ำกว่า 6 ชั่วโมง	ความต้องการชิ้นส่วนหลายประเภทในแต่ละกะทำงานและมีปริมาณความต้องการชิ้นส่วนโดยรวมสูง ภายใต้เงื่อนไขกำลังการผลิตของเครื่องจักร	สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในด้านเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบมาร่วมในการประมวลผลสร้างแผนการผลิต

ตารางที่ 3-10 (ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
เวลาที่ใช้ในการวางแผนการผลิต	ความซับซ้อนของปัญหาจากความหลากหลายของชิ้นส่วนที่ต้องผลิตและปริมาณความต้องการชิ้นส่วนสูง รวมถึงเงื่อนไขกำหนดเวลาในการส่งมอบชิ้นส่วน ทำให้ต้องประมวลผลด้านการจัดลำดับการผลิตด้วย ซึ่งต้องใช้เวลาประมวลผลนาน	แยกการจัดตารางการผลิตออกจากการกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละกะการทำงาน โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้จำนวนกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตในกะการทำงานที่ส่งมอบน้อยที่สุด จะทำให้ไม่ต้องมีเงื่อนไขด้านการจัดลำดับการผลิต ซึ่งจะส่งผลต่อเวลาในการประมวลผลที่สั้นลงอย่างมีนัยสำคัญได้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนการประยุกต์สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนที่ศึกษาและจัดตารางการผลิตของกะทำงานต่าง ๆ ให้กับเครื่องปั๊มขึ้นรูป จากนั้นนำเสนอการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ และผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านค่าใช้จ่าย เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ และเวลาการสร้างตารางการผลิต

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้นสำหรับการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิต

การแก้ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตมีจุดประสงค์ 3 ด้าน คือ 1) เพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากสินค้าคงคลังและการเตรียมแม่พิมพ์เมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต 2) เพื่อให้เวลาผลิตชิ้นส่วนเสร็จเป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงาน (6 ชั่วโมงก่อนการส่งมอบ) และ 3) เพื่อสร้างตารางการผลิตให้เสร็จในเวลาที่เหมาะสม งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming, ILP) และแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและการจัดตารางการผลิตที่ต้องตัดสินใจว่าในแต่ละกะการทำงานจะต้องผลิตชิ้นส่วนโครงรถยนต์ชิ้นส่วนใดบ้างในปริมาณเท่าใด และลำดับการผลิตเป็นอย่างไร เพื่อให้ต้นทุนรวมจากการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและการเตรียมเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตต่ำที่สุด และจัดส่งชิ้นส่วนให้ทันตามเวลาที่กำหนดของสายการผลิตหลัก แบบจำลอง ILP/MILP ที่สร้างขึ้นได้นำพื้นฐานแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์หลายรุ่นบนเครื่องจักรเดียว (Single-level capacitated lot sizing problem) ที่สรุปไว้โดย Drexl & Kimms (1997) ที่มีเป้าหมายในการทำให้ต้นทุนการผลิตที่เกิดจากสินค้าคลังและการเตรียมเครื่องจักรให้ต่ำที่สุด และอธิบาย ILP/MILP ตามโครงสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอโดย Ragsdale (2011) แบบจำลอง ILP/MILP ที่เสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) ดัชนีและเซตที่ใช้ในแบบจำลอง 2) พารามิเตอร์ ได้แก่ ข้อมูลนำเข้าหลักและข้อมูลการผลิตที่เป็นค่าคงที่ของแบบจำลอง 3) ตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรอิสระที่แสดงผลลัพธ์แผนการผลิต 4) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

แสดงสมการสำหรับคำนวณตัวชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิต และ 5) เงื่อนไขบังคับในด้านต่าง ๆ ของการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต แบบจำลองแรกที่เสนอเป็นแบบจำลองหลักที่มีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ดัชนีและเซต (Indices and Sets)

การกำหนดสัญลักษณ์สำหรับใช้ในแบบจำลอง ILP/MILP ประกอบด้วยดัชนีและเซตต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

i = ดัชนีของกลุ่มชิ้นส่วนในเซต $K = K1 \cup KG$ เมื่อ K = เซตของกลุ่มชิ้นส่วนทั้งหมด $K1$ = เซตของกลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก (Main part) และ KG = เซตของกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม (Co-part)

j = ดัชนีของชิ้นส่วนในเซตกลุ่มชิ้นส่วน $G_i \subset N$ เมื่อ N = เซตของชิ้นส่วนทั้งหมด และจำนวนสมาชิกในเซตกลุ่มชิ้นส่วน $G_i = N_i$

l = ดัชนีของกลุ่มย่อยของเซต $SG_{i,l}$ ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ i ในเซต KGC เมื่อ KGC เป็นเซตของกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม และภายในกลุ่มชิ้นส่วนนี้แบ่งชิ้นส่วนออกเป็นกลุ่มย่อยหลายกลุ่ม ขณะที่ปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วน 1 ชิ้นส่วนจากกลุ่มย่อยทุกกลุ่ม เซต $KGC \subset KG$ และ $SG_{i,l} \subset G_i$ โดยที่จำนวนกลุ่มย่อยในกลุ่มชิ้นส่วนที่ i ที่อยู่ในเซต KGC = a_i

t = ดัชนีของกะการทำงานในเซต $T = \{1,..,t_{max}\}$ เมื่อ t_{max} = จำนวนกะการทำงานในรอบการวางแผนการผลิต

พารามิเตอร์ (Parameters)

สัญลักษณ์ข้อมูลนำเข้า และข้อมูลการผลิตที่ใช้ในแบบจำลอง ILP ประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลนำเข้า เป็นข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามรอบเวลาการวางแผนการผลิตประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าหลัก ได้แก่ ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในกะการทำงานต่าง ๆ ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังก่อนการวางแผนการผลิต และแผนเวลาการทำงานของกะการทำงานต่าง ๆ และข้อมูลนำเข้าจากแบบจำลองด้านเวลา ได้แก่ ตัวแปรสำหรับปรับค่าเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบงานหลังจากชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จถูกส่งเข้าคลังสินค้า ตัวแปรสำหรับกำหนดขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบงานโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน และน้ำหนักความสำคัญของกะทำงาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

<u>ข้อมูลนำเข้าหลัก</u>

D_{ij}^{t} = ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะการทำงาน t (ชิ้น)

I_{ij}^{0} = ปริมาณชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ก่อนการทำงานในกะที่ 1 (ชิ้น)

WT_t = เวลาการทำงานที่เป็นไปได้ในกะการทำงาน t (นาที)

<u>ข้อมูลนำเข้าจากแบบจำลองด้านเวลา</u>

td_t = ค่าตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองสำหรับหาผลรวมถ่วงน้ำหนักของเวลาผลิตเสร็จที่ช้ากว่ากำหนดส่งเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบในกะทำงาน t ข้อมูลนำเข้านี้ใช้สำหรับปรับค่าเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบงานหลังจากชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จถูกส่งเข้าคลังสินค้า

$AvgEarl_{min}$ = ขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ย ข้อมูลนำเข้านี้ใช้สำหรับกำหนดค่าเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงานที่ต่ำที่สุดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

$Weight_t$ = น้ำหนักความสำคัญของกะการทำงาน t ในการคำนวณเวลาสายของการส่งชิ้นส่วนเข้าคลัง

2. ข้อมูลการผลิต เป็นค่าคงที่ในฐานข้อมูลการผลิต

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i (บาทต่อชิ้นต่อกะการทำงาน)

S_i = ค่าใช้จ่ายในการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วน i (บาทต่อครั้ง)

P_i = เวลาการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วน i (นาทีต่อชิ้น)

RS_i = ปริมาณชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วน i ที่วางได้บนอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นส่วน (Rack Size, ชิ้น)

L_i = ขนาดล๊อตการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วน i (ชิ้น)

R_i = ปริมาณการผลิตคงเหลือในการผลิตให้ครบตามขนาดล๊อตของการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i (ชิ้น)

I_i^{max} = ปริมาณสูงสุดของการจัดเก็บชิ้นส่วนทั้งหมดในกลุ่มชิ้นส่วน i (ชิ้น)

$MaxWT_t$ = เวลาการทำงานสูงที่สุดของกะการทำงาน t (นาที)

$MinWT_t$ = เวลาการทำงานน้อยที่สุดของกะการทำงาน t (นาที)

U = เวลาเผื่อก่อนการส่งมอบตามข้อกำหนดของโรงงาน (นาที)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

ตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองนี้ประกอบด้วยตัวแปรตัดสินใจหลักที่เป็นตัวแปรสำหรับคำนวณปริมาณการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ตัวแปรตัดสินใจช่วยที่เป็นตัวแปรสำหรับช่วยจัดการเงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ และตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองเกี่ยวกับเวลา 3 แบบจำลองที่ใช้สำหรับกำหนดข้อมูลนำเข้าด้านเวลาของแบบจำลองหลัก ดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรตัดสินใจหลัก

x_{ij}^t มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0, $i \in K1, j \in G_i$, และ $t \in T$

y_{ij}^{t} ปริมาณอุปกรณ์วางชิ้นส่วนที่ใช้สำหรับการผลิตชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน $t, i \in KG, j \in G_i$, และ $t \in T$

z_{ij}^{t} มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน j ที่ไม่เต็มความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วนสำหรับผลิตงานกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0, $i \in KG, j \in G_i$, และ $t \in T$

2. ตัวแปรตัดสินใจสำหรับช่วยจัดการเงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ

sc_{i}^{t} มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0, $i \in KG$, และ $t \in T$, ตัวแปรตัดสินใจนี้ใช้สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตให้เป็นไปตามขนาดล๊อต และช่วยในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเตรียมเครื่องจักรของกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม

pd_{ij}^{t} มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0, $i \in KG, j \in G_i$, และ $t \in T$, ตัวแปรตัดสินใจนี้ใช้สำหรับช่วยในการกำหนดว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม เป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบงานในกะการทำงานที่ผลิตหรือไม่

g_{i}^{t} มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน ไม่เช่นนั้นมีค่าเป็น 0, $i \in K$, และ $t \in T$, ตัวแปรตัดสินใจนี้ใช้สำหรับช่วยในการคำนวณเวลาการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วน ที่มีชิ้นส่วนอย่างน้อย 1 ชิ้นที่ต้องส่งมอบงานในกะการทำงานที่ผลิต

3. ตัวแปรตัดสินใจสำหรับกำหนดข้อมูลนำเข้าด้านเวลาของแบบจำลองหลัก

td_t ขีดจำกัดเวลาสาย (tardiness limit) ของกะทำงาน t เมื่อขีดจำกัดเวลาสาย คือ เวลาสายที่คำนวณจากการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนในกะการทำงานที่ต้องส่งเข้าคลังสินค้า การสายของกลุ่มชิ้นส่วนพิจารณาจากเวลารวมที่ใช้ในการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานที่ผลิตว่าสามารถผลิตได้เสร็จก่อนกำหนดการส่งมอบ 6 ชั่วโมงหรือไม่ การคำนวณนี้เกิดจากการประมาณเนื่องจากอาจมีบางชิ้นส่วนเท่านั้นในกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานที่ผลิต จึงทำให้แผนการผลิตจะมีเวลาสายจริงในการส่งเข้าคลังสินค้าไม่เกินค่าขีดจำกัดเวลาสาย ตัวแปรตัดสินใจนี้ใช้ในแบบจำลอง 3 แบบ คือ 1) แบบจำลองเพื่อหาขีดจำกัดเวลาสายสูงสุดในการส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าให้มีค่าน้อยที่สุด 2) แบบจำลองเพื่อหาผลรวมขีดจำกัดเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักในการส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าให้ต่ำที่สุด และ 3) แบบจำลองเพื่อหาเวลาของการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน (เวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ย) ให้มีค่ามากที่สุด เมื่อเวลาของการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ คือ เวลาการทำงานในกะทำงาน (จำนวนชั่วโมงทำงานที่กำหนดจากแผนการผลิต x 60 นาที) หักออกด้วยผลรวมเวลาที่ใช้ในการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานนั้น

maxTar ขีดจำกัดเวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงานของแผนการผลิต ตัวแปรตัดสินใจนี้ใช้สำหรับช่วยในการหาเวลาสายสูงสุดเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าในการคำนวณเวลาสายโดยรวมแบบถ่วงน้ำหนักของแผนการผลิต

ตัวแปรตาม (Dependent variables)

ตัวแปรตามเป็นตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณที่เปลี่ยนแปลงตามค่าตัวแปรตัดสินใจแบบจำลองนี้มีตัวแปรตาม 1 ตัวแปร คือ

I_{ij}^{t} = ปริมาณชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อสิ้นสุดการทำงานในกะการทำงาน t (ชิ้น)

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective function)

ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์สำหรับการหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดของแผนการผลิต ดังสมการที่ 4-1 ต้นทุนรวมของทุกกะทำงานจากแผนการผลิตคำนวณจากผลรวมของค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง และค่าใช้จ่ายในการเตรียมแม่พิมพ์ พจน์แรกแสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลัง ที่เกิดจากปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดกะทำงานที่ t คูณกับค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บต่อชิ้นต่อกะทำงาน รวมทุกชิ้นส่วนในทุกกลุ่มชิ้นส่วนและในทุกกะทำงาน พจน์ที่สองแสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านการเตรียมแม่พิมพ์ต่อครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก รวมทุกครั้งที่เปลี่ยนรุ่นและในทุกกะทำงาน และพจน์ที่สามแสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายด้านการเตรียมแม่พิมพ์ต่อครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม รวมทุกครั้งที่เปลี่ยนรุ่นและในทุกกะทำงาน

$$\text{Minimize } \sum_{i\in K}\sum_{j\in G_i}\sum_{t\in T} C_{ij}I_{ij}^{t} + \sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i}\sum_{t\in T} S_i x_{ij}^{t} + \sum_{i\in KG}\sum_{t\in T} S_i sc_i^{t} \quad (4\text{-}1)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลชิ้นส่วนคงคลัง ใช้สำหรับการคำนวณปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเมื่อสิ้นสุดกะการทำงานใด ๆ ที่เกิดจากผลรวมของปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง ณ กะทำงานก่อนหน้ากับปริมาณการผลิต ณ กะทำงานที่ทำคำนวณ หักออกด้วยปริมาณความต้องการชิ้นส่วน ณ กะทำงานที่คำนวณ การคำนวณปริมาณชิ้นส่วนคงคลังแยกออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ชิ้นส่วนคงคลังเป็นชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก ดังสมการที่ 4-2 และกรณีที่ชิ้นส่วนคงคลังเป็นชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม ดังสมการที่ 4-3

$$I_{ij}^{t} = I_{ij}^{t-1} + L_i x_{ij}^{t} - D_{ij}^{t} \qquad \forall i\in K1;\ j\in G_i;\ t\in T \quad (4\text{-}2)$$

$$I_{ij}^{t} = I_{ij}^{t-1} + RS_i y_{ij}^{t} + R_i z_{ij}^{t} - D_{ij}^{t} \qquad \forall i \in KG;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-3}$$

เงื่อนไขบังคับด้านปริมาณการผลิตตามสมการที่ 4-4 ถึง 4-12 ประกอบด้วย 9 เงื่อนไข สมการที่ 4-4 ถึง 4-7 ทำให้มั่นใจได้ว่าแผนการผลิตที่สร้างขึ้นมีปริมาณชิ้นส่วนคงคลังเพียงพอ (ไม่ติดลบ) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนได้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ สมการที่ 4-5 ถึง 4-7 ทำให้มั่นใจได้ว่าแผนการผลิตที่สร้างขึ้นมีปริมาณชิ้นส่วนคงคลังไม่เกินปริมาณการจัดเก็บสูงสุด โดยที่สมการที่ 4-5 ใช้สำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก สมการที่ 4-6 ใช้สำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม แต่ไม่มีการแยกชิ้นส่วนออกเป็นกลุ่มย่อย ส่วนสมการที่ 4-7 ใช้สำหรับมีการแยกชิ้นส่วนออกเป็นกลุ่มย่อย

$$I_{ij}^{t} \geq 0 \qquad \forall i \in K;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-4}$$

$$I_{ij}^{t} \leq I_i^{max} \qquad \forall i \in K1;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-5}$$

$$\sum_{j \in G_i} I_{ij}^{t} \leq I_i^{max} \qquad \forall i \in KG \cap KGC^c;\ t \in T \tag{4-6}$$

$$\sum_{j \in SG_{i,l}} I_{ij}^{t} \leq I_i^{max} \qquad \forall i \in KGC;\ t \in T;\ l = 1,..,a_i \tag{4-7}$$

สมการที่ 4-8 เพื่อบังคับให้ปริมาณการผลิตรวมของชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนแต่ละกลุ่มต้องเท่ากับ lot size ที่กำหนดไว้ สมการที่ 4-9 ใช้สำหรับการกำหนดปริมาณการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่การปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วนจากกลุ่มย่อยกลุ่มละ 1 ชิ้นส่วน เพื่อบังคับให้ปริมาณการผลิตรวมของชิ้นส่วนในกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มต้องเท่ากับขนาดล๊อตที่กำหนดไว้

$$\sum_{j \in G_i} RS_i y_{ij}^{t} + \sum_{j \in G_i} R_i z_{ij}^{t} = L_i sc_i^{t} \qquad \forall i \in KG \cap KGC^C;\ t \in T \tag{4-8}$$

$$\sum_{j \in SG_{i,l}} RS_i y_{ij}^{t} + \sum_{j \in SG_{i,l}} R_i z_{ij}^{t} = L_i sc_i^{t} \qquad \forall i \in KGC;\ t \in T;\ l = 1,..,a_i \tag{4-9}$$

สมการที่ 4-10 ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่อต้องผลิตชิ้นส่วนใด ๆ ในกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม จะมีเพียงชิ้นส่วนประเภทเดียวเท่านั้นที่ถูกเลือกผลิตให้ไม่เต็มความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วนได้ และสมการที่ 4-11 ทำหน้าที่เหมือนสมการที่ 4-10 แต่ใช้ในการกำหนด

ปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มย่อยของกลุ่มชิ้นส่วนที่การปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้งจะได้ชิ้นส่วนจากกลุ่มย่อยกลุ่มละ 1 ชิ้นส่วน

$$\sum_{j\in G_i} z_{ij}^t \leq 1 \qquad \forall i\in KG \cap KGC^C \,;\, t\in T \qquad (4\text{-}10)$$

$$\sum_{j\in SG_{i,l}} z_{ij}^t \leq 1 \qquad \forall i\in KGC;\, t\in T;\, l = 1,..,a_i \qquad (4\text{-}11)$$

สมการที่ 4-12 ทำให้มั่นใจได้ว่าเมื่อผลิตชิ้นส่วนที่มีปริมาณการผลิตไม่พอดีกับความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วน ชิ้นส่วนนั้นต้องมีปริมาณการผลิตขั้นต่ำตามขนาดความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วน

$$y_{ij}^t \geq z_{ij}^t \qquad \forall i\in KG;\, j\in G_i\,;\, t\in T \qquad (4\text{-}12)$$

เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการผลิต ใช้สำหรับกำหนดเวลาการผลิตให้อยู่ภายใต้เวลาการทำงานในแต่ละกะการทำงานและวันทำงานที่กำหนดไว้จากฝ่ายวางแผนการผลิต เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการผลิตประกอบด้วย 2 เงื่อนไข สมการที่ 4-13 บังคับให้เวลาการผลิต ต้องไม่น้อยกว่าเวลาการผลิตต่ำสุดที่เป็นไปได้ เงื่อนไขนี้ใช้กับกะการทำงานที่ 1 ถึง 4 ของการวางแผน (เป็นช่วงการวางแผนที่ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนและปริมาณชิ้นส่วนคงคลังจริงที่คำนวณจากสมการที่ 4-2 และ 4-3 มีความผันแปรต่ำ)

$$\sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i} P_i L_i x_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i RS_i y_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i R_i z_{ij}^t \geq MinWT_t \qquad t = 1,2,3,4 \qquad (4\text{-}13)$$

เวลาการผลิตต่ำสุดที่เป็นไปได้ตามสมการที่ 4-13 แปรผันตามเวลาการทำงานของกะทำงานที่ t ที่กำหนดจากฝ่ายวางแผนการผลิต งานวิจัยนี้กำหนดเวลาการผลิตต่ำสุดที่เป็นไปได้เท่ากับ 420 นาที สำหรับกะทำงานที่มีเวลาการทำงาน 455 นาที และเท่ากับ 455 นาทีสำหรับกะทำงานที่มีเวลาการทำงานมากกว่า 455 นาที

สมการที่ 4-14 ทำให้มั่นใจได้ว่าเวลาการผลิตในแต่ละกะทำงานไม่เกินเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ในการทำงาน

$$\sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i} P_iL_ix_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_iRS_iy_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_iR_iz_{ij}^t \le MaxWT_t \qquad \forall t\in T \qquad (4\text{-}14)$$

เวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ตามสมการที่ 4-14 นอกจากแปรผันตามเวลาการทำงานของกะทำงานที่ *t* ที่กำหนดจากฝ่ายวางแผนการผลิตแล้ว ยังแปรผันตามกะทำงานด้วยว่าเป็นกลางวัน (*t* = เลขคี่) หรือกลางคืน (*t* = เลขคู่) กรณีกะทำงานกลางวันงานวิจัยนี้กำหนดเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้เท่ากับ 540 660 และ 720 นาที สำหรับกะทำงานที่มีเวลาการทำงาน 455 550 และ 610 นาที ตามลำดับ กรณีกะทำงานกลางคืนงานวิจัยนี้กำหนดเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้เท่ากับผลรวมเวลาการทำงานในวันใด ๆ (ผลรวมเวลาการทำงานของกะทำงาน *t*-1 กับกะทำงาน *t*) ที่กำหนดจากฝ่ายวางแผนการผลิต หักออกด้วยเวลาการผลิตในกะทำงานกลางวันของวันนั้น (กะทำงาน *t*-1) และในกรณีที่ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ทันกำหนดส่งมอบในปริมาณความต้องการชิ้นส่วนที่กำหนด ยังสามารถเพิ่มเวลาการผลิตพิเศษที่ผู้วางแผนสามารถกำหนดได้ ตัวอย่างการกำหนดเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของวันทำงานหนึ่ง ๆ ดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1 เวลาการทำงานที่กำหนดในกะกลางวัน 455 นาที และกะกลางคืน 610 นาที หากสร้างแผนการผลิตแล้วใช้เวลาการทำงานในกะกลางวันเท่ากับ 400 นาที ดังนั้นเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของกะกลางคืนเท่ากับ 455+610-400 = 665 นาที

ตัวอย่างที่ 2 เวลาการทำงานที่กำหนดในกะกลางวัน 455 นาที และกะกลางคืน 610 นาที หากสร้างแผนการผลิตแล้วใช้เวลาการทำงานในกะกลางวันเท่ากับ 540 นาทีและยังไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนให้ส่งได้ทันในกะทำงานหลังจากนี้ ทำให้ต้องมีการเพิ่มเวลาการผลิตพิเศษอีก 180 นาที (ผู้วางแผนกำหนดเวลา 180 นาที) ดังนั้นเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของกะกลางคืนเท่ากับ 455+610-540+180 = 705 นาที

เงื่อนไขบังคับด้านเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบชิ้นส่วน ใช้สำหรับวางแผนการผลิตที่ทำให้กลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตในกะการทำงานที่ต้องส่งมอบงานมีเวลาเหลือเพียงพอในการส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าก่อนการส่งมอบจริง โดยเวลาที่เหลือนี้ต้องเป็นไปตามเวลาขั้นต่ำหลังปรับเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบชิ้นส่วน ข้อจำกัดด้านเวลาเตรียมพร้อมประกอบด้วย 5 เงื่อนไข สมการที่ 4-15 ใช้ในการกำหนดว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลักกลุ่มใดบ้างที่ทำการผลิตในกะการทำงานที่ต้องส่งมอบงาน สมการที่ 4-16 ใช้ในการกำหนดว่าชิ้นส่วนใดบ้างในกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมได้ทำการผลิตในกะการทำงานที่ต้องส่งมอบงาน สมการที่ 4-17 ใช้ในการกำหนดว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมใดบ้างที่ทำการผลิตในกะการทำงานที่ต้องส่งมอบงาน สมการที่ 4-18 ทำให้มั่นใจได้ว่าใช้เวลาการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบงานในกะที่ผลิตไม่มากเกินไป เมื่อผลิตเสร็จและส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้าแล้วยังมีเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบ

เหลือเพียงพอ สมการที่ 4-19 ทำให้มั่นใจได้ว่า เวลาเผื่อก่อนส่งมอบเฉลี่ยจากทุกกะทำงานมีค่าสูงกว่าขีดจำกัดด้านล่างที่กำหนดไว้

$$I_i^{max} g_i^t + I_{ij}^{t-1} - D_{ij}^t \geq 0 \qquad \forall i \in K1;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-15}$$

$$I_i^{max} pd_{ij}^t + I_{ij}^{t-1} - D_{ij}^t \geq 0 \qquad \forall i \in KG;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-16}$$

$$\sum_{j \in G_i} pd_{ij}^t \leq N_i g_i^t \qquad \forall i \in KG;\ t \in T \tag{4-17}$$

$$WT_t - \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t \geq U - td_t \qquad \forall t \in T \tag{4-18}$$

$$\frac{1}{t_{max}} \sum_{t \in T} (WT_t - \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t) \geq AvgEarl_{min} \tag{4-19}$$

เงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินใจดังสมการที่ 4-20 และ 4-21 เป็นเงื่อนไขของค่าตัวแปรตัดสินใจที่กำหนดให้ x_{ij}^t, z_{ij}^t, sc_i^t, pd_{ij}^t, และ g_i^t มีลักษณะเป็นตัวแปรแบบไบนารี ส่วนตัวแปรตัดสินใจ y_{ij}^t เป็นตัวแปรแบบจำนวนนับที่ไม่ติดลบ

$$x_{ij}^t, z_{ij}^t, sc_i^t, pd_{ij}^t, g_i^t \in \{0,1\}, \qquad \forall i \in K;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-20}$$

$$y_{ij}^t = non\ negetive\ integer \qquad \forall i \in KG;\ j \in G_i;\ t \in T \tag{4-21}$$

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ที่ใช้สำหรับวางแผนการผลิตชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปของอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-1 และแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ข

Objective Function: Minimize $\sum_{i\in K}\sum_{j\in G_i}\sum_{t\in T} C_{ij} I_{ij}^t + \sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i}\sum_{t\in T} S_i x_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{t\in T} S_i sc_i^t$ (4-1)

Subject to:

$I_{ij}^t = I_{ij}^{t-1} + L_i x_{ij}^t - D_{ij}^t$ $\quad i\in K1;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-2)

$I_{ij}^t = I_{ij}^{t-1} + RS_i y_{ij}^t + R_i z_{ij}^t - D_{ij}^t$ $\quad i\in KG;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-3)

$I_{ij}^t \geq 0$ $\quad i\in K;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-4)

$I_{ij}^t \leq I_i^{max}$ $\quad i\in K1;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-5)

$\sum_{j\in G_i} I_{ij}^t \leq I_i^{max}$ $\quad i\in KG\cap KGC^c;\ t\in T$ (4-6)

$\sum_{j\in SG_{i,l}} I_{ij}^t \leq I_i^{max}$ $\quad i\in KGC;\ t\in T;\ l = 1,..,a_i$ (4-7)

$\sum_{j\in G_i} RS_i y_{ij}^t + \sum_{j\in G_i} R_i z_{ij}^t = L_i sc_i^t$ $\quad i\in KG\cap KGC^C;\ t\in T$ (4-8)

$\sum_{j\in SG_{i,l}} RS_i y_{ij}^t + \sum_{j\in SG_{i,l}} R_i z_{ij}^t = L_i sc_i^t$ $\quad i\in KGC;\ t\in T;\ l = 1,..,a_i$ (4-9)

$\sum_{j\in G_i} z_{ij}^t \leq 1$ $\quad i\in KG\cap KGC^C;\ t\in T$ (4-10)

$\sum_{j\in SG_{i,l}} z_{ij}^t \leq 1$ $\quad i\in KGC;\ t\in T;\ l = 1,..,a_i$ (4-11)

$y_{ij}^t \geq z_{ij}^t$ $\quad i\in KG;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-12)

$\sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i} P_i L_i x_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i RS_i y_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i R_i z_{ij}^t \geq MinWT_t$ $\quad t = 1,2,3,4$ (4-13)

$\sum_{i\in K1}\sum_{j\in G_i} P_i L_i x_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i RS_i y_{ij}^t + \sum_{i\in KG}\sum_{j\in G_i} P_i R_i z_{ij}^t \leq MaxWT_t$ $\quad t\in T$ (4-14)

$I_i^{max} g_i^t + I_{ij}^{t-1} + D_{ij}^t \geq 0$ $\quad i\in K1;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-15)

$I_i^{max} pd_{ij}^t + I_{ij}^{t-1} + D_{ij}^t \geq 0$ $\quad i\in KG;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-16)

$\sum_{j\in G_i} pd_{ij}^t \leq N_i g_i^t$ $\quad i\in KG;\ t\in T$ (4-17)

$WT_t - \sum_{i\in K} P_i L_i g_i^t \geq U - td_t$ $\quad t\in T$ (4-18)

$\frac{1}{t_{max}} \sum_{t\in T} (WT_t - \sum_{i\in K} P_i L_i g_i^t) \geq AvgEarl_{min}$ (4-19)

$x_{ij}^t, z_{ij}^t, sc_i^t, pd_{ij}^t, g_i^t \in \{0,1\}$ $\quad i\in K;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-20)

$y_{ij}^t = non\ negetive\ integer$ $\quad i\in KG;\ j\in G_i;\ t\in T$ (4-21)

ภาพที่ 4-1 แบบจำลอง ILP สำหรับกำหนดปริมาณและจัดตารางการผลิตให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

การสร้างแผนการผลิตจากแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้น

การใช้แบบจำลอง ILP ในการสร้างแผนการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด (เรียกแบบจำลองนี้ว่า MinTC) นั้น ต้องใช้ข้อมูลนำเข้าหลัก 3 ชุดข้อมูล คือ

1. ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในกะการทำงานต่าง ๆ (D_{ij}^{t}) จากฝ่ายวางแผนการผลิต
2. ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังก่อนการวางแผนการผลิต (I_{ij}^{0}) จากคลังสินค้าสำเร็จรูป
3. แผนเวลาการทำงานของกะการทำงานต่าง ๆ (WT_t) จากฝ่ายวางแผนการผลิต

แบบจำลอง MinTC ยังต้องใช้ข้อมูลนำเข้าด้านเวลาอีก 2 ชุดข้อมูล เพื่อให้แผนการผลิตที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในด้านเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด (6 ชั่วโมง) อย่างไรก็ตามการสร้างตารางการผลิต (Production schedule) ที่ทำให้เวลาเผื่อก่อนการส่งมอบเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในทุกกะทำงานนั้นอาจไม่สามารถทำได้ ถึงแม้ว่ามีการคำนวณปริมาณความต้องการชิ้นส่วนที่เหมาะสมกับกำลังการผลิตจากฝ่ายวางแผนการผลิตมาแล้วก็ตาม ซึ่งอาจเกิดจากปัญหาด้านคุณภาพการผลิต ปัญหาด้านความไม่แน่นอนของปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่ไม่ทำให้ทันสมัย (Update) ก่อนการสร้างตารางการผลิต และความซับซ้อนของรูปแบบการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มีกลุ่มชิ้นส่วนที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก และกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมหลายชนิดในการปั๊มขึ้นรูปหนึ่งครั้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการในการปรับเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบของแต่ละกะการทำงาน (ปรับลงให้เหลือน้อยกว่า 6 ชั่วโมง เมื่อทราบว่าไม่สามารถผลิตได้ทัน) แล้วนำเวลาเผื่อที่ปรับค่าแล้วจากเกณฑ์ที่กำหนดไปเป็นข้อมูลนำเข้าด้านเวลาของแบบจำลอง MinTC รายละเอียดข้อมูลนำเข้าด้านเวลาและวิธีการหาค่าเวลาเผื่อที่เหมาะสม สรุปได้ดังนี้

1. เวลาส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลา ดังแสดงด้วยตัวแปรนำเข้า td_t ของแบบจำลอง MinTC ซึ่งตัวแปรนี้เป็นตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลอง MinTWT ที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) สำหรับสร้างแผนการผลิตที่มีผลรวมถ่วงน้ำหนักของเวลาส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาที่ต่ำที่สุด อย่างไรก็ตามการใช้แบบจำลอง MinTWT สร้างแผนการผลิตไม่ได้รับประกันว่าค่ามากที่สุดของ td_t ของทุกกะการทำงาน t จะเป็นเวลาสูงที่สุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนด เช่น td_t เท่ากับ 0 10 100 0 0 0 นาที คือ เวลาสายกะการทำงานที่ 1 2 3 4 5 6 ตามลำดับ มีเวลาสายสูงที่สุดที่ 100 นาที และมีผลรวมเวลาสายเท่ากับ 110 นาที (น้ำหนักเวลาสายเท่ากันทุกกะทำงาน) เปรียบเทียบกับ td_t เท่ากับ 20 30 20 20 20 20 นาที คือ เวลาสายกะการทำงานที่ 1 2 3 4 5 6 ตามลำดับ มีเวลาสายสูงที่สุดที่ 30 นาที และมีผลรวมเวลาสายเท่ากับ 130 นาที เป็นต้น เวลาสายสูงที่สุดนี้เป็นเวลาที่สำคัญในการสร้างแผน

การผลิต เนื่องจากเป็นข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษาที่กำหนดให้ผลิตชิ้นส่วนเสร็จก่อนส่งมอบจริงอย่างน้อย 6 ชั่วโมง เวลาเผื่อนี้ใช้สำหรับการเพิ่มความยืดหยุ่นในการแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่ทำให้ไม่สามารถผลิตชิ้นส่วนได้ตามแผนที่วางไว้ เช่น ปัญหาคุณภาพการผลิต ปัญหาการทำงานของเครื่องจักร เป็นต้น งานวิจัยนี้เวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะการทำงานของแผนการผลิตที่สร้างขึ้นให้มีค่าต่ำที่สุดจึงให้ความสำคัญการผลรวมของเวลาสายของทุกกะทำงาน ดังนั้นการสร้างตารางการผลิตในงานวิจัยนี้จึงเริ่มจากการใช้แบบจำลอง MinMaxTardiness ที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาสายสูงสุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดให้มีค่าต่ำที่สุด แล้วนำเวลานี้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MinTWT เพื่อเป็นการรับประกันว่าหากต้องมีกลุ่มชิ้นส่วนที่ส่งเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาแล้ว นอกจากจะทำให้เวลาสายสูงที่สุดของทุกกะทำงานจะมีค่าน้อยที่สุดแล้ว ยังมีผลรวมเวลาสายของทุกกะทำงานมีค่าน้อยที่สุดด้วย (เมื่อให้น้ำหนักความสำคัญของการสายใน 4 กะทำงานแรกมากกว่ากะทำงานที่ 5 เป็นต้นไป) ซึ่งทำให้กลุ่มกะทำงานที่ผลิตชิ้นส่วนส่งเข้าคลังสินค้าไม่ทันในภาพรวมมีเวลาสายที่เหมาะสม และทำให้สามารถนำค่ากลุ่มเวลาสายนี้ไปปรับค่าเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบของแต่ละกะทำงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MinTC ที่ใช้สำหรับสร้างแผนการผลิตที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด

2. เวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงานขั้นต่ำ ($AvgEarl_{min}$) เป็นข้อมูลนำเข้าที่ต้องการให้แผนการผลิตที่สร้างขึ้นมีเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด (6 ชั่วโมง) อย่างไรก็ตามหากข้อมูลนำเข้าหลักต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน (D_{ij}^{t}) ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังก่อนการวางแผนการผลิต (I_{ij}^{0}) และแผนเวลาการทำงานของกะการทำงานต่าง ๆ (WT_t) มีค่าไม่เหมาะสม (เช่น D_{ij}^{t} มีค่ามาก I_{ij}^{0} และ WT_t มีค่าน้อย) อาจทำให้เวลาเผื่อเฉลี่ยสูงสุดที่เป็นไปได้มีค่าต่ำกว่า 6 ชั่วโมงตามเกณฑ์ที่กำหนดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์ MaxAvgEarliness ที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ที่ทำให้แผนการผลิตมีเวลาการเผื่อก่อนส่งมอบเฉลี่ยสูงสุด เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MinTC ต่อไป

