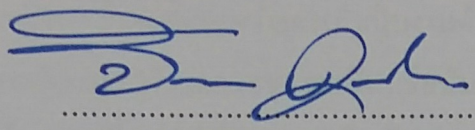
การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์

อารดา ไชยโคตร

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
สิงหาคม 2561
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ อารดา ไชยโคตร ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

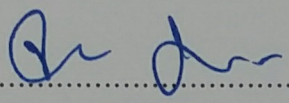
คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์



.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

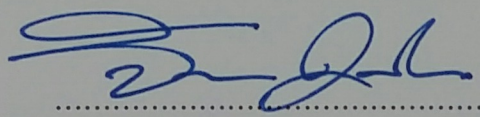
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์



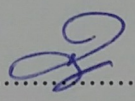
.....ประธาน

(ดร. จิตติ พัทธวณิช)



.....กรรมการ

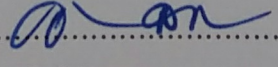
(ดร. จักรวาล คุณะดิลก)



.....กรรมการ

(ดร. บัญชา อริยะจรรยา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่ 8 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือของ ดร. จักรวาล คุณะดิลก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่ได้สละเวลาและกรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานด้วยความเอาใจใส่ ตลอดจนช่วยตรวจทานและแก้ไขร่างงานนิพนธ์มาโดยตลอดจนงานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว รวมไปถึงเพื่อน ๆ ทุกคน ที่มีส่วนสำคัญในการให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

อารดา ไชยโคตร

59910265: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนาน/ เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงาน/ กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม

อารดา ไชยโคตร: การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ (PARALLEL MACHINE SCHEDULING WITH SEQUENCE DEPENDENT SETUP TIME FOR TIRE BUILDING PROCESS). คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก, Ph.D., 127 หน้า. ปี พ.ศ. 2560.

งานวิจัยนี้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร ระบบการผลิตนี้มีลักษณะเป็นแบบเครื่องจักรแบบขนานจำนวน 32 เครื่อง สำหรับผลิตงานประมาณ 80 รุ่นต่อวัน รวม 7,000 เส้นต่อวัน โดยที่เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า การจัดตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์นี้เป็นกิจกรรมที่ทำประจำสัปดาห์ โดยนำปริมาณความต้องการยางแต่ละวันในหนึ่งสัปดาห์ข้างหน้าจากแผนการผลิตหลักมาสร้างเป็นตารางการผลิตรายวัน ปัญหาการจัดตารางการผลิตรายวันนี้จึงเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรและวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตคือการทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) สำหรับแก้ปัญหานี้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นมีพื้นฐานจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขสำคัญด้านการทำงานล่วงเวลา และจุดตั้งต้นการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน ซอฟต์แวร์ OpenSolver ด้วยโปรแกรมประมวลผล Gurobi 7.5.2 ถูกนำมาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง MILP โดยกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุดเท่ากับ 1,500 วินาที การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP ที่เสนอเปรียบเทียบกับตารางการผลิตจริง 30 วันที่สร้างจากประสบการณ์ของผู้วางแผน พบว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดต้นทุนรวมได้ 328,848 บาทต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 13.3 จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ลดลงโดยเฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 10.3 และเวลาการทำงานล่วงเวลาลดลงโดยเฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 2

59910265: MAJOR: INDUSTIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: PARALLEL MACHINE SCHEDULING/ SEQUENCE DEPENDENT SETUP TIME/ MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING
ARADA CHAIYACOD: PARALLEL MACHINE SCHEDULING WITH SEQUENCE DEPENDENT SETUP TIME FOR TIRE BUILDING PROCESS. ADVISORY COMMITTEE: JAKRAWARN KUNADILOK, Ph.D., 127 P. 2017.

This research proposed a scheduling method for tire building machines with reducing total cost from labor cost and electrical cost as the goal. The production system in the tire building process has 32 parallel machines that responsible for producing 7,200 tires of 80 tire models per day, approximately. Each machine's setup time when changing the models in production depends on the tire model that produced previously. Production scheduling in this process is a weekly planning activity for generating daily production schedules that meet all demands for each day in one week shown in the master production plan. This scheduling problem is a parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup time as processing restriction and minimizing total cost as the objective. A mixed integer linear programming model (MILP) was developed to solve this problem. A school bus routing problem formulation was used as the prototype model in developing the proposed MILP model that included an overtime constraint and different initial jobs on each machine characteristic. The OpenSolver software with Gurobi 7.5.2 optimizer was used to find the solution. The maximum computation time was set at 1,500 seconds. The performance of the proposed MILP was evaluated by comparing with the real production schedules of 30 days that used experience of the production planner to generate the schedules. The results revealed that the proposed MILP was able to find all feasible solutions. The total cost was decreased 328,848 baht per month (13.3%). The average number of machine used in the process was reduced 3.3 machines per day (10.3%). The average hour of production in overtime was reduced from 6 hours per day (2%).

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ 4

สมมติฐานของงานวิจัย 4

กรอบแนวคิดในการวิจัย 5

ขอบเขตของการวิจัย 6

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

การวางแผนการผลิตและการจัดตารางการผลิต 8

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต 10

ประเภทของการผลิต 10

รูปแบบของหน่วยผลิต 13

เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต 15

วิธีการจัดตารางการผลิตด้วยกฎลำดับความสำคัญ 16

การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ 17

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม 19

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver 21

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
3	วิธีดำเนินการวิจัย	25
	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
	การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดตารางการผลิตประจำวันของบริษัทกรณีศึกษา	27
	การวิเคราะห์ข้อมูล	34
	การวิเคราะห์ปัญหา	37
4	ผลการวิจัย	43
	ฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป	43
	แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับจัดตารางการผลิต	56
	การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์	77
	การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver	82
	การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการผลิต	84
	การทดสอบประสิทธิภาพ	84
5	สรุปและอภิปรายผล	95
	สรุปผลการวิจัย	95
	อภิปรายผลการวิจัย	97
	ข้อเสนอแนะ	99
บรรณานุกรม		100
ภาคผนวก		103
	ภาคผนวก ก	104
	ภาคผนวก ข	108
	ภาคผนวก ค	117
	ภาคผนวก ง	124
ประวัติย่อของผู้วิจัย		127

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ผลการปรับตั้งเครื่องจักรตามแผนการผลิตและปริมาณการส่งยางล่าช้า 4

3-1 การแบ่งคิดค่าแรงตามช่วงเวลา 31

3-2 ปริมาณคำสั่งผลิตและเวลาในการใช้ผลิตในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 35

3-3 ข้อจำกัดสำหรับเครื่องขึ้นรูปยาง 36

3-4 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรของแต่ละงาน
โดย งาน i ผลิตก่อนงาน j บนเครื่องจักร k (ชั่วโมง/งาน/ครั้ง) 37

3-5 เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน i ไปงาน j ของแต่ละเครื่องจักร
ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 39

3-6 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรของกลุ่มงานและขนาดขอบยาง
เดียวกัน โดย งาน i ผลิตก่อนงาน j บนเครื่องจักร m (ชั่วโมง/งาน/ครั้ง) 40

3-7 เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรหมายเลข 17 ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560
เมื่อทำการปรับเปลี่ยนลำดับการผลิต 40

3-8 สรุปปัญหา สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข 42

4-1 สัญลักษณ์ ตัวแปร และความหมาย สำหรับฮิวริสติกแบบ SST 44

4-2 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน W5Y6 ครั้งที่ 1 47

4-3 การผลิตของงาน W5Y6 บนเครื่องจักรที่ 21 48

4-4 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน K4Y8 ครั้งที่ 1 48

4-5 การผลิตของงาน K4Y8 บนเครื่องจักรที่ 21 49

4-6 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น W5Y6 บนเครื่องจักรที่ 21 49

4-7 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน U8Y0 ครั้งที่ 1 50

4-8 การผลิตของงาน U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21 50

4-9 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21 51

4-10 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน K6Y4 ครั้งที่ 1 51

4-11 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน T5Y0 ครั้งที่ 1 51

4-12 การผลิตของงาน K6Y4 บนเครื่องจักรที่ 22 52

4-13 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21 52

4-14 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน T5Y0 ครั้งที่ 2 53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-15 การผลิตของงาน T5Y0 บนเครื่องจักรที่ 21 53

4-16 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน R3Y2 ครั้งที่ 1 .. 54

4-17 การผลิตของงาน R3Y2 บนเครื่องจักรที่ 22 54

4-18 เปรียบเทียบปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้ กับปัญหา m-TSP 57

4-19 ตัวอย่างการกำจัดเส้นทางย่อยด้วยการประยุกต์วิธีการ MTZ ตามสมการที่ (4-7) 65

4-20 เปรียบเทียบปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัย กับปัญหา SBRP 68

4-21 สรุปผลการเปรียบเทียบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้และต้นทุนการผลิตระหว่าง วิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับวิธี SST ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 85

4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบเวลาปรับตั้งเครื่องจักรและชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่าง วิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับวิธี SST ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 86

4-23 ผลลัพธ์หลังการประมวลผลระหว่างตัวแบบ MILP_ID3 และ MILP_ID2 90

4-24 สรุปผลการเปรียบเทียบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้และต้นทุนการผลิตระหว่างวิธีการจัดตาราง การผลิตในปัจจุบันกับตัวแบบ MILP_ID2 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 92

4-25 สรุปผลการเปรียบเทียบเวลาปรับตั้งเครื่องจักรและชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธี การจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับตัวแบบ MILP_ID2 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 .. 93

5-1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิต 97

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์	2
1-2	กำลังการผลิตของแผนกต่าง ๆ ของบริษัทกรณีศึกษา	3
2-1	การวางแผนระดับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต	9
2-2	แบบจำลองเครื่องจักรเชิงเดี่ยว	13
2-3	แบบจำลองเครื่องจักรวางขนานกัน	14
2-4	แบบจำลองการผลิตตามสายงาน	14
2-5	แบบจำลองการผลิตตามงาน	14
2-6	การเรียกใช้งาน OpenSolver	22
2-7	หน้าต่าง OpenSolver-Model สำหรับบันทึกกำหนดการคณิตศาสตร์แบบแผ่นงาน	23
3-1	วัตถุดิบและกระบวนการผลิตยางรถยนต์	29
3-2	ขั้นตอนการผลิตยางรถยนต์	30
3-3	ภาพรวมของขั้นตอนการวางแผนการผลิต	33
3-4	เครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยาง	36
3-5	กราฟชั่วโมงการทำงานของแต่ละเครื่องจักร ณ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560	41
4-1	ขั้นตอนการจัดตารางการผลิตแบบ SST	46
4-2	ตารางการผลิตที่สร้างจากวิธี SST ในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560	55
4-3	เวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักรของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST ในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560	55
4-4	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-2)	59
4-5	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-3)	60
4-6	ตัวอย่างค่าตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไปตามสมการที่ (4-2) และ (4-3)	61
4-7	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-4) และ (4-5)	61
4-8	เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลของการไหล	62
4-9	เงื่อนไขบังคับด้านการป้องกันการเกิดเส้นการเดินทางย่อย	64
4-10	เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการทำงานตามสมการที่ (4-8)	66
4-11	แบบจำลอง MILP_ID3	67
4-12	เงื่อนไขบังคับด้านการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรดังสมการที่ (4-14)	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-13	สมดุลของการไหลของการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักร	72
4-14	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-16)	72
4-15	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-17)	73
4-16	เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-18)	73
4-17	ภาพที่ 4-17 สมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตหลังจากเครื่องจักรเริ่มผลิตงานแล้ว ตามสมการที่ (4-21)	75
4-18	สมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตเมื่อเครื่องจักรเริ่มผลิตงานลำดับแรก ตามสมการที่ (4-22)	75
4-19	แบบจำลอง MILP_ID2	77
4-20	แผ่นงาน DB_CT	78
4-21	แผ่นงาน DB_S_{ij}	79
4-22	ส่วนประกอบของแผ่นงาน Input	80
4-23	แผ่นงาน Calculation	81
4-24	แผ่นงาน Output	82
4-25	การบันทึกตัวแบบใน OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม	83
4-26	ตัวอย่างผลลัพธ์หลังการประมวลผลด้วย OpenSolver	84
4-27	ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดงาน 12 รุ่น 6 เครื่องจักรหลังการประมวลผล ด้วยตัวแบบ MILP_ID3	87
4-28	ค่าพารามิเตอร์ใน Gurobi solver engine	91
4-29	เวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักรของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560	94

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยประเทศไทยเป็นฐานการผลิตยางรถยนต์ให้กับบริษัทชั้นนำหลายบริษัทในต่างประเทศ รวมถึงการที่มีแหล่งวัตถุดิบ คือ ยางธรรมชาติที่มีคุณภาพ และเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ ผลผลิตยางธรรมชาติของประเทศไทยส่งออกในรูปของยางแปรรูปขั้นต้น คิดเป็นประมาณร้อยละ 83 และส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 17 ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมยางกลุ่มปลายน้ำ เช่น ยางล้อ รองเท้ายาง ยางอุตสาหกรรม ถุงมือ และเส้นด้ายยางยืด เป็นต้น ทั้งนี้ การส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยาง มีมูลค่ารวมทั้งสิ้น 21,565.20 ล้านเหรียญสหรัฐ การผลิตยางแปรรูปขั้นต้นปี 2559 คาดว่าจะหดตัวลงร้อยละ 0.67 เมื่อเทียบกับปีก่อนสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่สำคัญทั้งในกลุ่มผลิตภัณฑ์ยางล้อ (ยางนอกรถยนต์นั่ง/ รถกระบะยางนอกและยางในรถจักรยานยนต์/ จักรยาน ยางนอกรถบรรทุก/ รถโดยสาร/ รถแทรกเตอร์ยางในรถบรรทุก/ รถโดยสารและยางหล่อดอก) และถุงมือยาง/ ถุงมือตรวจ คาดว่าจะปรับตัวลดลงเกือบทุกผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในส่วนของยางนอกและยางในรถบรรทุกและรถโดยสาร ซึ่งเมื่อเทียบกับปีก่อนคาดว่าจะลดลงร้อยละ 2.38 และ19.26 ตามลำดับ เนื่องจากเศรษฐกิจในประเทศยังไม่ฟื้นตัวดี ทำให้ผู้บริโภคหันไปหล่อดอกยางมากกว่าที่จะซื้อยางใหม่ซึ่งมีราคาสูง สอดคล้องกับตัวเลขการผลิตยางหล่อดอกที่คาดว่าจะขยายตัวร้อยละ 6.81 ประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตยางล้อมีความก้าวหน้ามากขึ้นทำให้ปัจจุบันมีการผลิตยางล้อชนิดที่ไม่ใช้ยางในซึ่งมีความปลอดภัยมากกว่าในปริมาณที่สูงขึ้น ปริมาณการผลิตยางในรถบรรทุกและรถโดยสารจึงหดตัวลง (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2559)