วิธีการสร้างแผนการผลิตนี้มีลักษณะเป็นแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้น (Multi-stage mathematical programming model) ที่ใช้ในการจัดการความไม่แน่นอนของปริมาณความต้องการชิ้นส่วนและปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง งานวิจัยนี้จึงต้องกำหนดข้อมูลนำเข้าด้านเวลาให้กับแบบจำลองหลัก MinTC จากแบบจำลอง MinTWT และ MaxAvgEarliness และกำหนดข้อมูลนำเข้าด้านเวลาให้กับแบบจำลอง MinTWT จากแบบจำลอง MinMaxTardiness สรุปวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตที่เสนอในงานวิจัยนี้ได้ ดังภาพที่ 4-2

0. ข้อมูลนำเข้า: $D_{ij}^{t}, I_{ij}^{0}, WT_{t}$

1. ใช้แบบจำลอง MinMaxTardiness หาเวลาสายสูงสุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดให้มีค่าต่ำที่สุด ⇒ $maxTar$

2. ใช้แบบจำลอง MinTWT หาเวลาส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาให้มีค่าต่ำที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักความสำคัญกับการสายในช่วง 4 กะการทำงานแรกสำคัญกว่ากะทำงานที่ 5 เป็นต้นไป ⇒ td_t

3. ใช้แบบจำลอง MaxAvgEarliness หาเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบเฉลี่ยสูงที่สุด ⇒

- ถ้า $AvgEarliness$ >= U ให้กำหนด $AvgEarl_{min}$ = U
- ถ้า $AvgEarliness$ < U ให้กำหนด $AvgEarl_{min}$ = $AvgEarliness$ – 12

4. ใช้แบบจำลอง MinTC เพื่อสร้างแผนการผลิตที่มีต้นทุนรวมด้านชิ้นส่วนสำเร็จรูปคงคลัง และค่าใช้จ่ายการเตรียมเครื่องจักรต่ำที่สุด ⇒

- $x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, z_{ij}^{t}, sc_{i}^{t}$
- pd_{ij}^{t}, g_{i}^{t}

5. จัดตารางการผลิตของทุกกะการทำงาน t

- กะทำงาน t ที่ไม่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันที ($g_i^t = 0$ สำหรับทุกค่า $i \in K$) ให้เลือกลำดับการผลิตได้แบบไม่มีเงื่อนไข

- กะทำงาน t ที่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันที ($pd_{ij}^t, g_i^t = 1$ อย่างน้อย 1 ค่า สำหรับทุกค่า $i \in K$ และ $j \in G_i$) ให้ 1) จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in K1$ และ $g_i^t = 1$ ก่อนจนครบ แล้วจึง 2) จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in KG$ ที่ $g_i^t = 1$ และมีผลรวมของเวลาการผลิตของชิ้นส่วนที่ยังไม่ส่งมอบในกะ t ที่น้อยที่สุดให้ผลิตก่อน (ชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ที่นำมาคำนวณเวลาผลิตมีค่า $pd_{ij}^t = 0$) และภายในกลุ่มชิ้นส่วน i ใด ๆ ให้จัดลำดับการผลิตชิ้นส่วน j ที่ $pd_{ij}^t = 1$ ก่อน และ 3) จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ที่เหลือ (มีค่า $g_i^t = 0$)

ภาพที่ 4-2 วิธีการที่เสนอสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของเครื่องปั๊มขึ้นรูป

การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตในภาพที่ 4-2 แสดงลำดับขั้นการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการสร้างตารางการผลิตในกะทำงานที่ 1 ถึงกะทำงานสุดท้าย (t_{max}) เริ่มจากการใช้แบบจำลอง MinMaxTardiness ดังภาพที่ 4-3 สำหรับหาค่าเวลาสายสูงที่สุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดต่ำที่สุด (*maxTar*)

พารามิเตอร์ (Parameters)

ข้อมูลนำเข้า; $D_{ij}^{t}, I_{ij}^{0}, WT_t$

ข้อมูลการผลิต; $C_{ij}, S_i, P_i, RS_i, R_i, L_i, I_{ij}^{max}, MinWT_t, MaxWT_t, U$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable);

DV จากแบบจำลอง MinTC; $x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, z_{ij}^{t}, sc_i^{t}, pd_{ij}^{t}, g_i^{t}$

DV เพิ่มสำหรับแบบจำลอง MinMaxTardiness; td_t, *maxTar*

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective function)

$$Minimize\ maxTar \tag{4-22}$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints);

สมการที่ (4-2) ถึง (4-17), (4-20) ถึง (4-21) และ

$$td_t \geq \sum_{i \in K} P_i L_i g_i^t - W_t + U \qquad t \in T \tag{4-23}$$

$$td_t \geq 0 \qquad t \in T \tag{4-24}$$

$$maxTar \geq td_t \qquad t \in T \tag{4-25}$$

ภาพที่ 4-3 แบบจำลอง MinMaxTardiness

สมการที่ 4-22 แสดงฟังก์ชั่นจุดประสงค์ในการหาค่าน้อยที่สุดของค่าเวลาสายสูงสุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนด เงื่อนไขบังคับของแบบจำลองนี้ประกอบด้วยเงื่อนไขบังคับจากแบบจำลอง MinTC ได้แก่ เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลชิ้นส่วนคงคลังและปริมาณการผลิต แสดงในสมการที่ (4-2) ถึง (4-14) เงื่อนไขบังคับด้านเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบชิ้นส่วนในสมการที่ (4-15) ถึง (4-17) และเงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินในสมการที่ (4-20) ถึง (4-21) ส่วนเงื่อนไขบังคับเพิ่มเติมสำหรับแบบจำลองนี้อีก 3 สมการ สมการที่ 4-23 และสมการที่ 4-24 ทำให้มั่นใจได้ว่ามีกะทำงานที่มีงานสายเกิดขึ้นเมื่อเวลาผลิตเสร็จของกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบในกะทำงานนั้นเกินกว่ากำหนดเวลาส่งชิ้นส่วนเข้าคลังสินค้า และสมการที่ 4-25 ใช้สำหรับหาเวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงาน

ขั้นตอนต่อไปในการกำหนดปริมาณและจัดตารางการผลิตเป็นการกำหนดค่า *maxTar* ให้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MinTWT ดังภาพที่ 4-4 ที่ใช้สำหรับหาเวลาสายในการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาในกะทำงาน t (td_t) ที่ทำให้ผลรวมถ่วงน้ำหนักของเวลาสายในการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลา (Total weighted tardiness, TWT) ที่ต่ำที่สุด

พารามิเตอร์ (Parameters)

ข้อมูลนำเข้า; $D_{ij}^{t}, I_{ij}^{0}, WT_t$

ข้อมูลการผลิต; $C_{ij}, S_i, P_i, RS_i, R_i, L_i, I_{ij}^{max}, MinWT_t, MaxWT_t, U, Weight_t$

ข้อมูลจากแบบจำลอง MinMaxTardiness; *maxTar*

ข้อมูลเพิ่มสำหรับแบบจำลอง MinTWT; $Weight_t$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable);

DV จากแบบจำลอง MinTC; $x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, z_{ij}^{t}, sc_i^{t}, pd_{ij}^{t}, g_i^{t}$

DV เพิ่มสำหรับแบบจำลอง MinTWT; td_t

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective function)

$$Minimize\ TWT = \sum_{t \in T} Weight_t td_t \quad (4\text{-}26)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

สมการที่ (4-2) ถึง (4-17), (4-20) ถึง (4-21), (4-23) ถึง (4-24) และ

$$td_t \leq maxTar \qquad t \in T \quad (4\text{-}27)$$

ภาพที่ 4-4 แบบจำลอง MinTWT

แบบจำลอง MinTWT มีฟังก์ชั่นจุดประสงค์ดังสมการที่ 4-26 ที่ต้องการให้ผลรวมถ่วงน้ำหนักของเวลาสายในการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาต่ำที่สุด งานวิจัยนี้ให้น้ำหนักความสำคัญของเวลาสายในกะทำงานที่ 1 ถึง 4 เป็น 10 เท่าของกะทำงานที่ 5-t_{max} เนื่องจากแผนการผลิตที่สร้างขึ้นในกะทำงานที่ 1 และ 2 เป็นแผนการผลิตที่ต้องใช้ทันที ส่วนกะที่ 3 และ 4 อาจถูกนำไปใช้ในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความต้องการชิ้นส่วนเมื่อถึงเวลาที่ต้องผลิตและระดับชิ้นส่วนคงคลังหลังการผลิตกะที่ 2 ไม่มีความผันแปรไปจากแผนการผลิต เงื่อนไขบังคับของแบบจำลองนี้เป็นเงื่อนไขบังคับเดียวกันกับแบบจำลอง MinMaxTardiness ความแตกต่าง

ของแบบจำลองนี้จากแบบจำลอง MinMaxTardiness คือฟังก์ชันจุดประสงค์ และการกำหนดค่าเวลาสายสูงที่สุดของแต่ละกะทำงานเป็นค่าคงที่ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองนี้ที่นำไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขของเวลาสายของแต่ละกะทำงาน ดังสมการที่ 4-27

ขั้นตอนต่อไปเป็นการนำค่า td_t ที่ได้จากแบบจำลอง MinTWT ไปเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MaxAvgEarliness ดังภาพที่ 4-5 ที่ใช้สำหรับหาเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบเฉลี่ยสูงสุดที่เป็นไปได้ แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลอง MinTC ที่เปลี่ยนฟังก์ชั่นจุดประสงค์เป็นการหาค่ามากที่สุดของ *AvgEarliness* ดังสมการที่ 4-28 และตัดเงื่อนไขบังคับในสมการที่ 4-19 ออกไปจากแบบจำลอง MinTC

พารามิเตอร์ (Parameters)

ข้อมูลนำเข้า; D_{ij}^t, I_{ij}^0, WT_t

ข้อมูลการผลิต; $C_{ij}, S_i, P_i, RS_i, R_i, L_i, I_{ij}^{max}, MinWT_t, MaxWT_t, U$

ข้อมูลจากแบบจำลอง MinTWT; td_t

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable);

DV จากแบบจำลอง MinTC; $x_{ij}^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t, sc_i^t, pd_{ij}^t, g_i^t$

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective function)

$$Maximize\ \ AvgEarliness = \frac{1}{t_{max}}\sum_{t\in T}(WT_t - \sum_{i\in K} P_i L_i g_i^t) \tag{4-28}$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

สมการที่ (4-2) ถึง (4-18), (4-20) ถึง (4-21)

ภาพที่ 4-5 แบบจำลอง MaxAvgEarliness

การวิเคราะห์ผลของแบบจำลอง MaxAvgEarliness เริ่มจากการพิจารณาว่า หาก *AvgEarliness* มีค่าไม่ต่ำกว่าเวลาเผื่อก่อนส่งมอบตามเกณฑ์ จะบันทึกค่าขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนส่งมอบเฉลี่ย ($AvgEarl_{min}$) เท่ากับ 720 นาที (6 ชั่วโมง) ถ้าไม่เช่นนั้นจะกำหนดค่า $AvgEarl_{min}$ ให้ต่ำกว่า *AvgEarliness* เท่ากับ 12 นาที (0.2 ชั่วโมง) เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง MinTC ต่อไป

การกำหนดปริมาณและจัดตารางการผลิตสองขั้นตอนสุดท้ายเริ่มจากการนำผล td_t ที่ได้จากแบบจำลอง MinTWT และ $AvgEarl_{min}$ ที่วิเคราะห์ได้หลังจากได้ผลลัพธ์จากแบบจำลอง

MaxAvgEarliness มาเป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MinTC (ภาพที่ 4-1) ที่ใช้สำหรับสร้างแผนการผลิตที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ผลลัพธ์หลัก (x_{ij}^t, y_{ij}^t, และ z_{ij}^t) ที่ได้จากแบบจำลอง MinTC นี้ทำให้ทราบว่าต้องผลิตชิ้นส่วนใด ปริมาณเท่าใด ในกะทำงานใดบ้าง และผลลัพธ์ด้านเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบ (pd_{ij}^t และ g_i^t) แสดงรายละเอียดว่ามีชิ้นส่วนใดในกลุ่มใดบ้างที่ต้องผลิตในกะทำงานที่ต้องส่งมอบชิ้นส่วน ผลลัพธ์ส่วนนี้ถูกนำมาใช้ในการสร้างตารางการผลิตครั้งละ 1 กะทำงาน เริ่มตั้งแต่กะที่ 1 จนครบทุกกะทำงาน รายละเอียดการจัดตารางการผลิตในกะทำงานใด ๆ ดังภาพที่ 4-6

ค่าตั้งต้น; t = 1

เริ่มจัดตารางการผลิต: ตรวจสอบแผนการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน t

1. ไม่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน t ($g_i^t = 0$ สำหรับทุกค่า $i \in K$)

จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วนได้อย่างไม่มีเงื่อนไข

2. การผลิตชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน t

($g_i^t = 1$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i \in K$)

<u>กรณีที่ 1</u> เลือกกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีและเป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักอย่างเดียวให้ผลิตก่อน (กลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in K1$ และ $g_i^t = 1$ จัดลำดับให้ผลิตก่อน)

<u>กรณีที่ 2</u> หากมีกลุ่มชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีและเป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมให้ผลิตเป็นลำดับต่อไป (กลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in KG$ และ $g_i^t = 1$ จัดลำดับให้ผลิตก่อน) หากมีมากกว่า 1 กลุ่มให้พิจารณาลำดับการผลิตดังนี้

2.1 คำนวณเวลาผลิตรวมของชิ้นส่วน j ทุกชิ้นส่วนที่ไม่ต้องส่งมอบในกะ t ของแต่ละกลุ่มชิ้นส่วน i ที่ส่งมอบในกะ t คำนวนทุกกลุ่มชิ้นส่วน i

(คำนวณเวลาผลิตรวมของชิ้นส่วน j , ทุกค่า $j \in G_i$ และมีค่า $pd_{ij}^t = 0$, และคำนวณทุกกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in KG$ และ $g_i^t = 1$)

2.2 เรียงลำดับเวลาที่ได้จากข้อ 2.2.1 จากน้อยไปมาก

2.3 จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ที่ต้องส่งมอบในกะ t ตามลำดับที่ได้จากข้อ 2.2 และภายในกลุ่มชิ้นส่วน i ให้ผลิตชิ้นส่วน j ที่ต้องส่งมอบทันทีก่อน ($pd_{ij}^t = 1$ ก่อน)

<u>กรณีที่ 3</u> จัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ที่เหลือ ตามแผนการผลิตในกะทำงาน t เป็นลำดับถัดไปจนครบทุกกลุ่มชิ้นส่วน

ตรวจสอบ: จัดครบทุกกะทำงานหรือไม่ ($t = t_{max}$)

- ยังไม่ครบ: กำหนด $t = t+1$ แล้วกลับไปขั้นตอนเริ่มจัดตารางการผลิต
- ครบแล้ว: สร้าง Output ตารางการผลิต โดยใช้ตัวแปรตัดสินใจ x_{ij}^t, y_{ij}^t, และ z_{ij}^t ในการคำนวณปริมาณการผลิตและเวลาการผลิตของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแต่กะทำงาน และคำนวณเวลาเริ่มผลิตและเวลาผลิตเสร็จของชิ้นส่วนตามลำดับการผลิตของแต่ละกะทำงานต่อไป

ภาพที่ 4-6 ลำดับขั้นการสร้างตารางการผลิตจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง MinTC

การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์

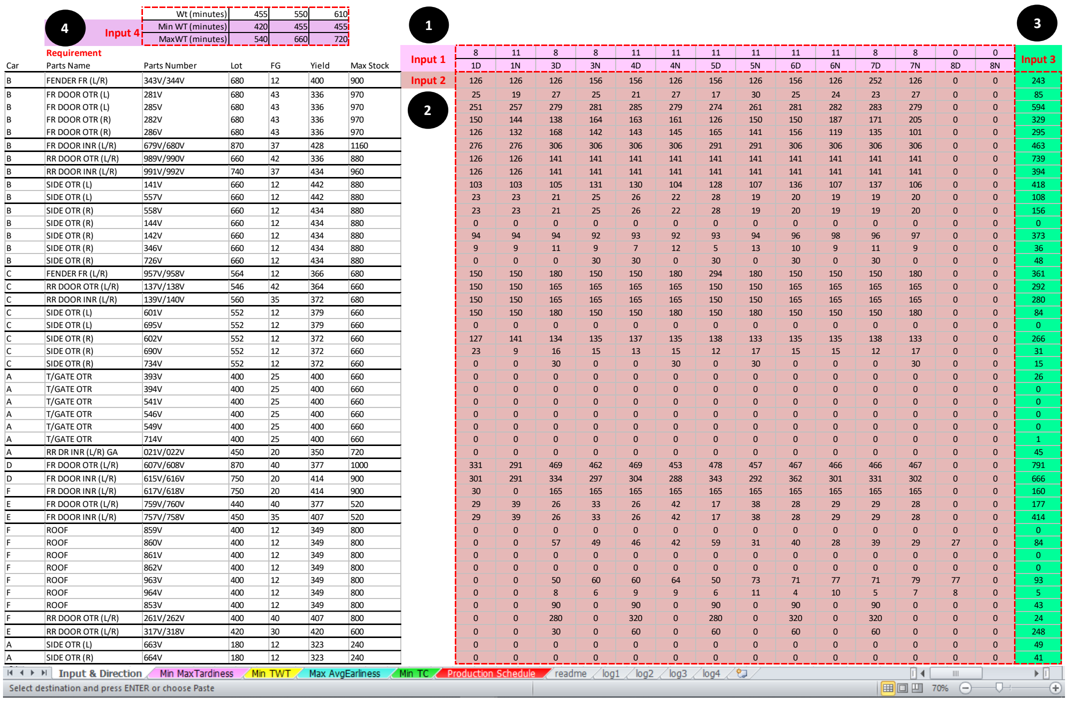
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenSolver ที่เป็นโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและจำนวนเงื่อนไขบังคับ (Unlimited number of decision variables and constraints) ของ ILP และ MILP ได้ ส่วนตัวประมวลผล (Solver engine) เลือกใช้โปรแกรม Gurobi 7.5.2 เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์, 2561) และสามารถในการเริ่มประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์จากผลลัพธ์ตั้งต้นที่เป็นไปได้ (Initial feasible solution) ทำให้หาผลลัพธ์ของปัญหาที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว จึงเป็น Solver engine เหมาะกับการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้นที่เสนอในงานวิจัยนี้ ที่สามารถนำผลลัพธ์จากแบบจำลอง MinMaxTardiness ไปเป็นผลลัพธ์ตั้งต้นของแบบจำลอง MinTWT จนถึงการนำผลลัพธ์จากแบบจำลอง MaxAvgEarliness ไปเป็นผลลัพธ์ตั้งต้นของแบบจำลอง MinTC

การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบที่บันทึกแบบจำลอง MinMaxTardiness, MinTWT, MaxAvgEarliness, และ MinTC ในรูปแบบของแบบจำลองแผ่นงาน (Spreadsheet model) ให้พร้อมใช้ในการสร้างแผนการผลิตประจำวัน และตัวอย่างการใช้งาน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบ

ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบสำหรับสร้างแผนการผลิตรายวันในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยแผ่นงานต่าง ๆ (Worksheet) ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลนำเข้า คำนวณผลลัพธ์จากแบบจำลอง ILP/MILP และการแสดงผลลัพธ์ในรูปตารางการผลิต จำนวน 6 แผ่นงาน ดังนี้

1. แผ่นงาน “Input & Direction” ดังภาพที่ 4-7 เป็นแผ่นงานข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง ILP/MILP ที่ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้า 4 รายการ คือ 1) เวลาการทำงาน (ชั่วโมง) ของกะทำงานในวันที่วางแผนการผลิต 2) ปริมาณความต้องการของชิ้นส่วนในกะทำงานต่าง ๆ ข้อมูลสองรายการนี้มาจากแผนการผลิตหลัก (Master production schedule, MPS) ของฝ่ายวางแผนการผลิต 3) ปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง (ชิ้น) ณ เวลาเริ่มผลิต มาจากรายงานชิ้นส่วนคงคลังจากฝ่ายโลจิสติกส์ และ 4) เวลาการทำงาน (นาที) สำหรับการคำนวณของกะทำงานในวันที่วางแผนการผลิตจากมาตรฐานการทำงานของฝ่ายผลิต การเรียงลำดับกลุ่มชิ้นส่วนใน MPS เป็นไปตามลำดับที่แสดงในตารางที่ 3-2 ซึ่งไม่ได้เรียงตามประเภทกลุ่มชิ้นส่วน 3 ประเภท ซึ่งทำให้การสร้าง Spreadsheet model มีความยุ่งยาก ดังนั้นในไฟล์เอ็กเซลต้นแบบจึงกำหนดลำดับกลุ่มชิ้นส่วนใหม่ให้เรียงลำดับตามประเภทกลุ่มชิ้นส่วน และเชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าจาก MPS ก่อนนำไปใช้ในแผ่นงานอื่น ๆ ต่อไป ลำดับชิ้นส่วนและข้อมูลการผลิต ดังภาพที่ 4-8 และภาคผนวก ค



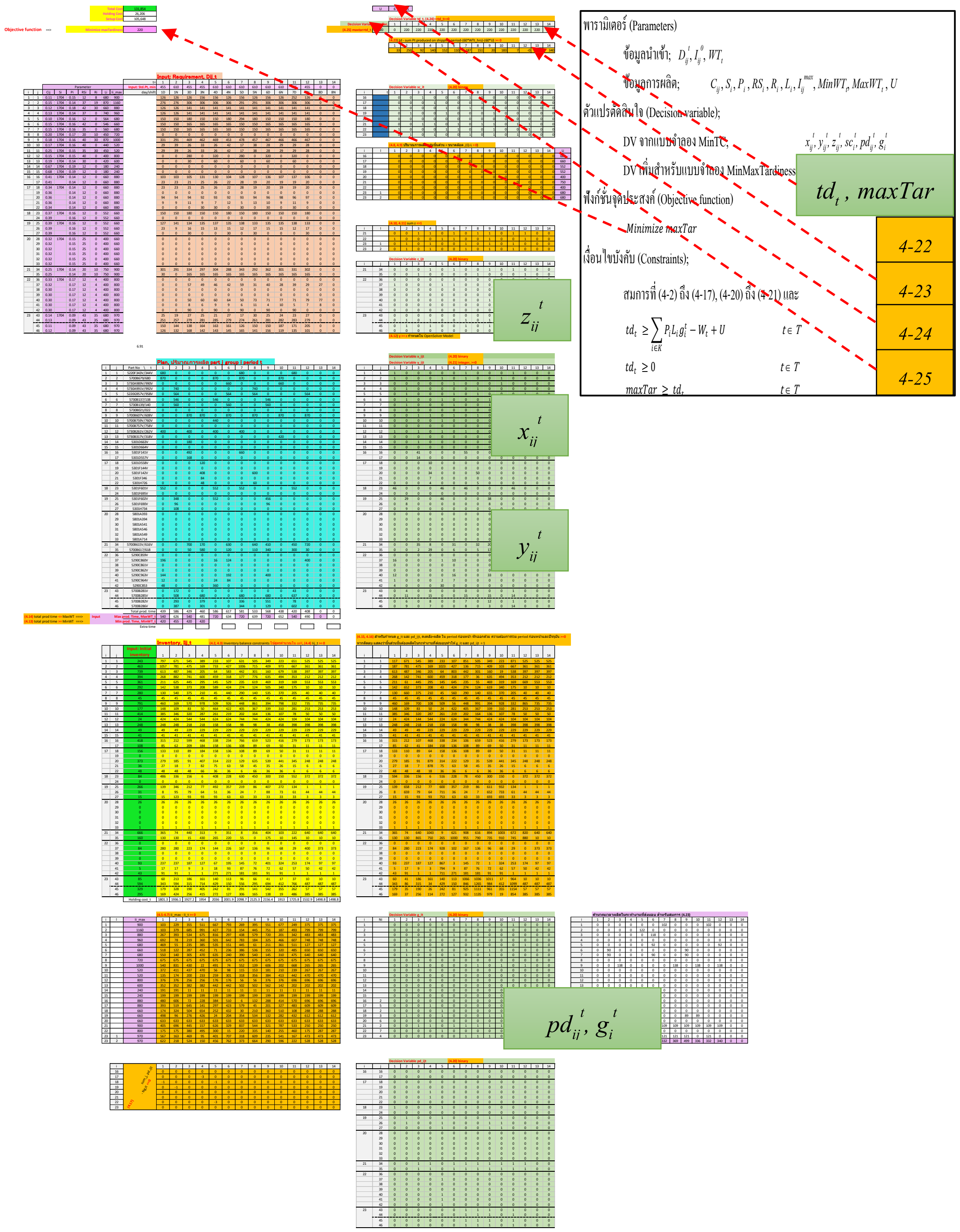
ภาพที่ 4-7 แผ่นงาน “Input & Direction”

				Parameter						
i	j	Parts Name	Parts Number	Cij	Si	Pi	RSi	Ri	Li	Ii_max
1	1	FENDER FR (L/R)	343V/344V	0.11	1704	0.15	12	8	680	900
2	2	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	0.15	1704	0.14	37	19	870	1160
3	3	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	0.12	1704	0.18	42	30	660	880
4	4	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	0.13	1704	0.14	37	0	740	960
5	5	FENDER FR (L/R)	957V/958V	0.10	1704	0.16	12	0	564	680
6	6	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	0.15	1704	0.16	42	0	546	660
7	7	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	0.15	1704	0.16	35	0	560	680
8	8	RR DR INR (L/R) GA	021V/022V	0.20	1704	0.17	20	10	450	720
9	9	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	0.18	1704	0.16	40	30	870	1000
10	10	FR DOOR OTR (L/R)	759V/760V	0.17	1704	0.16	40	0	440	520
11	11	FR DOOR INR (L/R)	757V/758V	0.25	1704	0.15	35	30	450	520
12	12	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	0.15	1704	0.15	40	0	400	800
13	13	RR DOOR OTR (L/R)	317V/318V	0.19	1704	0.14	30	0	420	600
14	14	SIDE OTR (L)	663V	0.67	1704	0.19	12	0	180	240
15	15	SIDE OTR (R)	664V	0.68	1704	0.19	12	0	180	240
16	16	SIDE OTR (L)	141V	0.41	1704	0.14	12	0	660	880
	17	SIDE OTR (L)	557V	0.41		0.14	12	0	660	880
17	18	SIDE OTR (R)	558V	0.34	1704	0.14	12	0	660	880
	19	SIDE OTR (R)	144V	0.36		0.14	12	0	660	880
	20	SIDE OTR (R)	142V	0.36		0.14	12	0	660	880
	21	SIDE OTR (R)	346V	0.36		0.14	12	0	660	880
	22	SIDE OTR (R)	726V	0.34		0.14	12	0	660	880

				Parameter						
i	j	Parts Name	Parts Number	Cij	Si	Pi	RSi	Ri	Li	Ii_max
18	23	SIDE OTR (L)	601V	0.37	1704	0.16	12	0	552	660
	24	SIDE OTR (L)	695V	0.39		0.16	12	0	552	660
19	25	SIDE OTR (R)	602V	0.39	1704	0.16	12	0	552	660
	26	SIDE OTR (R)	690V	0.39		0.16	12	0	552	660
	27	SIDE OTR (R)	734V	0.39		0.16	12	0	552	660
20	28	T/GATE OTR	393V	0.32	1704	0.15	25	0	400	660
	29	T/GATE OTR	394V	0.32		0.15	25	0	400	660
	30	T/GATE OTR	541V	0.32		0.15	25	0	400	660
	31	T/GATE OTR	546V	0.32		0.15	25	0	400	660
	32	T/GATE OTR	549V	0.32		0.15	25	0	400	660
	33	T/GATE OTR	714V	0.32		0.15	25	0	400	660
21	34	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	0.25	1704	0.14	20	10	750	900
	35	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	0.25		0.14	20	10	750	900
22	36	ROOF	859V	0.33	1704	0.17	12	4	400	800
	37	ROOF	860V	0.32		0.17	12	4	400	800
	38	ROOF	861V	0.30		0.17	12	4	400	800
	39	ROOF	862V	0.30		0.17	12	4	400	800
	40	ROOF	963V	0.30		0.17	12	4	400	800
	41	ROOF	964V	0.30		0.17	12	4	400	800
	42	ROOF	853V	0.30		0.17	12	4	400	800
23	43	FR DOOR OTR (L)	281V	0.14	1704	0.09	43	35	680	970
	44	FR DOOR OTR (L)	285V	0.13		0.09	43	35	680	970
	45	FR DOOR OTR (R)	282V	0.11		0.09	43	35	680	970
	46	FR DOOR OTR (R)	286V	0.12		0.09	43	35	680	970

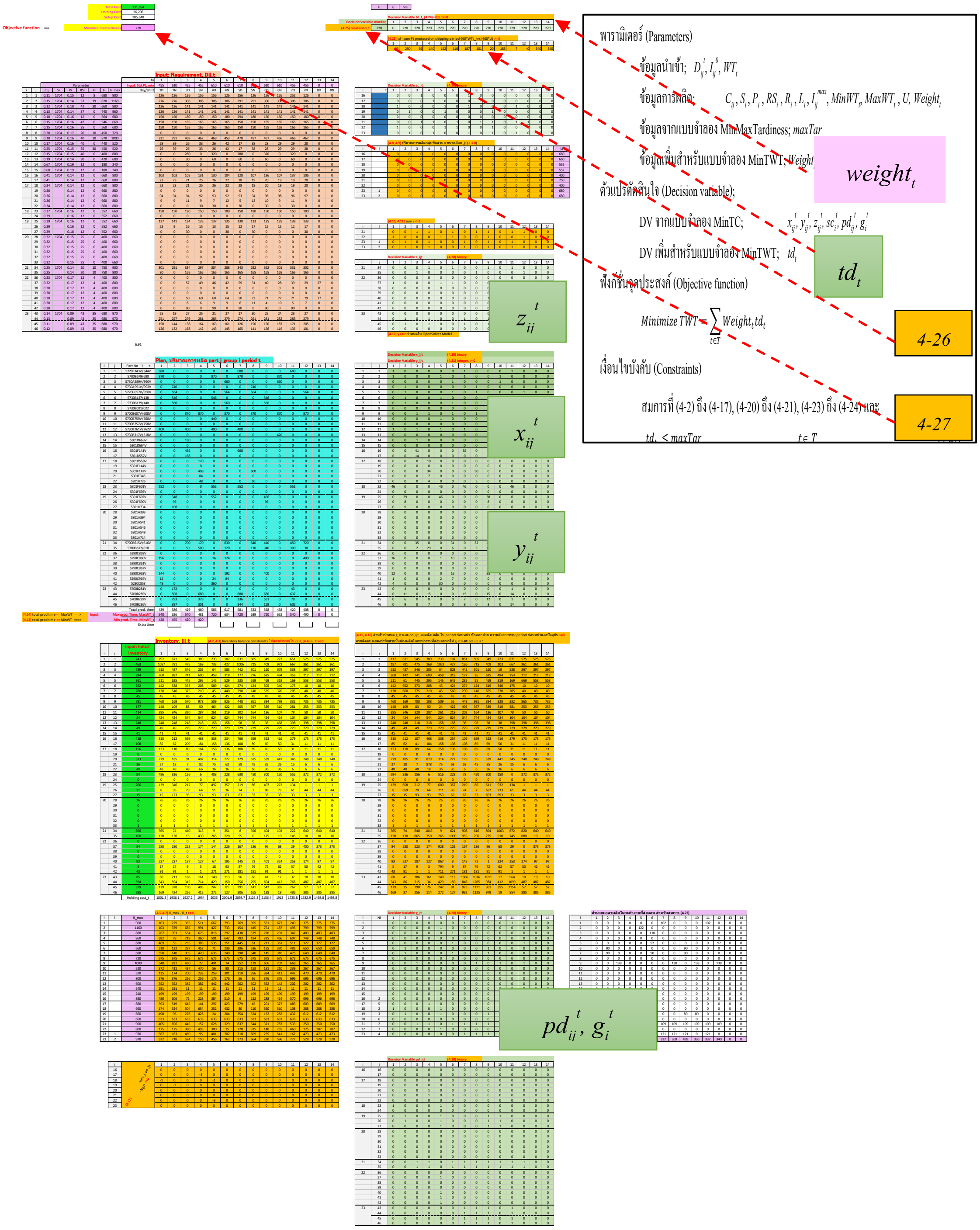
ภาพที่ 4-8 ลำดับชิ้นส่วนและข้อมูลการผลิต

2. แผ่นงาน “MinMaxTardiness” ดังภาพที่ 4-9 เป็น Spreadsheet model ที่สร้างตามแบบจำลอง MinMaxTardiness จากภาพที่ 4-3



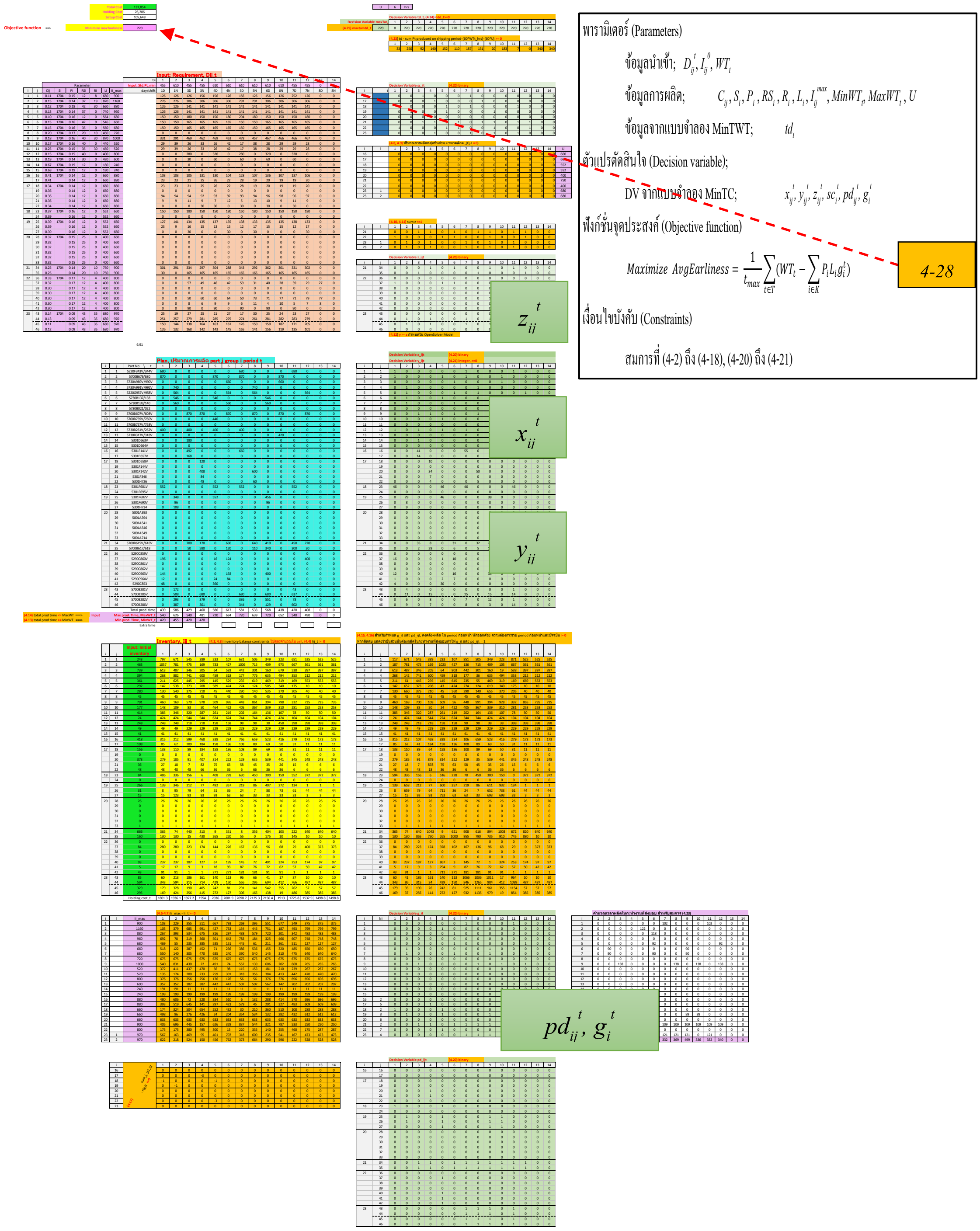
ภาพที่ 4-9 แผ่นงาน “MinMaxTardiness”

3. แผ่นงาน “Min TWT” ดังแสดงในภาพที่ 4-10 เป็น Spreadsheet model ที่สร้างตามแบบจำลอง MinTWT จากภาพที่ 4-4



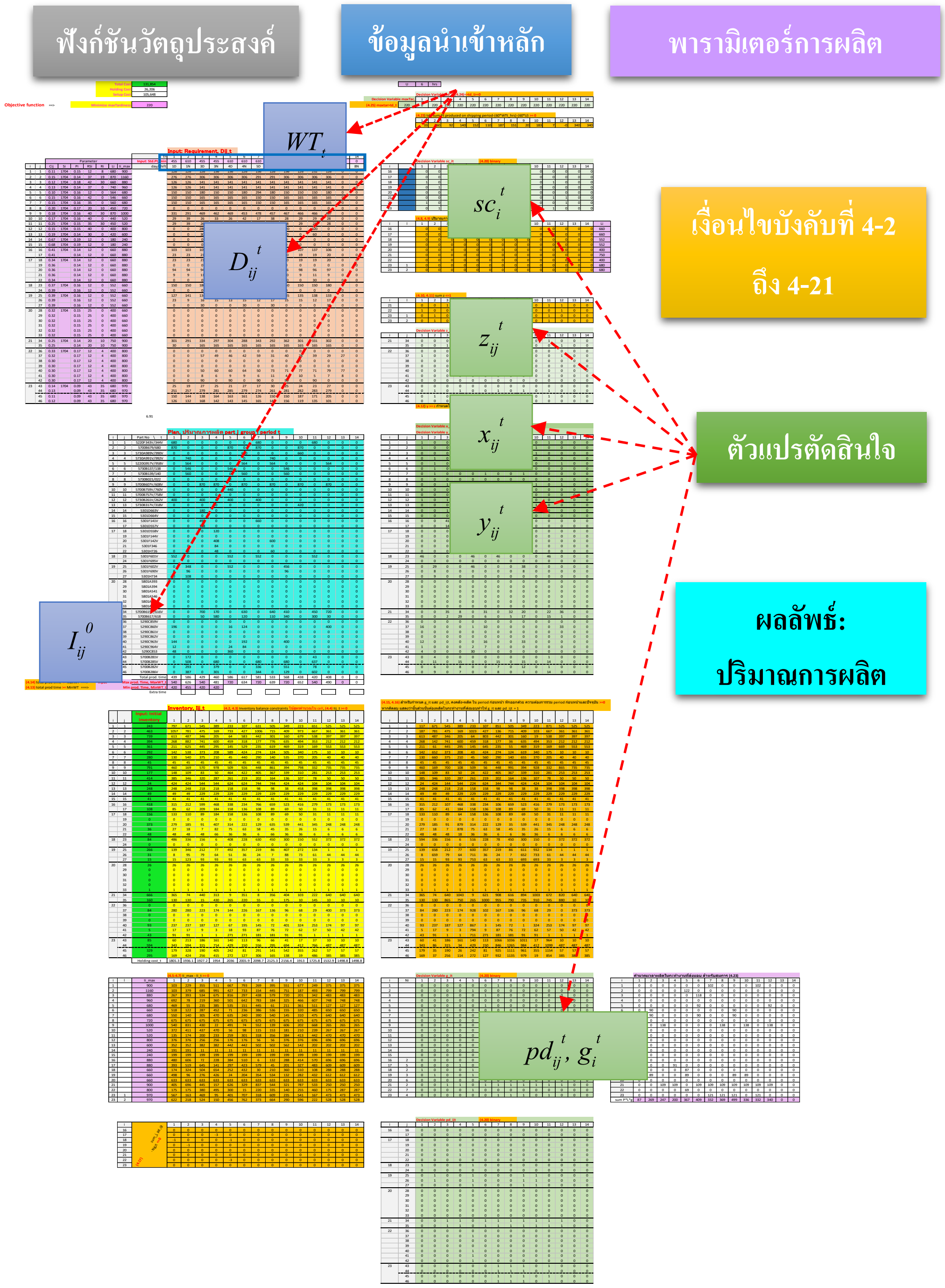
ภาพที่ 4-10 แผ่นงาน “Min TWT”

4. แผ่นงาน “Max AvgEarliness” ดังภาพที่ 4-11 เป็น Spreadsheet model ที่สร้างตามแบบจำลอง Min AvgEarliness จากภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-11 แผ่นงาน “Max AvgEarliness”

5. แผ่นงาน “Min TC” ดังภาพที่ 4-12 เป็น Spreadsheet model ที่สร้างตามแบบจำลอง MinTC จากภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-12 แผ่นงาน “Min TC”

แผ่นงาน “Min TC” นี้เป็นแบบจำลองหลักในการสร้างแผนการผลิตรายวัน ที่เชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าหลักและพารามิเตอร์การผลิตมาจากแผ่นงาน “Input & Direction” สูตรเชื่อมโยงต่าง ๆ ของเงื่อนไขบังคับตามแบบจำลอง MinTC จะถูกนำไปใช้ในแผ่นงาน Spreadsheet model ในภาพที่ 4-9 ถึง 4-12 ด้วย

การใช้งานแบบจำลองแผ่นงานที่ 2 ถึง 5 นี้ต้องบันทึกแบบจำลองลงในโปรแกรม OpenSolver ก่อนถึงสามารถประมวลผลสร้างแผนการผลิตรายวันได้ ซึ่งมีขั้นตอนการบันทึกดังนี้

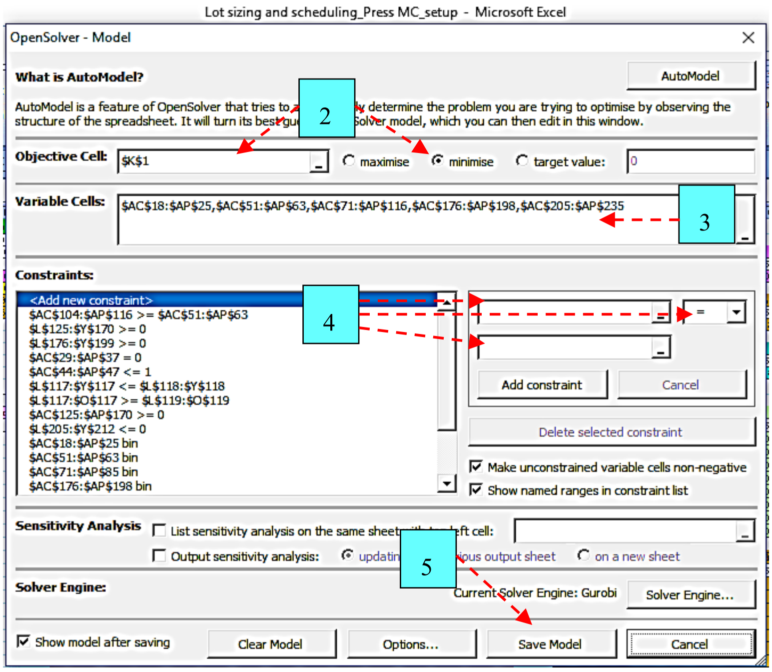
ขั้นตอนที่ 1 เลือก Model บนแถบเครื่องมือ Data/ OpenSolver/ เพื่อเชื่อมโยงเซลล์ต่าง ๆ ใน Spread sheet model ลงใน ซอฟต์แวร์ OpenSolver

ขั้นตอนที่ 2 ใส่เซลล์ที่แสดงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ลงในช่อง Objective cell และเลือก minimise สำหรับแผ่นงาน “MinMaxTardiness”, “Min TWT”, และ “Min TC” ดังภาพที่ 4-13 และเลือก maximise สำหรับแผ่นงาน “Max AvgEarliness”

ขั้นตอนที่ 3 ใส่เซลล์ที่แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจโดยช่วงเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวจะถูกคั่นด้วยเครื่องหมายคอมมา (Comma, “,”) ดังภาพที่ 4-13

ขั้นตอนที่ 4 ใส่เงื่อนไขบังคับ (Constraint) ครั้งละ 1 สมการ ดังภาพที่ 4-13

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อใส่เซลล์ความสัมพันธ์ตามแบบจำลองที่กำลังบันทึก model เสร็จแล้วให้เลือก “Save model” ดังภาพที่ 4-13



ภาพที่ 4-13 การบันทึกแบบจำลองแผ่นงานลงในโปรแกรม OpenSolver

หลังจากบันทึกแบบจำลองลงในโปรแกรม OpenSolver แล้ว ต้องทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับประมวลผลแบบจำลอง ILP/MILP ของโปรแกรม OpenSolver ในงานวิจัยนี้กำหนดค่าพารามิเตอร์ 2 ค่า คือ 1) เวลาประมวลผลสูงสุด (Maximum solution time) กำหนดให้ไม่เกิน 300 วินาที และ 2) เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch and Bound tolerance) กำหนดให้เท่ากับ 0% คือ ให้หยุดประมวลผลเมื่อพบผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Optimal solution) เท่านั้น

6. แผ่นงาน “Production schedule” ดังภาพที่ 4-14 เป็นแผ่นงานที่แสดงตารางการผลิตที่กะทำงานต่าง ๆ ตารางการผลิตนี้สร้างจากผลลัพธ์ของค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, z_{ij}^{t}, g_{i}^{t}, และ pd_{ij}^{t} หลังจากประมวลแบบจำลอง MinTC ตามลำดับขั้นตอนการสร้างตารางการผลิตที่แสดงในภาพที่ 4-6 ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นในแผ่นงานนี้เป็นตารางการผลิตแยกตามกะทำงาน 14 กะ แสดงรายละเอียดลำดับการผลิตของชิ้นส่วน ปริมาณการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง) เวลาเริ่มต้นผลิต และเวลาผลิตเสร็จ (พัก 1 ชั่วโมงในหลังเที่ยงวัน และเที่ยงคืน)

Production Schedule — **Shift 1**

Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
1	1	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	8:00 AM	9:27 AM	1	2	1	18	23
1	2	B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	1.7	9:27 AM	11:09 AM	2	3	1	1	1
1	3	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	11:09 AM	2:10 PM	3	3	2	2	2
1	4	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	2:10 PM	3:09 PM	4	3	3	12	12
1	5	F	ROOF	860V	72	0.2	3:09 PM	3:21 PM	5	3	4	22	37
1	6	F	ROOF	861V	60	0.17	3:21 PM	3:31 PM	6	3	5	22	38
1	7	F	ROOF	963V	96	0.27	3:31 PM	3:48 PM	7	3	6	22	40
1	8	F	ROOF	964V	28	0.08	3:48 PM	3:52 PM	8	3	7	22	41
1	9	F	ROOF	853V	144	0.41	3:52 PM	4:17 PM	9	3	8	22	42

Production Schedule — **Shift 2**

Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
2	1	C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	1.5	8:00 PM	9:30 PM	1	1	1	6	6
2	2	C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	1.5	9:30 PM	11:00 PM	2	1	2	7	7
2	3	C	SIDE OTR (R)	602V	480	1.29	11:00 PM	1:17 AM	3	2	1	19	25
2	4	C	SIDE OTR (R)	690V	48	0.12	1:17 AM	1:24 AM	4	2	2	19	26
2	5	C	SIDE OTR (R)	734V	24	0.06	1:24 AM	1:28 AM	5	2	3	19	27
2	6	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	1:28 AM	3:00 AM	6	3	1	5	5
2	7	B	FR DOOR OTR (L)	281V	43	0.06	3:00 AM	3:04 AM	7	3	2	23	43
2	8	B	FR DOOR OTR (L)	285V	637	0.94	3:04 AM	4:00 AM	8	3	3	23	44
2	9	B	FR DOOR OTR (R)	282V	387	0.57	4:00 AM	4:34 AM	9	3	4	23	45
2	10	B	FR DOOR OTR (R)	286V	293	0.43	4:34 AM	5:00 AM	10	3	5	23	46

Input & Direction | Min MaxTardiness | Min TWT | Max AvgEarliness | Min TC | Production Schedule

Select destination and press ENTER or choose Paste

ภาพที่ 4-14 แผ่นงาน “Production Schedule”

ตัวอย่างการใช้งานไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ

ตัวอย่างการใช้ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตของเครื่องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ ในวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1. บันทึกข้อมูลลงในแผ่นงาน “Input & Direction” ได้แก่ 1) แผนเวลาการทำงานของกะการทำงาน จาก MPS 2) ปริมาณความต้องการชิ้นส่วนในกะการทำงานต่าง ๆ จาก MPS 3) ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังก่อนการวางแผนการผลิต จากรายงานปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง 4) เวลาการทำงานต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ของกะทำงานที่ 1 ถึง 4 และเวลาทำงานสูงที่สุดที่เป็นไปได้ของทุกกะทำงานกลางวัน โดยผู้วางแผนเป็นผู้กำหนดเพื่อให้แผนที่สร้างขึ้นใช้ทรัพยากรการผลิตได้อย่างเหมาะสม ส่วนเวลาทำงานสูงที่สุดที่เป็นไปได้ของทุกกะทำงานกลางคืนใช้สูตรคำนวณใน Spreadsheet model แล้ว ได้ผลดังภาพที่ 4-15 (ก)

2. ไปที่แผ่นงาน "MinMaxTardiness" แล้ว คลิ๊ก "Solve" ที่โปรแกรม OpenSolver เพื่อหาเวลาสายสูงสุดของการส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนด 6 ชั่วโมงก่อนส่งมอบให้มีค่าต่ำที่สุด ได้ผลดังภาพที่ 4-15 (ข) พบว่าค่าตัวแปรตัดสินใจ $maxTar$ เท่ากับ 220 นาที ซึ่งหมายความว่าจากปริมาณความต้องการชิ้นส่วน และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่มีอยู่ จะไม่สามารถสร้างแผนการผลิตที่เมื่อสิ้นสุดกะทำงานทุกกะแล้วจะผลิตชิ้นส่วนให้เสร็จก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงได้ โดยทุกชิ้นส่วนที่ผลิตในกะทำงานที่ส่งมอบจะมีเวลาผลิตเสร็จช้ากว่ากำหนดไม่เกิน 220 นาที (3.67 ชั่วโมง) หรือผลิตเสร็จก่อนส่งมอบอย่างน้อยเท่ากับ 6-3.67 = 2.33 ชั่วโมง ค่าตัวแปรตัดสินใจ $maxTar$ มีค่าเท่ากับ 220 นาทีนี้จะถูกนำไปใช้ในแผ่นงาน "Min TWT"

3. ไปที่แผ่นงาน "Min TWT" แล้ว คลิ๊ก "Solve" ที่โปรแกรม OpenSolver เพื่อหาผลรวมเวลาส่งชิ้นส่วนที่ผลิตเสร็จเข้าคลังสินค้าไม่ทันตามกำหนดเวลาให้มีค่าต่ำที่สุดแบบถ่วงน้ำหนัก โดยให้น้ำหนักความสำคัญกับการสายในช่วง 4 กะการทำงานแรกเท่ากับ 10 และตั้งแต่กะทำงานที่ 5 เป็นต้นไปให้น้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 1 ได้ผลดังภาพที่ 4-15 (ค) พบว่าค่าตัวแปรตัดสินใจ td_t มีค่าเท่ากับ 127 80 199 และ 220 นาที สำหรับกะทำงาน t เท่ากับ 3 4 9 และ 12 ตามลำดับ ส่วนกะทำงานอื่น ๆ ค่าตัวแปรตัดสินใจ td_t มีค่าเท่ากับ 0 นาที ซึ่งหมายความว่าจากปริมาณความต้องการชิ้นส่วน และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่มีอยู่ จะไม่สามารถสร้างแผนการผลิตที่เมื่อสิ้นสุดกะทำงาน t เท่ากับ 3 4 9 และ 12 แล้วจะผลิตชิ้นส่วนให้เสร็จก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงได้ โดยทุกชิ้นส่วนที่ผลิตและส่งมอบในกะทำงาน 3 4 9 และ 12 จะมีเวลาผลิตเสร็จช้ากว่ากำหนดไม่เกิน 127 80 199 และ 220 นาที ตามลำดับ ส่วนกะทำงานอื่น ๆ สามารถผลิตชิ้นส่วนได้เสร็จก่อนกำหนดส่งมอบอย่างน้อย 6 ชั่วโมง ค่าตัวแปรตัดสินใจ td_t นี้จะถูกนำไปใช้ในแผ่นงาน "Min TWT"

Requirement

Car	Parts Name	Parts Number	Lot	FG	Yield	Max Stock		1D	1N	3D	3N	4D	4N	5D	5N	6D	6N	7D	7N	8D	8N	Input 3
							Input 1	8	11	8	8	11	11	11	11	11	11	8	8	0	0	
B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	12	400	900	Input 2	126	126	126	156	156	126	156	126	156	126	252	126	0	0	243
B	FR DOOR OTR (L)	281V	680	43	336	970		25	19	27	25	21	27	17	30	25	24	23	27	0	0	85
B	FR DOOR OTR (L)	285V	680	43	336	970		251	257	279	281	285	279	274	261	281	282	283	279	0	0	594
B	FR DOOR OTR (R)	282V	680	43	336	970		150	144	138	164	163	161	126	150	150	187	171	205	0	0	329
B	FR DOOR OTR (R)	286V	680	43	336	970		126	132	168	142	143	145	165	141	156	119	135	101	0	0	295
B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	37	428	1160		276	276	306	306	306	306	291	291	306	306	306	306	0	0	463
B	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	660	42	336	880		126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0	739
B	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	740	37	434	960		126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0	394
B	SIDE OTR (L)	141V	660	12	442	880		103	103	105	131	130	104	128	107	136	107	137	106	0	0	418
B	SIDE OTR (L)	557V	660	12	442	880		23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0	108
B	SIDE OTR (R)	558V	660	12	434	880		23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0	156
B	SIDE OTR (R)	144V	660	12	434	880		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B	SIDE OTR (R)	142V	660	12	434	880		94	94	94	92	93	92	93	94	96	98	96	97	0	0	373
B	SIDE OTR (R)	346V	660	12	434	880		9	9	11	9	7	12	5	13	10	9	11	9	0	0	36
B	SIDE OTR (R)	726V	660	12	434	880		0	0	0	30	30	0	30	0	30	0	30	0	0	0	48
C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	12	366	680		150	150	180	150	150	180	294	180	150	150	150	180	0	0	361
C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	42	364	660		150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0	292
C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	35	372	680		150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0	280
C	SIDE OTR (L)	601V	552	12	379	660		150	150	180	150	150	180	150	180	150	150	150	180	0	0	84
C	SIDE OTR (L)	695V	552	12	379	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C	SIDE OTR (R)	602V	552	12	372	660		127	141	134	135	137	135	138	133	135	135	138	133	0	0	266
C	SIDE OTR (R)	690V	552	12	372	660		23	9	16	15	13	15	12	17	15	15	12	17	0	0	31
C	SIDE OTR (R)	734V	552	12	372	660		0	0	30	0	0	30	0	30	0	0	0	30	0	0	15
A	T/GATE OTR	393V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
A	T/GATE OTR	394V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	T/GATE OTR	541V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	T/GATE OTR	546V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	T/GATE OTR	549V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	T/GATE OTR	714V	400	25	400	660		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
A	RR DR INR (L/R) GA	021V/022V	450	20	350	720		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	40	377	1000		331	291	469	462	469	453	478	457	467	466	466	467	0	0	791
D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	750	20	414	900		301	291	334	297	304	288	343	292	362	301	331	302	0	0	666
F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	750	20	414	900		30	0	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	160
E	FR DOOR OTR (L/R)	759V/760V	440	40	377	520		29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0	177
E	FR DOOR INR (L/R)	757V/758V	450	35	407	520		29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0	414
F	ROOF	859V	400	12	349	800		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	ROOF	860V	400	12	349	800		0	0	57	49	46	42	59	31	40	28	39	29	27	0	84
F	ROOF	861V	400	12	349	800		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	ROOF	862V	400	12	349	800		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F	ROOF	963V	400	12	349	800		0	0	50	60	60	64	50	73	71	77	71	79	77	0	93
F	ROOF	964V	400	12	349	800		0	0	8	6	9	9	6	11	4	10	5	7	8	0	5
F	ROOF	853V	400	12	349	800		0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	43
F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	40	407	800		0	0	280	0	320	0	280	0	320	0	320	0	0	0	24
E	RR DOOR OTR (L/R)	317V/318V	420	30	420	600		0	0	30	0	60	0	60	0	60	0	60	0	0	0	248
A	SIDE OTR (L)	663V	180	12	323	240		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
A	SIDE OTR (R)	664V	180	12	323	240		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41

	Wt (minutes)	455	550	610
Input 4	Min WT (minutes)	420	455	455
	MaxWT (minutes)	540	660	720

(ก) ข้อมูลนำเข้า วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 บนแผ่นงาน “Input & Direction”

Decision Variable *maxTar* ,	
(4.25) maxtar>td_t	220

(ข) ค่าตัวแปรตัดสินใจ *maxTar* หลังประมวลผลแผ่นงาน “MinMaxTardiness”

Decision Variable td_t, (4.24)=>td_t>=0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	127	80	0	0	0	0	199	0	0	220	0	0

(ค) ค่าตัวแปรตัดสินใจ td_t หลังประมวลผลแผ่นงาน “Min TWT”

Objective function	==>	Maximize Average Earliness	6.4

(ง) ค่าฟังก์ชั่นจุดประสงค์หลังประมวลผลแผ่นงาน “Max AvgEarliness”

ภาพที่ 4-15 ผลการบันทึกข้อมูลนำเข้า และผลการรันโปรแกรมของแบบจำลองด้านเวลา 3 ตัวแบบ

4. ไปที่แผ่นงาน "Max AvgEarliness" แล้ว คลิ๊ก "Solve" ที่โปรแกรม OpenSolver เพื่อหาเวลาเผื่อก่อนส่งมอบเฉลี่ยทุกกะทำงานให้มีค่ามากที่สุด ได้ผลดังภาพที่ 4-15 (ง) พบว่าค่าฟังก์ชั่นจุดประสงค์เท่ากับ 6.4 ชั่วโมง ซึ่งหมายความว่าจากปริมาณความต้องการชิ้นส่วน และปริมาณ

ชิ้นส่วนคงคลังที่มีอยู่ สามารถสร้างแผนการผลิตที่ผลิตชิ้นส่วนให้เสร็จก่อนส่งมอบด้วยเวลาเฉลี่ยจากทุกกะทำงานอย่างน้อยเท่ากับ 6 ชั่วโมงได้ เมื่อพิจารณาค่า MaxAvgEarliness ที่ได้จากขั้นตอนนี้พบว่ามีค่ามากกว่า 6.0 ดังนั้นก่อนประมวลผลแผ่นงานต่อไป (แผ่นงาน Min TC) ให้กำหนดค่า AvgEarliness Limit = 6 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่า default ของโปรแกรม

5. ไปที่แผ่นงาน "Min TC" แล้วพิจารณากำหนดค่า AvgEarliness Limit ตามที่กล่าวมาในขั้นตอนที่ 4 จากนั้นคลิ๊ก "Solve" ที่โปรแกรม OpenSolver เพื่อสร้างแผนการผลิตที่มีต้นทุนรวมด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังกับด้านการเตรียมเครื่องจักรต่ำที่สุด ผลลัพธ์ของค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij}^t, y_{ij}^t, z_{ij}^t, g_i^t, และ pd_{ij}^t ที่ใช้สำหรับสร้างตารางการผลิตหลังจากประมวลแบบจำลอง MinTC ดังแสดงตัวอย่างบางส่วนเฉพาะกะทำงานที่ 1-4 ในภาพที่ 4-16 และ 4-17

(4.20) binary

Decision Variable g_it

i	Ni	1	2	3	4
1		0	0	0	0
2		0	0	0	0
3		0	0	0	0
4		0	0	0	0
5		0	0	0	0
6		0	1	0	0
7		0	1	0	0
8		0	0	0	0
9		0	0	1	0
10		0	0	0	0
11		0	0	0	0
12		0	0	0	0
13		0	0	0	0
14		0	0	0	0
15		0	0	0	0
16	2	0	0	0	0
17	5	0	0	0	1
18	2	1	0	0	0
19	3	0	1	0	0
20	6	0	0	0	0
21	2	0	0	1	1
22	7	0	0	0	0
23	4	0	0	0	0

(4.20) binary

Decision Variable pd_ijt

i	j	1	2	3	4
16	16	0	0	0	0
	17	0	0	0	0
17	18	0	0	0	0
	19	0	0	0	0
	20	0	0	0	1
	21	0	0	0	1
	22	0	0	0	0
18	23	1	0	0	0
	24	0	0	0	0
19	25	0	1	0	0
	26	0	1	0	0
	27	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
	31	0	0	0	0
	32	0	0	0	0
	33	0	0	0	0
21	34	0	0	1	0
	35	0	0	1	1
22	36	0	0	0	0
	37	0	0	0	0
	38	0	0	0	0
	39	0	0	0	0
	40	0	0	0	0
	41	0	0	0	0
	42	0	0	0	0
23	43	0	0	0	0
	44	0	0	0	0
	45	0	0	0	0
	46	0	0	0	0

ภาพที่ 4-16 ค่า g_i^t และ pd_{ij}^t หลังประมวลผลแบบจำลอง MinTC ของปัญหาตัวอย่าง

Decision Variable x_ijt (4.20) binary

Decision Variable y_ijt (4.21) integer, >=0

i	j	1	2	3	4
1	1	1	0	0	0
2	2	1	0	0	1
3	3	0	0	0	0
4	4	0	0	1	0
5	5	0	1	0	0
6	6	0	1	0	0
7	7	0	1	0	0
8	8	0	0	0	0
9	9	0	0	1	1
10	10	0	0	0	0
11	11	0	0	0	0
12	12	1	0	0	0
13	13	0	0	0	0
14	14	0	0	0	0
15	15	0	0	0	0
16	16	0	0	42	0
	17	0	0	13	0
17	18	0	0	0	10
	19	0	0	0	0
	20	0	0	0	32
	21	0	0	0	4
	22	0	0	0	9
18	23	46	0	0	0
	24	0	0	0	0
19	25	0	40	0	0
	26	0	4	0	0
	27	0	2	0	0
20	28	0	0	0	0
	29	0	0	0	0
	30	0	0	0	0
	31	0	0	0	0
	32	0	0	0	0
	33	0	0	0	0
21	34	0	0	35	21
	35	0	0	2	16
22	36	0	0	0	0
	37	6	0	0	0
	38	5	0	0	0
	39	0	0	0	0
	40	8	0	0	0
	41	2	0	0	0
	42	12	0	0	0
23	43	0	1	0	0
	44	0	14	0	0
	45	0	9	0	0
	46	0	6	0	0

Decision Variable z_ijt

j	1	2	3	4
34	0	0	1	0
35	0	0	0	1
36	0	0	0	0
37	0	0	0	0
38	0	0	0	0
39	0	0	0	0
40	0	0	0	0
41	1	0	0	0
42	0	0	0	0
43	0	0	0	0
44	0	1	0	0
45	0	0	0	0
46	0	1	0	0

$L_i x_{ij_t}$

$RS_i y_{ij_t}$

Plan, ปริมาณการผลิต part j group i period t

i	j	Part No \ t	1	2	3	4
1	1	5220F343V/344V	680	0	0	0
2	2	5700B679/680	870	0	0	870
3	3	5730A989V/990V	0	0	0	0
4	4	5730A991V/992V	0	0	740	0
5	5	5220G957V/958V	0	564	0	0
6	6	5730B137/138	0	546	0	0
7	7	5730B139/140	0	560	0	0
8	8	5730B021/022	0	0	0	0
9	9	5700B607V/608V	0	0	870	870
10	10	5700B759V/760V	0	0	0	0
11	11	5700B757V/758V	0	0	0	0
12	12	5730B261V/262V	400	0	0	0
13	13	5730B317V/318V	0	0	0	0
14	14	5301D663V	0	0	0	0
15	15	5301D664V	0	0	0	0
16	16	5301F141V	0	0	504	0
	17	5301D557V	0	0	156	0
17	18	5301D558V	0	0	0	120
	19	5301F144V	0	0	0	0
	20	5301F142V	0	0	0	384
	21	5301F346	0	0	0	48
	22	5301H726	0	0	0	108
18	23	5301F601V	552	0	0	0
	24	5301F695V	0	0	0	0
19	25	5301F602V	0	480	0	0
	26	5301F690V	0	48	0	0
	27	5301H734	0	24	0	0
20	28	5801A393	0	0	0	0
	29	5801A394	0	0	0	0
	30	5801A541	0	0	0	0
	31	5801A546	0	0	0	0
	32	5801A549	0	0	0	0
	33	5801A714	0	0	0	0
21	34	5700B615V/616V	0	0	710	420
	35	5700B617/618	0	0	40	330
22	36	5290C859V	0	0	0	0
	37	5290C860V	72	0	0	0
	38	5290C861V	60	0	0	0
	39	5290C862V	0	0	0	0
	40	5290C963V	96	0	0	0
	41	5290C964V	28	0	0	0
	42	5290C853	144	0	0	0
23	43	5700B281V	0	43	0	0
	44	5700B285V	0	637	0	0
	45	5700B282V	0	387	0	0
	46	5700B286V	0	293	0	0

$RS_i y_{ij_t} + R_i z_{ij_t}$

ภาพที่ 4-17 ค่า x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, และ z_{ij}^{t} หลังประมวลผลแบบจำลอง MinTC ของปัญหาตัวอย่าง

6. อ่านผลตารางการผลิตที่แผ่นงาน "Production Schedule" และนำไปใช้ในการผลิต ณ กะทำงานที่ 1 และ 2 ต่อไป ตัวอย่างตารางการผลิต ดังภาพที่ 4-18 สำหรับตารางการผลิตทั้ง 14 กะทำงานของวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 และผลการคำนวณเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน ดังภาคผนวก ง

Production Schedule									Shift	1			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
1	1	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	8:00 AM	9:27 AM	1	2	1	18	23
1	2	B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	1.7	9:27 AM	11:09 AM	2	3	1	1	1
1	3	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	11:09 AM	2:10 PM	3	3	2	2	2
1	4	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	2:10 PM	3:09 PM	4	3	3	12	12
1	5	F	ROOF	860V	72	0.2	3:09 PM	3:21 PM	5	3	4	22	37
1	6	F	ROOF	861V	60	0.17	3:21 PM	3:31 PM	6	3	5	22	38
1	7	F	ROOF	963V	96	0.27	3:31 PM	3:48 PM	7	3	6	22	40
1	8	F	ROOF	964V	28	0.08	3:48 PM	3:52 PM	8	3	7	22	41
1	9	F	ROOF	853V	144	0.41	3:52 PM	4:17 PM	9	3	8	22	42

Production Schedule									Shift	2			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
2	1	C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	1.5	8:00 PM	9:30 PM	1	1	1	6	6
2	2	C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	1.5	9:30 PM	11:00 PM	2	1	2	7	7
2	3	C	SIDE OTR (R)	602V	480	1.29	11:00 PM	1:17 AM	3	2	1	19	25
2	4	C	SIDE OTR (R)	690V	48	0.12	1:17 AM	1:24 AM	4	2	2	19	26
2	5	C	SIDE OTR (R)	734V	24	0.06	1:24 AM	1:28 AM	5	2	3	19	27
2	6	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	1:28 AM	3:00 AM	6	3	1	5	5
2	7	B	FR DOOR OTR (L)	281V	43	0.06	3:00 AM	3:04 AM	7	3	2	23	43
2	8	B	FR DOOR OTR (L)	285V	637	0.94	3:04 AM	4:00 AM	8	3	3	23	44
2	9	B	FR DOOR OTR (R)	282V	387	0.57	4:00 AM	4:34 AM	9	3	4	23	45
2	10	B	FR DOOR OTR (R)	286V	293	0.43	4:34 AM	5:00 AM	10	3	5	23	46

Production Schedule									Shift	3			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
3	1	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	8:00 AM	10:18 AM	1	1	1	9	9
3	2	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	710	1.71	10:18 AM	1:00 PM	2	2	1	21	34
3	3	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	40	0.09	1:00 PM	1:06 PM	3	2	2	21	35
3	4	B	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	740	1.7	1:06 PM	2:48 PM	4	3	1	4	4
3	5	B	SIDE OTR (L)	141V	504	1.14	2:48 PM	3:56 PM	5	3	2	16	16
3	6	B	SIDE OTR (L)	557V	156	0.35	3:56 PM	4:17 PM	6	3	3	16	17

Production Schedule									Shift	4			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
4	1	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	420	1.01	8:00 PM	9:00 PM	1	2	1	21	34
4	2	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	330	0.79	9:00 PM	9:48 PM	2	2	2	21	35
4	3	B	SIDE OTR (R)	142V	384	0.88	9:48 PM	10:40 PM	3	2	3	17	20
4	4	B	SIDE OTR (R)	346V	48	0.11	10:40 PM	10:47 PM	4	2	4	17	21
4	5	B	SIDE OTR (R)	558V	120	0.27	10:47 PM	11:03 PM	5	2	5	17	18
4	6	B	SIDE OTR (R)	726V	108	0.24	11:03 PM	11:18 PM	6	2	6	17	22
4	7	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	11:18 PM	2:19 AM	7	3	1	2	2
4	8	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	2:19 AM	4:37 AM	8	3	2	9	9

ภาพที่ 4-18 ตารางการผลิตบางส่วนของแผนการผลิตวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ตัวอย่างลำดับขั้นการสร้างตารางการผลิตที่แสดงในแผ่นงาน “Production schedule” จากค่าตัวแปรตัดสินใจต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

g_i^t อธิบายว่ากลุ่มชิ้นส่วน i ผลิตในกะทำงาน t ที่ต้องส่งมอบหรือไม่ (1= ใช่, 0 = ไม่)

pd_{ij}^t อธิบายว่าชิ้นส่วน j (ที่เป็นได้ทั้งชิ้นส่วนหลักหรือชิ้นส่วนร่วม) ของกลุ่มชิ้นส่วน i ผลิตในกะทำงาน t ที่ต้องส่งมอบหรือไม่ (1= ใช่, 0 = ไม่)

x_{ij}^t อธิบายว่ามีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ที่มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก j ผลิตในกะทำงาน t หรือไม่ (1= ใช่, 0 = ไม่)

y_{ij}^{t} แสดงปริมาณแรคสำหรับชิ้นส่วน j (ที่เป็นได้ทั้งชิ้นส่วนหลักหรือชิ้นส่วนร่วม) ของกลุ่มชิ้นส่วน i ที่มีการผลิตเต็มความจุของแรคในกะทำงาน t

z_{ij}^{t} อธิบายว่าชิ้นส่วน j (ที่เป็นได้ทั้งชิ้นส่วนหลักหรือชิ้นส่วนร่วม) ของกลุ่มชิ้นส่วน i มีการผลิตไม่เต็มความจุของแรคในกะทำงาน t หรือไม่ (1= ใช่, 0 = ไม่)

การแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้ให้เป็นตารางการผลิตรายวัน ตามลำดับขั้นการสร้างตารางการผลิตจากผลลัพธ์ของแบบจำลอง MinTC ที่แสดงในภาพที่ 4-6 สรุปได้ดังนี้

เริ่มต้นที่กะทำงานแรก ($t = 1$)

กรณีที่ 1 หาก $g_i^t = 0$ สำหรับทุกค่า $i \in K$ ให้จัดลำดับการผลิตได้อย่างไม่มีเงื่อนไข

กรณีที่ 2 หาก $g_i^t = 1$ อย่างน้อย 1 กลุ่มชิ้นส่วนที่ i สำหรับทุกค่า $i \in K$ ให้ดำเนินการต่อไปนี้

กรณีที่ 2.1 กลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in K1$ และ $g_i^t = 1$ จัดลำดับให้ผลิตก่อน

กรณีที่ 2.2 กลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in KG$ และ $g_i^t = 1$ ให้คำนวณเวลาผลิตรวมของชิ้นส่วน j , ทุกค่า $j \in G_i$ และมีค่า $pd_{ij}^{t} = 0$, และคำนวณทุกกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อ $i \in KG$ และ $g_i^t = 1$ แล้วเรียงลำดับเวลาจากน้อยไปหามาก แล้วจัดลำดับการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ที่ต้องส่งมอบในกะ t ตามลำดับเวลาที่ได้ และภายในกลุ่มชิ้นส่วน i ให้ผลิตชิ้นส่วน j ที่ $pd_{ij}^{t} = 1$ ก่อน

กรณีที่ 3 จัดลำดับการผลิตชิ้นส่วน j ของกลุ่มชิ้นส่วน i ที่เหลือ ตามแผนการผลิตในกะทำงาน t เป็นลำดับถัดไปจนครบทุกกลุ่มชิ้นส่วน

หากยังจัดไม่ครบทุกกะทำงาน ให้เปลี่ยนไปจัดตารางการผลิตในกะทำงานถัดไปตามขั้นตอนพิจารณา 3 กรณีด้านบน จนกระทั่งครบทุกกะทำงาน