ในปี 2560 คาดว่าอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ในประเทศไทยจะขยายตัวได้ตามแนวโน้มการขยายตัวของอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศ อีกทั้งในปัจจุบันด้วยการแข่งขันที่รุนแรง และการแย่งชิงส่วนแบ่งทางการตลาด เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์ไม่ได้มีลักษณะที่แตกต่างกันมากนักกับบริษัทคู่แข่ง และความต้องการที่จะทำรายได้จากการส่งออกยางรถยนต์ที่มากขึ้น ดังนั้นองค์กรต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับความต้องการของลูกค้าที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา นอกจากการปรับปรุงที่ตัวผลิตภัณฑ์แล้ว การปรับปรุงสภาพการดำเนินงานขององค์กรก็เป็น

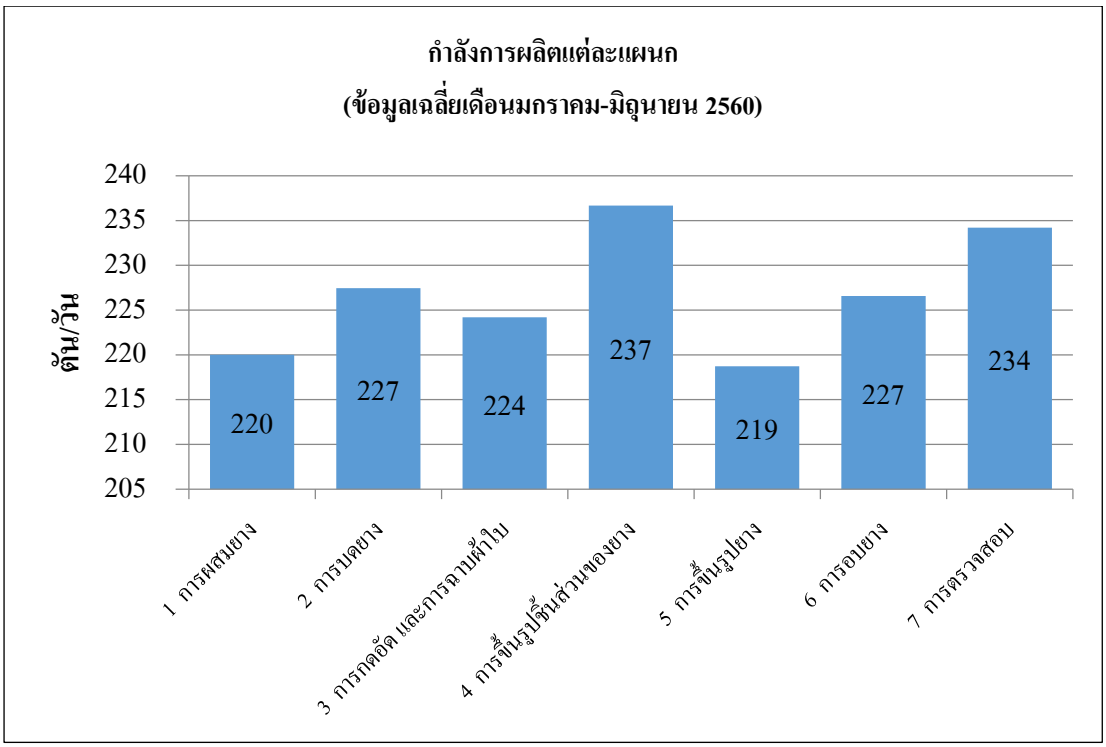
สิ่งสำคัญที่จะทำให้องค์กรมีขีดความสามารถในการแข่งขันกับองค์กรอื่น ๆ ทั้งนี้ เพื่อให้กระบวนการผลิตตอบสนองความต้องการต่อความต้องการของลูกค้า การวางแผนการผลิต (Production planning) ที่มีประสิทธิภาพเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเป็นข้อได้เปรียบและเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันได้เพิ่มมากขึ้น

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตยางรถยนต์ซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ 1-1 สำหรับรถยนต์นั่ง/ รถขับเคลื่อน 4 ล้อ/ รถบรรทุกขนาดเล็ก/ รถบรรทุกขนาดกลาง/ รถบรรทุกขนาดใหญ่ และรถโดยสาร รวมทั้งรถที่ใช้ในการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ยางใน ยางรอง ยางหล่อ และยางรถยนต์ โดยยางรถยนต์ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับรถยนต์และมีหน้าที่ในการรองรับน้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุก ช่วยลดแรงกระแทกให้เกิดความนุ่มนวล บังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ การยึดเกาะถนนและช่วยในการขับเคลื่อนไปข้างหน้า รวมถึงการหยุดรถ ดังนั้น กระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตงานออกมาให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

ภาพที่ 1-1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์

บริษัทกรณีศึกษามีรูปแบบลักษณะของผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด แต่ละชนิดและขนาดมีขั้นตอนและเวลาในการผลิตแตกต่างกัน ซึ่งในการผลิตรูปแบบดังกล่าวจะต้องมีการจัดตารางการผลิตให้ดีเพื่อลดการสูญเปล่าของกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจัดตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยาง (Building process) เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการวางแผนการผลิต ซึ่งมีรูปแบบเครื่องจักรเป็นแบบขนาน อีกทั้งยังเป็นจุดคอขวด (Bottleneck) ของบริษัทกรณีศึกษาอีกด้วยดังภาพที่ 1-2 และพบว่าบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการศึกษาการจัดลำดับการผลิตอย่างเป็นระบบ โดยการจัดลำดับการผลิตของกระบวนการจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของฝ่ายผลิต ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการวางแผนการผลิต

ที่มีประสิทธิภาพ เช่น เวลาในการเปลี่ยนขนาดของขอบยาง เวลาในการทำความสะอาดเครื่องจักร เวลาในการปรับแต่งเครื่องจักรเมื่อเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ เป็นต้น



ภาพที่ 1-2 กำลังการผลิตของแผนกต่าง ๆ ของบริษัทกรณีศึกษา

รูปแบบระบบการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางเป็นแบบเครื่องจักรขนาน (Parallel machines) ที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักร (Sequence dependent setup time) Allahverdi, Gupta, and Aldowaisan (1999) ได้สรุปว่าปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตนี้เป็นปัญหาแบบเอ็นพีฮาร์ด (NP-hard) ดังนั้นการจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาที่อาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผนอาจทำให้เกิดเวลาที่สูญเปล่าจากการตั้งเครื่องจักรสูง ส่งผลต่อการผลิตไม่ทันตามที่กำหนดหรือจะต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิตโดยให้พนักงานทำงานล่วงเวลาซึ่งส่งผลต่อให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น ข้อมูลจำนวนครั้งของการปรับตั้งเครื่องจักรและปริมาณการส่งยางล่าช้าของแผนกขึ้นรูปยางในช่วงเดือนมกราคม–มิถุนายน พ.ศ. 2560 แสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ผลการปรับตั้งเครื่องจักรตามแผนการผลิตและปริมาณการส่งยางล่าช้า

หัวข้อ	หน่วย	ม.ค.60	ก.พ.60	มี.ค.60	เม.ย.60	พ.ค.60	มิ.ย.60
การปรับตั้งเครื่องจักร	ครั้ง/วัน	45.4	40.2	45.4	46.7	47.7	47.6
เวลาปรับตั้งเครื่องจักร	ชั่วโมง/วัน	23.8	21.2	24	24.6	25.3	24.5
ส่งยางล่าช้า	เส้น/เดือน	643	343	201	398	532	240
	เส้น/วัน	23	12.7	6.5	17.3	17.2	8

หมายเหตุ: การส่งยางล่าช้ามาจากหลายสาเหตุ เช่น วัสดุขาดแคลน การวางแผน เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงได้นำปัญหาดังกล่าวมาทำการศึกษาหาวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสม โดยนำเสนอการประยุกต์วิธีการจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติกและแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ เพื่อกำหนดกลุ่มงานและลำดับการผลิตในกลุ่มงานนั้นบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ทำให้จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไม่มากเกินความจำเป็นและใช้การทำงานล่วงเวลาในการผลิตให้น้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าไฟฟ้าเมื่อเครื่องจักรทำงาน และค่าแรงพนักงานในการคุมเครื่องจักร

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักร โดยมีเป้าหมายในการลดค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงพนักงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร

สมมติฐานของงานวิจัย

การจัดตารางการผลิตโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผนทำให้เกิดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ คือ 1) การกำหนดกลุ่มงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่เหมาะสมอาจทำให้ภาระงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่สมดุลกันซึ่งส่งผลให้เครื่องบางเครื่องมีภาระงานต่ำกว่าเวลาการทำงานปกติ ขณะที่บางเครื่องมีภาระงานมากจนต้องมีการทำงานล่วงเวลา และ 2) การจัดลำดับงานของกลุ่มงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่เหมาะสมทำให้เกิดสูญเสียเวลาในการตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้าส่งผลต่อเวลาการผลิตรวมทั้งหมดที่นานขึ้นทำให้เสียค่าไฟฟ้าสูงขึ้นในการเดินเครื่องจักร และอาจส่งผลต่อการใช้เครื่องจักรในจำนวนที่มากเกินความจำเป็นซึ่งทำให้เสียค่าแรงงานของพนักงานคุมเครื่องจักร ดังนั้นการกำหนดวิธีการจัดตารางการผลิตที่เหมาะสม

ด้วยการนำค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและค่าไฟฟ้าเป็นปัจจัยในการสร้างตารางการผลิต จะทำให้เกิดสมดุลภาระงานของเครื่องจักร และเวลาที่สูญเปล่าในการตั้งเครื่องจักรลดลง ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากตารางการผลิตที่สร้างขึ้นลดลงได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การจัดตารางการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาเป็นการสร้างแผนการผลิตรายวัน จากข้อมูลการวางแผนการผลิตล่วงหน้าหนึ่งสัปดาห์ ปริมาณความต้องการยางถูกแยกออกเป็นรายวันรวมทั้งสิ้น 7 วัน วันละประมาณ 80 รุ่นที่ต้องแบ่งงานออกเป็นกลุ่มงานและกำหนดลำดับการผลิตในกลุ่มงานนั้นให้กับเครื่องจักรรวม 32 เครื่อง โดยที่งานบางรุ่นไม่สามารถผลิตได้บนเครื่องจักรบางเครื่อง งานวิจัยนี้เสนอการประยุกต์แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming, MILP) สำหรับการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงงานพนักงานคุมเครื่องจักรกับค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรต่ำที่สุด ค่าแรงงานพนักงานเกิดจากผลรวมค่าแรงงานในการคุมเครื่องจักรในเวลาการทำงานปกติกับเวลาการทำงานล่วงเวลาของเครื่องจักรทุกเครื่องที่กำหนดให้ใช้ในการผลิตแต่ละวัน ส่วนค่าไฟฟ้าเกิดจากผลรวมเวลาเดินเครื่องจักรทั้งหมดซึ่งรวมเวลาสูญเปล่าจากการตั้งเครื่องจักรด้วยคูณกับอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา การสร้างแบบจำลอง MILP จึงต้องพิจารณาถึงการแบ่งกลุ่มงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องให้เหมาะสมและจัดลำดับงานของกลุ่มงานที่ทำให้ใช้เวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด จะทำให้ใช้จำนวนเครื่องจักรพอดีกับจำนวนงานที่ต้องผลิต และเครื่องจักรแต่ละเครื่องใช้เวลาในการผลิตในช่วงเวลาทำงานล่วงเวลาเท่าที่จำเป็นต่อการผลิตงานให้ส่งมอบทันเวลาเท่านั้น เนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้เป็นปัญหาแบบ NP-hard ทำให้การใช้แบบจำลอง MILP ที่เป็นวิธีการแบบแน่นอน (Exact method) ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimal solution) อาจไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้ภายในเวลาที่จำกัด กัญชลา สุดตาชาติ (2552) ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (ILP) ในการจัดตารางการผลิตที่มีรูปแบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานและเวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า ที่มีจุดประสงค์ในการลดเวลาปิดงานของระบบ พบว่าการจัดตารางการผลิตของงานจำนวน 12 งาน บนเครื่องจักร 2 เครื่อง ใช้เวลาในการประมวลผลสร้างตารางการผลิตไม่น้อยกว่า 2 ชั่วโมง (ใช้ซอฟต์แวร์ LINGO 6.0 บนคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ 2 Dual CPU 2.10 GHz.) อย่างไรก็ตามรูปแบบของแบบจำลอง ILP ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผลและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ (กรณีหยุดประมวลผลก่อนพบ Optimal solution) และเวลาในการประมวลผล ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นพัฒนาแบบจำลอง MILP สำหรับจัด

ตารางการผลิต แล้วทดลองประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Gurobi 7.5.2 เพื่อกำหนดเวลาการหยุดประมวลผลที่เหมาะสมที่ทำให้ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นมีค่าใช้จ่ายรวมต่ำเพียงพอเมื่อเปรียบเทียบกับตารางการผลิตเดิมและตารางการผลิตที่จัดด้วยฮิวริสติกอย่างง่ายที่งานวิจัยนี้จะสร้างขึ้น จากนั้นงานวิจัยนี้จะออกแบบไฟล์เอ็กเซลที่ใช้สำหรับการจัดตารางการผลิตตามวิธีการที่เสนอ เพื่อให้ผู้วางแผนการผลิตสามารถนำไปใช้ได้ง่าย