จากตัวอย่างค่าตัวแปรตัดสินใจ g_i^t และ pd_{ij}^{t} ตามภาพที่ 4-16 และ x_{ij}^{t}, y_{ij}^{t}, และ z_{ij}^{t} ตามภาพที่ 4-17 สามารถสร้างตารางการผลิตจาก 4 กะทำงานแรก ดังนี้

กะทำงานที่ 1 ต้องกำหนดลำดับการผลิตทั้งสิ้น 9 ลำดับ (จำนวนชิ้นส่วนที่มีปริมาณการผลิตมากกว่า 0) มีกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน 1 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ $i = 18$ ($g_{18}^{1} = 1$) ซึ่งเป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วม ($18 \in KG$) ดังนั้นจึงพิจารณาใช้กรณีที่ 2.2 ในการจัดตารางการผลิต พบว่าชิ้นส่วนที่ $j = 24$ เป็นชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่ $i = 18$ ที่มีค่า $pd_{18,24}^{1} = 0$ (ชิ้นส่วนที่ 24 เป็นชิ้นส่วนที่ยังไม่ต้องส่งมอบเมื่อสิ้นสุดกะทำงานที่ 1) จึงคำนวณเวลาผลิตของชิ้นส่วนนี้จาก เวลาการผลิตต่อหน่วย (P_i) คูณกับ ปริมาณการผลิต (RS_i x y_{ij}^{t}) เมื่อ RS_i = Rack capacity ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ i พบว่า ($y_{18,24}^{1} = 0$) ทำให้ทราบว่าไม่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ 24 นี้ เมื่อกลุ่มชิ้นส่วนที่ 18 ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่ 23 และ 24 ทำให้

ลำดับการผลิตแรกของกะทำงานที่ 1 คือ ผลิตชิ้นส่วนที่ 23 จากนั้นเลือกลำดับการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มอื่น ๆ ได้ตามต้องการ (เพราะ $g_i^t = 0$) ผลของลำดับการผลิตในกะทำงานที่ 1 ดังภาพที่ 4-18

กะทำงานที่ 2 ต้องกำหนดลำดับการผลิตทั้งสิ้น 10 ลำดับ มีกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน 3 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 6 7 และ 19 โดยที่ $i = 6\ 7 \in K1$ และ $i = 19 \in KG$ ดังนั้นจึงพิจารณาใช้กรณีที่ 2.1 ในการจัดตารางการผลิต ทำให้ลำดับการผลิตที่ 1 และ 2 คือ ผลิตชิ้นส่วนกลุ่มที่ 6 และ 7 ตามลำดับ เวลาการผลิตของ 2 กลุ่มชิ้นส่วนนี้คำนวณจาก เวลาการผลิตต่อหน่วย (P_i) คูณกับ ปริมาณการผลิต ($L_i\, x_{ij}^t$) เท่ากับ 90 นาทีทั้งสองกลุ่ม ลำดับการผลิตถัดไปพิจารณาใช้กรณีที่ 2.2 ซึ่งเหลือกลุ่มชิ้นส่วนที่พิจารณาเพียงกลุ่มเดียว คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 19 ประกอบด้วยชิ้นส่วน 3 รายการ คือ ชิ้นส่วนที่ 25 26 และ 27 พบว่ามีค่า $pd_{19,\,25}^{\;2} = 1, pd_{19,\,26}^{\;2} = 1,$ และ $pd_{19,\,27}^{\;2} = 0$ อธิบายได้ว่าชิ้นส่วนที่ 25 กับ 26 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีจึงกำหนดให้ผลิตเป็นลำดับที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนชิ้นส่วนที่ 27 เมื่อพิจารณาจากค่า $y_{19,\,27}^{\;2} = 2$ แสดงว่ามีการผลิตสองแรครวมจำนวนชิ้นส่วนจำนวน 24 ชิ้น (ความจุแรคเท่ากับ 12 ชิ้น) ทำให้ชิ้นส่วนที่ 27 ผลิตเป็นลำดับที่ 5 การคำนวณเวลาการผลิตชิ้นส่วนสำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่ 19 ใช้วิธีคำนวณเดียวกับกลุ่มชิ้นส่วนที่ 18 ตามที่ได้อธิบายไว้ในกะทำงานที่ 1 แล้ว จากนั้นเลือกลำดับการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มอื่น ๆ ได้ตามต้องการ (เพราะ $g_i^t = 0$) ผลของลำดับการผลิตในกะทำงานที่ 2 แสดงในภาพที่ 4-18

กะทำงานที่ 3 ต้องกำหนดลำดับการผลิตทั้งสิ้น 6 ลำดับ มีกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 9 และ 21 โดยที่ $i = 9 \in K1$ และ $i = 21 \in KG$ ดังนั้นจึงพิจารณาใช้กรณีที่ 2.1 ในการจัดตารางการผลิต ทำให้ลำดับการผลิตที่ 1 คือ ผลิตชิ้นส่วนกลุ่มที่ 9 ตามลำดับ เวลาการผลิตของกลุ่มชิ้นส่วนนี้คำนวณจาก $P_9 \text{ x } L_9\, x_{9,9}^{\;3}$ เท่ากับ 138 นาที ลำดับการผลิตถัดไปพิจารณาใช้กรณีที่ 2.2 ซึ่งเหลือกลุ่มชิ้นส่วนที่พิจารณาเพียงกลุ่มเดียว คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 ประกอบด้วยชิ้นส่วน 2 รายการ คือ ชิ้นส่วนที่ 34 และ 35 พบว่ามีค่า $pd_{21,\,34}^{\;3}$ และ $pd_{21,\,35}^{\;3}$ เท่ากับ 1 อธิบายได้ว่าชิ้นส่วนที่ 34 กับ 35 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีจึงกำหนดให้ผลิตเป็นลำดับที่ 2 และ 3 ตามลำดับ เวลาการผลิตชิ้นส่วนสำหรับกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 คำนวณจาก เวลาการผลิตต่อหน่วย (P_i) คูณกับ ปริมาณการผลิต ($RS_i \text{ x } y_{ij}^t + R_i \text{ x } z_{ij}^t$) เมื่อ R_i = ปริมาณการผลิตคงเหลือให้ครบ lot size ของกลุ่มชิ้นส่วนที่ i จากนั้นเลือกลำดับการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มอื่น ๆ ได้ตามต้องการ (เพราะ $g_i^t = 0$) ผลของลำดับการผลิตในกะทำงานที่ 3 ดังภาพที่ 4-18

กะทำงานที่ 4 ต้องกำหนดลำดับการผลิตทั้งสิ้น 8 ลำดับ มีกลุ่มชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันทีในกะทำงาน 2 กลุ่ม คือ กลุ่มชิ้นส่วนที่ 17 และ 21 โดยที่ $i = 17$ และ $21 \in KG$ ดังนั้นจึง

พิจารณาใช้กรณีที่ 2.2 พบว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่ 17 ประกอบด้วยชิ้นส่วน 5 รายการ คือ ชิ้นส่วนที่ 18, 19 20 21 และ 22 พบว่ามีค่า $pd_{17,20}^{4}$ และ $pd_{17,21}^{4}$ เท่ากับ 1 และ $pd_{17,18}^{4}$ $pd_{17,19}^{4}$ $pd_{17,22}^{4}$ เท่ากับ 0 อธิบายได้ว่าชิ้นส่วนที่ 20 กับ 21 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันที ส่วนชิ้นส่วนที่ 18 19 และ 22 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วไม่ต้องส่งมอบกะทำงานนี้ เมื่อพิจารณาจากปริมาณการผลิตพบว่าไม่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ 19 แต่มีการผลิตชิ้นส่วนที่ 18 และ 22 จึงทำการคำนวณเวลาการผลิตรวมของชิ้นส่วนทั้งสอง ($pd_{17,18}^{4}$ และ $pd_{17,22}^{4} = 0$) ได้ค่าเท่ากับ 30.6 นาที

ส่วนกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 ประกอบด้วยชิ้นส่วน 2 รายการ คือ ชิ้นส่วนที่ 34 และ 35 พบว่ามีค่า $pd_{21,34}^{4}$ เท่ากับ 0 และ $pd_{21,35}^{4}$ เท่ากับ 1 อธิบายได้ว่าชิ้นส่วนที่ 35 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วต้องส่งมอบทันที ส่วนชิ้นส่วนที่ 35 เป็นชิ้นส่วนที่ผลิตแล้วไม่ต้องส่งมอบกะทำงานนี้ ชิ้นส่วนนี้ใช้เวลาผลิตเท่ากับ 60.6 นาที ซึ่งมีค่ามากกว่ากลุ่มชิ้นส่วนที่ 17 (30.6 นาที) กลุ่มชิ้นส่วนที่ 17 จึงถูกเลือกให้ผลิตก่อนโดยกำหนดลำดับการผลิตที่ 1 ถึง 4 ได้โดยไม่มีข้อจำกัด ในที่นี้ลำดับการผลิต คือ ชิ้นส่วนที่ 18 20 21 และ 22

ส่วนการผลิตลำดับที่ 5 และ 6 กำหนดให้ผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วนที่ 21 โดยลำดับที่ 5 ทำการผลิตชิ้นส่วนที่ 35 ($pd_{21,35}^{4} = 1$) และลำดับที่ 6 ทำการผลิตชิ้นส่วนที่ 34 ($pd_{21,34}^{4} = 0$) จากนั้นเลือกลำดับการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มอื่น ๆ ได้ตามต้องการ (เพราะ $g_i^t = 0$) ผลของลำดับการผลิตในกะทำงานที่ 4 ดังภาพที่ 4-18

การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอทำโดยเปรียบเทียบแผนการผลิตรายวันที่สร้างด้วยวิธีที่เสนอกับแผนการผลิตเดิมที่ใช้งานในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2560 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ 3 ส่วนดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแผนการผลิตในด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและด้านการเตรียมเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นผลิต
2. เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน
3. เวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิต

เนื้อหาในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพประกอบด้วยข้อมูลปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ รายละเอียดการประมวลแบบจำลอง ILP/MILP ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และผลการทดสอบประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ เป็นข้อมูลการวางแผนการผลิตรายวันของกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ ในช่วงวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 (เฉพาะวันทำงานตามปฏิทินการทำงานโรงงานกรณีศึกษา) รวมทั้งสิ้น 21 วันทำงาน โดยผลิตชิ้นส่วนทั้งหมดบนสายการผลิต B จำนวน 23 กลุ่มชิ้นส่วนแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ รวม 46 ชิ้นส่วน รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.2 และรายละเอียดข้อมูลนำเข้าสำหรับวางแผนการผลิตรายวัน ได้แก่ ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน เวลาการทำงาน 14 กะทำงานต่อเนื่อง และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังตั้งต้นก่อนการวางแผน แสดงในภาคผนวก ก

รายละเอียดการประมวลแบบจำลอง ILP และ MILP

รายละเอียดการประมวลผลแบบจำลอง ILP และ MILP ในงานวิจัยนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผลและผลการทดลองหาค่าที่เหมาะสม และการตั้งค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรม

1. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผล

1.1 ตัวประมวลผล (Processor): Intel®Core™ i7-6500U CPU @ 2.50 GHz, 2.59 GHz, 64-bit Orerating System, x64-based processor

1.2 หน่วยความจำหลัก (RAM): 4 GB

1.3 ระบบปฏิบัติการ (OS): Microsoft Windows 10 Enterprise

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประมวลผล และค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรม

2.1 โปรแกรม Microsoft Excel version 2010

2.2 โปรแกรม OpenSolver 2.8.6 และเลือกตัวประมวลผล (Solver engine) คือ Gurobi 7.5.2 ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง ILP/MILP ที่เสนอ

3. ผลการทดลองหาค่าที่เหมาะสม (Optimal Solution) จากการทดลองหาผลลัพธ์ทั้งสิ้น 21 ปัญหา โดยปัญหาหนึ่ง ๆ จะต้องรันโปรแกรมหาผลลัพธ์แบบจำลอง 4 ตัวแบบ (MinMaxTardiness, MinTWT, MaxAvgEarliness, และ MinTC) รวมการรันทั้งสิ้น 82 ครั้ง พบว่าโปรแกรมสามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมได้ 81 ครั้ง ส่วนอีกหนึ่งครั้ง (แผนการผลิตวันที่ 6 กรกฎาคม 2560, แบบจำลอง TWT) พบว่า Branch and Bound tolerance เท่ากับ 0.002% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมากจึงคาดว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด รายละเอียดผลลัพธ์และเวลาการประมวลผลของแบบจำลองทั้งหมดแสดงใน ภาคผนวก ฉ

4. การกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับหยุดการประมวลผลโปรแกรม OpenSolver จากผลการทดลองเบื้องต้นด้านพบว่าสามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง ILP/MILP ได้ 81 ครั้ง

จาก 82 ครั้ง และ คือ 1) เวลาประมวลผลสูงสุด (Maximum solution time) กำหนดให้ไม่เกิน 300 วินาที และ 2) เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (Branch and Bound tolerance) กำหนดให้เท่ากับ 0%

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ

1. การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและด้านการเตรียมเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ของแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการที่เสนอกับแผนการผลิตเดิม แสดงดังตารางที่ 4-1 พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้ทุกปัญหา ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงต่ำสุดและสูงสุด 74 บาทและ 6,448 บาท สำหรับแผนการผลิตวันที่ 4 และ 26 ตามลำดับ และค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยของแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีที่เสนอเท่ากับ 141,442 บาท เปรียบเทียบกับแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการเดิมที่มีค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ย 143,472 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยลดลง 2,030 บาทต่อการวางแผนการผลิต 1 ครั้ง

ตามที่แบบจำลอง MinTC กำหนดขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบโดยเฉลี่ย (ตัวแปร $AvgEarl_{min}$) ไว้สองกรณี คือ กรณีที่คาดว่าทำให้เวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยมีค่าไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมงได้ จะกำหนดขีดจำกัดด้านล่างนี้เท่ากับ 6 ชั่วโมง หากคาดว่าไม่สามารถทำได้จะกำหนดขีดจำกัดด้านล่างไว้ต่ำกว่าเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยสูงที่สุด (จากแบบจำลอง MaxAvgEarliness) ประมาณ 0.2 ชั่วโมง งานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างแบบจำลอง MinTC_M ที่มีการปรับเปลี่ยนวิธีการกำหนดดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบโดยเฉลี่ยจากแบบจำลอง MinTC โดยกำหนดขีดจำกัดด้านล่างนี้ไว้ต่ำกว่าเวลาเผื่อก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยสูงที่สุด (จากแบบจำลอง MaxAvgEarliness) ประมาณ 0.05 ชั่วโมง การปรับเปลี่ยนนี้เพื่อต้องการให้แผนการผลิตที่สร้างขึ้นจะมีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยสูงขึ้น แต่จะต้องผลิตชิ้นส่วนก่อนกะทำงานที่ส่งมอบในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังสูงขึ้นด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทดลองเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายส่วนเพิ่มนี้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเลือกใช้แบบจำลองต่อไป ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายตามตารางที่ 4-2 พบว่าแบบจำลอง MinTC_M มีค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ยสูงกว่าแบบจำลอง MinTC เป็นจำนวนเงิน 694 บาทต่อการวางแผนการผลิต 1 ครั้ง

ตารางที่ 4-1 ค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังและด้านการตั้งเครื่องจักร

แผนการผลิต	**วิธีการเดิม (บาท)**	**MinTC (บาท)**	**ผลต่าง* (บาท)**	**ร้อยละ ความแตกต่าง**
1 กรกฎาคม 2560	127,430	125,452	-1,978	-1.55
3 กรกฎาคม 2560	135,997	135,274	-723	-0.53
4 กรกฎาคม 2560	135,724	135,650	-74*	-0.05
5 กรกฎาคม 2560	131,239	130,488	-751	-0.57
6 กรกฎาคม 2560	131,746	130,159	-1,587	-1.20
7 กรกฎาคม 2560	138,344	138,236	-108	-0.08
10 กรกฎาคม 2560	155,800	152,208	-3,592	-2.31
11 กรกฎาคม 2560	151,929	149,047	-2,882	-1.90
12 กรกฎาคม 2560	152,799	149,968	-2,831	-1.85
13 กรกฎาคม 2560	151,059	153,691	2,632	1.74
15 กรกฎาคม 2560	149,216	147,369	-1,847	-1.24
17 กรกฎาคม 2560	150,599	148,028	-2,571	-1.71
18 กรกฎาคม 2560	154,506	151,630	-2,876	-1.86
19 กรกฎาคม 2560	151,353	149,048	-2,305	-1.52
20 กรกฎาคม 2560	150,882	148,838	-2,044	-1.35
24 กรกฎาคม 2560	142,816	140,731	-2,085	-1.46
25 กรกฎาคม 2560	138,324	137,161	-1,163	-0.84
26 กรกฎาคม 2560	144,137	137,689	-6,448*	-4.47
27 กรกฎาคม 2560	140,495	134,504	-5,991	-4.26
28 กรกฎาคม 2560	134,244	132,564	-1,680	-1.25
29 กรกฎาคม 2560	144,272	142,544	-1,728	-1.20
ค่าเฉลี่ย	**143,472**	**141,442**	**-2,030**	**1.42**

หมายเหตุ: * ผลต่าง = ค่าใช้จ่ายรวมของแผนการผลิตเดิมที่ด้วย MinTC –ค่าใช้จ่ายรวมของแผนการผลิตเดิม

ตารางที่ 4-2 ค่าใช้จ่ายเมื่อปรับค่าขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนส่งมอบ โดยเฉลี่ย

แผนการผลิต	**MinTC (บาท)**	**MinTCM (บาท)**	**ผลต่าง* (บาท)**	**ร้อยละความแตกต่าง (%)**
1 กรกฎาคม 2560	125,452	125,871	419	0.33
3 กรกฎาคม 2560	135,274	135,272	-2	0.00
4 กรกฎาคม 2560	135,650	135,920	270	0.20
5 กรกฎาคม 2560	130,488	130,825	337	0.26
6 กรกฎาคม 2560	130,159	130,551	392	0.30
7 กรกฎาคม 2560	138,236	138,535	299	0.22
10 กรกฎาคม 2560	152,208	153,671	1,463	0.96
11 กรกฎาคม 2560	149,047	150,270	1,223	0.82
12 กรกฎาคม 2560	149,968	150,858	891	0.59
13 กรกฎาคม 2560	153,691	154,365	674	0.44
15 กรกฎาคม 2560	147,369	148,495	1,126	0.76
17 กรกฎาคม 2560	148,028	149,676	1,648	1.11
18 กรกฎาคม 2560	151,630	152,161	531	0.35
19 กรกฎาคม 2560	149,048	149,133	85	0.06
20 กรกฎาคม 2560	148,838	149,107	269	0.18
24 กรกฎาคม 2560	140,731	140,861	131	0.09
25 กรกฎาคม 2560	137,161	137,643	482	0.35
26 กรกฎาคม 2560	137,689	139,337	1,648	1.20
27 กรกฎาคม 2560	134,504	135,649	1,146	0.85
28 กรกฎาคม 2560	132,564	133,745	1,181	0.89
29 กรกฎาคม 2560	142,544	142,904	360	0.25
ค่าเฉลี่ย	**141,442**	**142,136**	**694**	**0.49**

หมายเหตุ: * ผลต่าง = ค่าใช้จ่ายรวมจาก MinTC_M - ค่าใช้จ่ายรวมจาก MinTC

2. การเปรียบเทียบเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงานของแผนการผลิตที่สร้างจากวิธีการที่เสนอกับแผนการผลิตเดิม ดังภาพที่ 4-19 พบว่าเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของทุกกะทำงานของแผนการผลิตใหม่จากภาพที่ 4-19 (ข) มีค่าเท่ากับ 6.4 ชั่วโมง (มากกว่า 6 ชั่วโมง) แต่มีค่าเฉลี่ยน้อยกว่าเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของแผนการผลิตเดิมจากภาพที่ 4-19 (ก) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.8 ชั่วโมง (คิดเป็นเวลาที่น้อยกว่า 0.4 ชั่วโมงหรือ 24 นาที)

เมื่อพิจารณาจำนวนกะทำงานที่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด (น้อยกว่า 6 ชั่วโมง) ของแผนการผลิตเดิมเท่ากับ 108 กะทำงาน (ร้อยละ 36.7 ของกะทำงานทั้งหมด) และของแผนการผลิตใหม่เท่ากับ 91 กะทำงาน (ร้อยละ 31.0 ของกะทำงานทั้งหมด) จากจำนวนกะทำงานทั้งหมดเท่ากับ 14 x 21 = 294 กะทำงาน แผนการผลิตใหม่จึงมีจำนวนกะทำงานที่เวลาเสร็จก่อนส่งมอบไม่เป็นไม่ตามเกณฑ์น้อยกว่า 17 กะทำงาน คิดเป็นสัดส่วนของกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ลดลงร้อยละ 5.7

เมื่อพิจารณาเฉพาะที่กะทำงานที่ 1 กับ 2 ซึ่งเป็นกะทำงานที่นำแผนการผลิตไปใช้งานจริงพบว่าเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจาก 2 กะทำงานของแผนการผลิตใหม่กับแผนการผลิตเดิมมีค่าเท่ากันเท่ากับ 6 ชั่วโมง เป็นไปตามเกณฑ์ โดยที่กะทำงานที่ 1 มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 6 ชั่วโมงเหมือนกัน สำหรับแผนการผลิตใหม่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยต่ำกว่าเกณฑ์ 0.7 ชั่วโมง (6-5.3 ชั่วโมง) ดีกว่าค่าเฉลี่ยของแผนการผลิตเดิมที่ต่ำกว่าเกณฑ์ 0.9 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาจำนวนกะทำงานที่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบน้อยกว่า 6 ชั่วโมง ของแผนการผลิตเดิมเท่ากับ 21 กะทำงาน (ร้อยละ 50 ของกะทำงานทั้งหมด) และของแผนการผลิตใหม่เท่ากับ 16 กะทำงาน (ร้อยละ 38.1 ของกะทำงานทั้งหมด) จากจำนวนกะทำงานทั้งหมดเท่ากับ 14 x 2 = 42 กะทำงาน แผนการผลิตใหม่จึงมีจำนวนกะทำงานที่เวลาเสร็จก่อนส่งมอบไม่เป็นไม่ตามเกณฑ์น้อยกว่า 5 กะทำงาน คิดเป็นสัดส่วนของกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ลดลงร้อยละ 11.9

ลำดับ	กะที่ / วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย
Complete Total (Day)		8	13	6	12	12	16	13	17	13	15	15	17	13	16	
1	1	6.5	6.6	3.9	5.6	9.0	6.5	10.0	8.7	4.2	8.7	6.3	2.3	8.0	8.0	6.7
2	3	7.0	7.9	3.8	8.6	5.7	7.6	7.9	11.0	6.2	2.7	8.0	8.0	6.5	-0.5	6.5
3	4	5.7	7.7	7.4	9.2	5.5	11.0	3.9	8.0	8.0	8.0	2.7	3.0	4.1	6.0	6.4
4	5	7.7	9.6	5.4	10.9	5.7	4.7	8.0	8.0	0.6	4.2	3.7	6.0	5.2	9.5	6.4
5	6	4.3	9.5	0.0	5.8	8.0	8.0	5.7	5.1	1.7	6.3	5.2	8.0	4.4	11.0	5.9
6	7	2.8	6.7	8.0	8.0	5.7	6.4	4.7	9.3	7.6	11.0	6.5	9.2	7.8	3.9	7.0
7	10	6.9	7.5	1.5	7.4	9.2	11.0	7.5	9.2	8.0	2.3	11.0	9.1	8.7	9.2	7.8
8	11	4.5	3.7	9.2	8.7	10.0	5.0	5.0	3.6	9.5	9.7	5.3	7.7	11.0	11.0	7.4
9	12	6.0	8.7	3.0	5.4	5.0	2.6	9.3	9.7	7.5	7.7	9.3	9.5	9.2	9.6	7.3
10	13	4.2	5.2	3.7	4.4	7.6	10.4	6.7	9.5	5.2	9.5	8.7	7.8	5.5	9.2	7.0
11	15	8.2	10	5.4	9.8	6.9	9.0	8.7	7.1	5.7	9.2	5.7	6.5	5.7	11.0	7.5
12	17	7.8	9.4	5.4	8.5	8.7	9.0	5.2	9.2	8.0	2.6	9.0	11.0	7.3	11.0	8.0
13	18	8.3	11	6.8	9.0	2.4	10.4	8.0	6.2	3.0	9.0	11.0	6.5	5.5	6.5	7.4
14	19	5.0	8.7	5.8	6.1	6.1	3.8	6.7	6.9	5.8	5.7	6.1	5.3	7.6	6.1	6.1
15	20	2.3	3.4	4.3	1.8	3.3	6.1	4.3	5.1	8.8	6.1	9.4	6.3	8.4	7.9	5.5
16	24	1.5	5.2	5.3	5.5	1.1	8.2	6.1	7.8	7.4	3.5	8.7	10.2	5.8	7.9	6.0
17	25	2.6	5.3	2.9	5.4	6.1	8.4	5.8	3.5	7.2	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	6.3
18	26	2.1	4.9	5.4	6.9	5.8	3.6	8.7	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	10.2	5.9	6.8
19	27	5.3	7.8	3.6	1.4	10.2	9.2	7.6	6.1	9.2	7.9	8.4	7.9	8.4	6.4	7.1
20	28	3.4	0.8	6.0	8.7	7.6	6.1	10.2	10.2	7.9	6.4	8.4	7.9	5.8	5.3	6.7
21	29	4.1	4.9	7.6	5.8	7.2	8.7	4.6	10.2	5.0	8.4	5.3	5.8	7.9	4.7	6.4
ค่าเฉลี่ย		5.1	6.9	5.0	6.8	6.5	7.4	6.9	7.8	6.4	6.9	7.4	7.2	7.3	7.5	6.8
Fail Total (Day)		13	8	15	9	9	5	8	4	8	6	6	4	8	5	รวม 108 กะ

(ก) ผลการวิเคราะห์จากแผนการผลิตเดิม

ลำดับ	กะ / วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย
Complete Total (Day)		9	17	10	14	14	16	11	17	14	16	15	18	15	17	
1	1	6.5	6.6	3.9	5.7	6.6	6.2	7.3	7.2	4.0	8.7	6.3	3.8	8.0	8.0	6.3
2	3	7.0	7.9	2.8	6.7	5.7	7.7	7.2	9.6	6.2	2.7	8.0	8.0	7.0	2.3	6.3
3	4	5.7	7.7	6.4	9.2	6.4	11.0	3.9	6.5	8.0	8.0	2.7	3.5	3.6	4.9	6.2
4	5	7.7	8.5	6.4	11.0	4.4	5.7	8.0	8.0	0.6	4.5	4.2	6.2	3.7	9.5	6.3
5	6	4.6	9.5	-0.4	5.6	8.0	8.0	5.7	5.4	0.8	6.2	4.9	7.0	2.9	9.5	5.6
6	7	2.7	6.1	8.0	8.0	4.7	6.8	4.9	7.5	6.2	8.4	5.8	8.7	6.9	3.9	6.3
7	10	7.0	7.5	0.7	7.5	7.1	6.5	5.8	7.2	8.0	2.4	7.4	8.3	7.2	7.7	6.5
8	11	4.5	3.7	8.0	6.1	8.0	5.9	5.0	3.8	7.8	8.1	6.2	6.8	8.4	7.2	6.4
9	12	6.0	7.2	2.1	6.4	5.0	2.9	7.8	6.6	6.0	6.7	9.3	6.1	7.2	8.0	6.2
10	13	4.3	6.7	3.6	2.3	6.0	8.6	6.7	9.5	5.2	8.2	7.2	8.7	5.5	8.9	6.5
11	15	8.2	7	6.7	7.0	6.9	7.3	8.7	7.0	5.7	7.1	5.7	6.5	4.5	7.4	6.9
12	17	7.6	9.7	5.4	7.5	7.7	9.1	6.0	8.0	6.5	2.7	7.4	7.0	7.2	7.7	7.1
13	18	8.2	8	6.6	9.0	2.4	8.3	5.7	7.3	2.3	9.1	8.0	6.5	5.8	8.0	6.8
14	19	5.4	7.9	6.1	6.9	6.5	4.2	8.7	8.1	6.2	6.5	6.5	5.7	6.9	6.9	6.6
15	20	3.3	4.0	5.7	0.7	3.7	7.5	3.7	4.4	5.0	7.9	8.6	7.2	8.8	8.7	5.6
16	24	2.4	6.2	4.7	4.5	1.4	7.6	5.4	8.5	6.5	3.9	8.9	11.0	7.3	6.7	6.1
17	25	3.0	4.1	2.2	6.2	6.9	9.5	5.2	5.0	6.5	11.0	6.9	6.9	8.6	7.9	6.4
18	26	2.9	6.3	6.9	7.4	6.2	2.8	7.3	7.5	6.6	6.9	8.7	8.5	8.1	6.8	6.6
19	27	6.2	8.7	3.1	1.2	9.5	8.9	6.9	6.9	8.6	7.2	7.8	6.7	6.7	6.9	6.8
20	28	3.4	-0.4	8.0	9.5	8.0	6.9	8.4	6.4	7.4	6.2	9.4	6.1	6.2	5.3	6.5
21	29	4.5	7.6	8.0	4.7	8.8	6.1	5.4	8.0	6.1	7.3	5.7	6.2	8.1	7.8	6.7
ค่าเฉลี่ย		5.3	6.7	5.0	6.3	6.2	7.0	6.4	7.1	5.7	6.6	6.9	6.9	6.6	7.1	6.4
Fail Total (Day)		12	4	11	7	7	5	10	4	7	5	6	3	6	4	รวม 91 กะ

(ข) ผลการวิเคราะห์จากแผนการผลิตใหม่

ภาพที่ 4-19 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน (ชั่วโมง)

3. การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิตของการใช้โปรแกรม Microsoft Excel VBAในการสร้างแผนการผลิตแบบเดิมกับการใช้โปรแกรม OpenSolver บนโปรแกรม Microsoft Excel โดยซอฟต์แวร์ Gurobi เป็นตัวประมวลผลหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสร้างแผนการผลิตด้วยวิธีการที่เสนอ ดังตารางที่ 4-3 เวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิตด้วยวิธีที่เสนอใช้เวลาเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 นาที (ประมาณ 29 วินาที) โดยที่เวลาในการรันโปรแกรมนี้คิดเฉพาะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม Gurobi ในการหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง ILP/MILP รวม 4 ตัวแบบ ไม่รวมเวลาที่โปรแกรม OpenSolver เตรียมอ่าน Spreadsheet model ก่อนการประมวลผล ซึ่งใช้เวลาอีกประมาณ 8 วินาทีต่อการประมวลผลแบบจำลอง 1 ครั้ง รวมเวลาการเตรียมพร้อมนี้ 4 ครั้งเท่ากับ 32 วินาที ดังนั้นวิธีการที่เสนอใช้เวลาในการประมวลผลรวมประมาณ 1 นาที (29+31 วินาที)

เมื่อพิจารณาเวลาการประมวลผลของวิธีการที่เสนอในการสร้างแผนการผลิตวันที่ 1 กรกฎาคม 2560 พบว่าใช้เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งมากกว่าการสร้างแผนการผลิตของวันอื่น ๆ เพราะการสร้างแผนการผลิตในวันนี้มีแบบจำลอง TWT ที่โปรแกรมไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อรายละเอียดการประมวลแบบจำลอง ILP และ MILP ดังนั้น หากกำหนดพารามิเตอร์เวลาสูงสุดในการประมวลผลให้ต่ำกว่านี้ เช่น 60 วินาที เป็นต้น จะทำให้เวลาเฉลี่ยของการประมวลผลสร้างแผนการผลิตต่ำลงอีกโดยที่แผนการผลิตที่สร้างขึ้นยังคงเป็นแผนการผลิตเดิม (โปรแกรมพบผลลัพธ์ที่เป็นไปได้นี้ตั้งแต่ประมวลผลไป 4 วินาที)

การเปรียบเทียบเวลาในการสร้างแผนการผลิตด้วยวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าสามารถลดเวลาในการสร้างแผนผลิตลงไปได้เฉลี่ย 109.29-0.48 =108.8 นาที หรืออาจกล่าวได้ว่าลดเวลาได้เกือบทั้งหมดในการรันโปรแกรม (เวลาการรันโปรแกรมลดลงร้อยละ 99.51)

ตารางที่ 4-3 เวลาการประมวลผลสำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต

แผนการผลิต	**วิธีเดิมด้วยโปรแกรม VBA (นาที)**	**วิธีการที่เสนอในงานวิจัยนี้ (นาที)**	**ความแตกต่างเฉลี่ย (นาที)**	**ร้อยละความแตกต่าง (%)**
1 กรกฎาคม 2560	85	0.07	-84.93	-99.92
3 กรกฎาคม 2560	148	0.14	-147.86	-99.91
4 กรกฎาคม 2560	90	0.18	-89.82	-99.80
5 กรกฎาคม 2560	90	0.69	-89.31	-99.23
6 กรกฎาคม 2560	90	5.1	-84.9	-94.33
7 กรกฎาคม 2560	98	0.18	-97.82	-99.82
10 กรกฎาคม 2560	135	0.62	-134.38	-99.54
11 กรกฎาคม 2560	135	0.09	-134.91	-99.93
12 กรกฎาคม 2560	135	0.22	-134.78	-99.84
13 กรกฎาคม 2560	142	0.1	-141.9	-99.93
15 กรกฎาคม 2560	128	0.18	-127.82	-99.86
17 กรกฎาคม 2560	135	0.24	-134.76	-99.82
18 กรกฎาคม 2560	128	0.66	-127.34	-99.48
19 กรกฎาคม 2560	108	0.05	-107.95	-99.95
20 กรกฎาคม 2560	115	0.22	-114.78	-99.81
24 กรกฎาคม 2560	92	0.18	-91.82	-99.80
25 กรกฎาคม 2560	90	0.21	-89.79	-99.77
26 กรกฎาคม 2560	90	0.59	-89.41	-99.34
27 กรกฎาคม 2560	87	0.12	-86.88	-99.86
28 กรกฎาคม 2560	87	0.21	-86.79	-99.76
29 กรกฎาคม 2560	87	0.09	-86.91	-99.90
ค่าเฉลี่ย	**109.29**	**0.48**	**-108.80**	**-99.51**

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของสายการผลิต B ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง สายการผลิตนี้รับผิดชอบในการปั๊มขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วน 23 กลุ่ม รวมจำนวนชิ้นส่วน 46 ชิ้นส่วน การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตเป็นความรับผิดชอบของฝ่ายผลิต ในการนำปริมาณความต้องการชิ้นส่วนและเวลาการทำงานของกะทำงาน 14 กะต่อเนื่องจากแผนการผลิตหลัก และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังก่อนการวางแผนจากรายงานปริมาณสินค้าคงคลัง มาสร้างแผนการผลิตรายวัน วิธีการที่เสนอในงานวิจัยนี้มีลักษณะเป็นการใช้แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้นในการกำหนดปริมาณการผลิตชิ้นส่วนในแต่ละกะทำงาน 14 กะต่อเนื่อง แล้วจัดลำดับการผลิตชิ้นส่วนแต่ละกะทำงานเพื่อสร้างเป็นตารางการผลิตต่อไป แผนการผลิตที่สร้างขึ้นใน 2 กะทำงานแรกจะถูกนำไปใช้ในการผลิตจริง

แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอถูกพัฒนามาจากปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์หลายรุ่นบนเครื่องจักรเดียว (Single-level capacitated lot sizing problem, Single-level CLSP) ที่สรุปไว้โดย Drexl & Kimms (1997) แล้วเพิ่มเงื่อนไขการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนตามกลุ่มชิ้นส่วนให้ครบตามขนาดรุ่นการผลิต (Lot size) ของกลุ่มชิ้นส่วน และต้องผลิตให้เต็มปริมาณความจุของอุปกรณ์วางชิ้นส่วน (Rack capacity) ตามข้อกำหนดในการผลิตของโรงงาน และมีความยืดหยุ่นด้านเวลาการผลิตที่สามารถผลิตเกินเวลาการทำงานที่กำหนดได้ แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ที่เสนอได้เพิ่มเงื่อนไขสำคัญที่เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตรายวันที่สร้างขึ้นคือเวลาผลิตเสร็จของชิ้นส่วนที่ผลิตเป็นลำดับสุดท้ายและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน โดยโรงงานกำหนดให้เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง เงื่อนไขการผลิตนี้ทำให้ปัญหาการวางแผนการผลิตรายวันนี้มีลักษณะเป็นปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต (Lot sizing and scheduling problem) นั่นคือ นอกจากการออกแบบวิธีการกำหนดปริมาณการผลิตให้มีชิ้นส่วนเพียงพอต่อปริมาณต้องการชิ้นส่วนแล้ว ยังต้องออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตที่แสดงถึงลำดับการผลิตชิ้นส่วนและเวลาการผลิตชิ้นส่วนตามลำดับการผลิตนั้นด้วย

การกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตจึงเริ่มจากการหาผลลัพธ์ของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลอง MinMaxTardiness และแบบจำลอง MinTWT เพื่อหาข้อสรุปว่าภายใต้ปริมาณการความต้องการชิ้นส่วนในแต่ละกะทำงาน และปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่มีอยู่ จะสามารถสร้างแผนการผลิตที่มีเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมงในแต่ละกะทำงานได้หรือไม่ และถ้าทำไม่ได้จะสร้างแผนการผลิตในแต่ละกะทำงานให้เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบใกล้เคียงกับ 6 ชั่วโมงที่สุดได้เท่าใด แล้วนำผลลัพธ์นี้ไปเป็นเงื่อนไขของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มคือ แบบจำลอง MaxAvgEarliness ที่พิจารณาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงานที่วางแผนมีค่าสูงสุดได้เท่าใด จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่จากแบบจำลองทั้งสาม มาเป็นเงื่อนไขของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม คือ แบบจำลอง MinTC ซึ่งเป็นแบบจำลองหลักในการกำหนดปริมาณการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมด้านค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วนคงคลังกับค่าใช้จ่ายในการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุด ผลปริมาณการผลิตชิ้นส่วนที่กะทำงานต่าง ๆ จากแบบจำลอง MinTC นี้ อาจมีการผลิตทั้งชิ้นส่วนที่ต้องส่งมอบทันที และชิ้นส่วนที่ยังไม่ต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงานของแต่ละกะทำงานที่วางแผน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบวิธีการจัดลำดับการผลิตชิ้นส่วนแต่ละกะทำงานเพื่อสร้างเป็นตารางการผลิตสำหรับนำไปใช้งานต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ ที่จัดรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์แบบหลายชั้น ให้อยู่ในรูปแบบจำลองแผ่นงาน แล้วใช้โปรแกรม OpenSolver ที่ติดตั้งในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล และเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Gurobi เวอร์ชั่น 7.5.2 ในหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบได้ออกแบบให้นำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ขั้นตอนสุดท้าย คือ แบบจำลอง MinTC มาจัดให้อยู่ในรูปตารางการผลิตเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้

ผลการทดสอบประสิทธิภาพ 3 ด้านได้แก่ ต้นทุนรวม เวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ และเวลาที่ใช้ในการสร้างแผนการผลิตของวิธีการที่เสนอ เปรียบเทียบกับวิธีการเดิมของโรงงาน จากข้อมูลการวางแผนการผลิตรวม 21 วัน พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดต้นทุนรวมลงได้เล็กน้อย ขณะที่เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจาก 14 กะทำงานมีค่าน้อยกว่าเดิมแต่ยังคงเป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด และเมื่อพิจารณาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจาก 2 กะทำงานแรกพบว่ามีค่าเท่ากันเท่ากับ 6 ชั่วโมงเป็นไปตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด ส่วนการเปรียบเทียบจำนวนกะทำงานที่ไม่สามารถผลิตเสร็จได้ก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงได้ พบว่าวิธีการที่เสนอมีค่าดัชนีนี้ดีกว่าวิธีการเดิมทั้งการเปรียบเทียบแผนการผลิต 14 กะทำงาน และ 2 กะทำงานแรก ดัชนีชี้วัดที่วิธีการที่

เสนอมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการเดิมอย่างชัดเจนคือเวลาการสร้างแผนการผลิต วิธีการที่เสนอใช้เวลาสร้างแผนการผลิตไม่ถึง 1 นาที ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสรุปได้ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอในการสร้างแผนการผลิตรายวัน

ดัชนีชี้วัด	**วิธีการเดิม**	**วิธีการที่เสนอ**	**ผลการเปรียบเทียบ**
ค่าใช้จ่ายโดยรวมเฉลี่ย (บาทต่อวัน)	143,472	141,442	ดีขึ้น 2,030 บาท
เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบ			
- ค่าเฉลี่ยจากกะทำงานที่ 1 ถึง 14 (ชั่วโมง)	6.8	6.4	เป็นไปตามเกณฑ์
- ค่าเฉลี่ยจากกะทำงานที่ 1 ถึง 2 (ชั่วโมง)	6.0	6.0	เป็นไปตามเกณฑ์
- จำนวนกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ จากกะทำงานที่ 1 ถึง 14 รวม 294 กะทำงาน	108	91	ดีขึ้น 17 กะ หรือ ร้อยละ 5.7
- จำนวนกะทำงานที่ไม่เป็นไปตามเกณฑ์ จากกะทำงานที่ 1 ถึง 2 รวม 42 กะทำงาน	21	16	ดีขึ้น 5 กะ หรือ ร้อยละ 11.9
เวลาเฉลี่ยในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนการผลิตรายวัน (นาที)	109	<1	ลดเวลาการสร้างแผนได้ทั้งหมด

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการแก้ปัญหาการกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิต (Lot sizing and scheduling problem) โดยการพัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) และกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) เพื่อสร้างแผนการผลิตรายวันตามเงื่อนไขการผลิตและเวลาการผลิตเสร็จก่อนส่งมอบงานของโรงงานตัวอย่าง โดยมีเป้าหมายให้มีต้นทุนรวมด้านการจัดเก็บและด้านการตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุด เมื่อนำวิธีการมาทดสอบประสิทธิภาพพบว่าสามารถสร้างแผนการผลิตรายวันที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้ เป็นไปตามทฤษฎี

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในส่วนของเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยจาก 14 กะทำงานพบว่าวิธีการที่เสนอมีเวลาเฉลี่ยนี้น้อยกว่าวิธีการเดิม ซึ่งเกิดจากการสร้างแผนการผลิตจากแบบจำลอง MinTC ได้กำหนดขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนการส่งมอบที่ 6 ชั่วโมง ซึ่งขีดจำกัดด้านล่างนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการของผู้วางแผนการผลิต งานวิจัยนี้จึงได้ทดลองกำหนดให้ขีดจำกัดด้านล่างนี้มีค่าสูงใกล้เคียงกับค่ามากที่สุดที่เป็นไปได้ (เรียกแบบจำลอง MinTC_M) จากแบบจำลอง MaxAvgEarliness แล้วทดลองสร้างแผนการผลิต พบว่าต้นทุนรวม

เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 694 บาทต่อวันเมื่อเทียบกับแบบจำลอง MinTC หรือต้นทุนรวมลดลงเฉลี่ย 2,030-694 = 1,336 บาทเมื่อเทียบกับวิธีการเดิม แล้วเปรียบเทียบเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบได้ผลดังภาพที่ 5-1 พบว่าเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของทุกกะทำงานของแผนการผลิตใหม่จากภาพที่ 5-1 (ข) มีค่าเท่ากับ 6.8 ชั่วโมง เท่ากับเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของแผนการผลิตเดิมจากภาพที่ 5.1 (ก) และเมื่อพิจารณาเวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบโดยเฉลี่ยของ 2 กะทำงานแรกของแผนการผลิตใหม่จากภาพที่ 5-1 (ข) มีค่าเท่ากับ 6.2 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยจากแผนการผลิตเดิมอยู่ 0.2 ชั่วโมง แผนการผลิตนี้มีจำนวนกะทำงานที่ไม่สามารถผลิตเสร็จได้ก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงจาก 294 กะทำงานอยู่ทั้งสิ้น 90 กะซึ่งมีจำนวนเท่า ๆ กับแผนการผลิตจาก MinTC และเมื่อพิจารณาเฉพาะกะทำงานที่ 1 และ 2 พบว่าจำนวนกะทำงานที่ไม่สามารถผลิตเสร็จได้ก่อนส่งมอบ 6 ชั่วโมงจาก 42 กะทำงานอยู่ทั้งสิ้น 16 กะซึ่งมีจำนวนเท่า ๆ กับแผนการผลิตจาก MinTC

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง ILP/MILP เลือกใช้โปรแกรม OpenSolver ด้วยตัวประมวลผล Gurobi 7.5.2 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ แทนการใช้ตัวประมวลผล CBC ที่ติดตั้งมากับ OpenSolver เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้ตัวประมวลผล CBC ในการหาผลลัพธ์แล้วไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ภายในเวลา 30 นาทีได้ การใช้ตัวประมวลผล Gurobi 7.5.2 ในอุตสาหกรรมต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมประมาณ 15,000 ดอลล่าร์สหรัฐ (ประมาณ 450,000 บาท) เมื่อพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เฉลี่ย 2,030 บาทต่อสัปดาห์ ดังนั้น จึงต้องใช้เวลาถึง 450,000/2,030 = 222 สัปดาห์ หรือประมาณ 4.3 ปีจึงคืนทุน อย่างไรก็ตามข้อดีที่สุดของวิธีการที่เสนอคือเวลาในการสร้างแผนการผลิตที่ใช้เวลาเฉลี่ยไม่ถึงหนึ่งนาที ซึ่งทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการทำงานมากขึ้น และทำให้ปริมาณชิ้นส่วนคงคลังที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการวางแผนมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

ลำดับ	กะที่ / วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย
Complete Total (Day)		8	13	6	12	12	16	13	17	13	15	15	17	13	16	
1	1	6.5	6.6	3.9	5.6	9.0	6.5	10.0	8.7	4.2	8.7	6.3	2.3	8.0	8.0	6.7
2	3	7.0	7.9	3.8	8.6	5.7	7.6	7.9	11.0	6.2	2.7	8.0	8.0	6.5	-0.5	6.5
3	4	5.7	7.7	7.4	9.2	5.5	11.0	3.9	8.0	8.0	8.0	2.7	3.0	4.1	6.0	6.4
4	5	7.7	9.6	5.4	10.9	5.7	4.7	8.0	8.0	0.6	4.2	3.7	6.0	5.2	9.5	6.4
5	6	4.3	9.5	0.0	5.8	8.0	8.0	5.7	5.1	1.7	6.3	5.2	8.0	4.4	11.0	5.9
6	7	2.8	6.7	8.0	8.0	5.7	6.4	4.7	9.3	7.6	11.0	6.5	9.2	7.8	3.9	7.0
7	10	6.9	7.5	1.5	7.4	9.2	11.0	7.5	9.2	8.0	2.3	11.0	9.1	8.7	9.2	7.8
8	11	4.5	3.7	9.2	8.7	10.0	5.0	5.0	3.6	9.5	9.7	5.3	7.7	11.0	11.0	7.4
9	12	6.0	8.7	3.0	5.4	5.0	2.6	9.3	9.7	7.5	7.7	9.3	9.5	9.2	9.6	7.3
10	13	4.2	5.2	3.7	4.4	7.6	10.4	6.7	9.5	5.2	9.5	8.7	7.8	5.5	9.2	7.0
11	15	8.2	10	5.4	9.8	6.9	9.0	8.7	7.1	5.7	9.2	5.7	6.5	5.7	11.0	7.5
12	17	7.8	9.4	5.4	8.5	8.7	9.0	5.2	9.2	8.0	2.6	9.0	11.0	7.3	11.0	8.0
13	18	8.3	11	6.8	9.0	2.4	10.4	8.0	6.2	3.0	9.0	11.0	6.5	5.5	6.5	7.4
14	19	5.0	8.7	5.8	6.1	6.1	3.8	6.7	6.9	5.8	5.7	6.1	5.3	7.6	6.1	6.1
15	20	2.3	3.4	4.3	1.8	3.3	6.1	4.3	5.1	8.8	6.1	9.4	6.3	8.4	7.9	5.5
16	24	1.5	5.2	5.3	5.5	1.1	8.2	6.1	7.8	7.4	3.5	8.7	10.2	5.8	7.9	6.0
17	25	2.6	5.3	2.9	5.4	6.1	8.4	5.8	3.5	7.2	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	6.3
18	26	2.1	4.9	5.4	6.9	5.8	3.6	8.7	10.2	7.6	6.1	10.2	7.9	10.2	5.9	6.8
19	27	5.3	7.8	3.6	1.4	10.2	9.2	7.6	6.1	9.2	7.9	8.4	7.9	8.4	6.4	7.1
20	28	3.4	0.8	6.0	8.7	7.6	6.1	10.2	10.2	7.9	6.4	8.4	7.9	5.8	5.3	6.7
21	29	4.1	4.9	7.6	5.8	7.2	8.7	4.6	10.2	5.0	8.4	5.3	5.8	7.9	4.7	6.4
ค่าเฉลี่ย		5.1	6.9	5.0	6.8	6.5	7.4	6.9	7.8	6.4	6.9	7.4	7.2	7.3	7.5	6.8
Fail Total (Day)		13	8	15	9	9	5	8	4	8	6	6	4	8	5	รวม 108 กะ

(ก) ผลการวิเคราะห์จากแผนการผลิตเดิม

ลำดับ	กะที่ / วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย
Complete Total (Day)		9	17	10	14	14	16	11	17	15	16	15	18	15	17	
1	1	6.5	6.6	3.9	5.7	6.7	6.2	7.7	8.7	4.0	8.7	6.3	3.8	8.0	8.0	6.5
2	3	7.0	7.9	2.8	6.7	5.7	6.5	7.2	8.9	6.2	2.9	8.0	8.0	7.0	2.3	6.2
3	4	5.7	7.7	6.4	9.2	6.4	11.0	3.9	8.0	8.0	8.0	2.7	3.5	3.6	4.9	6.4
4	5	7.7	9.8	6.4	11.0	4.4	5.7	8.0	8.0	0.6	4.5	4.2	6.5	3.7	9.5	6.4
5	6	4.6	9.5	-0.4	5.6	8.0	8.0	5.7	5.4	0.8	6.2	4.9	8.0	2.9	11.0	5.7
6	7	2.7	6.1	8.0	8.0	4.7	6.8	4.9	11.0	6.2	8.4	5.8	10.2	7.9	3.9	6.8
7	10	7.0	7.4	0.7	7.5	7.1	11.0	5.8	8.7	8.0	2.4	8.9	8.3	8.7	9.2	7.2
8	11	4.3	3.7	8.0	8.7	8.9	5.9	5.0	3.8	7.8	9.6	6.2	7.7	9.5	11.0	7.2
9	12	6.0	8.7	2.1	6.4	5.0	2.9	7.8	8.1	6.0	7.7	9.3	9.5	7.2	9.5	6.9
10	13	4.1	6.7	3.6	2.4	6.0	10.1	6.7	9.5	5.2	9.5	6.2	9.0	5.5	9.2	6.7
11	15	8.2	9	6.7	10.2	6.9	10.3	8.7	7.0	5.7	9.2	5.7	6.5	4.5	11.0	7.8
12	17	7.6	9.7	5.4	10.2	8.7	9.1	7.2	9.2	8.0	2.7	7.7	11.0	7.2	9.2	8.1
13	18	8.2	10	6.6	10.5	2.4	8.8	5.7	7.3	1.8	9.1	10.0	6.5	5.8	6.5	7.1
14	19	5.4	9.1	6.1	6.9	6.5	4.2	8.7	8.1	6.2	6.5	6.5	5.7	6.9	6.9	6.7
15	20	3.3	4.2	5.7	0.7	3.7	7.2	3.7	4.4	6.2	7.9	9.5	7.2	10.2	8.7	5.9
16	24	2.4	6.2	4.7	4.5	1.4	7.6	5.4	8.5	7.5	3.9	8.9	11.0	7.3	8.7	6.3
17	25	3.0	4.1	2.2	6.2	6.9	9.5	5.2	5.0	6.5	11.0	7.0	6.9	11.0	8.5	6.6
18	26	2.9	6.3	6.9	7.4	6.2	2.8	8.1	11.0	8.0	6.9	11.0	7.2	11.0	8.7	7.5
19	27	6.2	8.7	3.1	1.2	9.5	10.4	8.0	6.9	10.1	7.2	9.3	8.7	9.2	6.9	7.5
20	28	3.4	-0.4	8.0	9.5	8.0	6.9	9.9	9.5	8.4	7.2	10.4	8.7	6.2	5.3	7.2
21	29	4.5	7.2	8.0	4.7	8.8	10.1	5.4	11.0	6.1	7.6	5.7	6.2	8.7	7.8	7.3
ค่าเฉลี่ย		5.3	7.0	5.0	6.8	6.3	7.7	6.6	8.0	6.1	7.0	7.3	7.6	7.2	7.9	6.8
Fail Total (Day)		12	4	11	7	7	5	10	4	6	5	6	3	6	4	รวม 90 กะ

(ข) ผลการวิเคราะห์จากแผนการผลิตใหม่จากแบบจำลอง MinTC_M

ภาพที่ 5-1 เวลาผลิตเสร็จก่อนส่งมอบของชิ้นส่วนสุดท้ายที่ผลิตและต้องส่งมอบทันทีเมื่อสิ้นสุดกะทำงาน (ชั่วโมง)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรสร้างระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision support system) ด้วย Excel VBA มาใช้สำหรับสร้างแบบจำลองแผ่นงานเมื่อมีการปรับเปลี่ยนกลุ่มชิ้นส่วน/ชิ้นส่วน รวมถึงพารามิเตอร์การผลิต และควรออกแบบแผ่นงานตารางการผลิตให้เหมาะสมกับการใช้งานของโรงงานตัวอย่าง ระบบที่ออกแบบควรทำให้กระบวนการประมวลผลเป็นอัตโนมัติ โดยผู้จัดตารางเพียงป้อนข้อมูลนำเข้าของรอบการจัดตารางการผลิตหนึ่ง ๆ จะทำให้วิธีการที่เสนอสามารถนำไปใช้งานได้ง่าย (User friendly)

2. ควรนำไปใช้ และขยายผลกับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนโครงรถยนต์ของสายการผลิตอื่นต่อไป

บรรณานุกรม

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. (2554). *การวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อการตัดสินใจ*. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท.

ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2536). *การวางแผนและควบคุมการผลิต* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.

ธันยพร อุดม, ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และขวัญนิธิ คำเมือง. (2559). การแก้ปัญหาการวางแผนและจัดตารางการผลิตขั้นสูงที่พิจารณาการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบมีกรอบเวลา โดยตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, *4*(1), 1-15.

เพชรายุทธ แซ่หลี และอภิชัย ฤตวิรุฬห์. (2557). แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการผลิตเครื่องสำอางจากสมุนไพร. *วารสารวิจัยและพัฒนา, มจธ.*, *37*, 347-360.

ภัทราภรณ์ สัจจนดำรงค์ และธารทัศน์ โมกขมรรคกุล. (2551). การพัฒนาแผนการผลิตหลักสำหรับอุตสาหกรรมแบบผลิตตามสั่ง. ใน *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2551* (หน้า 229-237). ม.ป.ท.

ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์. (2561). *แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบหลายขั้นตอนสำหรับปัญหาการขนส่งคอยล์โลหะ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

รวินท์ธนัตถ์ ทิพย์เสนา. (2556). *การวางแผนการผลิตเลนส์แว่นตาพลาสติกที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และอัตราการผลิต*. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

รัชฎากร โคตรเจริญ. (2554). *การวางแผนการผลิตที่มีหลายเป้าหมายด้วยการโปรแกรมเชิงเส้นแบบพอสสิบิลิสติก, กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2559). *สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2559 และแนวโน้มปี 2560*. วันที่ค้นข้อมูล 11 พฤษภาคม 2560, เข้าถึงได้จาก http://www.oie.go.th/academic/สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี%202559%20และแนวโน้มปี%202560

สุทธิลักษณ์ จตุพงษ์. (2550). *การประยุกต์หลักการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งเพื่อการวางแผนและควบคุมการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

Aggarwal, S. C., & Wyman, F. P. (1973). An Investigation of Cost-based Rule for Job shop Scheduling. *International Journal of Production Research., 11*(3), 247-261.

Clark, A., Almada-Lobo, B., & Almeder, C. (2011). Lot sizing and scheduling: industrial extensions and research opportunities. *Int. of Prod. Res.*, *49*(9), 2457–2461.

Doganis, P., & Sarimveis, H. (2007). Optimal scheduling in a yogurt production line based on mixed integer linear programming. *Journal of Food Engineering., 80*(2), 445-453.

Drake, M. J., Pentico, D. W., & Toew, C. (2011). Using the EPQ for coordinated planning of a product with partial backordering and its components. *Mathematical and Computer Modelling*, *53*, 359-375.

Drexl, A., & Kimms, A. (1997). Lot sizing and scheduling: survey and extensions. *European Journal of Operational Research, 99*, 221–235.

Hiller F.S., & Lieberman G.J. (2009). *Introduction to operations research*, 9th edition, New York, McGraw-Hill.

Mason, A. J. (2012). OpenSolver – An Open Source Add-in to Solve Linear and Integer Programs in Excel. In *proceeding of Operations Research Proceedings 2011* (p. 401-406), *Springer Berlin Heidelberg*.

Organization Internationale des Constructeurs d'Automobiles. (2016). *Production Statistics*: 2016 statistics. Date of search 1 July 2016, Retrieved from http://www.oica.net/category/production-statistics/2016-statistics/

OpenSolver. (2017). *About OpenSolver*. Retrieved from http://www.opensolver.org

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

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแผนการผลิตวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

Requirement	Date	1													
	Shift	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Work Hour	8	11	8	8	11	11	11	11	11	11	8	8	0	0
Parts Number		**1D**	**1N**	**3D**	**3N**	**4D**	**4N**	**5D**	**5N**	**6D**	**6N**	**7D**	**7N**	**8D**	**8N**
343V/344V		126	126	126	156	156	126	156	126	156	126	252	126	0	0
679V/680V		25	19	27	25	21	27	17	30	25	24	23	27	0	0
989V/990V		251	257	279	281	285	279	274	261	281	282	283	279	0	0
991V/992V		150	144	138	164	163	161	126	150	150	187	171	205	0	0
957V/958V		126	132	168	142	143	145	165	141	156	119	135	101	0	0
137V/138V		276	276	306	306	306	306	291	291	306	306	306	306	0	0
139V/140V		126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0
021V/022V		126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0
607V/608V		103	103	105	131	130	104	128	107	136	107	137	106	0	0
759V/760V		23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0
757V/758V		23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0
261V/262V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
317V/318V		94	94	94	92	93	92	93	94	96	98	96	97	0	0
663V		9	9	11	9	7	12	5	13	10	9	11	9	0	0
664V		0	0	0	30	30	0	30	0	30	0	30	0	0	0
141V		150	150	180	150	150	180	294	180	150	150	150	180	0	0
557V		150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0
558V		150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0
144V		150	150	180	150	150	180	150	180	150	150	150	180	0	0
142V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
346V		127	141	134	135	137	135	138	133	135	135	138	133	0	0
726V		23	9	16	15	13	15	12	17	15	15	12	17	0	0
601V		0	0	30	0	0	30	0	30	0	0	0	30	0	0
695V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
602V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
690V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
734V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
393V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
394V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
541V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
546V		331	291	469	462	469	453	478	457	467	466	466	467	0	0
549V		301	291	334	297	304	288	343	292	362	301	331	302	0	0
714V		30	0	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0
615V/616V		29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0
617V/618V		29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0
859V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
860V		0	0	57	49	46	42	59	31	40	28	39	29	27	0
861V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
862V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
963V		0	0	50	60	60	64	50	73	71	77	71	79	77	0
964V		0	0	8	6	9	9	6	11	4	10	5	7	8	0
853V		0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0
281V		0	0	280	0	320	0	280	0	320	0	320	0	0	0
285V		0	0	30	0	60	0	60	0	60	0	60	0	0	0
282V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
286V		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพภาคผนวก ก-1 ตารางตัวอย่างแผนการผลิตวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

Plan/Actual														
Parts Number	**1D**	**1N**	**3D**	**3N**	**4D**	**4N**	**5D**	**5N**	**6D**	**6N**	**7D**	**7N**	**8D**	**8N**
343V/344V	680	0	0	0	0	680	0	0	0	0	680	0	0	0
679V/680V	0	43	0	43	0	86	0	0	43	0	0	0	0	0
989V/990V	0	637	0	637	0	594	0	0	637	0	680	0	0	0
991V/992V	0	344	0	344	0	344	0	0	379	0	465	0	0	0
957V/958V	0	336	0	336	0	336	0	0	301	0	215	0	0	0
137V/138V	870	0	0	0	870	0	870	0	0	870	0	0	0	0
139V/140V	0	0	0	0	660	0	0	0	660	0	0	0	0	0
021V/022V	0	740	0	0	0	0	740	0	0	0	0	0	0	0
607V/608V	0	0	576	0	0	0	564	0	0	0	0	0	0	0
759V/760V	0	0	84	0	0	0	96	0	0	0	0	0	0	0
757V/758V	0	0	0	60	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0
261V/262V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
317V/318V	0	0	0	492	0	0	0	456	0	0	0	0	0	0
663V	0	0	0	48	0	0	0	48	0	0	0	0	0	0
664V	0	0	0	60	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0
141V	0	564	0	0	0	564	0	564	0	0	0	564	0	0
557V	0	546	0	0	546	0	0	0	546	0	0	0	0	0
558V	0	560	0	0	560	0	0	0	560	0	0	0	0	0
144V	552	0	0	552	0	0	552	0	0	0	552	0	0	0
142V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
346V	0	468	0	0	456	0	0	0	468	0	0	0	0	0
726V	0	48	0	0	48	0	0	0	60	0	0	0	0	0
601V	0	36	0	0	48	0	0	0	24	0	0	0	0	0
695V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
602V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
690V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
734V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
393V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
394V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
541V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
546V	0	0	870	870	0	870	0	870	0	870	0	870	0	0
549V	0	0	650	380	0	490	510	0	490	510	0	380	0	0
714V	0	0	100	370	0	260	240	0	260	240	0	370	0	0
615V/616V	0	0	0	0	0	440	0	0	0	0	0	0	0	0
617V/618V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
859V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
860V	96	0	0	0	108	0	96	0	0	84	0	0	0	0
861V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
862V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
963V	108	0	0	0	172	0	196	0	0	232	0	0	0	0
964V	24	0	0	0	24	0	12	0	0	24	0	0	0	0
853V	172	0	0	0	96	0	96	0	0	60	0	0	0	0
281V	400	0	400	0	0	0	400	400	0	0	0	0	0	0
285V	0	0	0	0	0	0	0	420	0	0	0	0	0	0
282V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
286V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

Balance Stock	Initial Inv.														
Parts Number	**31N**	**1D**	**1N**	**3D**	**3N**	**4D**	**4N**	**5D**	**5N**	**6D**	**6N**	**7D**	**7N**	**8D**	**8N**
343V/344V	243	797	671	545	389	233	787	631	505	349	223	651	525	525	525
679V/680V	85	60	84	57	75	54	113	96	66	84	60	37	10	10	10
989V/990V	594	343	723	444	800	515	830	556	295	651	369	766	487	487	487
991V/992V	329	179	379	241	421	258	441	315	165	394	207	501	296	296	296
957V/958V	295	169	373	205	399	256	447	282	141	286	167	247	146	146	146
137V/138V	463	1057	781	475	169	733	427	1006	715	409	973	667	361	361	361
139V/140V	739	613	487	346	205	724	583	442	301	820	679	538	397	397	397
021V/022V	394	268	882	741	600	459	318	917	776	635	494	353	212	212	212
607V/608V	418	315	212	683	552	422	318	754	647	511	404	267	161	161	161
759V/760V	108	85	62	125	100	74	52	120	101	81	62	43	23	23	23
757V/758V	156	133	110	89	124	98	76	48	113	93	74	55	35	35	35
261V/262V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
317V/318V	373	279	185	91	491	398	306	213	575	479	381	285	188	188	188
663V	36	27	18	7	46	39	27	22	57	47	38	27	18	18	18
664V	48	48	48	48	78	48	48	18	90	60	60	30	30	30	30
141V	361	211	625	445	295	145	529	235	619	469	319	169	553	553	553
557V	292	142	538	373	208	589	424	274	124	505	340	175	10	10	10
558V	280	130	540	375	210	605	440	290	140	535	370	205	40	40	40
144V	84	486	336	156	558	408	228	630	450	300	150	552	372	372	372
142V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
346V	266	139	466	332	197	516	381	243	110	443	308	170	37	37	37
726V	31	8	47	31	16	51	36	24	7	52	37	25	8	8	8
601V	15	15	51	21	21	69	39	39	9	33	33	33	3	3	3
695V	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
602V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
690V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
734V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
393V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
394V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
541V	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
546V	791	460	169	570	978	509	926	448	861	394	798	332	735	735	735
549V	666	365	74	390	473	169	371	538	246	374	583	252	330	330	330
714V	160	130	130	65	270	105	200	275	110	205	280	115	320	320	320
615V/616V	177	148	109	83	50	24	422	405	367	339	310	281	253	253	253
617V/618V	414	385	346	320	287	261	219	202	164	136	107	78	50	50	50
859V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
860V	84	180	180	123	74	136	94	131	100	60	116	77	48	21	21
861V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
862V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
963V	93	201	201	151	91	203	139	285	212	141	296	225	146	69	69
964V	5	29	29	21	15	30	21	27	16	12	26	21	14	6	6
853V	43	215	215	125	125	131	131	137	137	47	107	17	17	17	17
281V	24	424	424	544	544	224	224	344	744	424	424	104	104	104	104
285V	248	248	248	218	218	158	158	98	518	458	458	398	398	398	398
282V	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49
286V	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41

ภาพภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบจำลอง ILP

สำหรับกำหนดปริมาณการผลิตและจัดตารางการผลิตที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

ตัวอย่างชิ้นส่วน 46 ชนิด ประกอบด้วย 23 กลุ่มชิ้นส่วน

- กลุ่มที่ 1 ถึงกลุ่มที่ 15 มีเฉพาะชิ้นส่วนหลัก
- กลุ่มที่ 16 ถึงกลุ่มที่ 23 เป็นกลุ่มที่มีทั้งชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนร่วมอยู่ภายในกลุ่ม โดยที่จำนวนชิ้นส่วนรวมของกลุ่มที่ 16 ถึงกลุ่มที่ 23 เท่ากับ 2 5 2 3 6 2 7 และ 4 ชิ้น ตามลำดับ
- กลุ่มชิ้นส่วนที่ 23 เป็นกลุ่มชิ้นส่วนที่ประกอบด้วยกลุ่มย่อย 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มย่อยมีชิ้นส่วน 2 ชนิด การขึ้นรูปกลุ่มชิ้นส่วนที่ 23 นี้ เมื่อเครื่องปั๊มขึ้นรูป 1 ครั้งจะได้ชิ้นส่วนจากกลุ่มย่อยกลุ่มละ 1 ชิ้นส่วน
- วางแผนการผลิต 14 กะทำงาน

เซตที่เกี่ยวข้อง

$N = \{1, 2, 3,\ldots, 46\}$

$K = \{1, 2, 3,\ldots, 23\}$, $K1 = \{1, 2, 3,\ldots, 15\}$, $KG = \{16, 17, \ldots, 23\}$, KGC = {23}

$G_1 = \{1\},\ldots, G_{15} = \{15\}$

$G_{16} = \{16, 17\}$, $G_{17} = \{18, 19, 20, 21, 22\}$, $G_{18} = \{23, 24\}$, $G_{19} = \{25, 26, 27\}$, $G_{20} = \{28, 29, 30, 31, 32, 33\}$, $G_{21} = \{34, 35\}$, $G_{22} = \{36, 37, 38, 39, 40, 41, 42\}$, $G_{23} = \{43, 44, 45, 46\}$

$SG_{23,1} = \{43, 44\}$, $SG_{23,2} = \{45, 46\}$, $a_{23} = 2$

$t_{max} = 14$, $T = \{1, 2, 3,\ldots, 14\}$

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

<u>ข้อมูลนำเข้าหลัก</u>

- D_{ij}^t (ปริมาณความต้องการชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in K$, $j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$D_{1,1}^1, D_{2,2}^1,\ldots, D_{15,15}^1, D_{16,16}^1, D_{16,17}^1, D_{17,18}^1, D_{17,19}^1,\ldots, D_{17,22}^1, D_{18,23}^1, D_{18,24}^1,\ldots, D_{23,46}^1,$

$D_{1,1}^2, D_{2,2}^2,\ldots, D_{15,15}^2, D_{16,16}^2, D_{16,17}^2, D_{17,18}^2, D_{17,19}^2,\ldots, D_{17,22}^2, D_{18,23}^2, D_{18,24}^2,\ldots, D_{23,46}^2,$

……………………………………………………………………………………….