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตเฉพาะในขั้นตอนของกลุ่มกระบวนการขึ้นรูปยางเท่านั้นโดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เคยทำการผลิตมาแล้ว โดยใช้ข้อมูลคำสั่งผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560
2. ทราบเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่ละขั้นตอนของงานอย่างชัดเจน
3. งานแต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน
4. งานทุกงานพร้อมที่จะผลิตได้ทันทีที่เวลา $t = 0$
5. ไม่มีเครื่องจักรเสียหรือมีการซ่อมบำรุง
6. เครื่องจักรแต่ละเครื่องเป็นอิสระต่อกัน
7. งานสามารถเข้าได้ครั้งละ 1 งาน
8. ทราบเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรในแต่ละขั้นตอนของงานอย่างชัดเจน
9. เครื่องจักรพร้อมที่จะผลิตทันทีที่เวลา $t = 0$
10. แต่ละงานต้องผ่านกระบวนการตามขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร และจะต้องทำจนกระทั่งงานเสร็จสมบูรณ์
11. แต่ละกระบวนการจะมีเครื่องจักรตามที่กำหนดเท่านั้นที่สามารถทำงานได้
12. 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)
13. การทดสอบประสิทธิภาพทำโดยเปรียบเทียบตารางการผลิตที่สร้างจากแบบจำลอง MILP ที่เสนอกับฮิวริสติกอย่างง่ายและตารางการผลิตเดิมของบริษัทกรณีศึกษาในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 จำนวน 30 วัน โดยพิจารณาดัชนีชี้วัด คือ ค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ระบบการผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากการจัดตารางการผลิตมีความเหมาะสม

2. ลดต้นทุนการทำงานล่วงเวลาได้

3. สามารถลดเวลาในการจัดตารางการผลิตสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางลงได้ ทำให้ฝ่ายผลิตทำงานได้ง่ายขึ้น

4. เพิ่มความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยสามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ทันเวลา เพื่อสร้างความพึงพอใจ ซึ่งเป็นผลดีต่อผลประกอบการของบริษัท

5. เป็นแนวทางให้ผู้ที่สนใจนำไปประยุกต์ใช้ หรือขยายผลในระบบที่ซับซ้อนกว่าขอบเขตและข้อกำหนดในงานวิจัย

6. เป็นตัวอย่างในการประยุกต์การทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ในด้านการวางแผนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับกรอบการพัฒนาประเทศไทย 4.0

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึง งานวิจัย แนวคิด และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิต รวมทั้งที่บทวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีมาก่อนหน้านี้ ดังนี้

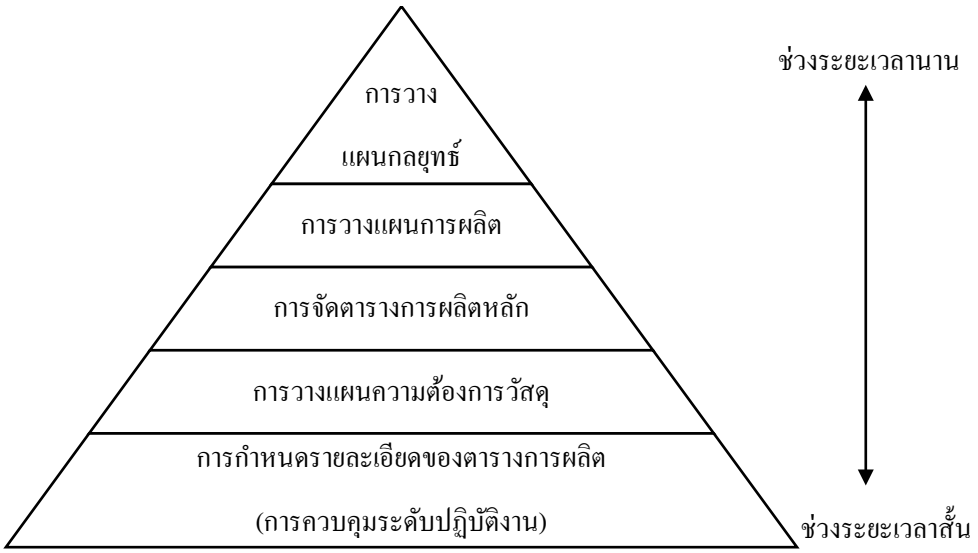
การวางแผนการผลิตและการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิต (Scheduling) ถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบการผลิต ซึ่งประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตนั้น จะสามารถบ่งชี้ออกมาในรูปแบบของค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เช่น ค่าใช้จ่ายของการปรับแต่งเครื่องจักร ค่าใช้จ่ายในการถูกปรับเนื่องจากส่งงานล่าช้า และค่าใช้จ่ายเนื่องจากมีงานค้างในระบบ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ เหล่านี้นอกจากจะส่งผลต่อผลประโยชน์ทางด้านธุรกิจในด้านการเงินที่เป็นในเชิงของตัวเลขแล้ว ยังส่งผลต่อระดับความพึงพอใจของลูกค้าอีกด้วย Bagshaw (2014) ได้การประเมินการประยุกต์ใช้การจัดตารางการผลิต ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการจัดตารางการผลิตที่ดี มีอิทธิพลสำคัญในการดำเนินงานของการผลิต ดังนั้นในการที่จะหาวิธีการจัดตารางการผลิตเพื่อที่จะตอบสนองต่อจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ในหลาย ๆ ด้านขององค์กร จึงต้องการมั่นใจได้ว่าวิธีการสร้างตารางการผลิตนั้นสามารถใช้ได้จริงกับระบบการผลิตขององค์กรนั้น

การจัดตารางการผลิต (Scheduling) เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนการผลิต (Production planning) ซึ่งเป็นการจัดสรรทรัพยากรการผลิตไม่ว่าจะเป็นแรงงาน เครื่องจักร หรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้ดำเนินการผลิตตามที่ได้รับมอบหมายภายในช่วงระยะเวลาที่กำหนดได้ การจัดตารางการผลิตจะรับช่วงต่อมาจากการวางแผนความต้องการวัสดุ (Material requirement planning: MRP) และการวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (Capacity requirement planning: CRP) ทั้งการจัดตารางการผลิตจะเกี่ยวข้องกับเรื่องการทำงาน (Job order) และการจัดลำดับงาน (Job sequencing) ให้กับแต่ละหน่วยงาน การจัดตารางการผลิตเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตแบบต่อเนื่อง และแบบกลุ่มรวมถึงไม่ต่อเนื่อง เพราะต้องจัดทรัพยากรการผลิตที่มีใช้สำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด ดังนั้น จึงต้องใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ทั้งด้านแรงงานคน และเครื่องจักรอุปกรณ์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และสูญเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด การจัดตารางการผลิตจึงเป็น

กลยุทธ์ที่มีการศึกษาและวิจัยเป็นอย่างมาก เพื่อให้ตอบสนองต่อการผลิตรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการผลิต โดยการจัดตารางการผลิตจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการดำเนินการ (บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์, 2552)

การวางแผนการผลิตมีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานทั้งหมดขององค์กรตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้น ค่าพยากรณ์และการสั่งซื้อจากลูกค้า จะถูกนำมาจัดทำเป็นแผนการใช้แรงงาน วัตถุดิบ และอุปกรณ์ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระดับของแผนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและช่วงระยะเวลาที่ใช้แผน ดังภาพที่ 2-1 โดยวางแผนจากบนลงล่าง



ภาพที่ 2-1 การวางแผนระดับต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิต

การวางแผนการผลิตเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนหลัก (Master planning) และการวางแผนระดับต่าง ๆ โดยที่แผนการผลิตจะเป็นที่ตั้งของจุดยุทธศาสตร์สำหรับองค์กร ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบต่ออุปสงค์ที่ได้คาดหวังไว้ แผนการผลิตที่ดีจะต้องมีลักษณะดังนี้

1. เป็นไปตามนโยบายขององค์กรและคงเส้นคงวา
2. ตอบสนองความต้องการของอุปสงค์
3. อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของกำลังการผลิต
4. เสียค่าใช้จ่ายต่ำ

การจัดตารางการผลิต เป็นเรื่องของการแยกประเภทและปริมาณสินค้า หรือชิ้นส่วนที่ได้ถูกกำหนดจากแผนความต้องการวัสดุ (Material requirement planning) ออกมาให้เห็นชัดเจนว่า

ใครจะเป็นผู้ทำ จะเริ่มทำวันไหน ตั้งแต่เวลาใดถึงเวลาใด และทำจำนวนเท่าไร เป็นการจัดเตรียมตารางเวลาการทำงานให้กับทรัพยากรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจจะเป็นคนงาน เครื่องจักร อุปกรณ์รวมถึงเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต

โดยทั่ว ๆ ไปการจัดตารางการผลิตจะต้องทำเกือบทุกวัน เนื่องจากสภาพความเป็นจริงจะมีการสั่งงานเข้ามาในโรงงานอยู่ตลอดเวลา งานบางงานมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำได้ด้วยกระบวนการผลิตง่าย ๆ แต่บางงานมีขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนมาก นอกจากนั้นงานแต่ละงานอาจมีระดับความสำคัญของงานที่แตกต่าง สิ่งเหล่านี้อาจมีผลต่อการพิจารณาการจัดตารางการผลิต เช่น การพิจารณาว่าจะทำงานใดก่อนงานใดหลัง ซึ่งในการจัดตารางการผลิตจะต้องคำนึงถึงการผลิตงานให้เสร็จทันตามกำหนดเวลาส่งมอบงานด้วย วัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิต (Objectives in scheduling) ที่มักถูกใช้มีด้วยกันหลายประการ (ปารเมศ ชุติมา, 2546) ดังนี้

1. การทันกำหนดส่งงานลูกค้า (Meeting customer due dates)
2. การลดเวลางานล่าช้า (Minimizing job lateness)
3. การลดเวลาตอบสนอง (Minimizing response time)
4. การลดเวลาเสร็จงาน (Minimizing completion time)
5. การลดเวลาการไหลในระบบ (Minimizing flow time in the system)
6. การลดจำนวนชั่วโมงล่วงเวลา (Minimizing overtime)
7. การเพิ่มประโยชน์ในการใช้งานเครื่องจักรหรือแรงงาน (Maximizing machine or labor utilization)
8. การลดเวลาว่าง (Minimizing idle time)
9. การลดงานค้างในกระบวนการ (Minimizing work-in-process inventory)

ประเภทของการผลิต

ประเภทของการผลิตสินค้าสามารถจำแนกได้ 2 ประเภท คือ การผลิตแบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่อง มีรายละเอียดดังนี้

1. การผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous manufacturing) จะเป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นมาตรฐาน มีจำนวนน้อยชนิด ปริมาณความต้องการมีลักษณะเป็นแนวโน้มที่แน่นอน จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้เกิดการผลิตสินค้าและเก็บไว้ในสต็อกเพื่อรอการจำหน่าย โดยปกติการผลิตแบบต่อเนื่องมักจะเป็นการผลิตสินค้าครั้งละมาก ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการ

ของลูกค้าที่มีอัตราสูง ดังนั้นในสายงานผลิตหรือสายงานประกอบจึงมักนิยมใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์การผลิตที่เป็นแบบเฉพาะอย่าง (Special purpose machine) เพราะมีความสามารถและความเที่ยงตรงในการผลิตสูง จุดสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการดำเนินการผลิตแบบต่อเนื่อง คือ ความสามารถในการผลิตของหน่วยผลิตหรือศูนย์การผลิตจะต้องมีขนาดเท่ากัน จึงจะทำให้สายงานการผลิตเกิดความสมดุล ซึ่ง Gourgand, Grangeon, and Norre (2003) ได้สรุปเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพและการจัดลำดับการผลิตบนระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (m machine stochastic flow shop) โดยใช้วิธีการผสมผสานระหว่างฮิวริสติกของ (RA, CDS) พบว่าฮิวริสติกจะให้ค่าคำตอบที่ดีในกรณีที่มีเครื่องจักร 2 เครื่อง ส่วนในกรณี m machine พบว่า เมตาฮิวริสติกจะให้คำตอบดีกว่าการผสมผสานระหว่างฮิวริสติก

1.1 ข้อดีของการผลิตในระบบต่อเนื่อง

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีต้นทุนต่อหน่วยต่ำ และผลผลิตที่ได้มีคุณภาพเกือบเหมือนกันทุกชิ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพและประสิทธิภาพสูง

1.1.2 ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านแรงงาน ทั้งจำนวนแรงงานและค่าจ้างแรงงานที่มีความชำนาญสูง รวมทั้งประหยัดค่าขนย้ายชิ้นงานระหว่างขั้นตอนในการผลิต

1.2 ข้อเสียของการผลิตในระบบต่อเนื่อง

1.2.1 การหยุดทำงานของเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งของกระบวนการผลิตจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างมากเนื่องจากต้องหยุดกระบวนการผลิตทั้งหมด

1.2.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราการผลิตทำได้ยาก เนื่องจากเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งในกระบวนการผลิตมีอัตราการทำงานคงที่ การลดหรือเพิ่มปริมาณผลิตทำได้โดยการลดหรือเพิ่มชั่วโมงการผลิตเท่านั้น

1.2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบ, ชนิด และลักษณะของผลิตภัณฑ์ทำได้ยาก (การเปลี่ยนแปลงนี้มิได้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงเล็ก ๆ น้อย ๆ ในผลิตภัณฑ์)

1.2.4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนตั้งโรงงานประเภทนี้สูงมาก ดังนั้นก่อนการลงทุนสร้างโรงงานและติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อดำเนินการผลิตนั้น จะต้องทราบทั้งปริมาณและช่วงเวลาที่ตลาดมีความต้องการ

2. การผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete manufacturing) การผลิตแบบไม่ต่อเนื่องจะเกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทที่เป็นชิ้นเดี่ยว ๆ การผลิตชนิดนี้สามารถแบ่งเป็นประเภทย่อยได้ 3 ประเภท คือ

2.1 การผลิตปริมาณมาก (Mass production) มีลักษณะสำคัญของการผลิตปริมาณมาก คือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายน้อย แต่มีจำนวนในการผลิตสูง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ความต้องการของลูกค้าค่อนข้างคงที่ และแทบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของรูปแบบผลิตภัณฑ์เลยทั้งในระยะสั้นและในระยะยาว เครื่องจักรที่ใช้สำหรับทำการผลิตปริมาณมากจะถูกสร้างขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เฉพาะอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นการผลิตปริมาณมากจะมีความยืดหยุ่นน้อยมากถึงแม้ว่าเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแบบนี้จะมีราคาแพง แต่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระยะแรกจะคุ้มทุนได้ในระยะยาว

2.2 การผลิตแบบชุด (Batch production) ลักษณะสำคัญของการผลิตแบบชุด คือ การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีทั้งจำนวนในการผลิตและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ปานกลาง โดยทั่วไปการผลิตแบบชุดจะเป็นการผลิตที่มีจำนวนชิ้นงานในแต่ละชุดน้อย ๆ และการดำเนินงานแต่ละชนิดที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน ซึ่งจัดอยู่ในชุดเดียวกันจะต้องทำให้เสร็จสมบูรณ์ก่อนที่จะดำเนินงานชนิดถัดไปจะเริ่มได้ ระบบผลิตที่ใช้ในการผลิตแบบชุดจะต้องมีความยืดหยุ่นพอสมควร เพื่อให้สามารถดำเนินการผลิตได้ตรงตามความต้องการที่หลากหลายของลูกค้า

2.3 การผลิตตามสั่ง (Job shop production) เป็นการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า ปริมาณการสั่งทำแต่ละครั้งมักจะมีจำนวนไม่มากนัก โดยทั่วไปประเภทของผลิตภัณฑ์มักจะมีรูปแบบที่หลากหลาย จุดสำคัญของการดำเนินงานชนิดแบบทำตามสั่ง คือ ทรัพยากรต่าง ๆ จะต้องมีความยืดหยุ่น (Flexible) สามารถปรับแต่งให้ใช้ได้ตามความแปรปรวนของอุปสงค์ (Demand) ที่ไม่สามารถจะพยากรณ์ค่าได้อย่างแม่นยำ Yu, Ji, Qi, Gu, and Tao (2015) ได้ทำการศึกษาการผลิตดังกล่าว โดยพิจารณาการใช้การแบ่งตามกลุ่ม (Group-based) เพิ่มเข้ามาจากตารางการผลิตแบบเดิม ซึ่งสามารถทำให้เวลานำ (Lead time) ของการผลิตลดลงได้

2.3.1 ข้อดีของการผลิตในระบบไม่ต่อเนื่อง

2.3.1.1 สามารถรับงานที่มีรูปแบบที่หลากหลาย

2.3.1.2 เครื่องจักรตัวใดตัวหนึ่งชำรุดหรือเสียหาย มิได้ทำให้การผลิตเกิดความเสียหายมากหรือต้องหยุดกระบวนการผลิต เพราะสามารถเปลี่ยนไปใช้เครื่องจักรอื่นที่คล้ายคลึงกันได้

2.3.1.3 ไม่เกิดความเสียหายที่รุนแรงต่อการดำเนินการผลิต ถ้าหากเกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันในด้านความต้องการในตลาดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ เนื่องจากปริมาณที่ผลิตในแต่ละครั้งมีจำนวนน้อยและแรงงานที่ทำมีความชำนาญสูง พร้อมที่จะปรับแต่งวิธีการผลิตจนได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ตลาดต้องการในระยะเวลาอันรวดเร็ว

2.3.1.4 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนตั้งโรงงานประเภทนี้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับโรงงานที่ผลิตแบบต่อเนื่อง

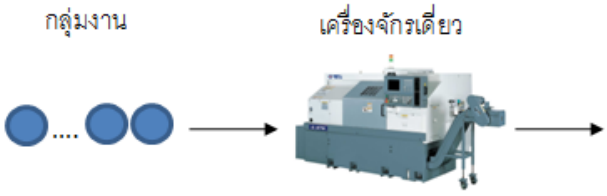
2.3.2 ข้อเสียของการผลิตในระบบไม่ต่อเนื่อง

ปริมาณที่ผลิตและวิธีการควบคุมคุณภาพด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในระบบต่อเนื่อง

รูปแบบของหน่วยผลิต

การผลิตทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สามารถกำหนดประเภทการผลิตโดยแบ่งตามรูปแบบของหน่วยผลิต (Work center configuration) ได้ในหลายลักษณะ (ปารเมศ ชุติมา, 2546) ดังนี้

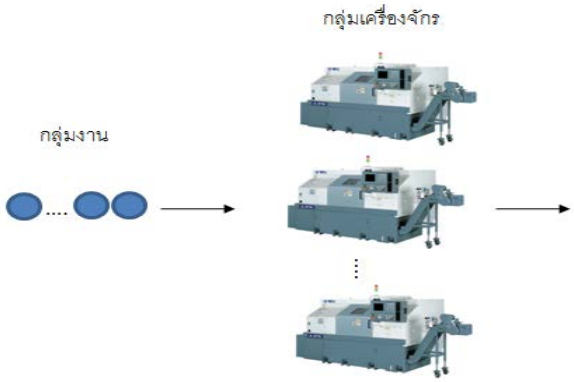
1. เครื่องจักรเดี่ยว (Single machine) ดังภาพที่ 2-2 เป็นระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียวและงานทุกงานต้องดำเนินการที่เครื่องจักรนี้ เครื่องจักรสามารถดำเนินการผลิตได้ทีละหนึ่งงานต่อครั้งที่เวลาใด ๆ ก็ได้



ภาพที่ 2-2 แบบจำลองเครื่องจักรเชิงเดี่ยว (Single machine)

2. เครื่องจักรวางขนานกัน (Parallel machines) ดังภาพที่ 2-3 เป็นระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรหลายเครื่องดำเนินการผลิตในลักษณะงานที่เหมือนกัน งานสามารถดำเนินการที่เครื่องจักรใดเครื่องหนึ่งก็ได้ เครื่องจักรแต่ละเครื่องกำหนดให้มีลักษณะเหมือนกัน

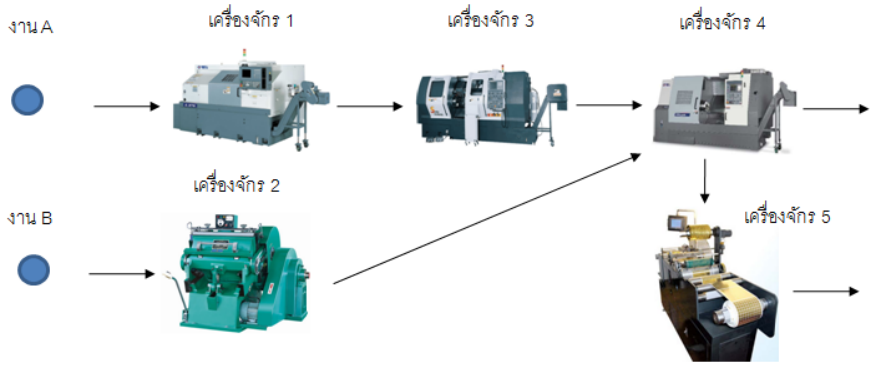
3. การผลิตตามสายงาน (Flow shop) ดังภาพที่ 2-4 ประกอบด้วยเครื่องจักรที่แตกต่างกัน แต่ละงานต้องทำโดยเครื่องจักรเฉพาะ นอกจากนั้นงานทั้งหมดจะต้องผ่านการดำเนินงานเป็นเส้นทางเดียวกัน งานใด ๆ จะสามารถดำเนินการบนเครื่องที่สองได้ก็ต่อเมื่อได้ดำเนินการเสร็จบนเครื่องจักรที่หนึ่งเรียบร้อยแล้ว ระบบนี้จะพบมากในโรงงานที่มีการผลิตสินค้าไม่มากชนิด และแต่ละชนิดผลิตครั้งละจำนวนมาก ๆ



ภาพที่ 2-3 แบบจำลองเครื่องจักรวางขนานกัน (Parallel machines)

ภาพที่ 2-4 แบบจำลองการผลิตตามสายงาน (Flow shop)

4. การผลิตตามงาน (Job shop) ดังภาพที่ 2-5 เป็นระบบการผลิตที่มีลักษณะพื้นฐานมากกว่าแบบการผลิตตามสายงาน แต่ละงานมีเส้นทางดำเนินการเฉพาะของงาน



ภาพที่ 2-5 แบบจำลองการผลิตตามงาน (Job shop)

เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

เทคนิคที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต แบ่งออกตามวิธีการในการหาผลลัพธ์ได้เป็น 3 แบบ ดังต่อไปนี้

1. การแจกแจงนับแบบบริบูรณ์ (Complete enumeration) เป็นแนวทางในการจัดลำดับงานบนเครื่องจักร โดยการค้นหาจากลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดบนเครื่องจักรทุกเครื่อง วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ไม่รับความนิยมและควรหลีกเลี่ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีที่ทรัพยากรหรืองานที่กำลังพิจารณามีเป็นจำนวนมาก เช่น ในระบบที่ซับซ้อน หรือ ระบบขนาดใหญ่ เป็นต้น เนื่องจากจะต้องเสียเวลาในการค้นหาคำตอบนานมาก และควรจะเอาแนวทางนี้มาใช้ก็ต่อเมื่อไม่มีวิธีการอื่นที่เหมาะสมกว่าเท่านั้น

2. ขั้นตอนวิธีสร้างเสริม (Constructive algorithm) เป็นแนวทางในการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรจากข้อมูลที่ให้มาพร้อมกับปัญหา โดยเพิ่มงานที่ต้องการให้ผลิตก่อนลงในตารางการผลิตบางส่วน (Partial schedule) จนครบทุกงานในรอบการจัดตารางการผลิต แนวทางนี้มักใช้กฎหรือกลุ่มของกฎพื้นฐานที่ง่าย ๆ ในการแก้ปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ก็คือ ลำดับงานที่มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่กำหนดให้มีค่าดีที่สุด เช่น ในแบบจำลองเครื่องจักรเดี่ยว กฎงานที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุดผลิตก่อน (Shortest processing time, SPT) จะทำให้วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตด้านเวลาไหลเฉลี่ยของงานมีค่าต่ำที่สุด เป็นต้น การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีนี้สามารถสร้างตารางการผลิตได้อย่างรวดเร็ว แต่ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นอาจไม่ใช่ตารางการผลิตที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

3. การแจกแจงนับโดยนัย (Implicit enumeration) เป็นแนวทางการจัดลำดับงานบนเครื่องจักรที่ใช้ขั้นตอนวิธีที่ชาญฉลาดในการตัดทอนคำตอบ หรือคำตอบ หรือคำตอบแบบบางส่วน (Partial Solution) ออกจากการพิจารณา เนื่องจากว่า คำตอบดังกล่าวนี้ไม่มีโอกาสที่จะนำไปสู่คำตอบสุดท้ายที่ดีที่สุดได้ โดยมากแล้วแนวทางนี้จะช่วยลดการค้นหาคำตอบลง จากจำนวนของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างมาก ตัวอย่างของวิธีการแจงนับโดยนัย คือ ไดนามิกโปรแกรมมิง (Dynamic programming) หรือการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) เป็นต้น

ขั้นตอนวิธีสร้างเสริมเป็นแนวทางที่สมควรนำมาใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดมากที่สุด (ถ้ามี) เมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางอื่นที่กล่าวมา เนื่องจากว่า มีการคำนวณไม่ยุ่งยากนัก และใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการอื่นมาก แต่ในทางตรงกันข้ามวิธีการแจงนับบริบูรณ์เป็นวิธีการที่ควรนำมาใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถหาคำตอบได้จากวิธีการชนิดอื่น ๆ ทั้งหมดแล้วเท่านั้น (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

วิธีการจัดตารางการผลิตด้วยกฎลำดับความสำคัญ

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ใช้หลักเกณฑ์เชิงประสบการณ์ (Rule of theme) หลาย ๆ วิธี เป็นวิธีง่าย ๆ (ง่ายต่อความเข้าใจ และง่ายต่อการประยุกต์ใช้) เพื่อค้นหาวิธีการทำงานที่เหมาะสม และให้ผลลัพธ์ที่ดีตรงวัตถุประสงค์ที่ต้องการมากที่สุด (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2553) ซึ่งมีหลักเกณฑ์พื้นฐานที่นิยมใช้ของฮิวริสติกของการจัดตารางการผลิตด้วยกฎลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

1. เข้าก่อนทำก่อน (First come–First served: FCFS) Jui, Kou, and Hui (2008) ได้พิจารณาปัญหาจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตอาวุธในลักษณะการผลิตแบบเดี่ยวที่มีกำลังการผลิตจำกัด ซึ่งมีทั้งเครื่องจักรแบบขนานและเครื่องจักรแบบกลุ่ม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเทคนิคการจัดเรียงแบบ FCFS พบว่าประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายรวม ค่าความสูญเสียจากการล้าช้า ค่าการเปลี่ยนแปลงกลุ่มเครื่องจักรลดลง ซึ่งหลักเกณฑ์ดังกล่าวเป็นการจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่เข้ามาก่อนเป็นอันดับแรกและทำงานที่เข้ามาทีหลังเป็นอันดับต่อไป ซึ่งหากพิจารณาจากเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพการผลิตแล้ว วิธีนี้จะเป็นวิธีที่ไม่ค่อยดีนัก แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของความเป็นธรรมแล้ว งานที่เข้าก่อนก็ควรได้รับการปฏิบัติก่อน ซึ่งข้อเสียที่เด่นชัดของการจัดงานตามวิธีดังกล่าว คือ งานที่ใช้เวลาทำมากจะทำให้งานอื่น ๆ ที่ตามมาต้องคอยนาน โดยทั่วไปแล้ววิธีการจัดงานแบบ FCFS เหมาะกับงานด้านบริการ เช่น งานร้านอาหาร โรงภาพยนตร์ และธนาคาร เป็นต้น

2. เวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุด (Shortest processing time: SPT) หมายถึง การจัดลำดับความสำคัญของการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลาสั้นที่สุดก่อนแล้ว จึงค่อยทำงานที่ใช้เวลามากเป็นลำดับถัดไป จะเห็นได้ว่า SPT เป็นวิธีที่มุ่งในการลดเวลาแล้วเสร็จของแต่ละงานและพยายามทำให้งานต่าง ๆ ออกจากระบบการผลิตไปให้เร็วที่สุด ข้อดีของการจัดงานแบบ SPT คือ เวลาโดยเฉลี่ยของงานในระบบจะต่ำที่สุดทำให้เกิดสินค้าคงเหลือในระหว่างการผลิตน้อยและสามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่ข้อเสียของ SPT คือ งานที่ใช้เวลาในการผลิตนาน ๆ มักถูกผลักไปอยู่ในอันดับท้ายทำให้มีเกิดการรอคอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เกิดมีงานใหม่เข้ามาแทรกอยู่เสมอ ๆ และเป็นงานที่ใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งหากใช้ SPT ในการจัดลำดับ งานที่เข้ามาแทรกก็จะได้รับการจัดลำดับให้ทำก่อน ทำให้งานที่ใช้เวลาในการผลิตนาน ๆ เกิดการรอคอยที่นานมากยิ่งขึ้นไปเรื่อย ๆ

3. เวลาผลิตรวมของงานที่เหลือที่น้อยที่สุด (Shortest total processing time remaining: STPT) หมายถึง การดำเนินการจัดลำดับให้กับงานที่มีเวลาผลิตรวมเหลือน้อยที่สุดก่อน หลักสำคัญของเกณฑ์ดังกล่าวจะคล้าย ๆ กับเกณฑ์เวลาปฏิบัติงานน้อยที่สุด

4. เวลากำหนดส่งงานเร็วสุด (Earliest due date: EDD) หมายถึง การจัดลำดับความสำคัญในการทำงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดก่อนแล้วจึงค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบนานกว่าเป็นลำดับถัดไป โดยทั่วไปแล้ว EDD เป็นวิธีมุ่งเน้นลดการล่าช้าจากการกำหนดส่งมอบ ถึงแม้วิธีนี้จะดูสมเหตุสมผลและเป็นวิธีที่นิยมใช้ปฏิบัติกันโดยทั่วไปก็จริง แต่วิธีการดังกล่าวอาจทำให้มีจำนวนงานที่เข้ามาในระบบมากกว่าวิธีการอื่น ๆ (หมายถึง หนักงานจะมีงานยุ่งตลอดเวลา) และทำให้เกิดสินค้าคงเหลือระหว่างผลิตสูง เนื่องจากในการจัดลำดับการทำงานตามหลักของ EDD นั้นไม่ได้มีการนำเอาเวลาที่ใช้ในการทำงานมาพิจารณาร่วมด้วย

5. เวลาปฏิบัติงานสูงสุด (Longest processing time: LPT) หมายถึง การจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลามากที่สุดเป็นอันดับแรกแล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าเป็นอันดับถัดมา โดยทั่วไปแล้ว LPT มักจะเป็นวิธีที่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ เพราะการจัดงานแบบ LPT มักทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตงานทั้งหมดนานและยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรด้านการผลิต (เครื่องจักร กำลังคน ฯลฯ) ต่ำอีกด้วย แต่ข้อดีของการจัดงานแบบ LPT ประการหนึ่งก็คือ สามารถสร้างขวัญและกำลังใจในการทำงานให้แก่พนักงานได้เนื่องจากเมื่องานยาก ๆ ที่ใช้เวลานานผ่านไปแล้วก็จะเหลือแต่งานง่าย ๆ ที่ใช้เวลาไม่นาน ทำให้กำลังใจในการทำงานดีขึ้น

6. เวลาเหลือน้อยที่สุด (Minimize slack time: MSL) หมายถึง การจัดลำดับให้กับงานที่มีเวลาเหลือน้อยที่สุดก่อน และจัดลำดับต่อเนื่องกันไปตามลำดับของค่าเวลาเหลือจากน้อยไปมาก

7. งานใดที่มีการปรับตั้งเครื่องจักรคล้ายกับงานที่กำลังทำอยู่ให้ทำก่อน (SETUP) หมายถึง การดำเนินการจัดลำดับให้กับงานที่มีการปรับตั้งเครื่องจักรคล้ายกับงานที่กำลังทำอยู่ให้ทำก่อน โดยวิธีดังกล่าวจะสามารถทำให้เวลาปรับแต่งเครื่องจักรรวมน้อยที่สุด

หลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ มีผลดีผลเสียแตกต่างกันไปตามสภาพของเงื่อนไขและสภาพแวดล้อมของการผลิต ในบางสถานการณ์หลักเกณฑ์หนึ่งอาจจะให้ผลลัพธ์ที่ดีในวัตถุประสงค์หนึ่ง แต่อาจจะมีผลเสียในอีกวัตถุประสงค์หนึ่ง ดังนั้นก่อนที่จะนำหลักเกณฑ์นี้ไปใช้ ควรที่จะศึกษาว่าวิธีการใดจะให้ผลลัพธ์อย่างไร และเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของงานที่จะทำหรือไม่

การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model)

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล (2554) ได้อธิบายว่าปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การตัดสินใจ (Decision) ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับ (Constraint) และวัตถุประสงค์

(Objective) หากผู้ตัดสินใจต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จำเป็นต้องใช้รูปแบบหรือสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะทั้งสามดังรายละเอียดต่อไปนี้

การตัดสินใจ คือ สิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์จากปัญหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านต่าง ๆ เช่น การตัดสินใจ หาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่ง เป็นต้น ซึ่งเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้จะต้องใช้ สัญลักษณ์พยัญชนะภาษาอังกฤษใด ๆ แสดงแทนสิ่งที่ต้องการหาผลลัพธ์ดังกล่าว และจะเรียก สัญลักษณ์นั้นว่า “ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variable)” เช่น ใช้สัญลักษณ์ $x_1, x_2,\ldots,x_k$ เป็นตัวแปรแทนการตัดสินใจปริมาณสินค้าที่ต้องการผลิต k ชนิด เป็นต้น นอกจากสัญลักษณ์พยัญชนะ ภาษาอังกฤษแล้ว ตัวแปรการตัดสินใจยังสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์ชนิดอื่นก็ได้ เช่น แทนด้วยคำนามที่เป็นชื่อหรือรุ่นของสินค้า

สิ่งที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจ คือ “ข้อจำกัด” ซึ่งเป็นเงื่อนไขบังคับให้ผู้ตัดสินใจจะต้องเลือกทางเลือกที่อยู่ภายในขอบเขตข้อจำกัดในแต่ละด้าน เช่น ข้อจำกัดในด้านแรงงานจำนวน ชั่วโมงในการผลิตที่ว่างอยู่ กำลังการผลิต เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองนั้นจะต้องแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจที่อยู่ในรูปฟังก์ชันให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัด โดยมีรูปแบบทั่วไป 3 ลักษณะ คือ

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

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

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

จากรูปแบบข้างต้นจะเห็นว่ามีการนำฟังก์ชันของตัวแปรการตัดสินใจ $f(x_1, x_2,\ldots,x_k)$ มาเปรียบเทียบกับข้อจำกัด (ซึ่งแทนด้วย b) 3 กรณี ได้แก่ $\le$, $\ge$ และ $=$ ซึ่งหมายความว่าฟังก์ชันข้อจำกัดอาจจะอยู่ในรูปแบบของทั้งสมการและอสมการก็ได้

การตัดสินใจเลือกแก้ไขปัญหา นอกจากจะต้องเลือกที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ แล้ว สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องพิจารณา คือ ต้องเลือกทางเลือกที่ทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุประสงค์ที่มีค่าต่ำสุดหรือสูงสุด เช่น การตัดสินใจหาปริมาณการผลิตสินค้าที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้ผลกำไรสูงที่สุด หรือการตัดสินใจหาปริมาณสินค้าที่จะต้องขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด เป็นต้น เมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา วัตถุประสงค์ของปัญหาไม่ว่าจะมี ค่าสูงสุดหรือต่ำสุดก็ตาม จะเกิดจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจ ที่ จะนำมาบวก ลบ คูณ หรือหาร เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นั้น ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะแสดงอยู่ใน รูปของ “ฟังก์ชันวัตถุประสงค์” ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

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

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

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรการตัดสินใจที่ผู้ทำการตัดสินใจนั้นต้องการ ไม่ว่าจะเป็นค่าสูงที่สุด หรือค่าต่ำที่สุด ยกตัวอย่างเช่น มีการนำฟังก์ชันมาอธิบายผลกำไรรวม อันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์หลาย ๆ ประเภทรวมกัน อธิบายผลรวมระยะทางที่เครื่องจักรเคลื่อนที่ หรือจำนวนเงินรวมของกองทุนบำเหน็จบำนาญ เป็นต้น

สูตรทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเรียกว่า กำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) สามารถแสดงในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

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 การหาค่าของตัวแปรการตัดสินใจที่มีค่ามากที่สุด (หรือน้อยที่สุด) ภายใต้ข้อจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

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 แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมมักใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนที่ต้องมีการตัดสินใจ

เชิงปริมาณผสมในรูปของจำนวนเต็มผสมกับจำนวนจริง เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายต่าง ๆ ปัญหาการจัดตารางการผลิต ปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่ต้องใช้ตัวแปรแบบจำนวนเต็มเข้ามาช่วยในการกำหนดเงื่อนไขบังคับ เป็นต้น

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

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

Subject to

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n \ (\leq,\geq,=)\ b_1$$
$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{2n}x_n \ (\leq,\geq,=)\ b_2$$
$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + \ldots + a_{3n}x_n \ (\leq,\geq,=)\ b_3$$
$$a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + \ldots + a_{4n}x_n \ (\leq,\geq,=)\ b_4$$
$$\ldots\ldots$$
$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \ (\leq,\geq,=)\ b_m$$
$$f_{11}y_1 + f_{12}y_2 + \ldots + f_{1n}y_n \ (\leq,\geq,=)\ g_1$$
$$f_{21}y_1 + f_{22}y_2 + \ldots + f_{2n}y_n \ (\leq,\geq,=)\ g_2$$
$$f_{31}y_1 + f_{32}y_2 + \ldots + f_{3n}y_n \ (\leq,\geq,=)\ g_3$$
$$f_{41}y_1 + f_{42}y_2 + \ldots + f_{4n}y_n \ (\leq,\geq,=)\ g_4$$
$$\ldots\ldots$$
$$f_{m1}y_1 + f_{m2}y_2 + \ldots + f_{mn}y_n \ (\leq,\geq,=)\ g_m$$
$$x_j \geq 0 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } j$$
$$y_i \text{ เป็นจำนวนเต็ม} \qquad \text{สำหรับทุกค่า } j$$

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

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver

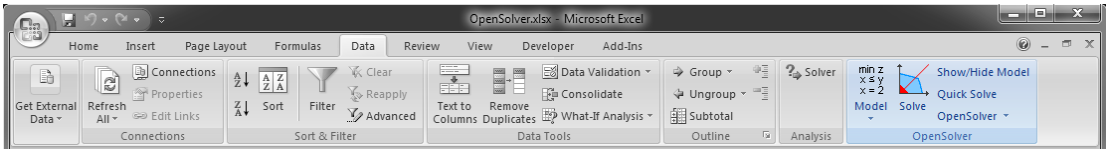
ซอฟต์แวร์สำหรับจำลองตัวแบบลงในคอมพิวเตอร์และหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับภาคธุรกิจ (Commercial software) เช่น AMPL, GAMS, MPL, LINGO/LINDO เป็นต้น มีราคาแพงมากกว่าการใช้ในงานด้านวิชาการและวิจัยหลายเท่าตัว และซอฟต์แวร์ประเภทติดตั้งเพิ่ม (Add-in) ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ไม่ต้องเขียนภาษาจำลองตัวแบบ 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” ดังภาพที่ 2-6

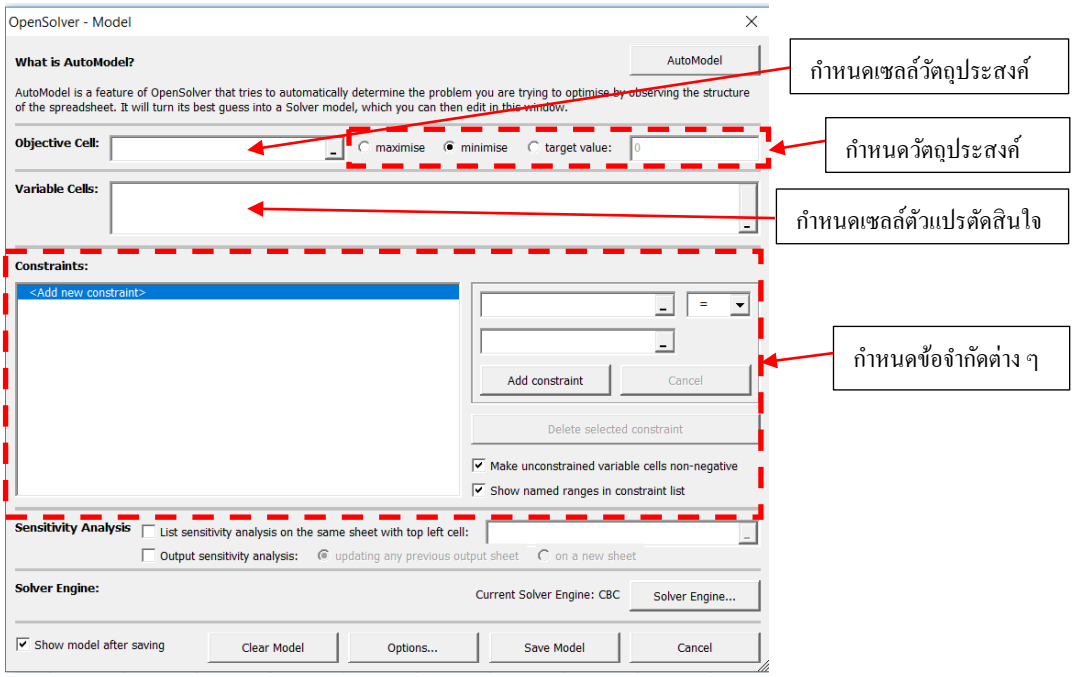


ภาพที่ 2-6 การเรียกใช้งาน OpenSolver (OpenSolver, 2017)