$D_{1,1}^{14}, D_{2,2}^{14},\ldots, D_{15,15}^{14}, D_{16,16}^{14}, D_{16,17}^{14}, D_{17,18}^{14}, D_{17,19}^{14},\ldots, D_{17,22}^{14}, D_{18,23}^{14}, D_{18,24}^{14},\ldots, D_{23,46}^{14}$

- I_{ij}^0 (ปริมาณชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i ก่อนการทำงานในกะที่ 1) สำหรับทุกค่า $i \in K$ และ $j \in G_i$ ได้แก่

$I_{1,1}^0, I_{2,2}^0,\ldots, I_{15,15}^0, I_{16,16}^0, I_{16,17}^0, I_{17,18}^0, I_{17,19}^0,\ldots, I_{17,22}^0, I_{18,23}^0, I_{18,24}^0,\ldots, I_{23,46}^0$

- WT_t (เวลาการทำงานที่เป็นไปได้ในกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$WT_1, WT_2,\ldots, WT_{14}$

<u>ข้อมูลนำเข้าจากแบบจำลองด้านเวลา</u>

- td_t (เวลาผลิตเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบงาน ในกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$td_1, td_2, ..., td_{14}$

- $AvgEarl_{min}$ (ขีดจำกัดด้านล่างของเวลาเผื่อก่อนส่งมอบงานโดยเฉลี่ยจากทุกกะทำงาน)
- $Weight_t$ (น้ำหนักความสำคัญของกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$Weight_1, Weight_2, ..., Weight_4$

<u>ข้อมูลการผลิต</u> (ค่าคงที่ในฐานข้อมูลการผลิต)

- C_{ij} (ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ และ $j \in G_i$ ได้แก่

$C_{1,1}, C_{2,2}, ..., C_{15,15}, C_{16,16}, C_{16,17}, C_{17,18}, C_{17,19}, ..., C_{17,22}, C_{18,23}, C_{18,24}, ..., C_{23,46}$

- S_i (ค่าใช้จ่ายในการเตรียมแม่พิมพ์สำหรับกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$S_1, S_2, ..., S_{23}$

- P_i (เวลาการผลิตชิ้นส่วนในกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$P_1, P_2, ..., P_{23}$

- RS_i (Rack size ของกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$RS_1, RS_2, ..., RS_{23}$

- L_i (Lot size ของกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$L_1, L_2, ..., L_{23}$

- R_i (ปริมาณการผลิตคงเหลือในการผลิตให้ครบตามขนาดล๊อตของการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$R_1, R_2, ..., R_{23}$

ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ $RS_1 = 35$, $L_1 = 600$ การผลิตให้เต็มล๊อตจะต้องใช้ Rack ทั้งสิ้น 600/35 = 17.14 อัน เมื่อปัดเศษขึ้นจึงใช้ Rack เท่ากับ 18 อัน โดย Rack 17 อัน บรรจุชิ้นส่วนครบตามความจุ รวมปริมาณชิ้นส่วนทั้งสิ้นเท่ากับ 17 x 35 = 595 ชิ้น ขณะที่ Rack ที่ 18 บรรจุเศษเหลืออีกเท่ากับ 600-595 = 5 ชิ้น ทำให้ $R_1 = 5$

- I_i^{max} (ปริมาณสูงสุดของการจัดเก็บชิ้นส่วนทั้งหมดในกลุ่มชิ้นส่วน i) สำหรับทุกค่า $i \in K$ ได้แก่

$I_1^{max}, I_2^{max}, ..., I_{23}^{max}$

- $MaxWT_t$ (เวลาการทำงานสูงที่สุดของกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$MaxWT_1, MaxWT_2, ..., MaxWT_{14}$

- $MinWT_t$ (เวลาการทำงานต่ำที่สุดของกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$MinWT_1, MinWT_2, \ldots, MinWT_{14}$

- U = เวลาเผื่อก่อนส่งมอบงานตามข้อกำหนดของโรงงานตัวอย่างเท่ากับ 6 ชั่วโมง (720 นาที)

ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจหลัก

- x_{ij}^{t} (เป็นตัวแปรไบนารี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อผลิตชิ้นส่วน j ของกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in K1, j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$x_{1,1}^{1}, x_{2,2}^{1}, \ldots, x_{15,15}^{1}, x_{1,1}^{2}, x_{2,2}^{2}, \ldots, x_{15,15}^{2}, \ldots, x_{1,1}^{14}, x_{2,2}^{14}, \ldots, x_{15,15}^{14}$$

- y_{ij}^{t} (เป็นตัวแปรจำนวนนับที่ไม่ติดลบ แสดงค่าจำนวน Rack ที่ใช้ เมื่อผลิตชิ้นส่วน j ของกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in KG, j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$y_{16,16}^{1}, y_{16,17}^{1}, y_{17,18}^{1}, y_{17,19}^{1}, \ldots, y_{17,22}^{1}, y_{18,23}^{1}, y_{18,24}^{1}, \ldots, y_{23,46}^{1},$$

$$y_{16,16}^{2}, y_{16,17}^{2}, y_{17,18}^{2}, y_{17,19}^{2}, \ldots, y_{17,22}^{2}, y_{18,23}^{2}, y_{18,24}^{2}, \ldots, y_{23,46}^{2},$$

……………………………………………………………

$$y_{16,16}^{14}, y_{16,17}^{14}, y_{17,18}^{14}, y_{17,19}^{14}, \ldots, y_{17,22}^{14}, y_{18,23}^{14}, y_{18,24}^{14}, \ldots, y_{23,46}^{14}$$

- z_{ij}^{t} (เป็นตัวแปรไบนารี มีค่าเป็น 1 เมื่อผลิตชิ้นส่วน j ในปริมาณที่ไม่เต็ม Rack size ในการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in KG, j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$z_{16,16}^{1}, z_{16,17}^{1}, z_{17,18}^{1}, z_{17,19}^{1}, \ldots, z_{17,22}^{1}, z_{18,23}^{1}, z_{18,24}^{1}, \ldots, z_{23,46}^{1},$$

$$z_{16,16}^{2}, z_{16,17}^{2}, z_{17,18}^{2}, z_{17,19}^{2}, \ldots, z_{17,22}^{2}, z_{18,23}^{2}, z_{18,24}^{2}, \ldots, z_{23,46}^{2},$$

……………………………………………………………

$$z_{16,16}^{14}, z_{16,17}^{14}, z_{17,18}^{14}, z_{17,19}^{14}, \ldots, z_{17,22}^{14}, z_{18,23}^{14}, z_{18,24}^{14}, \ldots, z_{23,46}^{14}$$

<u>ตัวแปรตัดสินใจสำหรับช่วยจัดการเงื่อนไขการผลิตต่าง ๆ</u>

- sc_i^t (เป็นตัวแปรไบนารี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in KG$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$sc_{16,}^{1}, sc_{17}^{1}, ..., sc_{23}^{1}, sc_{16,}^{2}, sc_{17}^{2}, ..., sc_{23}^{2}, ..., sc_{16,}^{14}, sc_{17}^{14}, ..., sc_{23}^{14}$$

- pd_{ij}^t (เป็นตัวแปรไบนารี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตชิ้นส่วน j ของกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน) สำหรับทุกค่า $i \in KG, j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$pd_{16,16}^{1}, pd_{16,17}^{1}, pd_{17,18}^{1}, pd_{17,19}^{1}, ..., pd_{17,22}^{1}, pd_{18,23}^{1}, pd_{18,24}^{1}, ..., pd_{23,46}^{1},$$

$$pd_{16,16}^{2}, pd_{16,17}^{2}, pd_{17,18}^{2}, pd_{17,19}^{2}, ..., pd_{17,22}^{2}, pd_{18,23}^{2}, pd_{18,24}^{2}, ..., pd_{23,46}^{2},$$

....

$$pd_{16,16}^{14}, pd_{16,17}^{14}, pd_{17,18}^{14}, pd_{17,19}^{14}, ..., pd_{17,22}^{14}, pd_{18,23}^{14}, pd_{18,24}^{14}, ..., pd_{23,46}^{14}$$

- g_i^t (เป็นตัวแปรไบนารี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการผลิตกลุ่มชิ้นส่วน i ในกะทำงาน t ที่เป็นกะทำงานที่ต้องส่งมอบงาน) สำหรับทุกค่า $i \in K$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$g_{1,}^{1}, g_{2}^{1}, ..., g_{23}^{1}, g_{1,}^{2}, g_{2}^{2}, ..., g_{23}^{2}, ..., g_{1,}^{14}, g_{2}^{14}, ..., g_{23}^{14}$$

<u>ตัวแปรตัดสินใจสำหรับกำหนดข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองหลัก</u>

- td_t (เวลาผลิตเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งเข้าคลังสินค้าก่อนส่งมอบงาน ในกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $t \in T$ ได้แก่

$$td_1, td_2, ..., td_{14}$$

- $maxTar$ (ขีดจำกัดเวลาสายสูงที่สุดจากทุกกะทำงานของแผนการผลิต)

ตัวแปรตาม

- I_{ij}^t (ปริมาณชิ้นส่วน j ในกลุ่มชิ้นส่วน i เมื่อสิ้นสุดการทำงานในกะการทำงาน t) สำหรับทุกค่า $i \in K, j \in G_i$ และ $t \in T$ ได้แก่

$$I_{1,1}^{1}, I_{2,2}^{1}, ..., I_{15,15}^{1}, I_{16,16}^{1}, I_{16,17}^{1}, I_{17,18}^{1}, I_{17,19}^{1}, ..., I_{17,22}^{1}, I_{18,23}^{1}, I_{18,24}^{1}, ..., I_{23,46}^{1},$$

$$I_{1,1}^{2}, I_{2,2}^{2}, ..., I_{15,15}^{2}, I_{16,16}^{2}, I_{16,17}^{2}, I_{17,18}^{2}, I_{17,19}^{2}, ..., I_{17,22}^{2}, I_{18,23}^{2}, I_{18,24}^{2}, ..., I_{23,46}^{2},$$

....

....

$$I_{1,1}^{14}, I_{2,2}^{14}, ..., I_{15,15}^{14}, I_{16,16}^{14}, I_{16,17}^{14}, I_{17,18}^{14}, I_{17,19}^{14}, ..., I_{17,22}^{14}, I_{18,23}^{14}, I_{18,24}^{14}, .., I_{23,46}^{14}$$

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

สมการที่ 4-1 Minimize

$$C_{1,1}I_{1,1}^{1} + C_{2,2}I_{2,2}^{1} + \ldots + C_{15,15}I_{15,15}^{1} + C_{16,16}I_{16,16}^{1} + C_{16,17}I_{16,17}^{1} + C_{17,18}I_{17,18}^{1} + C_{17,19}I_{17,19}^{1} +$$
$$\ldots + C_{17,22}I_{17,22}^{1} + C_{18,23}I_{18,23}^{1} + C_{18,24}I_{18,24}^{1} + \ldots + C_{23,46}I_{23,46}^{1} +$$
$$C_{1,1}I_{1,1}^{2} + C_{2,2}I_{2,2}^{2} + \ldots + C_{15,15}I_{15,15}^{2} + C_{16,16}I_{16,16}^{2} + C_{16,17}I_{16,17}^{2} + C_{17,18}I_{17,18}^{2} + C_{17,19}I_{17,19}^{2} +$$
$$\ldots + C_{17,22}I_{17,22}^{2} + C_{18,23}I_{18,23}^{2} + C_{18,24}I_{18,24}^{2} + \ldots + C_{23,46}I_{23,46}^{2} +$$

……

……

$$C_{1,1}I_{1,1}^{14} + C_{2,2}I_{2,2}^{14} + \ldots + C_{15,15}I_{15,15}^{14} + C_{16,16}I_{16,16}^{14} + C_{16,17}I_{16,17}^{14} + C_{17,18}I_{17,18}^{14} + C_{17,19}I_{17,19}^{14} +$$
$$\ldots + C_{17,22}I_{17,22}^{14} + C_{18,23}I_{18,23}^{14} + C_{18,24}I_{18,24}^{14} + \ldots + C_{23,46}I_{23,46}^{14} +$$

$$S_{1}x_{1,1}^{1} + S_{2}x_{2,2}^{1} + \ldots + S_{15}x_{15,15}^{1} + S_{1}x_{1,1}^{2} + S_{2}x_{2,2}^{2} + \ldots + S_{15}x_{15,15}^{2} + \ldots + S_{1}x_{1,1}^{14} + S_{2}x_{2,2}^{14} + \ldots$$
$$+ S_{15}x_{15,15}^{14} +$$

$$S_{16}sc_{16}^{1} + S_{17}sc_{17}^{1} + \ldots + S_{23}sc_{23}^{1} + S_{16}sc_{16}^{2} + S_{17}sc_{17}^{2} + \ldots + S_{23}sc_{23}^{2} + \ldots + S_{16}sc_{16}^{14} + S_{17}sc_{17}^{14} + \ldots +$$
$$S_{23}sc_{23}^{14}$$

เงื่อนไขบังคับ

สมการที่ 4-2

$t = 1$

$$I_{1,1}^{1} = I_{1,1}^{0} + L_{1}x_{1,1}^{1} - D_{1,1}^{1}$$
$$I_{2,2}^{1} = I_{2,2}^{0} + L_{2}x_{2,2}^{1} - D_{2,2}^{1}$$

…………………………………

$$I_{15,15}^{1} = I_{15,15}^{0} + L_{15}x_{15,15}^{1} - D_{15,15}^{1}$$

$t = 2, 3, 4, \ldots, 14$

$$I_{1,1}^{t} = I_{1,1}^{t-1} + L_{1}x_{1,1}^{t} - D_{1,1}^{t}$$
$$I_{2,2}^{t} = I_{2,2}^{t-1} + L_{2}x_{2,2}^{t} - D_{2,2}^{t}$$

…………………………………

$$I_{15,15}^{t} = I_{15,15}^{t-1} + L_{15}x_{15,15}^{t} - D_{15,15}^{t}$$

สมการที่ 4-3

$t = 1$

$$I_{16,16}^{1} = I_{16,16}^{0} + RS_{16}y_{16,16}^{1} + R_{16}z_{16,16}^{1} - D_{16,16}^{1}$$
$$I_{16,17}^{1} = I_{16,17}^{0} + RS_{16}y_{16,17}^{1} + R_{16}z_{16,17}^{1} - D_{16,17}^{1}$$
$$I_{17,18}^{1} = I_{17,18}^{0} + RS_{17}y_{17,18}^{1} + R_{17}z_{17,18}^{1} - D_{17,18}^{1}$$
$$I_{17,19}^{1} = I_{17,19}^{0} + RS_{17}y_{17,19}^{1} + R_{17}z_{17,19}^{1} - D_{17,19}^{1}$$

…………………………

$$I_{17,22}^{1} = I_{17,22}^{0} + RS_{17}y_{17,22}^{1} + R_{17}z_{17,22}^{1} - D_{17,22}^{1}$$
$$I_{18,23}^{1} = I_{18,23}^{0} + RS_{18}y_{18,23}^{1} + R_{18}z_{18,23}^{1} - D_{18,23}^{1}$$
$$I_{18,24}^{1} = I_{18,24}^{0} + RS_{18}y_{18,24}^{1} + R_{18}z_{18,24}^{1} - D_{18,24}^{1}$$

……………………………………………………

$$I_{23,46}^{1} = I_{23,46}^{0} + RS_{23}y_{23,46}^{1} + R_{23}z_{23,46}^{1} - D_{23,46}^{1}$$

$t = 2, 3, \ldots, 14$

$$I_{16,16}^{t} = I_{16,16}^{t-1} + RS_{16}y_{16,16}^{t} + R_{16}z_{16,16}^{t} - D_{16,16}^{t}$$
$$I_{16,17}^{t} = I_{16,17}^{t-1} + RS_{16}y_{16,17}^{t} + R_{16}z_{16,17}^{t} - D_{16,17}^{t}$$
$$I_{17,18}^{t} = I_{17,18}^{t-1} + RS_{17}y_{17,18}^{t} + R_{17}z_{17,18}^{t} - D_{17,18}^{t}$$
$$I_{17,19}^{t} = I_{17,19}^{t-1} + RS_{17}y_{17,19}^{t} + R_{17}z_{17,19}^{t} - D_{17,19}^{t}$$

…………………………

$$I_{17,22}^{t} = I_{17,22}^{t-1} + RS_{17}y_{17,22}^{t} + R_{17}z_{17,22}^{t} - D_{17,22}^{t}$$
$$I_{18,23}^{t} = I_{18,23}^{t-1} + RS_{18}y_{18,23}^{t} + R_{18}z_{18,23}^{t} - D_{18,23}^{t}$$
$$I_{18,24}^{t} = I_{18,24}^{t-1} + RS_{18}y_{18,24}^{t} + R_{18}z_{18,24}^{t} - D_{18,24}^{t}$$

……………………………………………………

$$I_{23,46}^{t} = I_{23,46}^{t-1} + RS_{23}y_{23,46}^{t} + R_{23}z_{23,46}^{t} - D_{23,46}^{t}$$

สมการที่ 4-4

$t = 1$

$$I_{1,1}^{1}, I_{2,2}^{1}, ..., I_{15,15}^{1} \geq 0$$
$$I_{16,16}^{1}, I_{16,17}^{1}, I_{17,18}^{1}, I_{17,19}^{1}, ... I_{17,22}^{1}, I_{18,23}^{1}, I_{18,24}^{1}, ..., I_{23,46}^{1} \geq 0$$

$t = 2, 3, 4, \ldots, 14$

$$I_{1,1}^{t}, I_{2,2}^{t}, ..., I_{15,15}^{t} \geq 0$$
$$I_{16,16}^{t}, I_{16,17}^{t}, I_{17,18}^{t}, I_{17,19}^{t}, ... I_{17,22}^{t}, I_{18,23}^{t}, I_{18,24}^{t}, ..., I_{23,46}^{t} \geq 0$$

สมการที่ 4-5, 4-6 และ 4-7

$t = 1$

สมการที่ 4-5

$$I_{1,1}^{1} \leq I_{1}^{max}$$
$$I_{2,2}^{1} \leq I_{2}^{max}$$

………

$$I_{15,15}^{1} \leq I_{15}^{max}$$

สมการที่ 4-6

$$I_{16,16}^{1} + I_{16,17}^{1} \leq I_{16}^{max}$$
$$I_{17,18}^{1} + I_{17,19}^{1} + ... + I_{17,22}^{1} \leq I_{17}^{max}$$

………

$$I_{22,36}^{1} + I_{22,37}^{1} + ... + I_{22,42}^{1} \leq I_{22}^{max}$$

สมการที่ 4-7

$$I_{23,43}^{1} + I_{23,44}^{1} \leq I_{23}^{max}$$
$$I_{23,45}^{1} + I_{23,46}^{1} \leq I_{23}^{max}$$

$t = 2, 3, \ldots, 14$

สมการที่ 4-5

$$I_{1,1}^{t} \leq I_{1}^{max}$$
$$I_{2,2}^{t} \leq I_{2}^{max}$$

………

$$I_{15,15}^{t} \leq I_{15}^{max}$$

สมการที่ 4-6

$$I_{16,16}^{t} + I_{16,17}^{t} \leq I_{16}^{max}$$

$$I_{17,18}^{t} + I_{17,19}^{t} + \ldots + I_{17,22}^{t} \leq I_{17}^{max}$$

………

$$I_{22,36}^{t} + I_{22,37}^{t} + \ldots + I_{22,42}^{t} \leq I_{22}^{max}$$

สมการที่ 4-7

$$I_{23,43}^{t} + I_{23,44}^{t} \leq I_{23}^{max}$$

$$I_{23,45}^{t} + I_{23,46}^{t} \leq I_{23}^{max}$$

สมการที่ 4-8 และ 4-9

$t = 1$

สมการที่ 4-8

$$RS_{16}y_{16,16}^{1} + RS_{16}y_{16,17}^{1} + R_{16}z_{16,16}^{1} + R_{16}z_{16,17}^{1} = L_{16}\, sc_{16}^{1}$$

$$RS_{17}y_{17,18}^{1} + RS_{17}y_{17,19}^{1} + \ldots + RS_{17}y_{17,22}^{1} + R_{17}z_{17,18}^{1} + R_{17}z_{17,19}^{1} + \ldots + R_{17}z_{17,22}^{1} = L_{17}\, sc_{17}^{1}$$

………

$$RS_{22}y_{22,36}^{1} + RS_{22}y_{22,37}^{1} + \ldots + RS_{22}y_{22,42}^{1} + R_{22}z_{22,36}^{1} + R_{22}z_{22,37}^{1} + \ldots + R_{22}z_{22,42}^{1} = L_{22}\, sc_{22}^{1}$$

สมการที่ 4-9

$$RS_{23}y_{23,43}^{1} + RS_{23}y_{23,44}^{1} + R_{23}z_{23,43}^{1} + R_{23}z_{23,44}^{1} = L_{23}\, sc_{23}^{1}$$

$$RS_{23}y_{23,45}^{1} + RS_{23}y_{23,45}^{1} + R_{23}z_{23,43}^{1} + R_{23}z_{23,44}^{1} = L_{23}\, sc_{23}^{1}$$

$t = 2, 3, \ldots, 14$

สมการที่ 4-8

$$RS_{16}y_{16,16}^{t} + RS_{16}y_{16,17}^{t} + R_{16}z_{16,16}^{t} + R_{16}z_{16,17}^{t} = L_{16}\, sc_{16}^{t}$$

$$RS_{17}y_{17,18}^{t} + RS_{17}y_{17,19}^{t} + \ldots + RS_{17}y_{17,22}^{t} + R_{17}z_{17,18}^{t} + R_{17}z_{17,19}^{t} + \ldots + R_{17}z_{17,22}^{t} = L_{17}\, sc_{17}^{t}$$

………

$$RS_{22}y_{22,36}^{t} + RS_{22}y_{22,37}^{t} + \ldots + RS_{22}y_{22,42}^{t} + R_{22}z_{22,36}^{t} + R_{22}z_{22,37}^{t} + \ldots + R_{22}z_{22,42}^{t} = L_{22}\, sc_{22}^{t}$$

สมการที่ 4-9

$$RS_{23}y_{23,43}^{t} + RS_{23}y_{23,44}^{t} + R_{23}z_{23,43}^{t} + R_{23}z_{23,44}^{t} = L_{23}\, sc_{23}^{t}$$

$$RS_{23}y_{23,45}^{t} + RS_{23}y_{23,45}^{t} + R_{23}z_{23,43}^{t} + R_{23}z_{23,44}^{t} = L_{23}\, sc_{23}^{t}$$

สมการที่ 4-10, 4-11 และ 4-12

$t = 1$

สมการที่ 4-10

$z_{16,16}^{1} + z_{16,17}^{1} \leq 1$

$z_{17,18}^{1} + z_{17,19}^{1} + \ldots + z_{17,22}^{1} \leq 1$

...

$z_{22,36}^{1} + z_{22,37}^{1} + \ldots + z_{22,42}^{1} \leq 1$

สมการที่ 4-11

$Z_{23,43}^{1} + z_{23,44}^{1} \leq 1$

$Z_{23,45}^{1} + z_{23,46}^{1} \leq 1$

สมการที่ 4-12

$y_{16,16}^{1} \geq z_{16,16}^{1}, y_{16,17}^{1} \geq z_{16,17}^{1}$

$y_{17,18}^{1} \geq z_{17,18}^{1}, y_{17,19}^{1} \geq z_{17,19}^{1}, \ldots, y_{17,22}^{1} \geq z_{17,22}^{1}$

...

$y_{23,43}^{1} \geq z_{23,43}^{1}, y_{23,44}^{1} \geq z_{23,44}^{1}, \ldots, y_{23,46}^{1} \geq z_{17,46}^{1}$

$t = 2, 3, \ldots, 14$

สมการที่ 4-10

$z_{16,16}^{t} + z_{16,17}^{t} \leq 1$

$z_{17,18}^{t} + z_{17,19}^{t} + \ldots + z_{17,22}^{t} \leq 1$

...

$z_{22,36}^{t} + z_{22,37}^{t} + \ldots + z_{22,42}^{t} \leq 1$

สมการที่ 4-11

$Z_{23,43}^{t} + z_{23,44}^{t} \leq 1$

$Z_{23,45}^{t} + z_{23,46}^{t} \leq 1$

สมการที่ 4-12

$y_{16,16}^{t} \geq z_{16,16}^{t}, y_{16,17}^{t} \geq z_{16,17}^{t}$

$y_{17,18}^{t} \geq z_{17,18}^{t}, y_{17,19}^{t} \geq z_{17,19}^{t}, \ldots, y_{17,22}^{t} \geq z_{17,22}^{t}$

...

$y_{23,43}^{t} \geq z_{23,43}^{t}, y_{23,44}^{t} \geq z_{23,44}^{t}, \ldots, y_{23,46}^{t} \geq z_{17,46}^{t}$

สมการที่ 4-13 และ 4-14

$t = 1$

สมการที่ 4-13

$$P_1 L_1 x_{1,1}^1 + P_2 L_2 x_{2,2}^1 + \ldots + P_{15} L_{15} x_{15,15}^1 +$$
$$P_{16} RS_{16} y_{16,16}^1 + P_{16} RS_{16} y_{16,17}^1 + P_{17} RS_{17} y_{17,18}^1 + P_{17} RS_{17} y_{17,19}^1 + \ldots + P_{17} RS_{17} y_{17,22}^1 + \ldots$$
$$P_{23} RS_{23} y_{23,46}^1 +$$
$$P_{16} R_{16} z_{16,16}^1 + P_{16} R_{16} z_{16,17}^1 + P_{17} R_{17} z_{17,18}^1 + P_{17} R_{17} z_{17,19}^1 + \ldots + P_{17} R_{17} z_{17,22}^1 + \ldots$$
$$P_{23} R_{23} z_{23,46}^1 \geq MinWT_1$$

สมการที่ 4-14

$$P_1 L_1 x_{1,1}^1 + P_2 L_2 x_{2,2}^1 + \ldots + P_{15} L_{15} x_{15,15}^1 +$$
$$P_{16} RS_{16} y_{16,16}^1 + P_{16} RS_{16} y_{16,17}^1 + P_{17} RS_{17} y_{17,18}^1 + P_{17} RS_{17} y_{17,19}^1 + \ldots + P_{17} RS_{17} y_{17,22}^1 + \ldots$$
$$P_{23} RS_{23} y_{23,46}^1 +$$
$$P_{16} R_{16} z_{16,16}^1 + P_{16} R_{16} z_{16,17}^1 + P_{17} R_{17} z_{17,18}^1 + P_{17} R_{17} z_{17,19}^1 + \ldots + P_{17} R_{17} z_{17,22}^1 + \ldots$$
$$P_{23} R_{23} z_{23,46}^1 \leq MaxWT_1$$

$t = 2, 3, 4$

สมการที่ 4-13

$$P_1 L_1 x_{1,1}^t + P_2 L_2 x_{2,2}^t + \ldots + P_{15} L_{15} x_{15,15}^t +$$
$$P_{16} RS_{16} y_{16,16}^t + P_{16} RS_{16} y_{16,17}^t + P_{17} RS_{17} y_{17,18}^t + P_{17} RS_{17} y_{17,19}^t + \ldots + P_{17} RS_{17} y_{17,22}^t + \ldots$$
$$P_{23} RS_{23} y_{23,46}^t +$$
$$P_{16} R_{16} z_{16,16}^t + P_{16} R_{16} z_{16,17}^t + P_{17} R_{17} z_{17,18}^t + P_{17} R_{17} z_{17,19}^t + \ldots + P_{17} R_{17} z_{17,22}^t + \ldots$$
$$P_{23} R_{23} z_{23,46}^t \geq MinWT_t$$

สมการที่ 4-14

$$P_1 L_1 x_{1,1}^t + P_2 L_2 x_{2,2}^t + \ldots + P_{15} L_{15} x_{15,15}^t +$$
$$P_{16} RS_{16} y_{16,16}^t + P_{16} RS_{16} y_{16,17}^t + P_{17} RS_{17} y_{17,18}^t + P_{17} RS_{17} y_{17,19}^t + \ldots + P_{17} RS_{17} y_{17,22}^t + \ldots$$
$$P_{23} RS_{23} y_{23,46}^t +$$
$$P_{16} R_{16} z_{16,16}^t + P_{16} R_{16} z_{16,17}^t + P_{17} R_{17} z_{17,18}^t + P_{17} R_{17} z_{17,19}^t + \ldots + P_{17} R_{17} z_{17,22}^t + \ldots$$
$$P_{23} R_{23} z_{23,46}^t \leq MaxWT_t$$

สมการที่ 4-15

$t = 1$

$$I_{1,1}^{max} g_1^{1} + I_{1,1}^{0} - D_{1,1}^{1} \geq 0$$

$$I_{2,2}^{max} g_2^{1} + I_{2,2}^{0} - D_{2,2}^{1} \geq 0$$

………………………

$$I_{15,15}^{max} g_{15}^{1} + I_{15,15}^{0} - D_{15,15}^{1} \geq 0$$

$t = 2, 3, 4,\ldots,14$

$$I_{1,1}^{max} g_1^{t} + I_{1,1}^{t-1} - D_{1,1}^{t} \geq 0$$

$$I_{2,2}^{max} g_2^{t} + I_{2,2}^{t-1} - D_{2,2}^{t} \geq 0$$

………………………

$$I_{15,15}^{max} g_{15}^{t} + I_{15,15}^{t-1} - D_{15,15}^{t} \geq 0$$

สมการที่ 4-16

$t = 1$

$$I_{16,16}^{max} pd_{16,16}^{1} + I_{16,16}^{0} - D_{16,16}^{1} \geq 0$$

$$I_{16,17}^{max} pd_{16,17}^{1} + I_{16,17}^{0} - D_{16,17}^{1} \geq 0$$

$$I_{17,18}^{max} pd_{17,18}^{1} + I_{17,18}^{0} - D_{17,18}^{1} \geq 0$$

$$I_{17,19}^{max} pd_{17,19}^{1} + I_{17,19}^{0} - D_{17,19}^{1} \geq 0$$

………………………

$$I_{17,22}^{max} pd_{17,22}^{1} + I_{17,22}^{0} - D_{17,22}^{1} \geq 0$$

………………………

$$I_{23,46}^{max} pd_{23,46}^{1} + I_{23,46}^{0} - D_{23,46}^{1} \geq 0$$

$t = 2, 3, 4,\ldots,14$

$$I_{16,16}^{max} pd_{16,16}^{t} + I_{16,16}^{t-1} - D_{16,16}^{t} \geq 0$$

$$I_{16,17}^{max} pd_{16,17}^{t} + I_{16,17}^{t-1} - D_{16,17}^{t} \geq 0$$

$$I_{17,18}^{max} pd_{17,18}^{t} + I_{17,18}^{t-1} - D_{17,18}^{t} \geq 0$$

$$I_{17,19}^{max} pd_{17,19}^{t} + I_{17,19}^{t-1} - D_{17,19}^{t} \geq 0$$

………………………

$$I_{17,22}^{max} pd_{17,22}^{t} + I_{17,22}^{t-1} - D_{17,22}^{t} \geq 0$$

………………………

$$I_{23,46}^{max} pd_{23,46}^{t} + I_{23,46}^{t-1} - D_{23,46}^{t} \geq 0$$

สมการที่ 4-17

$t = 1$

$$pd_{16,16}^{1} + pd_{16,17}^{1} \leq N_{16}g_{16}^{1}$$
$$pd_{17,18}^{1} + pd_{17,19}^{1} + \ldots + pd_{17,22}^{1} \leq N_{17}g_{17}^{1}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$pd_{23,43}^{1} + pd_{23,44}^{1} + \ldots + pd_{23,46}^{1} \leq N_{23}g_{23}^{1}$$

$t = 2, 3, 4, \ldots, 14$

$$pd_{16,16}^{t} + pd_{16,17}^{t} \leq N_{16}g_{16}^{t}$$
$$pd_{17,18}^{t} + pd_{17,19}^{t} + \ldots + pd_{17,22}^{t} \leq N_{17}g_{17}^{t}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$pd_{23,43}^{t} + pd_{23,44}^{t} + \ldots + pd_{23,46}^{t} \leq N_{23}g_{23}^{t}$$

สมการที่ 4-18

$t = 1$

$$WT_{1} - (P_{1}L_{1}g_{1}^{1} + P_{2}L_{2}g_{2}^{1} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{1}) \geq U - td_{1}$$

$t = 2, 3, 4, \ldots, 14$

$$WT_{t} - (P_{1}L_{1}g_{1}^{t} + P_{2}L_{2}g_{2}^{t} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{t}) \geq U - td_{t}$$

สมการที่ 4-19

$$\begin{aligned}(1/14)\ [(WT_{1} &- (P_{1}L_{1}g_{1}^{1} + P_{2}L_{2}g_{2}^{1} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{1}) \\ &+ (WT_{2} - (P_{1}L_{1}g_{1}^{2} + P_{2}L_{2}g_{2}^{2} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{2}) \\ &+ (WT_{2} - (P_{1}L_{1}g_{1}^{3} + P_{2}L_{2}g_{2}^{3} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{3}) \\ &+ \ldots + (WT_{2} - (P_{1}L_{1}g_{1}^{14} + P_{2}L_{2}g_{2}^{14} + \ldots + P_{23}L_{23}g_{23}^{14}) \quad \geq AvgEarl_{min}\end{aligned}$$

สมการที่ 4-20 เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจต่อไปนี้ให้เป็นตัวแปรแบบ binary

$$x_{1,1}^{1}, x_{2,2}^{1}, ..., x_{15,15}^{1}, x_{1,1}^{2}, x_{2,2}^{2}, ..., x_{15,15}^{2}, ..., x_{1,1}^{14}, x_{2,2}^{14}, ..., x_{15,15}^{14}$$

$$z_{16,16}^{1}, z_{16,17}^{1}, z_{17,18}^{1}, z_{17,19}^{1}, ..., z_{17,22}^{1}, z_{18,23}^{1}, z_{18,24}^{1}, ..., z_{23,46}^{1},$$

$$z_{16,16}^{2}, z_{16,17}^{2}, z_{17,18}^{2}, z_{17,19}^{2}, ..., z_{17,22}^{2}, z_{18,23}^{2}, z_{18,24}^{2}, ..., z_{23,46}^{2},$$

....

$$z_{16,16}^{14}, z_{16,17}^{14}, z_{17,18}^{14}, z_{17,19}^{14}, ..., z_{17,22}^{14}, z_{18,23}^{14}, z_{18,24}^{14}, ..., z_{23,46}^{14}$$

$$sc_{16,}^{1}, sc_{17}^{1}, ..., sc_{23}^{1}, sc_{16,}^{2}, sc_{17}^{2}, ..., sc_{23}^{2}, ..., sc_{16,}^{14}, sc_{17}^{14}, ..., sc_{23}^{14}$$

$$pd_{16,16}^{1}, pd_{16,17}^{1}, pd_{17,18}^{1}, pd_{17,19}^{1}, ..., pd_{17,22}^{1}, pd_{18,23}^{1}, pd_{18,24}^{1}, ..., pd_{23,46}^{1},$$

$$pd_{16,16}^{2}, pd_{16,17}^{2}, pd_{17,18}^{2}, pd_{17,19}^{2}, ..., pd_{17,22}^{2}, pd_{18,23}^{2}, pd_{18,24}^{2}, ..., pd_{23,46}^{2},$$

....

$$pd_{16,16}^{14}, pd_{16,17}^{14}, pd_{17,18}^{14}, pd_{17,19}^{14}, ..., pd_{17,22}^{14}, pd_{18,23}^{14}, pd_{18,24}^{14}, ..., pd_{23,46}^{14}$$

$$g_{1,}^{1}, g_{2}^{1}, ..., g_{23}^{1}, g_{1,}^{2}, g_{2}^{2}, ..., g_{23}^{2}, ..., g_{1,}^{14}, g_{2}^{14}, ..., g_{23}^{14} = binary$$

สมการที่ 4-21 เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจต่อไปนี้ให้มีค่าไม่ติดลบ

$$y_{16,16}^{1}, y_{16,17}^{1}, y_{17,18}^{1}, y_{17,19}^{1}, ..., y_{17,22}^{1}, y_{18,23}^{1}, y_{18,24}^{1}, ..., y_{23,46}^{1},$$

$$y_{16,16}^{2}, y_{16,17}^{2}, y_{17,18}^{2}, y_{17,19}^{2}, ..., y_{17,22}^{2}, y_{18,23}^{2}, y_{18,24}^{2}, ..., y_{23,46}^{2},$$

....

$$y_{16,16}^{14}, y_{16,17}^{14}, y_{17,18}^{14}, y_{17,19}^{14}, ..., y_{17,22}^{14}, y_{18,23}^{14}, y_{18,24}^{14}, ..., y_{23,46}^{14} \geq 0$$

ภาคผนวก ค

ลำดับชิ้นส่วนและข้อมูลการผลิต

				Parameter						
กลุ่มที่ i	*ชิ้นส่วนที่ j*	**Parts Name**	**Parts Number**	**Holding Cost (Cij) (บาทต่อชิ้นต่อกะการทำงาน)**	**Setup Cost (Si) (บาทต่อครั้ง)**	**Processing Time (Pi) (นาทีต่อชิ้น)**	**Rack Size (Rsi) (Rack Size, ชิ้น)**	**Remain (Ri) (ชิ้น)**	**Lot Size (Li) (ชิ้น)**	**Inventory max (Ii_max) (ชิ้น)**
1	1	FENDER FR (L/R)	343V/344V	0.11	1704	0.15	12	8	680	900
2	2	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	0.15	1704	0.14	37	19	870	1160
3	3	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	0.12	1704	0.18	42	30	660	880
4	4	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	0.13	1704	0.14	37	0	740	960
5	5	FENDER FR (L/R)	957V/958V	0.10	1704	0.16	12	0	564	680
6	6	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	0.15	1704	0.16	42	0	546	660
7	7	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	0.15	1704	0.16	35	0	560	680
8	8	RR DR INR (L/R) GA	021V/022V	0.20	1704	0.17	20	10	450	720
9	9	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	0.18	1704	0.16	40	30	870	1000
10	10	FR DOOR OTR (L/R)	759V/760V	0.17	1704	0.16	40	0	440	520
11	11	FR DOOR INR (L/R)	757V/758V	0.25	1704	0.15	35	30	450	520
12	12	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	0.15	1704	0.15	40	0	400	800
13	13	RR DOOR OTR (L/R)	317V/318V	0.19	1704	0.14	30	0	420	600
14	14	SIDE OTR (L)	663V	0.67	1704	0.19	12	0	180	240
15	15	SIDE OTR (R)	664V	0.68	1704	0.19	12	0	180	240
16	16	SIDE OTR (L)	141V	0.41	1704	0.14	12	0	660	880
	17	SIDE OTR (L)	557V	0.41		0.14	12	0	660	880
17	18	SIDE OTR (R)	558V	0.34	1704	0.14	12	0	660	880
	19	SIDE OTR (R)	144V	0.36		0.14	12	0	660	880
	20	SIDE OTR (R)	142V	0.36		0.14	12	0	660	880
	21	SIDE OTR (R)	346V	0.36		0.14	12	0	660	880
	22	SIDE OTR (R)	726V	0.34		0.14	12	0	660	880
18	23	SIDE OTR (L)	601V	0.37	1704	0.16	12	0	552	660
	24	SIDE OTR (L)	695V	0.39		0.16	12	0	552	660
19	25	SIDE OTR (R)	602V	0.39	1704	0.16	12	0	552	660
	26	SIDE OTR (R)	690V	0.39		0.16	12	0	552	660
	27	SIDE OTR (R)	734V	0.39		0.16	12	0	552	660
20	28	T/GATE OTR	393V	0.32	1704	0.15	25	0	400	660
	29	T/GATE OTR	394V	0.32		0.15	25	0	400	660
	30	T/GATE OTR	541V	0.32		0.15	25	0	400	660
	31	T/GATE OTR	546V	0.32		0.15	25	0	400	660
	32	T/GATE OTR	549V	0.32		0.15	25	0	400	660
	33	T/GATE OTR	714V	0.32		0.15	25	0	400	660
21	34	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	0.25	1704	0.14	20	10	750	900
	35	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	0.25		0.14	20	10	750	900
22	36	ROOF	859V	0.33	1704	0.17	12	4	400	800
	37	ROOF	860V	0.32		0.17	12	4	400	800
	38	ROOF	861V	0.30		0.17	12	4	400	800
	39	ROOF	862V	0.30		0.17	12	4	400	800
	40	ROOF	963V	0.30		0.17	12	4	400	800
	41	ROOF	964V	0.30		0.17	12	4	400	800
	42	ROOF	853V	0.30		0.17	12	4	400	800
23	43	FR DOOR OTR (L)	281V	0.14	1704	0.09	43	35	680	970
	44	FR DOOR OTR (L)	285V	0.13		0.09	43	35	680	970
	45	FR DOOR OTR (R)	282V	0.11		0.09	43	35	680	970
	46	FR DOOR OTR (R)	286V	0.12		0.09	43	35	680	970

ภาพภาคผนวก ค-1 ตารางลำดับชิ้นส่วนและข้อมูลการผลิต

ภาคผนวก ง

ตารางการผลิตของวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

Production Schedule									Shift	1			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
1	1	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	8:00 AM	9:27 AM	1	2	1	18	23
1	2	B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	1.7	9:27 AM	11:09 AM	2	3	1	1	1
1	3	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	11:09 AM	2:10 PM	3	3	2	2	2
1	4	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	2:10 PM	3:09 PM	4	3	3	12	12
1	5	F	ROOF	860V	72	0.2	3:09 PM	3:21 PM	5	3	4	22	37
1	6	F	ROOF	861V	60	0.17	3:21 PM	3:31 PM	6	3	5	22	38
1	7	F	ROOF	963V	96	0.27	3:31 PM	3:48 PM	7	3	6	22	40
1	8	F	ROOF	964V	28	0.08	3:48 PM	3:52 PM	8	3	7	22	41
1	9	F	ROOF	853V	144	0.41	3:52 PM	4:17 PM	9	3	8	22	42

Production Schedule									Shift	2			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
2	1	C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	1.5	8:00 PM	9:30 PM	1	1	1	6	6
2	2	C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	1.5	9:30 PM	11:00 PM	2	1	2	7	7
2	3	C	SIDE OTR (R)	602V	480	1.29	11:00 PM	1:17 AM	3	2	1	19	25
2	4	C	SIDE OTR (R)	690V	48	0.12	1:17 AM	1:24 AM	4	2	2	19	26
2	5	C	SIDE OTR (R)	734V	24	0.06	1:24 AM	1:28 AM	5	2	3	19	27
2	6	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	1:28 AM	3:00 AM	6	3	1	5	5
2	7	B	FR DOOR OTR (L)	281V	43	0.06	3:00 AM	3:04 AM	7	3	2	23	43
2	8	B	FR DOOR OTR (L)	285V	637	0.94	3:04 AM	4:00 AM	8	3	3	23	44
2	9	B	FR DOOR OTR (R)	282V	387	0.57	4:00 AM	4:34 AM	9	3	4	23	45
2	10	B	FR DOOR OTR (R)	286V	293	0.43	4:34 AM	5:00 AM	10	3	5	23	46

Production Schedule									Shift	3			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
3	1	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	8:00 AM	10:18 AM	1	1	1	9	9
3	2	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	710	1.71	10:18 AM	1:00 PM	2	2	1	21	34
3	3	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	40	0.09	1:00 PM	1:06 PM	3	2	2	21	35
3	4	B	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	740	1.7	1:06 PM	2:48 PM	4	3	1	4	4
3	5	B	SIDE OTR (L)	141V	504	1.14	2:48 PM	3:56 PM	5	3	2	16	16
3	6	B	SIDE OTR (L)	557V	156	0.35	3:56 PM	4:17 PM	6	3	3	16	17

Production Schedule									Shift	4			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
4	1	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	420	1.01	8:00 PM	9:00 PM	1	2	1	21	34
4	2	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	330	0.79	9:00 PM	9:48 PM	2	2	2	21	35
4	3	B	SIDE OTR (R)	142V	384	0.88	9:48 PM	10:40 PM	3	2	3	17	20
4	4	B	SIDE OTR (R)	346V	48	0.11	10:40 PM	10:47 PM	4	2	4	17	21
4	5	B	SIDE OTR (R)	558V	120	0.27	10:47 PM	11:03 PM	5	2	5	17	18
4	6	B	SIDE OTR (R)	726V	108	0.24	11:03 PM	11:18 PM	6	2	6	17	22
4	7	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	11:18 PM	2:19 AM	7	3	1	2	2
4	8	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	2:19 AM	4:37 AM	8	3	2	9	9

ภาพภาคผนวก ง-1 ตารางการผลิตของวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 Shift 1 – Shift 4

Production Schedule									Shift	5			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
5	1	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	8:00 AM	8:58 AM	1	1	1	12	12
5	2	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	8:58 AM	10:25 AM	2	2	1	18	23
5	3	B	FR DOOR OTR (L)	281V	43	0.06	10:25 AM	10:29 AM	3	2	2	23	43
5	4	B	FR DOOR OTR (L)	285V	637	0.94	10:29 AM	11:25 AM	4	2	3	23	44
5	5	B	FR DOOR OTR (R)	282V	387	0.57	11:25 AM	1:00 PM	5	2	4	23	45
5	6	B	FR DOOR OTR (R)	286V	293	0.43	1:00 PM	1:25 PM	6	2	5	23	46
5	7	B	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	660	1.96	1:25 PM	3:23 PM	7	3	1	3	3
5	8	C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	1.5	3:23 PM	4:53 PM	8	3	2	6	6
5	9	C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	1.5	4:53 PM	6:23 PM	9	3	3	7	7
5	10	E	FR DOOR OTR (L/R)	759V/760V	440	1.16	6:23 PM	7:33 PM	10	3	4	10	10
5	11	F	ROOF	860V	132	0.37	7:33 PM	7:55 PM	11	3	5	22	37
5	12	F	ROOF	963V	168	0.48	7:55 PM	8:24 PM	12	3	6	22	40
5	13	F	ROOF	964V	16	0.04	8:24 PM	8:26 PM	13	3	7	22	41
5	14	F	ROOF	853V	84	0.24	8:26 PM	8:40 PM	14	3	8	22	42

Production Schedule									Shift	6			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
6	1	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	8:40 PM	10:13 PM	1	1	1	5	5
6	2	C	SIDE OTR (R)	602V	420	1.12	10:13 PM	11:20 PM	2	2	1	19	25
6	3	C	SIDE OTR (R)	690V	48	0.12	11:20 PM	11:27 PM	3	2	2	19	26
6	4	C	SIDE OTR (R)	734V	84	0.22	11:27 PM	11:40 PM	4	2	3	19	27
6	5	E	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	420	1.01	11:40 PM	1:41 AM	5	2	4	21	34
6	6	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	330	0.79	1:41 AM	2:28 AM	6	2	5	21	35
6	7	B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	1.7	2:28 AM	4:10 AM	7	3	1	1	1
6	8	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	4:10 AM	5:09 AM	8	3	2	12	12

Production Schedule									Shift	7			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
7	1	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	8:00 AM	10:18 AM	1	1	1	9	9
7	2	B	FR DOOR OTR (L)	281V	43	0.06	10:18 AM	10:21 AM	2	2	1	23	43
7	3	B	FR DOOR OTR (L)	285V	637	0.94	10:21 AM	11:18 AM	3	2	2	23	44
7	4	B	FR DOOR OTR (R)	282V	387	0.57	11:18 AM	11:52 AM	4	2	3	23	45
7	5	B	FR DOOR OTR (R)	286V	293	0.43	11:52 AM	1:18 PM	5	2	4	23	46
7	6	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	1:18 PM	3:19 PM	6	3	1	2	2
7	7	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	590	1.42	3:19 PM	4:45 PM	7	3	2	21	34
7	8	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	160	0.38	4:45 PM	5:07 PM	8	3	3	21	35

Production Schedule									Shift	8			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
8	1	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	8:00 PM	10:18 PM	1	1	1	9	9
8	2	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	10:18 PM	11:45 PM	2	2	1	18	23
8	3	B	RR DOOR INR (L/R)	991V/992V	740	1.7	11:45 PM	2:27 AM	3	3	1	4	4
8	4	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	2:27 AM	3:59 AM	4	3	2	5	5
8	5	B	SIDE OTR (L)	141V	648	1.46	3:59 AM	5:27 AM	5	3	3	16	16
8	6	B	SIDE OTR (L)	557V	12	0.02	5:27 AM	5:28 AM	6	3	4	16	17
8	7	B	SIDE OTR (R)	142V	384	0.88	5:28 AM	6:21 AM	7	3	5	17	20
8	8	B	SIDE OTR (R)	346V	36	0.08	6:21 AM	6:25 AM	8	3	6	17	21
8	9	B	SIDE OTR (R)	726V	240	0.55	6:25 AM	6:58 AM	9	3	7	17	22
8	10	F	ROOF	860V	64	0.18	6:58 AM	7:09 AM	10	3	8	22	37
8	11	F	ROOF	862V	48	0.13	7:09 AM	7:17 AM	11	3	9	22	39
8	12	F	ROOF	963V	156	0.44	7:17 AM	7:43 AM	12	3	10	22	40
8	13	F	ROOF	964V	24	0.06	7:43 AM	7:47 AM	13	3	11	22	41
8	14	F	ROOF	853V	108	0.3	7:47 AM	8:05 AM	14	3	12	22	42

ภาพภาคผนวก ง-2 ตารางการผลิตของวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 Shift 5 – Shift 8

Production Schedule									Shift	9			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
9	1	C	RR DOOR OTR (L/R)	137V/138V	546	1.5	8:05 AM	9:35 AM	1	1	1	6	6
9	2	C	RR DOOR INR (L/R)	139V/140V	560	1.5	9:35 AM	11:05 AM	2	1	2	7	7
9	3	C	SIDE OTR (R)	602V	492	1.32	11:05 AM	1:24 PM	3	2	1	19	25
9	4	C	SIDE OTR (R)	690V	60	0.16	1:24 PM	1:34 PM	4	2	2	19	26
9	5	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	420	1.01	1:34 PM	2:34 PM	5	2	3	21	34
9	6	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	330	0.79	2:34 PM	3:22 PM	6	2	4	21	35
9	7	B	FR DOOR OTR (L)	281V	78	0.11	3:22 PM	3:28 PM	7	2	5	23	43
9	8	B	FR DOOR OTR (L)	285V	602	0.89	3:28 PM	4:22 PM	8	2	6	23	44
9	9	B	FR DOOR OTR (R)	282V	258	0.38	4:22 PM	4:45 PM	9	2	7	23	45
9	10	B	FR DOOR OTR (R)	286V	422	0.62	4:45 PM	5:22 PM	10	2	8	23	46

Production Schedule									Shift	10			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
10	1	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	8:00 PM	10:18 PM	1	1	1	9	9
10	2	B	FR DOOR INR (L/R)	679V/680V	870	2.03	10:18 PM	1:19 AM	2	3	1	2	2
10	3	B	RR DOOR OTR (L/R)	989V/990V	660	1.96	1:19 AM	3:17 AM	3	3	2	3	3
10	4	F	RR DOOR OTR (L/R)	261V/262V	400	0.98	3:17 AM	4:16 AM	4	3	3	12	12
10	5	E	RR DOOR OTR (L/R)	317V/318V	420	1	4:16 AM	5:16 AM	5	3	4	13	13
10	6	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	580	1.4	5:16 AM	6:40 AM	6	3	5	21	34
10	7	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	170	0.41	6:40 AM	7:04 AM	7	3	6	21	35
10	8	F	ROOF	860V	96	0.27	7:04 AM	7:21 AM	8	3	7	22	37
10	9	F	ROOF	963V	220	0.63	7:21 AM	7:58 AM	9	3	8	22	40
10	10	F	ROOF	964V	12	0.03	7:58 AM	8:00 AM	10	3	9	22	41
10	11	F	ROOF	853V	72	0.2	8:00 AM	8:12 AM	11	3	10	22	42

Production Schedule									Shift	11			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
11	1	B	FENDER FR (L/R)	343V/344V	680	1.7	8:12 AM	9:54 AM	1	1	1	1	1
11	2	C	SIDE OTR (L)	601V	552	1.45	9:54 AM	11:21 AM	2	3	1	18	23
11	3	B	FR DOOR OTR (L)	285V	680	1.01	11:21 AM	1:22 PM	3	3	2	23	44
11	4	B	FR DOOR OTR (R)	282V	602	0.89	1:22 PM	2:15 PM	4	3	3	23	45
11	5	B	FR DOOR OTR (R)	286V	78	0.11	2:15 PM	2:22 PM	5	3	4	23	46

Production Schedule									Shift	12			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j
12	1	C	FENDER FR (L/R)	957V/958V	564	1.54	8:00 PM	9:32 PM	1	1	1	5	5
12	2	D	FR DOOR OTR (L/R)	607V/608V	870	2.3	9:32 PM	11:50 PM	2	1	2	9	9
12	3	D	FR DOOR INR (L/R)	615V/616V	590	1.42	11:50 PM	2:15 AM	3	2	1	21	34
12	4	F	FR DOOR INR (L/R)	617V/618V	160	0.38	2:15 AM	2:38 AM	4	2	2	21	35

Production Schedule									Shift	13			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j

Production Schedule									Shift	14			
Shift	Seq.	Car Name	Parts Name	Parts No	Vol	Duration (Hrs)	Start	Finish	Seq.	case	th	i	j

ภาพภาคผนวก ง-3 ตารางการผลิตของวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 Shift 9 – Shift 14

ภาคผนวก จ

ข้อมูลนำเข้าสำหรับวางแผนการผลิตรายวัน

Input 1 แสดงเวลาการทำงาน (ชั่วโมง) ของกะทำงานในวันที่วางแผน

Input 2 แสดงปริมาณความต้องการ (ชิ้น) part j ในกะทำงาน t แทนด้วย

Input 3 แสดงปริมาณชิ้นส่วนคงคลัง (ชิ้น) ณ เวลาเริ่มผลิต

แผนการผลิตวันที่ 1/7/2560		Input 1														
Input2		8	11	8	8	11	11	11	11	11	11	8	8	0	0	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	1D	1N	3D	3N	4D	4N	5D	5N	6D	6N	7D	7N	8D	8N	Input 3
1	1	126	126	126	156	156	126	156	126	156	126	252	126	0	0	243
2	2	25	19	27	25	21	27	17	30	25	24	23	27	0	0	85
3	3	251	257	279	281	285	279	274	261	281	282	283	279	0	0	594
4	4	150	144	138	164	163	161	126	150	150	187	171	205	0	0	329
5	5	126	132	168	142	143	145	165	141	156	119	135	101	0	0	295
6	6	276	276	306	306	306	306	291	291	306	306	306	306	0	0	463
7	7	126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0	739
8	8	126	126	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	0	0	394
9	9	103	103	105	131	130	104	128	107	136	107	137	106	0	0	418
10	10	23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0	108
11	11	23	23	21	25	26	22	28	19	20	19	19	20	0	0	156
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	94	94	94	92	93	92	93	94	96	98	96	97	0	0	373
14	14	9	9	11	9	7	12	5	13	10	9	11	9	0	0	36
15	15	0	0	0	30	30	0	30	0	30	0	30	0	0	0	48
16	16	150	150	180	150	150	180	294	180	150	150	150	180	0	0	361
	17	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0	292
17	18	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	0	0	280
	19	150	150	180	150	150	180	150	180	150	150	150	180	0	0	84
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	127	141	134	135	137	135	138	133	135	135	138	133	0	0	266
	22	23	9	16	15	13	15	12	17	15	15	12	17	0	0	31
18	23	0	0	30	0	0	30	0	30	0	0	0	30	0	0	15
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	331	291	469	462	469	453	478	457	467	466	466	467	0	0	791
	32	301	291	334	297	304	288	343	292	362	301	331	302	0	0	666
	33	30	0	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	160
21	34	29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0	177
	35	29	39	26	33	26	42	17	38	28	29	29	28	0	0	414
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	0	0	57	49	46	42	59	31	40	28	39	29	27	0	84
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	0	0	50	60	60	64	50	73	71	77	71	79	77	0	93
	41	0	0	8	6	9	9	6	11	4	10	5	7	8	0	5
	42	0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	43
23	43	0	0	280	0	320	0	280	0	320	0	320	0	0	0	24
	44	0	0	30	0	60	0	60	0	60	0	60	0	0	0	248
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 ตารางข้อมูลนำเข้าสำหรับวางแผนการผลิตรายวัน

แผนการผลิตวันที่ 3/7/2560		Input 1														
Input2		8	8	11	11	11	11	11	11	8	8	0	0	8	8	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	3D	3N	4D	4N	5D	5N	6D	6N	7D	7N	8D	8N	10D	10N	Input 3
1	1	126	156	156	126	156	126	156	126	252	126	0	0	156	126	483
2	2	28	26	27	28	26	28	34	22	34	24	0	0	27	23	81
3	3	278	280	287	278	273	263	280	284	280	282	0	0	287	283	469
4	4	136	148	184	150	137	152	154	188	186	197	0	0	205	136	273
5	5	170	158	130	156	162	139	160	118	128	109	0	0	109	170	291
6	6	306	306	314	306	299	291	314	306	314	306	0	0	314	306	793
7	7	141	141	149	141	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	501
8	8	141	141	149	141	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	170
9	9	105	133	128	105	128	106	136	107	137	105	30	0	135	99	192
10	10	21	23	28	21	28	20	20	19	19	21	12	0	21	27	60
11	11	21	23	28	21	28	20	20	19	19	21	12	0	21	27	108
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	94	93	93	92	93	92	97	98	96	97	48	0	94	92	196
14	14	11	10	5	13	5	14	9	9	11	8	0	0	11	7	19
15	15	0	30	30	0	30	0	30	0	30	0	0	0	30	0	38
16	16	180	150	150	180	294	180	150	150	150	180	0	0	150	180	379
	17	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	36	0	165	165	405
17	18	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	36	0	165	165	476
	19	180	150	150	180	150	180	150	150	150	180	84	0	150	180	252
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	133	135	137	135	137	136	133	137	135	134	0	0	135	134	370
	22	17	15	13	15	13	14	17	13	15	16	60	0	15	16	41
18	23	30	0	0	30	0	30	0	0	0	30	0	0	0	30	41
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	457	469	461	470	453	478	458	465	466	468	0	0	466	466	1158
	32	322	304	296	305	318	313	353	300	331	303	0	0	331	301	673
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	397
21	34	38	26	34	25	42	17	37	30	29	27	0	0	29	29	570
	35	38	26	34	25	42	17	37	30	29	27	0	0	29	29	354
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	57	49	46	42	59	31	40	28	39	29	27	0	27	0	112
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	50	60	60	64	50	73	71	77	71	79	77	0	77	0	126
	41	8	6	9	9	6	11	4	10	5	7	8	0	8	0	14
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	0	0	111
23	43	280	0	320	0	280	0	320	0	320	0	0	0	320	0	24
	44	30	0	60	0	60	0	60	0	90	0	0	0	120	0	248
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 4/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	11	11	8	8	0	0	8	8	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	4D	4N	5D	5N	6D	6N	7D	7N	8D	8N	10D	10N	11D	11N	Input 3
1	1	156	126	156	126	156	126	252	126	0	0	156	126	252	126	349
2	2	24	29	28	25	36	23	33	25	0	0	25	24	21	32	78
3	3	290	277	271	266	278	283	281	281	0	0	289	282	285	274	540
4	4	187	143	144	150	153	186	193	184	0	0	210	148	145	179	315
5	5	127	163	155	141	161	120	121	122	0	0	104	158	161	127	313
6	6	314	306	299	291	314	306	314	306	0	0	314	306	306	306	201
7	7	149	141	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	156	156	235
8	8	149	141	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	156	156	592
9	9	126	105	128	105	137	106	138	105	30	0	135	100	138	109	348
10	10	30	21	28	21	19	20	18	21	12	0	21	26	18	17	96
11	11	30	21	28	21	19	20	18	21	12	0	21	26	18	17	120
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	93	92	92	93	96	97	98	95	48	0	96	91	100	99	340
14	14	3	13	6	12	11	9	10	10	0	0	9	9	8	10	33
15	15	30	0	30	0	30	0	30	0	0	0	30	0	30	0	65
16	16	150	180	294	180	150	150	150	180	0	0	150	180	150	180	428
	17	171	171	150	150	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	525
17	18	171	171	150	150	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	196
	19	150	180	150	180	150	150	150	180	84	0	150	180	150	180	348
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	138	134	136	137	133	136	135	135	0	0	135	135	143	130	182
	22	12	16	14	13	17	14	15	15	60	0	15	15	7	20	18
18	23	0	30	0	30	0	0	0	30	0	0	0	30	0	30	20
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	460	468	457	474	459	471	457	472	0	0	465	465	465	465	392
	32	295	303	322	309	354	306	322	307	0	0	330	300	300	300	544
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	300
21	34	35	27	38	21	36	24	38	23	0	0	30	30	30	30	514
	35	35	27	38	21	36	24	38	23	0	0	30	30	30	30	334
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	45	45	52	37	37	33	32	35	0	0	29	24	46	33	73
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	59	63	55	70	71	74	76	75	0	0	78	76	58	69	90
	41	11	7	8	8	7	8	7	5	0	0	8	15	11	13	20
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	90	0	0	0	142
23	43	320	0	280	0	320	0	320	0	0	0	320	0	320	0	122
	44	60	0	60	0	60	0	90	0	0	0	120	0	120	0	218
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 5/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	8	8	0	0	8	8	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	5D	5N	6D	6N	7D	7N	8D	8N	10D	10N	11D	11N	12D	12N	Input 3
1	1	156	126	156	126	252	126	0	0	156	126	252	126	156	126	594
2	2	30	22	37	24	33	24	0	0	26	24	19	33	12	28	57
3	3	269	269	277	282	281	282	0	0	288	282	287	273	294	278	497
4	4	159	158	150	188	199	179	0	0	211	151	144	171	158	130	339
5	5	150	143	164	118	115	127	0	0	103	155	162	135	148	176	254
6	6	309	301	314	306	314	306	0	0	314	306	306	306	306	306	421
7	7	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	156	156	156	156	544
8	8	149	141	149	141	149	141	0	0	149	141	156	156	156	156	342
9	9	130	104	136	107	137	106	30	0	135	101	136	108	132	114	587
10	10	26	22	20	19	19	20	12	0	21	25	20	18	24	12	117
11	11	26	22	20	19	19	20	12	0	21	25	20	18	24	12	72
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	93	93	96	96	98	96	48	0	95	93	98	98	96	99	167
14	14	7	11	10	11	9	10	0	0	10	8	8	10	6	15	17
15	15	30	0	30	0	30	0	0	0	30	0	30	0	30	0	32
16	16	294	180	150	150	150	180	0	0	150	180	150	180	150	150	659
	17	156	155	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	579
17	18	156	155	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	376
	19	150	180	150	150	150	180	84	0	150	180	150	180	150	150	461
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	135	139	131	137	134	136	0	0	135	134	144	130	136	136	263
	22	15	11	19	13	16	14	60	0	15	16	6	20	14	14	28
18	23	0	30	0	0	0	30	0	0	0	30	0	30	0	0	15
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	457	474	459	471	457	472	0	0	465	463	443	443	440	443	348
	32	322	309	354	306	322	307	0	0	330	298	278	278	275	278	323
	33	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	165	165	260
21	34	38	21	36	24	38	23	0	0	30	32	52	52	55	52	434
	35	38	21	36	24	38	23	0	0	30	32	52	52	55	52	254
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	51	37	37	32	34	37	0	0	27	23	44	36	39	41	95
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	57	71	69	76	73	73	0	0	80	78	59	67	63	57	151
	41	7	7	9	7	8	5	0	0	8	14	12	12	13	17	17
	42	90	0	90	0	90	0	0	0	90	0	0	0	0	0	134
23	43	280	0	320	0	320	0	0	0	320	0	320	0	320	0	162
	44	60	0	60	0	90	0	0	0	120	0	60	0	90	0	158
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 6/7/2560		Input 1														
Input2		8	11	0	0	11	11	11	11	11	11	11	11	8	8	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	7D	7N	8D	8N	10D	10N	11D	11N	12D	12N	13D	13N	14D	14N	Input 3
1	1	156	126	252	126	0	0	156	126	252	126	156	126	156	156	324
2	2	36	24	25	32	0	0	27	22	21	28	16	28	18	20	74
3	3	278	282	281	282	0	0	279	292	285	278	290	278	296	286	507
4	4	151	186	190	187	0	0	201	163	143	171	163	125	156	123	257
5	5	163	120	116	127	0	0	105	151	163	135	143	181	158	183	306
6	6	314	306	306	314	0	0	314	314	306	306	306	306	314	306	629
7	7	149	141	141	149	0	0	141	149	156	156	156	156	149	141	250
8	8	149	141	141	149	0	0	141	149	156	156	156	156	149	141	781
9	9	136	106	138	105	30	0	136	100	137	108	131	114	138	143	354
10	10	20	20	18	21	18	0	20	26	19	18	25	12	18	13	60
11	11	20	20	18	21	12	0	20	26	19	18	25	12	19	13	84
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	96	96	98	95	50	0	96	92	99	98	96	99	112	103	361
14	14	10	10	10	10	0	0	10	8	8	10	5	15	10	10	34
15	15	30	0	30	0	0	0	30	0	30	0	30	0	30	30	61
16	16	150	150	150	180	0	0	150	180	150	180	150	150	150	150	305
	17	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	165	165	324
17	18	165	165	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	165	165	485
	19	150	150	150	180	84	0	150	180	150	180	150	150	150	150	552
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	132	136	135	136	0	0	134	136	142	131	135	136	137	135	358
	22	18	14	15	14	60	0	16	14	8	19	15	14	13	15	41
18	23	0	0	0	30	0	0	0	30	0	30	0	0	0	0	20
	24	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	473	469	457	472	54	0	466	463	444	443	452	442	455	438	340
	32	368	304	322	307	54	0	331	298	279	278	287	277	290	273	184
	33	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	165	165	165	165	220
21	34	34	26	38	23	0	0	29	32	51	52	55	53	52	57	354
	35	34	26	38	23	0	0	29	32	51	52	55	53	52	57	214
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	37	32	34	37	0	0	27	23	44	36	39	41	48	42	20
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	69	76	73	73	0	0	80	78	59	67	63	57	59	65	42
	41	9	7	8	5	0	0	8	14	12	12	13	17	8	8	8
	42	90	0	90	0	0	0	90	0	0	0	0	0	0	0	58
23	43	320	0	320	0	0	0	320	0	320	0	320	0	320	0	192
	44	60	0	90	0	0	0	120	0	60	0	90	0	90	0	355
	45	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 7/7/2560		Input 1														
Input2		8	11	0	0	11	11	11	11	11	11	11	11	8	8	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	7D	7N	8D	8N	10D	10N	11D	11N	12D	12N	13D	13N	14D	14N	Input 3
1	1	252	126	0	0	156	126	252	126	156	126	156	156	252	156	680
2	2	26	32	0	0	25	24	21	28	16	26	21	17	30	15	64
3	3	280	282	0	0	281	290	285	278	290	280	293	289	276	299	483
4	4	209	196	0	0	196	175	140	167	175	112	170	111	143	158	258
5	5	112	133	0	0	110	139	166	139	131	194	144	195	163	156	288
6	6	321	329	0	0	314	314	306	306	306	306	314	306	306	314	916
7	7	149	149	0	0	141	149	156	156	156	156	149	141	141	149	358
8	8	149	149	0	0	141	149	156	156	156	156	149	141	141	149	522
9	9	137	106	30	0	134	102	134	109	132	112	140	141	141	142	540
10	10	19	20	18	0	22	24	22	17	24	14	16	15	15	14	120
11	11	19	20	12	0	22	24	22	17	24	14	17	15	15	14	48
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	97	95	50	0	96	93	96	100	96	98	113	101	101	104	176
14	14	10	11	0	0	8	9	8	9	6	14	11	10	10	8	15
15	15	30	0	0	0	30	0	30	0	30	0	30	30	30	30	31
16	16	150	180	0	0	150	180	150	180	150	150	150	150	150	150	569
	17	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	165	165	165	165	378
17	18	165	165	36	0	165	165	150	150	150	150	165	165	165	165	196
	19	150	180	84	0	150	180	150	180	150	150	150	150	150	150	276
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	134	137	0	0	134	135	142	131	135	137	136	139	126	137	99
	22	16	13	60	0	16	15	8	19	15	13	14	11	24	13	22
18	23	0	30	0	0	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	11
	24	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	457	472	54	0	465	463	443	443	452	443	454	438	452	441	237
	32	322	307	54	0	330	298	308	278	317	278	319	273	317	276	554
	33	165	165	0	0	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	340
21	34	38	23	0	0	30	32	52	52	55	52	53	57	55	54	314
	35	38	23	0	0	30	32	52	52	55	52	53	57	55	54	134
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	33	39	0	0	26	24	37	37	41	39	46	45	46	45	38
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	69	72	0	0	82	78	65	67	59	61	58	62	58	62	88
	41	13	4	0	0	7	13	13	11	15	15	11	8	11	8	8
	42	90	0	0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	57
23	43	320	0	0	0	320	0	320	0	320	0	320	0	320	0	204
	44	90	0	0	0	120	0	60	0	90	0	90	0	90	0	279
	45	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 10/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	10D	10N	11D	11N	12D	12N	13D	13N	14D	14N	15D	15N	17D	17N	Input 3
1	1	156	126	252	126	156	126	156	156	252	156	126	126	156	126	344
2	2	27	24	22	28	17	23	23	15	31	15	28	15	14	24	0
3	3	309	320	284	278	289	283	291	291	275	299	248	261	292	290	300
4	4	198	187	132	171	178	103	185	101	150	146	152	99	134	144	254
5	5	108	127	174	135	128	203	129	205	156	168	132	177	172	170	116
6	6	344	344	306	306	306	306	314	306	306	314	284	276	306	314	324
7	7	141	149	156	156	156	156	149	141	141	149	126	126	149	141	378
8	8	141	149	156	156	156	156	149	141	141	149	126	126	149	141	226
9	9	135	103	134	108	132	111	141	141	141	141	113	104	136	108	296
10	10	21	23	22	18	24	15	15	15	15	15	13	22	20	18	82
11	11	21	23	22	18	24	15	16	15	15	15	13	22	20	18	96
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	96	94	96	98	97	97	114	101	101	104	99	96	100	94	305
14	14	9	9	8	10	5	14	11	10	10	7	14	8	6	14	26
15	15	30	0	30	0	30	0	30	30	30	30	0	0	30	0	57
16	16	150	180	150	180	150	150	150	150	150	150	150	150	246	180	198
	17	165	165	150	150	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	504
17	18	165	165	150	150	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	306
	19	150	180	150	180	150	150	150	150	150	150	150	150	150	180	360
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	239
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	24
	24	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	50	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	465	461	442	445	452	443	454	435	455	440	280	276	444	446	1009
	32	330	296	307	280	317	278	319	270	320	275	280	276	309	281	383
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	237
21	34	30	34	53	50	55	52	53	60	52	55	50	54	51	49	240
	35	30	34	53	50	55	52	53	60	52	55	50	54	51	49	54
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	27	26	36	38	39	38	45	47	49	43	0	0	50	43	61
	38	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	82	76	67	66	60	63	57	61	58	63	0	0	58	58	153
	41	6	13	12	11	16	14	13	7	8	9	0	0	7	14	18
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	90	0	105
23	43	320	0	320	0	320	0	320	0	320	0	0	0	320	0	414
	44	120	0	60	0	90	0	120	0	90	0	90	0	90	0	139
	45	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	46	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 11/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	11D	11N	12D	12N	13D	13N	14D	14N	15D	15N	17D	17N	18D	18N	Input 3
1	1	252	126	156	126	156	156	252	156	126	126	156	126	252	156	744
2	2	22	27	19	22	23	15	31	15	28	15	15	22	30	19	86
3	3	284	279	287	284	291	291	275	299	248	261	291	292	276	287	386
4	4	136	169	178	104	181	103	153	141	157	97	135	142	188	121	172
5	5	185	152	128	202	133	203	153	173	127	179	171	172	126	185	212
6	6	321	321	306	306	314	306	306	314	284	276	306	314	314	306	555
7	7	156	156	156	156	149	141	141	149	126	126	149	141	141	141	235
8	8	156	156	156	156	149	141	141	149	126	126	149	141	141	141	645
9	9	135	108	133	110	140	141	142	141	113	104	135	109	142	134	93
10	10	21	18	23	16	16	15	14	15	13	22	21	17	14	22	58
11	11	21	18	23	16	17	15	14	15	13	22	21	17	14	22	72
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	97	98	97	97	113	101	101	105	99	96	98	96	99	97	127
14	14	8	10	6	13	11	10	11	6	14	8	7	13	13	7	12
15	15	30	0	30	0	30	30	30	30	0	0	30	0	30	30	23
16	16	150	180	150	150	150	150	150	150	150	150	246	180	150	180	492
	17	150	150	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	244
17	18	150	150	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	491
	19	150	180	150	150	150	150	150	150	150	150	150	180	150	180	564
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	297
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	15
	24	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	50	0	50	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	441	444	452	443	453	436	455	439	282	274	446	446	443	443	788
	32	306	279	317	278	318	271	320	274	282	274	311	281	278	278	215
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	177
21	34	54	51	55	52	54	59	52	56	48	56	49	49	52	52	160
	35	54	51	55	52	54	59	52	56	48	56	49	49	52	52	418
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	36	38	39	38	45	47	49	43	0	0	50	43	45	44	84
	38	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	67	66	60	63	57	61	58	63	0	0	58	58	59	51	144
	41	12	11	16	14	13	7	8	9	0	0	7	14	11	20	23
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	90	0	90	0	104
23	43	320	0	320	0	320	0	320	0	0	0	320	0	320	0	21
	44	60	0	90	0	120	0	90	0	90	0	90	0	90	0	30
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	49
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 12/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	8	8	11	11	11	11	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	12D	12N	13D	13N	14D	14N	15D	15N	17D	17N	18D	18N	19D	19N	Input 3
1	1	156	126	156	156	252	156	126	126	156	126	252	156	156	126	423
2	2	20	20	25	15	31	15	27	16	14	21	30	21	22	15	85
3	3	289	286	289	291	275	299	249	260	292	293	276	285	284	291	392
4	4	177	102	184	102	158	137	160	94	134	139	193	123	88	152	215
5	5	129	204	130	204	148	177	124	182	172	175	121	183	218	154	215
6	6	309	306	314	306	306	314	284	276	306	314	314	306	306	306	825
7	7	173	156	149	141	141	149	126	126	149	141	141	141	156	156	462
8	8	173	156	149	141	141	149	126	126	149	141	141	141	156	156	386
9	9	135	109	140	141	142	141	112	105	135	108	143	134	139	111	378
10	10	21	17	16	15	14	15	14	21	21	18	13	22	17	15	84
11	11	21	17	17	15	14	15	14	21	21	18	13	22	17	15	84
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	98	97	112	101	101	105	99	96	99	95	100	96	102	101	287
14	14	7	12	12	10	11	6	13	9	6	13	13	8	7	10	29
15	15	30	0	30	30	30	30	0	0	30	0	30	30	30	0	68
16	16	150	150	150	150	150	150	150	150	246	180	150	180	150	180	185
	17	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	462
17	18	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	211
	19	150	150	150	150	150	150	150	150	150	180	150	180	150	180	239
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	528
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0	30	0
	24	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	452	443	453	436	455	439	282	274	446	446	443	443	455	439	750
	32	317	278	318	271	320	274	282	274	311	281	278	278	320	274	100
	33	165	165	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	165	165	117
21	34	55	52	54	59	52	56	48	56	49	49	52	52	52	56	0
	35	55	52	54	59	52	56	48	56	49	49	52	52	52	56	318
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	40	38	46	45	48	45	0	0	50	42	45	44	43	35	114
	38	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	60	63	56	62	59	61	0	0	58	60	58	52	50	59	165
	41	15	14	13	8	8	9	0	0	7	13	12	19	22	21	30
	42	90	0	90	0	90	0	0	0	90	0	90	0	90	0	131
23	43	320	0	320	0	280	0	0	0	320	0	320	0	320	0	61
	44	90	0	120	0	90	0	90	0	120	0	120	0	120	0	0
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 13/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	8	8	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	13D	13N	14D	14N	15D	15N	17D	17N	18D	18N	19D	19N	20D	20N	Input 3
1	1	156	156	252	156	126	126	156	126	252	156	156	126	252	156	140
2	2	26	16	31	15	27	16	13	23	28	23	19	16	22	16	84
3	3	295	290	275	299	249	260	293	291	278	283	287	290	284	290	435
4	4	185	103	160	133	161	90	134	141	196	125	85	147	203	99	215
5	5	141	214	146	181	123	186	172	173	118	181	221	159	111	207	258
6	6	321	306	306	314	284	276	306	314	314	306	306	306	314	306	945
7	7	166	158	141	149	126	126	149	141	141	141	156	156	141	141	168
8	8	166	158	141	149	126	126	149	141	141	141	156	156	141	141	830
9	9	141	140	143	141	112	105	135	108	143	134	138	111	144	138	132
10	10	15	16	13	15	14	21	21	18	13	22	18	15	12	18	48
11	11	16	16	13	15	14	21	21	18	13	22	18	15	12	18	84
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	112	101	101	105	100	95	100	94	100	96	102	101	103	102	487
14	14	13	9	12	6	12	10	5	14	13	8	6	10	11	6	49
15	15	30	30	30	30	0	0	30	0	30	30	30	0	30	30	112
16	16	150	150	150	150	150	150	246	180	150	180	150	180	180	150	384
	17	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	168
17	18	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	411
	19	150	150	150	150	150	150	150	180	150	180	150	180	180	150	396
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	234
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0	30	30	0	0
	24	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	50	0	50	0	26
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	453	435	456	439	282	274	446	445	444	443	455	439	454	439	846
	32	318	270	321	274	282	274	311	280	279	278	320	274	289	274	210
	33	165	165	165	165	0	0	165	165	165	165	165	165	165	165	320
21	34	54	60	51	56	48	56	49	50	51	52	52	56	53	56	360
	35	54	60	51	56	48	56	49	50	51	52	52	56	53	56	218
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	47	44	48	46	0	0	50	43	44	45	42	35	42	35	142
	38	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	55	63	59	60	0	0	58	59	59	51	52	58	52	58	181
	41	13	8	8	9	0	0	7	13	12	19	21	22	21	22	22
	42	90	0	90	0	0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	137
23	43	320	0	280	0	0	0	320	0	320	0	320	0	320	0	141
	44	120	0	90	0	90	0	120	0	90	0	120	0	120	0	0
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 15/7/2560		Input 1														
Input2		10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	15D	15N	17D	17N	18D	18N	19D	19N	20D	20N	21D	21N	22D	22N	Input 3
1	1	126	126	156	126	252	156	156	126	252	156	126	126	126	126	608
2	2	27	16	13	23	27	24	19	16	22	16	42	53	35	19	129
3	3	255	265	293	291	279	282	287	290	284	290	264	253	241	257	344
4	4	159	92	132	143	194	125	85	148	205	97	195	144	135	102	172
5	5	125	184	174	171	120	181	221	158	109	209	119	162	141	182	172
6	6	284	281	306	314	314	306	306	306	314	306	314	306	276	284	521
7	7	140	139	149	141	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	504
8	8	140	139	149	141	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	252
9	9	113	105	135	108	142	135	138	112	142	139	105	99	93	92	174
10	10	13	21	21	18	14	21	18	14	14	17	21	27	33	34	36
11	11	13	21	21	18	14	21	18	14	14	17	21	27	33	34	132
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	13	101	95	100	94	100	96	102	102	101	103	63	54	69	74	400
14	14	12	10	5	14	12	9	6	10	11	6	42	45	24	18	43
15	15	0	0	30	0	30	30	30	0	30	30	0	0	0	0	49
16	16	150	150	246	180	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	341
	17	157	157	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	458
17	18	157	157	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	315
	19	150	150	150	180	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	330
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	166
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	0	0	30	0	30	0	30	30	0	0	30	0	0	8
	24	0	0	0	0	0	0	50	0	75	0	0	0	0	0	1
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	310	306	444	446	444	443	454	440	454	467	499	484	441	444	944
	32	280	276	309	281	279	278	319	275	289	302	334	319	321	324	120
	33	30	30	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	120	120	197
21	34	50	54	51	49	51	52	53	55	53	28	2	11	9	6	200
	35	50	54	51	49	51	52	53	55	53	28	2	11	9	6	445
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	0	0	45	50	44	43	39	40	40	27	9	16	16	15	84
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	0	0	59	57	56	58	53	55	52	65	75	74	69	69	104
	41	0	0	11	8	15	14	23	20	23	23	31	25	30	31	18
	42	0	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	0	0	98
23	43	0	0	320	0	320	0	320	0	280	0	200	0	0	0	21
	44	90	0	120	0	90	0	120	0	60	0	0	0	90	0	177
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 17/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	17D	17N	18D	18N	19D	19N	20D	20N	21D	21N	22D	22N	24D	24N	Input 3
1	1	156	126	252	156	156	126	252	156	126	126	126	126	126	156	416
2	2	12	24	27	24	17	19	19	19	40	54	35	17	11	18	126
3	3	294	290	279	282	289	287	287	287	266	252	241	259	295	288	502
4	4	132	143	195	130	85	144	205	101	190	151	136	99	145	116	293
5	5	174	171	119	176	221	162	109	205	124	155	140	185	161	198	258
6	6	306	314	314	306	306	306	314	306	314	306	276	284	306	314	824
7	7	149	141	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	341
8	8	149	141	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	703
9	9	135	108	142	135	138	112	143	138	105	100	93	92	86	125	482
10	10	21	18	14	21	18	14	13	18	21	26	33	34	40	31	72
11	11	21	18	14	21	18	14	13	18	21	26	33	34	39	29	108
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
13	13	100	94	99	97	102	101	103	101	65	53	70	76	77	82	225
14	14	5	14	13	8	6	11	10	7	40	47	23	16	9	13	21
15	15	30	0	30	30	30	0	30	30	0	0	0	0	0	30	55
16	16	246	180	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	605
	17	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	500
17	18	165	165	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	525
	19	150	180	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	444
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	395
	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	23	0	30	0	30	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	40
	24	0	0	0	0	50	0	75	0	0	0	0	0	0	0	1
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	445	447	443	443	454	440	454	469	499	484	440	325	485	483	1096
	32	310	282	278	278	319	275	289	304	334	319	320	325	320	318	242
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	120	0	165	165	177
21	34	50	48	52	52	53	55	53	26	2	11	10	5	10	12	120
	35	50	48	52	52	53	55	53	26	2	11	10	5	10	12	325
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	43	52	44	41	41	44	37	33	9	13	18	16	18	16	84
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40	62	55	56	61	52	50	56	61	76	75	67	71	67	71	105
	41	10	8	15	13	22	21	22	21	30	27	30	28	30	28	20
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	0	0	0	0	110
23	43	320	0	320	0	320	0	280	0	200	0	200	0	200	0	61
	44	120	0	90	0	120	0	60	0	0	0	0	0	0	0	87
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	199
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 18/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	11	11	8	8	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	18D	18N	19D	19N	20D	20N	21D	21N	22D	22N	24D	24N	25D	25N	Input 3
1	1	156	156	156	126	252	156	126	126	126	126	126	156	194	128	631
2	2	27	24	17	19	19	19	40	54	35	17	11	18	20	17	86
3	3	279	282	289	287	287	287	266	252	241	259	295	288	224	227	472
4	4	195	130	85	144	205	101	190	151	136	99	145	116	156	134	258
5	5	119	176	221	162	109	205	124	155	140	185	161	198	96	110	215
6	6	314	306	306	306	314	306	314	306	276	284	306	314	252	244	962
7	7	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	558
8	8	141	141	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	393
9	9	142	135	138	112	143	138	105	100	93	92	86	125	59	74	324
10	10	14	21	18	14	13	18	21	26	33	34	40	31	39	54	72
11	11	14	21	18	14	13	18	21	26	33	34	39	29	32	43	96
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7	11	0
13	13	99	97	102	101	103	101	65	53	70	76	77	82	49	37	378
14	14	13	8	6	11	10	7	40	47	23	16	9	13	10	7	36
15	15	30	30	30	0	30	30	0	0	0	0	0	30	0	30	90
16	16	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	246
	17	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	272
17	18	165	165	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	210
	19	150	180	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	234
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	131	130	134	140	136	133	144	131	127	144	144	131	99	106	426
	22	19	20	16	10	14	17	6	19	23	6	6	19	17	10	52
18	23	0	30	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	0	47
	24	0	0	50	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	45
	31	443	443	454	440	454	469	499	484	440	325	485	483	413	421	1082
	32	278	278	319	275	289	304	334	319	320	325	320	318	248	256	140
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	120	0	165	165	165	165	417
21	34	52	52	53	55	53	26	2	11	10	5	10	12	10	2	400
	35	52	52	53	55	53	26	2	11	10	5	10	12	10	2	225
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	44	40	44	43	35	37	9	13	16	17	17	44	17	44	103
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	40	56	63	48	52	57	56	79	74	70	66	68	67	68	67	135
	41	15	12	23	20	23	22	27	28	29	32	30	3	30	3	56
	42	90	0	90	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	201
23	43	320	0	320	0	280	0	200	0	280	0	320	0	320	0	60
	44	90	0	120	0	60	0	0	0	0	0	30	0	30	0	298
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	195
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 19/7/2560		Input 1														
Input2		8	11	11	11	8	8	11	11	8	11	8	8	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	19D	19N	20D	20N	21D	21N	22D	22N	24D	24N	25D	25N	26D	26N	Input 3
1	1	156	126	252	156	126	126	126	126	126	156	194	128	156	126	414
2	2	18	18	19	19	39	55	35	16	12	18	19	18	20	32	84
3	3	288	288	287	287	267	251	241	260	294	288	225	226	271	259	344
4	4	87	142	208	98	193	148	136	98	146	120	151	137	185	185	43
5	5	219	164	106	208	121	158	140	186	160	194	101	107	106	114	258
6	6	306	306	314	306	314	306	276	284	306	314	252	244	291	299	1036
7	7	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	126	126	294
8	8	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	126	126	798
9	9	138	112	143	139	104	100	94	92	85	126	60	72	102	46	546
10	10	18	14	13	17	22	26	32	34	41	30	38	56	54	80	84
11	11	18	14	13	17	22	26	32	34	40	28	32	44	45	61	60
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	6	12	9	19	0
13	13	102	101	103	102	65	52	71	77	75	83	50	35	58	41	214
14	14	6	11	10	7	39	48	23	15	10	13	10	7	14	5	33
15	15	30	0	30	30	0	0	0	0	0	30	0	30	30	0	41
16	16	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	180	180	446
	17	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	165	165	336
17	18	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	165	165	375
	19	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	180	180	252
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	133	141	136	133	144	131	127	144	144	130	100	105	135	134	494
	22	17	9	14	17	6	19	23	6	6	20	16	11	15	16	52
18	23	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	0	30	30	54
	24	50	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75	0	75	0	99
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	454	440	454	467	499	484	441	324	486	483	413	420	483	490	920
	32	319	275	289	302	334	319	321	324	321	318	248	255	318	325	498
	33	165	165	165	165	165	165	120	0	165	165	165	165	165	165	417
21	34	53	55	53	28	2	11	9	6	9	12	10	3	12	5	360
	35	53	55	53	28	2	11	9	6	9	12	10	3	12	5	125
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	41	44	34	42	8	13	21	0	16	17	47	53	38	37	126
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	40	51	51	58	53	79	73	86	0	72	66	66	61	70	72	169
	41	23	20	23	20	28	29	37	0	27	32	1	0	7	6	41
	42	90	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110
23	43	320	0	280	0	200	0	280	0	320	0	320	0	320	0	148
	44	120	0	60	0	0	0	0	0	30	0	30	0	30	0	208
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 20/7/2560		Input 1														
Input2		8	11	11	11	8	8	11	11	8	11	8	8	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	19D	19N	20D	20N	21D	21N	22D	22N	24D	24N	25D	25N	26D	26N	Input 3
1	1	156	126	252	156	126	126	126	126	126	156	194	128	156	126	414
2	2	18	18	19	19	39	55	35	16	12	18	19	18	20	32	84
3	3	288	288	287	287	267	251	241	260	294	288	225	226	271	259	344
4	4	87	142	208	98	193	148	136	98	146	120	151	137	185	185	43
5	5	219	164	106	208	121	158	140	186	160	194	101	107	106	114	258
6	6	306	306	314	306	314	306	276	284	306	314	252	244	291	299	1036
7	7	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	126	126	294
8	8	156	156	141	141	141	141	126	126	141	141	113	113	126	126	798
9	9	138	112	143	139	104	100	94	92	85	126	60	72	102	46	546
10	10	18	14	13	17	22	26	32	34	41	30	38	56	54	80	84
11	11	18	14	13	17	22	26	32	34	40	28	32	44	45	61	60
12	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	6	12	9	19	0
13	13	102	101	103	102	65	52	71	77	75	83	50	35	58	41	214
14	14	6	11	10	7	39	48	23	15	10	13	10	7	14	5	33
15	15	30	0	30	30	0	0	0	0	0	30	0	30	30	0	41
16	16	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	180	180	446
	17	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	165	165	336
17	18	150	150	165	165	165	165	150	150	165	165	131	131	165	165	375
	19	150	180	180	150	150	180	150	150	150	150	146	116	180	180	252
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	133	141	136	133	144	131	127	144	144	130	100	105	135	134	494
	22	17	9	14	17	6	19	23	6	6	20	16	11	15	16	52
18	23	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	0	30	30	54
	24	50	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	127
19	25	0	0	0	0	0	0	0	0	75	0	75	0	75	0	99
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	45
	31	454	440	454	467	499	484	441	324	486	483	413	420	483	490	920
	32	319	275	289	302	334	319	321	324	321	318	248	255	318	325	498
	33	165	165	165	165	165	165	120	0	165	165	165	165	165	165	417
21	34	53	55	53	28	2	11	9	6	9	12	10	3	12	5	360
	35	53	55	53	28	2	11	9	6	9	12	10	3	12	5	125
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	41	44	34	42	8	13	21	0	16	17	47	53	38	37	126
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	40	51	51	58	53	79	73	86	0	72	66	66	61	70	72	169
	41	23	20	23	20	28	29	37	0	27	32	1	0	7	6	41
	42	90	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110
23	43	320	0	280	0	200	0	280	0	320	0	320	0	320	0	148
	44	120	0	60	0	0	0	0	0	30	0	30	0	30	0	208
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 24/7/2560		Input 1														
Input2		**11**	**11**	**8**	**8**	**11**	**11**	**11**	**11**	**8**	**8**	**11**	**11**	**8**	**11**	
กลุ่มที่ i	**ชิ้นส่วนที่ j**	**24D**	**24N**	**25D**	**25N**	**26D**	**26N**	**27D**	**27N**	**28D**	**28N**	**29D**	**29N**	**31D**	**31N**	**Input 3**
1	1	126	156	194	128	156	126	210	156	126	126	126	126	126	126	581
2	2	15	17	20	18	20	32	37	16	20	33	6	46	29	75	43
3	3	291	289	224	226	271	259	239	260	286	258	270	230	247	201	172
4	4	149	118	151	138	184	184	196	125	194	199	144	193	149	180	215
5	5	157	196	101	106	107	115	88	151	127	100	140	91	127	96	0
6	6	306	314	252	244	291	299	284	276	291	299	284	284	276	276	222
7	7	141	141	113	113	126	126	126	126	136	126	126	126	126	126	168
8	8	141	141	113	113	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	407
9	9	86	125	61	74	101	47	55	99	77	49	73	49	64	82	375
10	10	40	31	37	54	55	79	71	57	49	77	53	77	62	44	288
11	11	39	29	31	42	46	60	50	48	42	57	52	53	47	33	269
12	12	1	2	6	12	9	19	21	9	7	20	1	24	15	11	43
13	13	73	83	50	37	57	42	50	56	64	41	66	35	54	63	290
14	14	13	12	11	7	14	5	5	13	13	8	7	14	10	19	55
15	15	0	30	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0	87
16	16	246	150	146	116	180	180	150	150	180	150	150	150	150	180	270
	17	165	165	131	131	165	165	150	150	165	165	150	150	150	150	378
17	18	165	165	131	131	165	165	150	150	165	165	150	150	150	150	134
	19	150	150	146	116	180	180	154	150	180	150	150	150	150	180	43
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	144	130	100	105	135	134	128	146	135	136	139	134	135	97	246
	22	6	20	16	11	15	16	22	4	15	14	11	16	15	53	27
18	23	0	0	30	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	15
	24	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	31	483	492	413	417	480	490	482	491	467	472	0	0	472	461	1167
	32	348	327	278	252	315	325	347	326	347	322	0	0	352	311	506
	33	165	165	165	165	165	165	165	165	150	150	0	0	150	150	280
21	34	12	3	10	6	15	5	13	4	13	8	0	0	8	19	120
	35	12	3	10	6	15	5	13	4	13	8	0	0	8	19	332
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	17	16	46	52	39	36	37	41	43	29	0	0	44	56	60
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1
	40	69	68	66	62	70	72	66	66	60	73	0	0	60	52	153
	41	29	31	2	0	6	7	12	8	12	13	0	0	11	4	32
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	60	0	93
23	43	320	0	360	0	360	0	360	0	360	0	0	0	320	0	120
	44	30	0	0	0	30	0	0	0	60	0	0	0	60	0	28
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
	46	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 25/7/2560		Input 1														
Input2		8	8	11	11	11	11	8	8	11	11	8	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	25D	25N	26D	26N	27D	27N	28D	28N	29D	29N	31D	31N	1D	1N	Input 3
1	1	194	128	156	126	210	156	126	126	126	126	98	98	116	116	287
2	2	20	18	21	31	36	16	22	31	6	47	14	48	96	58	97
3	3	224	226	270	260	240	260	284	260	270	229	200	166	167	205	76
4	4	151	140	182	189	192	123	199	196	141	200	114	135	165	134	86
5	5	101	104	109	110	92	153	122	103	143	84	100	79	98	129	129
6	6	252	244	291	299	284	276	291	299	284	284	214	214	263	263	500
7	7	113	113	126	126	126	126	136	126	126	126	98	98	116	116	533
8	8	113	113	126	126	126	126	126	126	126	126	98	98	116	116	148
9	9	58	75	101	46	56	101	74	50	72	53	50	54	87	89	201
10	10	40	53	55	80	70	55	52	76	54	73	48	44	29	27	192
11	11	33	42	44	63	49	46	43	58	53	49	41	29	15	13	169
12	12	7	11	11	17	21	9	9	18	1	24	7	15	14	14	47
13	13	48	37	58	41	51	57	62	42	65	38	42	44	65	68	140
14	14	10	8	13	5	5	14	12	8	7	15	8	10	22	21	26
15	15	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	44
16	16	146	116	180	180	150	150	180	150	150	150	116	146	147	147	380
	17	141	141	165	165	150	150	165	165	150	150	116	116	147	147	538
17	18	141	141	165	165	150	150	165	165	150	150	116	116	147	147	269
	19	146	116	180	180	154	150	180	150	150	150	116	146	147	147	264
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	101	103	137	132	130	146	134	137	139	133	108	83	87	121	360
	22	15	13	13	18	20	4	16	13	11	17	8	33	60	26	45
18	23	30	0	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	69
	24	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	25	0	25	0	75
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
20	28	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	31	414	417	479	490	483	490	468	472	0	0	472	461	418	423	197
	32	279	252	314	325	348	325	348	322	0	0	352	311	298	303	565
	33	165	165	165	165	165	165	150	150	0	0	150	150	120	120	197
21	34	9	6	16	5	12	5	12	8	0	0	8	19	32	27	120
	35	9	6	16	5	12	5	12	8	0	0	8	19	32	27	332
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	46	52	39	36	37	41	43	29	0	0	44	56	46	52	111
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	2
	40	66	62	70	72	66	66	60	73	0	0	60	52	66	62	160
	41	2	0	6	7	12	8	12	13	0	0	11	4	2	0	8
	42	90	0	90	0	90	0	90	0	0	0	60	0	90	0	189
23	43	360	0	360	0	360	0	360	0	0	0	320	0	320	0	340
	44	0	0	30	0	0	0	60	0	0	0	60	0	60	0	373
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	106
	46	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	56