หน้าต่าง “OpenSolver-Model” ปรากฏขึ้น ดังภาพที่ 2-7 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 สามารถตรวจสอบตัวแบบที่สร้างและบันทึกแล้วตามที่ผู้ใช้ต้องการ ด้วยเครื่องมือ “Show/Hide Model” บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-6 เมื่อสั่งให้โปรแกรมแสดงตัวแบบ แผ่นงานที่สร้างไว้จะแสดงผลที่เซลล์วัตถุประสงค์ว่าต้องการหาผลลัพธ์เป็นค่าสูงที่สุด (Maximise) ค่าต่ำที่สุด (Minimise) หรือค่าเป้าหมาย (Target) ที่เซลล์ตัวแปรตัดสินใจจะแสดงผลเช่น ≥ 0, Binary (b), Integer (i) เป็นต้น และที่เซลล์การคำนวณสมการหรืออสมการขอบข่ายในแผ่นจะแสดงความสัมพันธ์ “ $=$ ”, “ $\geq$ ”, “ $\leq$ ” ตามที่กำหนดในตัวแบบ โดยอ่านผลความสัมพันธ์จากซ้ายไปขวา หรือจากบนลงล่าง และเมื่อต้องการให้โปรแกรม

คำนวณหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ให้กดปุ่ม “Solve” บนแถบเครื่องมือในภาพที่ 2-6 รายละเอียดการใช้งานเพิ่มเติมศึกษาได้จาก http://www.opensolver.org



ภาพที่ 2-7 หน้าต่าง OpenSolver-Model สำหรับบันทึกกำหนดการคณิตศาสตร์แบบแผ่นงาน
ดัดแปลงจาก: http://www.opensolver.org

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาผลงานวิจัยของผู้อื่นที่เกี่ยวข้อง โดยเสนอรายละเอียดของกระบวนการวิจัย รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย เพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและแนวทางการดำเนินโครงการ

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา (2551) ได้พัฒนาโปรแกรม PHP สำหรับการวางแผนและจัดตารางการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมสินค้าตามสั่งโดยใช้วิธีการจัดตารางแบบฮิวริสติกส์โดยใช้กฎเกณฑ์ SPT, LPT, EDD, SLACK, FCFS และ Hodgson พบว่ากฎเกณฑ์ SPT ให้เวลาที่อยู่ในระบบเฉลี่ยต่ำที่สุด กฎเกณฑ์ Hodgson ให้จำนวนงานล่าช้าและค่าเฉลี่ยเวลาเบี่ยงเบนน้อยที่สุด EDD, FCSF และ SLACK ให้ค่าสูงสุดของเวลาเบี่ยงเบนของงานต่ำที่สุด และ EDD ให้ค่าเฉลี่ยเวลาส่งงานไม่ทันกำหนดน้อยที่สุด

กัญชลา สุดตาชาติ (2552) เสนอการหาคำตอบของปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตที่มีการจัดเรียงเครื่องจักรแบบขนาน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาการผลิตของระบบ

มีค่าต่ำสุด กรณีลำดับการผลิตมีผลต่อเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อกำหนดของเครื่องจักร และใช้วิธีโปรแกรมมิ่งเชิงจำนวนเต็ม (Integer programming) ผลการทดลองพบว่า วิธีดังกล่าวให้คำตอบที่แตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 7.06 และสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก ในส่วนของปัญหาขนาดใหญ่ได้นำวิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหา สรุปได้ว่าฮิวริสติกสามารถได้คำตอบเท่ากับค่าที่ดีที่สุดเป็นร้อยละ 23.08 ของจำนวนตัวอย่างทดลองทั้งหมด

เพ็ญศิริ สมพงษ์ (2552) ศึกษาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานที่ไม่สัมพันธ์กัน โดยเวลาปรับตั้งเครื่องจักรของงานแต่ละงานมีค่าขึ้นอยู่กับลำดับงาน วิธีเชิงพันธุกรรมเมมเมติก (Memetic algorithm) ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้ในการทำ Global search เพื่อหาลำดับที่ดี อีกทั้งมีการเพิ่มอัลกอลิทึมเข้าไปในกระบวนการพันธุกรรม ซึ่งพิจารณาได้ว่าการทำ Local search เพื่อหาตารางการผลิตที่ดีที่สุดในแต่ละลำดับงาน และเมื่อเปรียบเทียบวิธีเชิงพันธุกรรมชนิดเมมเมติกกับคำตอบที่ดีที่สุดในการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอย่างง่าย (Simple branch and bound method) โดยคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงพันธุกรรมชนิดเมมเมติกมีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยจากคำตอบที่ดีที่สุดไม่เกิน 2% และยังใช้เวลาในการประมวลผลต่ำกว่าวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตอย่างง่ายอย่างเห็นได้ชัด เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

Eren Akyol and Bayhan (2008) เสนอการหาคำตอบของการจัดตารางการผลิต โดยที่รูปแบบของการจัดลำดับงานที่มีผลต่อเวลา Setup เครื่องจักร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าเวลางานเสร็จก่อนกำหนด และเวลางานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดต่ำสุด ด้วยวิธี Neural networks โดยผลการศึกษาพบว่าวิธี Neural networks ให้ค่าที่ดีเทียบเท่าค่า Optimal solution

Allahverdi (2015) ได้สำรวจงานวิจัยในช่วงกลางปี ค.ศ. 2006 ถึงปี ค.ศ. 2014 ที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตที่พิจารณาเงื่อนไขการผลิตด้านเวลาการตั้งเครื่องจักร การสำรวจงานวิจัยนี้ได้ทำต่อเนื่องจากการสำรวจงานวิจัยครั้งแรกในช่วงกลาง ค.ศ. 1960 ถึงปี ค.ศ. 1998 และและครั้งที่สองตั้งแต่ปี ค.ศ. 1999 ถึงกลางปี ค.ศ. 2006 การสำรวจงานวิจัยครั้งที่สามนี้ได้แบ่งการอภิปรายตามระบบการผลิตแต่ละรูปแบบ สำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน พบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรวม 82 งานวิจัย งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้ และมีร่วม 20 งานวิจัยที่ใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับแก้ปัญหานี้ โดยมีงานวิจัยบางงานสามารถแก้ปัญหาที่มีจำนวนงาน 60 งาน และจำนวนเครื่องจักร 10 เครื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในเวลาการประมวลผลที่ไม่นาน

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ฉบับนี้เป็นการสร้างตัวแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) สำหรับการจัดตารางการผลิตประจำวันของกระบวนขึ้นรูปยางของบริษัทแห่งหนึ่ง โดยมีเป้าหมาย คือ ลดค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงงานพนักงานคุมเครื่องจักรและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร เนื้อหาบทนี้นำเสนอภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย และเสนอรายละเอียดที่ประกอบด้วย สภาพปัจจุบันของการวางแผนการผลิต จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลแผนการผลิตในอดีต แล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาด้านต้นทุนการผลิตจากตารางการผลิตรายวันของบริษัทตัวอย่าง ในปัจจุบัน และเสนอแนวทางการแก้ปัญหา

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดตารางการผลิตประจำวันของบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนนี้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับกำลังการผลิตของแผนกขึ้นรูปยาง ค่าใช้จ่ายในการผลิต การวางแผนการผลิตรวมทั้งเงื่อนไขของเครื่องจักรในแผนกขึ้นรูปยาง

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดไว้ในบทที่ 2 ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับนำมาใช้เป็นแนวทางการแก้ไขปัญหา ได้แก่ การวางแผนการผลิตและการจัดตารางการผลิต เทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต วิธีการจัดตารางการผลิตด้วยกฎลำดับความสำคัญ การสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนาน

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนนี้แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลแผนการผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 มีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนงานที่มีการสั่งผลิตในรอบ 1 เดือน ชนิดของเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยาง และเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

4. การวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางการผลิตและเสนอแนวทางแก้ไข

ขั้นตอนนี้เป็นวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางการผลิตจากแผนการผลิตในปัจจุบัน และเสนอแนวทางแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตประจำวัน

5. การสร้างและการใช้งานแบบจำลอง MILP สำหรับการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่พิจารณาเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรแบบขึ้นอยู่กับลำดับงาน

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดการออกแบบ MILP สำหรับการจัดตารางการผลิต ที่ต้องตัดสินใจว่าลำดับการผลิตงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องเป็นอย่างไร และใช้เครื่องจักรจำนวนกี่เครื่อง แบบจำลอง MILP ที่สร้างขึ้น จะพิจารณาจากแบบจำลองกำหนดการคณิตศาสตร์ของงานวิจัยในอดีต และปรับปรุงเพิ่มเงื่อนไขให้เหมาะสมกับการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยาง รายละเอียดของ MILP ประกอบด้วย 1) ดัชนี และเซตที่ใช้ในแบบจำลอง 2) พารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลนำเข้า และค่าคงที่ของแบบจำลอง 3) ตัวแปรตัดสินใจ เป็นตัวแปรอิสระที่แสดงผลลัพธ์ตารางการผลิต 4) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แสดงสมการสำหรับคำนวณค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าจากตารางการผลิตที่สร้างขึ้น และ 5) เงื่อนไขบังคับในด้านต่าง ๆ เช่น การมอบหมายงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่อง การคำนวณเวลาผลิตเสร็จของแต่ละงาน การทำงานล่วงเวลาในรอบการจัดตารางการผลิต ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร เป็นต้น แบบจำลองที่สร้างขึ้นอาจไม่สามารถสร้างตารางการผลิตได้ภายใต้เวลาการประมวลผลที่เป็นไปได้ในการจัดตารางการผลิตเพื่อใช้ในการทำงานต่อไป ดังนั้นอาจต้องทดลองเพื่อกำหนดเวลาในการประมวลผลที่เหมาะสม ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 4

6. การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดในบทที่ 4 เกี่ยวกับการออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบ ที่บันทึกแบบจำลอง MILP ที่เสนอในรูปแบบของแบบจำลองแผ่นงาน (Spreadsheet model) ให้พร้อมใช้ในการจัดตารางการผลิตประจำวัน ประกอบด้วย แผ่นงานต่าง ๆ (Worksheet) ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลนำเข้า การคำนวณผลลัพธ์จากแบบจำลอง MILP และการแสดงผลลัพธ์ในรูปตารางการผลิต

7. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP

ขั้นตอนนี้นำเสนอรายละเอียดการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีที่เสนอกับตารางการผลิตที่ใช้งานในกระบวนการขึ้นรูปยางของบริษัทกรณีศึกษาในระหว่างเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 จำนวน 30 วัน โดยวัดจากค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงงานพนักงานคุมเครื่องจักรและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร

8. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนนี้เป็นการสรุปผลการดำเนินงาน และอภิปรายผลการใช้งานวิธีการจัดตารางการผลิตที่เสนอ พร้อมทั้งสรุปข้อจำกัดในการใช้งาน และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงการใช้งานของแบบจำลอง MILP ขั้นตอนนี้นำเสนอในบทที่ 5

การศึกษาสภาพปัจจุบันของการจัดตารางการผลิตประจำวันของบริษัทกรณีศึกษา

การศึกษาวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นการศึกษาเพื่อการปรับปรุงกระบวนการวางแผนการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางของบริษัทแห่งหนึ่ง ที่มีกำลังการผลิตสูงสุด 80,000 ตัน/ปี (คิดจากน้ำหนักยางดิบ, Raw rubber ton; RRT) โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตโดยรวมของบริษัทกรณีศึกษา ขั้นตอนการวางแผนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ตลอดจนข้อมูลและเงื่อนไขในการวางแผนการผลิต มีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

กระบวนการผลิตยางมีขั้นตอนหลัก 7 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ (ดังภาพที่ 3-1 และภาพที่ 3-2)

1. ขั้นตอนการผสมยาง (Banbury mixing) เครื่องผสมยางเป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการผลิตยางดิบ (ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์) และสารเคมีจะถูกนำไปบดผสมกันภายในห้องผสมที่มีการควบคุม อุณหภูมิ ความดัน และเวลาตามที่สูตรกำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติทั้งทางด้านกายภาพและเคมีตามต้องการ สูตรที่ใช้ในการผสมจะแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของส่วนประกอบที่จะนำไปผลิต

2. ขั้นตอนการบดยาง (Milling) ยางที่ได้จากขั้นตอนการผสมยาง จะถูกนำมาผ่านเครื่องบด เพื่อให้ได้ยางที่เป็นแผ่นยาว ๆ โดยอาศัยแรงกดของการหมุนลูกกลิ้ง 2 ตัว ที่มีทิศทางการหมุนและความเร็วที่แตกต่างกัน

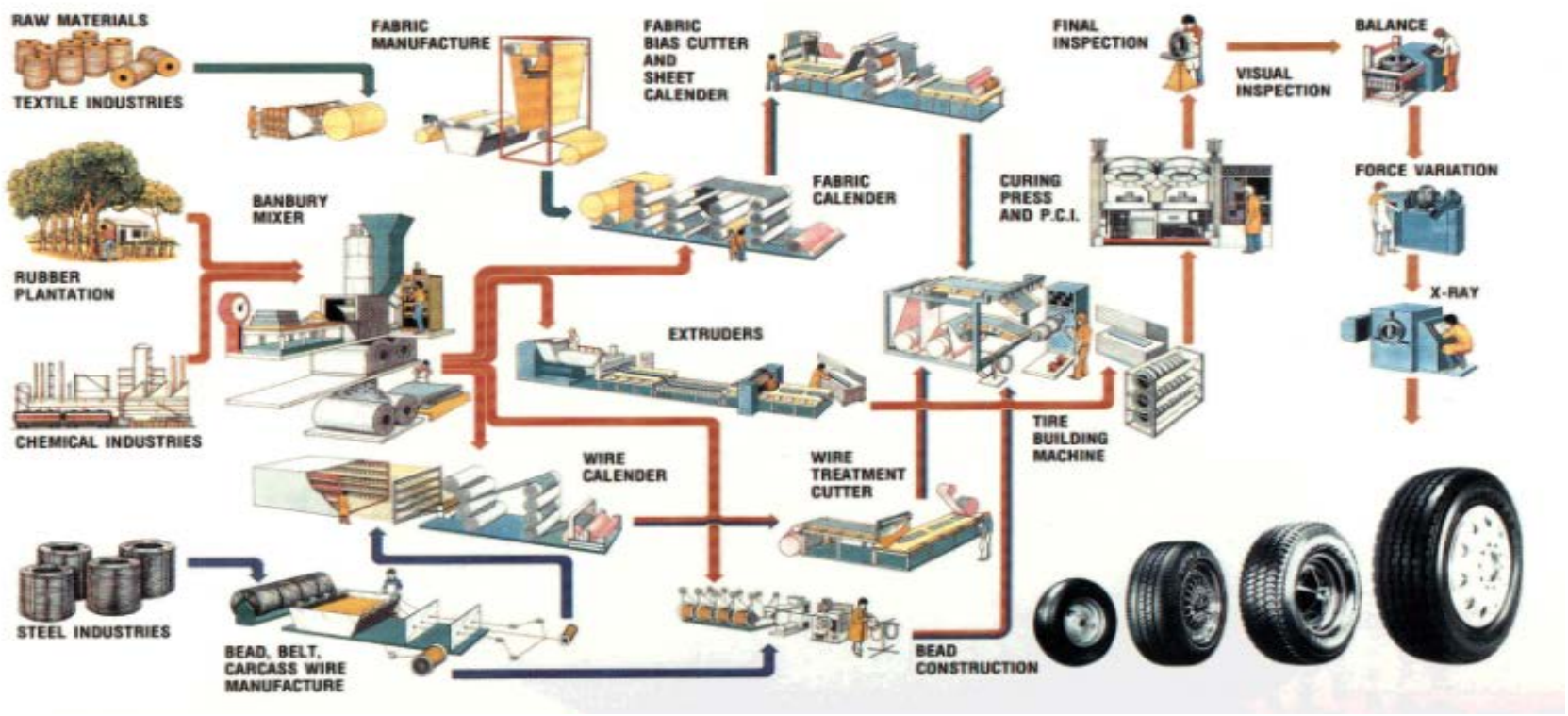
3. ขั้นตอนการกดอัด และการฉาบผ้าใบ (Extruding and Calendering) หลังจากผ่านขั้นตอนการบดยาง ยางก็จะถูกนำมาสู่ขั้นตอนการกดอัดให้เรียบ โดยใช้เครื่องฉาบผ้าใบ (Calender machine)

4. ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นส่วนของยาง (Component assembly) การขึ้นรูปยางต้องใช้กระบวนการที่อาศัยเครื่องจักรอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เครื่องจักรนี้จะประกอบด้วยล้อหมุน (Rotating drum) ซึ่งจะเป็นส่วนที่ใช้ในการขึ้นรูปยาง และส่วนที่เป็นตัวป้อนยางให้กับเครื่องสร้างยาง

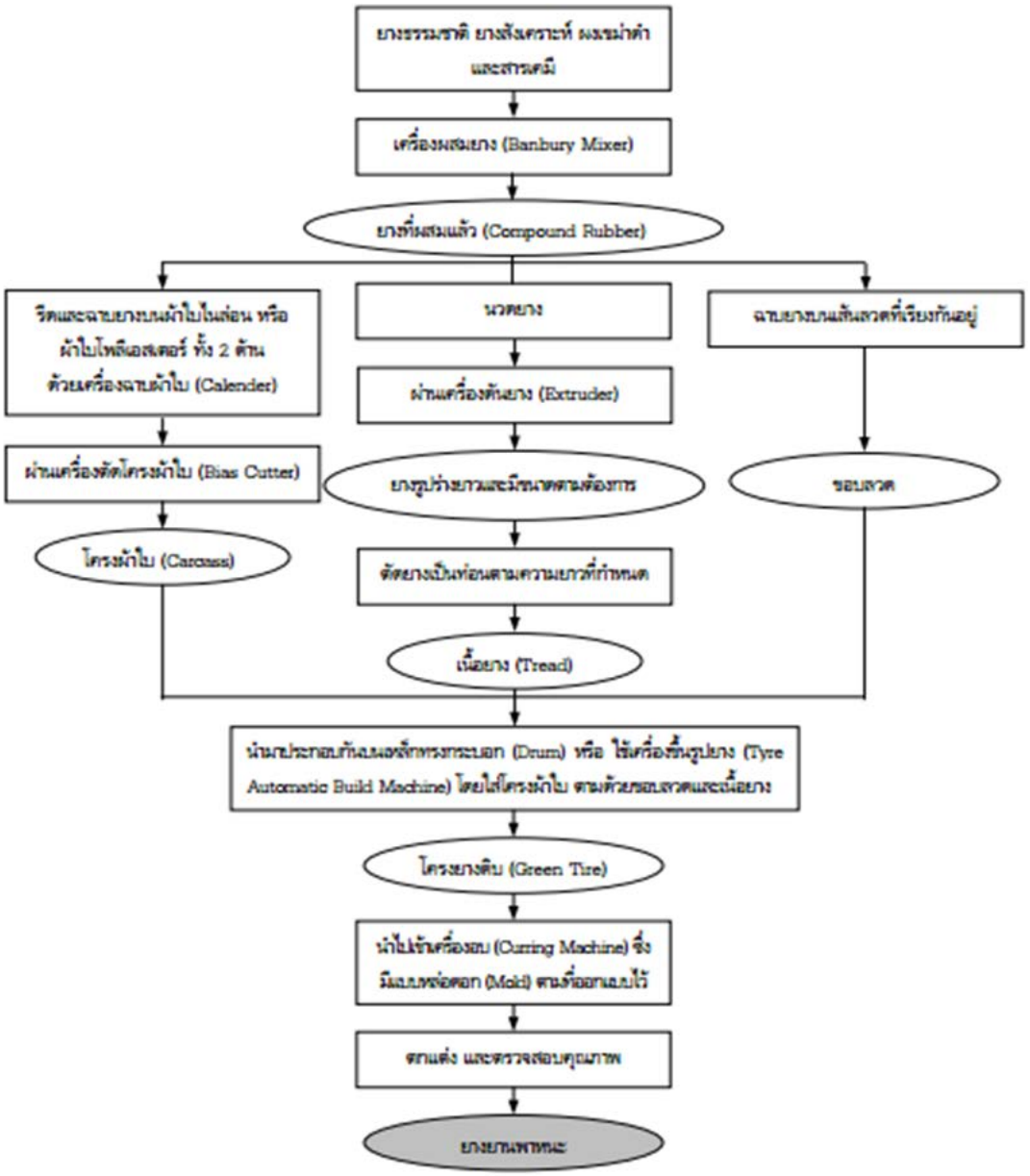
5. ขั้นตอนการขึ้นรูปยาง (Building) นับว่าเป็นเครื่องที่มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตยาง เพราะใช้ในการประกอบส่วนต่าง ๆ ของยางที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ให้เป็นโครงยางดิบ (Green tire) เครื่องสร้างยางได้รับการออกแบบให้เหมาะสมและทันสมัยอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ส่วนประกอบต่าง ๆ ของยางจะถูกนำมาประกอบกันเข้าตามลำดับทีละชิ้นตรงตำแหน่งต่าง ๆ ที่ได้มีการออกแบบไว้อย่างเที่ยงตรง เพื่อให้ได้ขนาดและคุณภาพของยางตามต้องการ

6. ขั้นตอนการอบยาง และกระบวนการวัลคาไนซ์ (Curing and Vulcanizing) ในขั้นตอนนี้คนงานจะเป็นผู้นำโครงยางดิบ (Green tire) เข้าสู่เครื่องอบยาง (Curing press) ซึ่งการอบยาง และกระบวนการวัลคาไนซ์ จะทำให้ยางที่เหนียวและมีความยืดหยุ่นมากเกินไป เปลี่ยนเป็นยางที่มีความแข็ง ลดความยืดหยุ่นให้น้อยลง และให้มีความทนทานมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ในการอบยางจะต้องมีการควบคุมเวลา อุณหภูมิ ความดัน และการไหลของน้ำร้อนให้พอเหมาะที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์

7. ขั้นตอนการตรวจสอบ (Inspection) ยางที่อบเสร็จแล้วทุกชนิดจะต้องผ่านการตรวจสอบทุกเส้น ก่อนที่จะส่งเข้าคลังสินค้า (Warehouse) และลูกค้าต่อไป การตรวจสอบจะครอบคลุมถึงรูปลักษณ์ (Appearance) และตำหนิต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับตัวยาง รวมทั้งทำการคัดแยกส่วนที่เป็นยางเสียออกไป



ภาพที่ 3-1 วัตถุดิบและกระบวนการผลิตยางรถยนต์ (กรมการค้าภายใน, 2556)



<u>หมายเหตุ</u>: รูปสี่เหลี่ยม แสดงขั้นตอนการผลิต

รูปวงรี แสดงผลผลิตย่อยของแต่ละขั้นตอนการผลิต

ภาพที่ 3-2 ขั้นตอนการผลิตยางรถยนต์ (ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าของประเทศไทย, 2549)

ค่าใช้จ่ายในการผลิต

ค่าใช้จ่ายในการผลิตรายวันของแผนกขึ้นรูปยางเกิดจากการใช้เครื่องจักรเพื่อทำการขึ้นรูปยาง โดยค่าใช้จ่ายในการผลิตจะถูกคิดจาก 2 ส่วน คือ

1. ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ใน 1 วันทำงานจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กะ และในแต่ละกะจะมีการคิดค่าแรงใน 2 อัตราตามช่วงเวลา คือ ช่วงเวลางานปกติ (Normal time: NT) และช่วงเวลาทำงานล่วงเวลา (Over time: OT) ดังตารางที่ 3-1 และในการคำนวณค่าแรงเศษของชั่วโมงจะถูกปัดขึ้นให้เป็น 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 3-1 การแบ่งคิดค่าแรงตามช่วงเวลา

กะที่	ชั่วโมงการผลิตที่	ช่วงเวลา	กะที่	ชั่วโมงการผลิตที่	ช่วงเวลา	กะที่	ชั่วโมงการผลิตที่	ช่วงเวลา
1	1	Normal time	2	9	Normal time	3	17	Normal time
	2			10			18	
	3			11			19	
	4			12			20	
	5			13			21	
	6			14			22	
	7			15			23	
	8	Over time		16	Over time		24	Over time

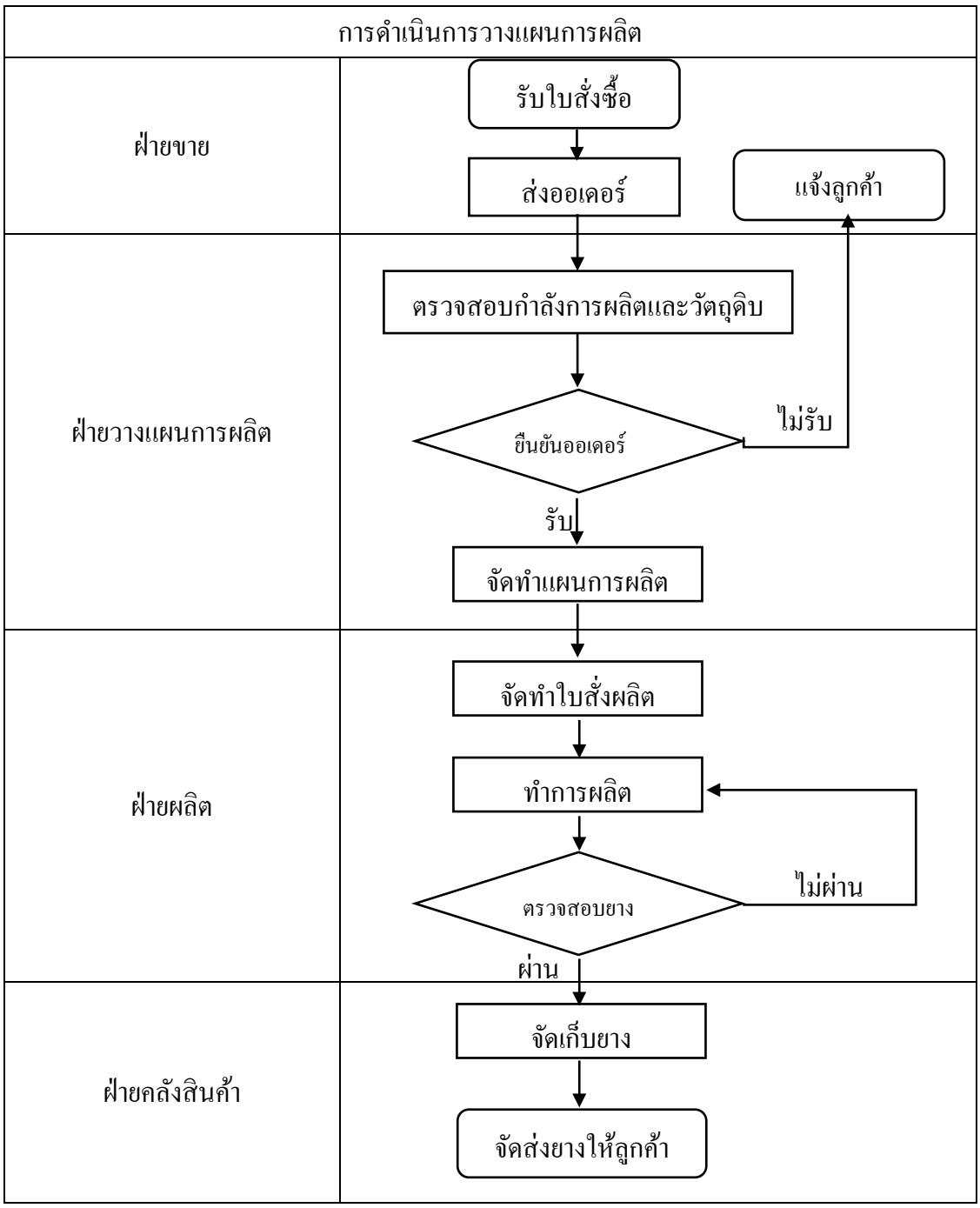
โดยมีการคิดค่าแรงที่การทำงานในช่วง NT เท่ากับ 88.7 บาทต่อชั่วโมง และค่าแรงที่การทำงานในช่วง OT เท่ากับ 133 บาทต่อชั่วโมง และในการกำหนดให้คิดโอทีได้ คือ จะต้องมีการทำงานรวมทั้ง 3 กะเกิน 21 ชั่วโมง