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 26/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	11	11	8	8	11	11	8	11	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	26D	26N	27D	27N	28D	28N	29D	29N	31D	31N	1D	1N	2D	2N	Input 3
1	1	156	126	210	156	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	593
2	2	20	31	36	16	22	31	6	47	15	49	95	57	76	86	105
3	3	271	260	240	260	284	260	270	229	199	165	168	206	199	189	289
4	4	181	191	192	121	202	196	138	203	112	137	165	131	129	153	311
5	5	110	108	92	155	119	103	146	81	102	77	98	132	146	122	171
6	6	291	299	284	276	291	299	284	284	214	214	263	263	275	275	899
7	7	126	126	126	126	136	126	126	126	98	98	116	116	121	121	357
8	8	126	126	126	126	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	666
9	9	101	46	56	101	74	50	72	53	50	54	87	89	85	103	75
10	10	55	80	70	55	52	76	54	73	48	44	29	27	36	18	96
11	11	44	63	49	46	43	58	53	49	41	29	15	13	20	16	94
12	12	11	17	21	9	9	18	1	24	7	15	14	14	16	2	26
13	13	58	41	51	57	62	42	65	38	42	44	65	68	60	84	80
14	14	13	5	5	14	12	8	7	15	8	10	22	21	25	19	16
15	15	30	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
16	16	180	180	150	150	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	122
	17	165	165	150	150	165	165	150	150	116	116	147	147	154	154	366
17	18	165	165	150	150	165	165	150	150	116	116	147	147	154	154	584
	19	180	180	154	150	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	0
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	138	132	130	146	134	137	139	133	107	82	87	123	115	88	157
	22	12	18	20	4	16	13	11	17	9	34	60	24	39	66	17
18	23	30	30	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30
	24	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	75	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	25
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	31	481	490	482	490	469	472	0	0	470	462	420	421	417	427	202
	32	316	325	347	325	349	322	0	0	350	312	300	301	297	307	454
	33	165	165	165	165	150	150	0	0	150	150	120	120	120	120	257
21	34	14	5	13	5	11	8	0	0	10	18	30	29	33	23	80
	35	14	5	13	5	11	8	0	0	10	18	30	29	33	23	312
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	35	32	46	37	34	40	0	0	56	47	50	69	85	86	99
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1	1	5	0	0	0
	40	73	73	60	67	68	62	0	0	52	62	64	21	10	11	181
	41	7	10	9	11	13	13	0	0	4	5	0	20	20	18	26
	42	90	0	90	0	90	0	0	0	60	0	0	0	0	0	183
23	43	360	0	360	0	360	0	0	0	320	0	400	0	400	0	266
	44	30	0	0	0	60	0	0	0	60	0	60	0	60	0	388
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 27/7/2560		Input 1														
Input2		11	11	8	8	11	11	8	11	11	11	11	11	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	27D	27N	28D	28N	29D	29N	31D	31N	1D	1N	2D	2N	3D	3N	Input 3
1	1	210	156	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	348
2	2	36	16	21	32	6	47	15	48	95	57	75	88	79	96	117
3	3	240	260	285	259	270	229	199	166	168	206	200	187	196	179	284
4	4	191	121	201	196	139	202	113	137	165	131	128	155	124	154	211
5	5	93	155	120	103	145	82	101	77	98	132	147	120	151	121	129
6	6	284	276	291	299	284	284	214	214	263	263	275	275	275	275	270
7	7	126	126	136	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	759
8	8	126	126	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	407
9	9	56	101	75	49	72	53	50	54	87	90	84	103	103	100	222
10	10	70	55	51	77	54	73	48	44	29	26	37	18	18	21	252
11	11	49	46	43	58	53	49	41	29	15	13	20	16	18	13	179
12	12	21	9	8	19	1	24	7	15	14	13	17	2	0	8	49
13	13	51	58	62	41	65	38	42	44	65	69	60	83	63	68	205
14	14	5	13	13	8	7	15	8	10	22	21	24	20	40	32	39
15	15	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
16	16	150	150	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	154	154	326
	17	164	164	165	165	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	472
17	18	164	164	165	165	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	267
	19	154	150	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	154	154	180
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	130	146	134	137	139	133	107	83	87	122	116	87	113	98	370
	22	20	4	16	13	11	17	9	33	60	25	38	67	41	56	36
18	23	0	0	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	20
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	31	483	490	468	472	0	0	472	461	418	423	417	426	415	431	902
	32	348	325	348	322	0	0	352	311	298	303	297	306	295	311	274
	33	165	165	150	150	0	0	150	150	120	120	120	120	120	120	127
21	34	12	5	12	8	0	0	8	19	32	27	33	24	35	19	80
	35	12	5	12	8	0	0	8	19	32	27	33	24	35	19	292
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	36	48	25	46	0	0	55	47	53	72	91	79	74	69	92
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	0	0	0	0	3	1	3	3	0	0	0	0	0
	40	71	57	76	56	0	0	53	64	56	18	8	17	25	24	172
	41	8	10	14	13	0	0	4	3	3	22	16	19	16	22	32
	42	90	0	90	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	177
23	43	360	0	360	0	0	0	320	0	400	0	360	0	400	0	296
	44	0	0	60	0	0	0	60	0	60	0	60	0	60	0	358
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 28/7/2560		Input 1														
Input2		8	8	11	11	8	11	11	11	11	11	11	11	8	8	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	28D	28N	29D	29N	31D	31N	1D	1N	2D	2N	3D	3N	4D	4N	Input 3
1	1	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	121	121	482
2	2	18	33	8	43	12	37	98	61	76	91	68	90	91	81	96
3	3	288	258	268	233	202	177	165	202	199	184	207	185	184	194	277
4	4	180	199	156	180	131	121	174	133	121	152	128	153	126	140	139
5	5	141	100	128	104	83	93	89	130	154	123	147	122	149	135	211
6	6	291	299	284	284	214	214	263	263	275	275	275	275	275	275	570
7	7	136	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	121	121	545
8	8	126	126	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	121	121	185
9	9	75	52	73	48	54	46	87	95	105	98	84	96	109	101	114
10	10	51	74	53	78	44	52	29	21	16	23	37	25	12	20	120
11	11	44	54	52	55	40	34	16	10	16	15	20	19	10	9	86
12	12	7	20	1	23	4	18	13	11	0	8	17	6	2	11	22
13	13	64	44	64	36	45	38	65	74	69	70	60	77	74	74	161
14	14	11	8	9	12	9	8	22	21	36	28	24	19	35	27	31
15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	16	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	154	154	154	154	581
	17	187	187	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	154	154	110
17	18	187	187	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	154	154	445
	19	180	150	150	150	116	146	147	147	154	154	154	154	154	154	374
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	137	136	137	135	108	93	84	116	112	99	123	87	98	105	497
	22	13	14	13	15	8	23	63	31	42	55	31	67	56	49	51
18	23	30	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	27
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	0	0	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	31	469	472	0	0	468	466	420	421	417	426	414	431	411	421	681
	32	349	322	0	0	348	316	300	301	297	306	294	311	291	301	604
	33	150	150	0	0	150	150	120	120	120	120	120	120	120	120	319
21	34	11	8	0	0	12	14	30	29	33	24	36	19	39	29	40
	35	11	8	0	0	12	14	30	29	33	24	36	19	39	29	272
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	43	71	0	0	60	81	106	109	100	69	99	83	93	80	111
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	3	0	0	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	4
	40	92	67	0	0	85	50	17	20	26	52	30	55	50	64	155
	41	15	9	0	0	4	13	27	21	24	29	21	12	7	6	31
	42	90	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	169
23	43	360	0	0	0	320	0	400	0	360	0	400	0	400	0	320
	44	60	0	0	0	60	0	60	0	60	0	60	0	60	0	358
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

แผนการผลิตวันที่ 29/7/2560		Input 1														
Input2		8	10	8	8	11	11	11	11	11	11	8	8	11	11	
กลุ่มที่ i	ชิ้นส่วนที่ j	29D	29N	31D	31N	1D	1N	2D	2N	3D	3N	4D	4N	5D	5N	Input 3
1	1	126	126	98	98	116	116	121	151	151	121	151	151	151	151	254
2	2	15	35	20	27	87	71	62	95	72	92	92	80	87	83	90
3	3	261	241	194	187	176	192	213	180	203	183	183	195	188	192	174
4	4	176	158	147	108	177	130	138	153	120	147	139	132	136	131	170
5	5	108	126	67	106	86	133	137	122	155	128	136	143	139	144	73
6	6	284	284	214	214	263	263	275	275	275	275	275	275	275	275	885
7	7	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	121	121	121	121	325
8	8	126	126	98	98	116	116	121	121	121	121	121	121	121	121	666
9	9	67	57	50	41	85	94	86	122	134	99	136	135	130	124	236
10	10	59	69	48	57	31	22	35	29	17	22	15	16	21	27	228
11	11	53	50	40	43	20	8	20	18	17	16	11	9	9	16	162
12	12	6	19	8	14	11	14	15	11	0	6	4	7	12	11	54
13	13	57	48	39	35	64	72	64	70	72	69	71	79	76	67	189
14	14	10	9	11	6	21	22	22	22	32	30	35	26	24	27	47
15	15	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0	30	30	30	30	0
16	16	150	150	116	146	177	177	184	184	154	184	154	184	154	184	288
	17	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	154	154	154	154	300
17	18	150	150	116	116	147	147	154	154	154	154	154	154	154	154	95
	19	150	150	116	116	177	177	184	184	154	184	154	184	154	184	498
	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21	137	137	104	100	88	111	127	89	110	98	99	104	99	107	230
	22	13	13	12	16	59	36	27	65	44	56	55	50	55	47	46
18	23	0	0	0	0	30	30	30	30	0	30	0	30	0	30	12
	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	25	0	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99
	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
20	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	31	0	0	466	473	448	453	445	455	444	461	440	452	451	448	521
	32	0	0	346	323	328	303	325	305	354	311	320	302	301	298	535
	33	0	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	156
21	34	0	0	14	7	32	27	35	25	36	19	40	28	29	32	40
	35	0	0	14	7	32	27	35	25	36	19	40	28	29	32	252
22	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	37	0	0	61	76	102	112	98	78	90	86	98	78	0	0	190
	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	39	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
	40	0	0	83	59	19	16	29	44	38	50	46	65	0	0	128
	41	0	0	5	10	28	22	23	28	22	14	6	7	0	0	30
	42	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41
23	43	0	0	320	0	400	0	360	0	400	0	400	0	0	0	160
	44	0	0	60	0	60	0	60	0	60	0	60	0	0	0	298
	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	145
	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95

ภาพภาคผนวก จ-1 (ต่อ)

ภาคผนวก ฉ

รายละเอียดผลลัพธ์และเวลาการประมวลผลของแบบจำลอง

ตารางภาคผนวก ฉ-1 เวลาสูงสุดที่น้อยที่สุด (Model MinMaxTardiness)

แผนการผลิต	Optimal Solution (นาที)	เวลาประมวลผล (วินาที)
1 กรกฎาคม 2560	219	0.81
3 กรกฎาคม 2560	220	3.47
4 กรกฎาคม 2560	198	2.41
5 กรกฎาคม 2560	323	0.55
6 กรกฎาคม 2560	396	0.81
7 กรกฎาคม 2560	235	0.61
10 กรกฎาคม 2560	370	2.36
11 กรกฎาคม 2560	206	0.8
12 กรกฎาคม 2560	259	1.08
13 กรกฎาคม 2560	297	0.8
15 กรกฎาคม 2560	88	1.33
17 กรกฎาคม 2560	201	0.67
18 กรกฎาคม 2560	251	6.13
19 กรกฎาคม 2560	121	0.67
20 กรกฎาคม 2560	318	0.78
24 กรกฎาคม 2560	337	1.81
25 กรกฎาคม 2560	268	2.08
26 กรกฎาคม 2560	230	0.73
27 กรกฎาคม 2560	351	0.78
28 กรกฎาคม 2560	430	0.58
29 กรกฎาคม 2560	92	0.72
เวลารวมเฉลี่ย	**258**	**1.43**

หมายเหตุ: ตัวแปรตัดสินใจจำนวนจริง 15 ตัวแปร และจำนวนเต็ม 1,694 ตัวแปร (1,260 binary) จำนวนเงื่อนไขบังคับ 3,112 สมการ

ตารางภาคผนวก ฉ-2 ผลรวมเวลาสายแบบถ่วงน้ำหนักที่น้อยที่สุด (Model Min TWT)

แผนการผลิต	Optimal Solution (นาที)	เวลาประมวลผล (วินาที)
1 กรกฎาคม 2560	2490	0.7
3 กรกฎาคม 2560	2760	2
4 กรกฎาคม 2560	960	5.4
5 กรกฎาคม 2560	1287	28.09
6 กรกฎาคม 2560	7145	300.01
7 กรกฎาคม 2560	2880	5.36
10 กรกฎาคม 2560	2370	3.45
11 กรกฎาคม 2560	3376	0.86
12 กรกฎาคม 2560	3226	1.69
13 กรกฎาคม 2560	6300	0.61
15 กรกฎาคม 2560	514	2.16
17 กรกฎาคม 2560	566	1.51
18 กรกฎาคม 2560	959	4.59
19 กรกฎาคม 2560	2161	0.67
20 กรกฎาคม 2560	8941	3.26
24 กรกฎาคม 2560	4739	2.62
25 กรกฎาคม 2560	6659	2.34
26 กรกฎาคม 2560	2560	2.28
27 กรกฎาคม 2560	5426	1.08
28 กรกฎาคม 2560	6634	0.48
29 กรกฎาคม 2560	1751	0.55
เวลารวมเฉลี่ย	**3510**	**17.61**

หมายเหตุ: ตัวแปรตัดสินใจจำนวนจริง 14 ตัวแปร และจำนวนเต็ม 1,694 ตัวแปร (1,260 binary)
จำนวนเงื่อนไขบังคับ 3,112 สมการ

ตารางภาคผนวก ฉ-3 เวลาผลิตเสร็จเฉลี่ยก่อนการส่งมอบสูงสุด (Model Max AvgEarliness)

แผนการผลิต	**Optimal Solution (ชั่วโมง)**	**เวลาประมวลผล (วินาที)**
1 กรกฎาคม 2560	6.4	1.55
3 กรกฎาคม 2560	6.2	1.46
4 กรกฎาคม 2560	6.2	1.28
5 กรกฎาคม 2560	6.2	4.84
6 กรกฎาคม 2560	5.4	1.92
7 กรกฎาคม 2560	6.6	2.39
10 กรกฎาคม 2560	7	2.68
11 กรกฎาคม 2560	7.1	0.53
12 กรกฎาคม 2560	6.8	2.56
13 กรกฎาคม 2560	6.5	0.58
15 กรกฎาคม 2560	7.7	0.67
17 กรกฎาคม 2560	7.8	0.44
18 กรกฎาคม 2560	6.6	6.38
19 กรกฎาคม 2560	6.2	0.49
20 กรกฎาคม 2560	5.3	1.84
24 กรกฎาคม 2560	5.8	1.02
25 กรกฎาคม 2560	6.5	2.06
26 กรกฎาคม 2560	7.4	3.09
27 กรกฎาคม 2560	7.1	0.8
28 กรกฎาคม 2560	7	0.61
29 กรกฎาคม 2560	7.1	1.25
เวลารวมเฉลี่ย	**7**	**1.83**

หมายเหตุ: ตัวแปรตัดสินใจจำนวนเต็ม 1,694 ตัวแปร (1,260 binary)

จำนวนเงื่อนไขบังคับ 3,098 สมการ

ตารางภาคผนวก ฉ-4 ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด (Model Min TC)

แผนการผลิต	**BFS (บาท)**	**LB (บาท)**	**เวลาประมวลผล (วินาที)**	**หมายเหตุ**
1 กรกฎาคม 2560	125,452	125,452	1.14	Optimal Solution
3 กรกฎาคม 2560	135,274	135,274	1.41	Optimal Solution
4 กรกฎาคม 2560	135,650	135,650	1.41	Optimal Solution
5 กรกฎาคม 2560	130,488	130,488	7.71	Optimal Solution
6 กรกฎาคม 2560	130,159	130,159	3.53	Optimal Solution
7 กรกฎาคม 2560	138,236	138,236	2.33	Optimal Solution
10 กรกฎาคม 2560	161,299	161,299	28.93	Optimal Solution
11 กรกฎาคม 2560	149,047	149,047	3.45	Optimal Solution
12 กรกฎาคม 2560	149,968	149,968	7.66	Optimal Solution
13 กรกฎาคม 2560	153,691	153,691	4.06	Optimal Solution
15 กรกฎาคม 2560	147,369	147,369	6.75	Optimal Solution
17 กรกฎาคม 2560	148,028	148,028	11.77	Optimal Solution
18 กรกฎาคม 2560	151,630	151,630	22.55	Optimal Solution
19 กรกฎาคม 2560	149,048	149,048	1.06	Optimal Solution
20 กรกฎาคม 2560	148,838	148,838	7.07	Optimal Solution
24 กรกฎาคม 2560	140,731	140,731	5.56	Optimal Solution
25 กรกฎาคม 2560	137,161	137,161	5.96	Optimal Solution
26 กรกฎาคม 2560	137,689	137,689	29.33	Optimal Solution
27 กรกฎาคม 2560	134,504	134,504	4.3	Optimal Solution
28 กรกฎาคม 2560	132,564	132,564	10.9	Optimal Solution
29 กรกฎาคม 2560	142,544	142,544	2.81	Optimal Solution
ค่าเฉลี่ย	**141,875**	**141,875**	**8.08**	

หมายเหตุ: ตัวแปรตัดสินใจจำนวนเต็ม 1,694 ตัวแปร (1,260 binary)

จำนวนเงื่อนไขบังคับ 3,099 สมการ, BS = Best Solution, LB = Lower Bound