2. ค่าใช้จ่ายจากการใช้เครื่องจักร คิดจากอัตราค่าไฟฟ้า 36.8 บาทต่อชั่วโมง เท่ากันทั้งในช่วงเวลา NT และในช่วงเวลา OT

การวางแผนการผลิต

ขั้นตอนการวางแผนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา เมื่อฝ่ายวางแผนการผลิตได้รับใบสั่งซื้อของลูกค้า (Purchase oder: PO) จากฝ่ายขาย ฝ่ายวางแผนการผลิตจะดำเนินการตรวจสอบความพร้อมของวัตถุดิบกับฝ่ายสโตร์ และตรวจสอบกำลังการผลิตกับฝ่ายผลิต เพื่อยืนยันการส่งมอบสินค้า หลังจากนั้นจะจัดทำแผนการผลิตหลัก (Master plan) เพื่อส่งกำหนดการต่าง ๆ ให้ฝ่ายคลังสินค้า, ฝ่ายจัดซื้อ, และฝ่ายผลิตทราบ และส่งเอกสารในรายการวัตถุดิบ (Bill of material: BOM) ให้กับฝ่ายสโตร์ หลังจากนั้นฝ่ายผลิตจะวางแผนและจัดทำใบสั่งผลิต (Production order sheet: POS) ส่งให้พนักงานฝ่ายผลิตผลิตตาม โดยอ้างอิง Master plan และทุกวันฝ่ายวางแผนจะทำหน้าที่ติดตามและรายงานผลการผลิตของฝ่ายผลิต โดยฝ่ายผลิตจะทำหน้าที่ทบทวนผลการดำเนินงานว่าทันกำหนดการหรือไม่ หากไม่ทันกำหนดการจะทำการปรับแผนการผลิตแล้วแจ้งให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องทราบ และเมื่อหน่วยผลิตได้ผลิตสินค้าครบตามจำนวนและผ่านการตรวจสอบจากฝ่ายตรวจสอบแล้ว ฝ่ายวางแผนจะทำการแจ้งไปยังฝ่ายคลังสินค้าเพื่อดำเนินการจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป โดยขั้นตอนการปฏิบัติงานดังภาพที่ 3-3

ปัจจุบันฝ่ายผลิตได้มอบหมายให้หัวหน้างานเป็นผู้วางแผนการผลิตประจำวัน จากภาพที่ 3-3 เมื่อผู้วางแผนจะได้รับแผนการผลิตหลักล่วงหน้าประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนการจัดส่งจากฝ่ายวางแผนการผลิต ผู้วางแผนจะใช้เวลาประมาณ 40 นาทีในการวางแผนการตัดสินใจว่าจะให้งานไหนเข้าเครื่องจักรใดบ้าง ผู้วางแผนจะใช้ประสบการณ์ในการจัดทำแผนสั่งผลิต แล้วส่งแผนนี้ให้กับพนักงานฝ่ายผลิต เพื่อผลิตงานตามใบสั่งผลิตในแต่ละวัน



ภาพที่ 3-3 ภาพรวมของขั้นตอนการวางแผนการผลิต

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลการวางแผนการผลิตของแผนกขึ้นรูปยางของเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 มีรายละเอียดต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนงานที่มีการสั่งผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 ชนิดของเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยาง และเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

1. จำนวนงานที่มีการสั่งผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีทั้งหมด 196 โมเดล คำสั่งผลิตมีทั้งหมด 208,732 เส้น (แผนการสั่งผลิตเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 แสดงในภาคผนวก) พิจารณาจากแผนการผลิตจะมีโอทีเกิดขึ้น 310 ชั่วโมง คิดเป็นต้นทุนค่าแรงช่วงเวลาโอทีทั้งหมด 41,230 บาท และเมื่อพิจารณาปริมาณคำสั่งผลิตรายวัน โดยยกตัวอย่างในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ตามตารางที่ 3-2 พบว่ามีการสั่งผลิตทั้งหมด 7,234 เส้น จากทั้งหมด 77 โมเดล

2. ชนิดของเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางจะเป็นเครื่องจักรแบบขนาน มีหน้าที่ในการนำวัสดุต่าง ๆ มาประกอบกันและขึ้นรูปเป็นยาง ลักษณะของเครื่องจักรดังภาพที่ 3-4 จากเครื่องจักรที่มีทั้งหมด 32 เครื่องจะมีข้อจำกัดสำหรับยางบางขนาดสรุปได้ ดังตารางที่ 3-3

3. เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร จากตารางที่ 3-4 ซึ่งเป็นข้อมูลตัวอย่างระยะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรของแต่ละงาน โดย งาน i ผลิตก่อนงาน j บนเครื่องจักร k พบว่าเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับกลุ่มงาน (Model family) และขนาดของขอบยาง กลุ่มงานที่แตกต่างกันและขนาดขอบยางที่แตกต่างกัน จะส่งผลทำให้เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรแต่ละครั้งต่างกันด้วย

ตารางที่ 3-2 ปริมาณคำสั่งผลิตและเวลาในการใช้ผลิตในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560

ลำดับ	โมเดล	เวลาการขึ้นรูป (นาที/เส้น)	คำสั่งซื้อ (เส้น)
1	A3U4	3.86	46
2	A4C4	3.78	104
3	A4F2	3.89	112
4	A6A8	3.34	48
5	A6F9	3.89	46
6	B0H4	3.69	100
7	B1H8	3.69	102
8	B2H1	3.69	44
9	B3B3	3.61	116
10	B4H6	3.69	165
11	B6R2	3.53	60
12	B7B0	3.61	52
13	B7B5	3.61	177
14	B8R8	3.53	57
15	B8W0	3.83	55
16	C1H1	4.13	150
17	C2D0	3.53	303
18	C3L8	3.91	42
19	C6G9	3.88	92
20	E7G4	3.78	147
21	F2R4	3.91	52
22	F4F6	4.08	82
23	F4L5	3.96	40
24	F6V7	4.75	84
25	G0E5	4.06	94
26	G1J5	3.53	49
27	G5H3	4.28	40
28	G6D4	3.53	208
29	G7F9	4.08	86
30	H2B5	3.61	116
31	H3L9	3.87	43
32	H6G0	4.04	92
33	H6L2	3.87	49
34	J4C0	4.15	43
35	J6E7	4.06	88
36	J7W8	4.17	53
37	K0U5	4.07	45
38	K0V4	4.24	106
39	K1R2	3.99	122
40	K4W2	4.12	96
41	K4Y8	4.74	30
42	K6Y4	4.74	80
43	K8H3	3.55	39
44	K8V4	4.14	100
45	K8X5	4.67	44
46	L4D9	3.55	138
47	M1G5	3.98	90
48	M3F0	4.51	80
49	M4L8	3.99	44
50	M5F7	4.51	32
51	M8E4	3.61	102
52	M8F8	4.51	80
53	M8Y9	4.58	30
54	N1D8	3.53	268
55	N4C8	3.61	116
56	P2S3	3.60	118
57	P4L7	4.25	44
58	R0B4	4.05	45
59	R3Y2	4.90	30
60	R4C2	3.56	110
61	S0E2	4.03	44
62	S1E9	4.03	204
63	S2B7	4.10	98
64	S4V2	4.56	36
65	S6E3	4.03	42
66	T0H8	4.00	40
67	T5C3	3.61	224
68	T5C5	3.61	174
69	T5Y0	4.56	72
70	T8F7	4.03	35
71	U0C3	3.53	424
72	U2V8	4.64	258
73	U8Y0	4.81	92
74	V7B4	3.99	40
75	W0C7	3.61	47
76	W5Y6	4.75	92
77	W7A9	3.63	86

ภาพที่ 3-4 เครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยาง (บริษัท ดีสโตน จำกัด, 2560)

ตารางที่ 3-3 ข้อจำกัดสำหรับเครื่องขึ้นรูปยาง

เครื่องจักรหมายเลข	ขนาดขอบยางที่สามารถขึ้นรูปได้ (นิ้ว)
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32	19", 20", 22"
21, 22, 23	19", 20", 22", 24"

ตารางที่ 3-4 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรของแต่ละงาน โดย งาน *i* ผลิตก่อนงาน *j* บนเครื่องจักร *k* (ชั่วโมง/งาน/ครั้ง)

From(*i*)/ To (*j*)	K0U5	F6V7	K0V4	K8V4	N1V4	S4V2	U2V8	B8W0	J7W8	K4W2	R5W1	U4W3	K8X5	S7X4	K4Y8
K0U5	-	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	23.2
F6V7	0.8	-	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	23.3
K0V4	0.7	0.7	-	0.4	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	23.2
K8V4	0.6	0.7	0.4	-	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.8	0.7	23.2
N1V4	0.7	0.8	0.7	0.7	-	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	23.2
S4V2	0.7	0.7	0.6	0.7	0.7	-	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	23.2
U2V8	0.5	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	-	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	23.3
B8W0	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	-	0.7	0.7	0.8	0.6	0.8	0.7	23.2
J7W8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	-	0.7	0.7	0.7	0.6	0.7	23.2
K4W2	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	-	0.7	0.7	0.5	0.7	23.2
R5W1	0.7	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	-	0.8	0.6	0.8	23.3
U4W3	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.6	0.7	0.7	0.8	-	0.8	0.7	23.2
K8X5	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	0.6	0.5	0.6	0.8	-	0.8	23.3
S7X4	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8	-	23.2
K4Y8	23.2	23.3	23.2	23.2	23.2	23.2	23.3	23.2	23.2	23.2	23.3	23.2	23.3	23.2	-

การวิเคราะห์ปัญหา

งานวิจัยนี้ตั้งสมมติฐานในการศึกษาว่าการจัดตารางการผลิตของแผนกขึ้นรูปยางทำโดยการอาศัยประสบการณ์ของพนักงานเป็นหลัก โดยทำการจัดลำดับงานตามกำหนดส่งงานเป็นหลัก (Due date) โดยจะนำงานต่าง ๆ ที่อยู่ใน List งานทั้งหมด (Master plan scheduling: MPS) ที่ได้มาจากแผนกวางแผน มาตรวจสอบดูและดึงเอางานที่มีกำหนดส่งมาเรียบเรียงและจัดลงในไฟล์ Excel โดยมีฟอร์มที่ถูกออกแบบไว้ โดยส่วนใหญ่จะมีการวางแผนการผลิตเป็นรายวัน เนื่องจากแผนการผลิตที่ได้เกิดจากการใช้ประสบการณ์ของผู้จัดตารางการผลิตเอง จึงทำให้เกิดสิ่งไม่พึงประสงค์ คือ แผนผลิตที่ได้มีจำนวนการปรับตั้งเครื่องจักรสูง ซึ่งส่งผลต่อกำลังการผลิตของแผนกขึ้นรูปยาง ทำให้ต้องมีบางเครื่องจักรจะต้องทำงานล่วงเวลาและบางเครื่องจักรเกิดเวลาว่างงาน เพื่อสนับสนุนสมมติฐานของงานวิจัยนี้ เราจึงแบ่งการวิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางการผลิตโดยอาศัยประสบการณ์ของพนักงานออกเป็นสองส่วนหลัก คือ การเลือกลำดับการผลิตไม่เหมาะสม และการแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรไม่เหมาะสม ดังต่อไปนี้

1. การเลือกลำดับการผลิตไม่เหมาะสม จากตารางที่ 3-5 แสดงเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน *i* ไปงาน *j* ของลำดับงานบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องในวันที่ 1 กันยายน

พ.ศ. 2560 พบข้อสรุปสำคัญ คือ กลุ่มงานและขนาดของขอบยางจะส่งผลโดยตรงของเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร โดยเมื่อจัดลำดับการเข้าเครื่องจักรให้กลุ่มงานและขนาดของขอบยางเดียวกันอยู่ลำดับติดกัน จะทำให้เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยกว่ากลุ่มงานและขนาดของขอบยางที่แตกต่างกันอยู่ลำดับติดกัน และในกลุ่มงานเดียวกันลำดับการผลิตก็ส่งผลต่อการเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเช่นกัน เนื่องจากบางงานมีการใช้วัตถุดิบร่วมกัน ทำให้มีการปรับตั้งเครื่องจักรเฉพาะในส่วนที่มีความแตกต่างเท่านั้น ดังตารางที่ 3-6 ดังนั้นการจัดลำดับของงานจึงส่งผลโดยตรงต่อเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร

เมื่อวิเคราะห์การจัดลำดับการผลิตรายวันในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ที่เครื่องจักรหมายเลข 17 ที่สรุปได้ดังตารางที่ 3-7 พบว่าผู้จัดตารางการผลิตเลือกให้ผลิตงาน H6L2 H3L9 F4L5 P4L7 และ L4D9 ตามลำดับ คิดเป็นเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเท่ากับ 131.3 นาที เมื่อพิจารณาการเลือกลำดับการเข้าเครื่องจักร โดยทำการปรับเปลี่ยนลำดับการผลิตเป็น P4L7 H3L9 H6L2 F4L5 และ L4D9 ตามลำดับ พบว่าเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรลดลงเท่ากับ 131.3 – 117.2 = 14.2 นาที ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผู้จัดตารางการผลิตตัดสินใจผิดพลาดในการเลือกลำดับงานเข้าเครื่องจักร

ตารางที่ 3-5 เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน *i* ไปงาน *j* ของแต่ละเครื่องจักรในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560

หมายเลขเครื่องจักร	From (*i*)	To (*j*)	นาที/ครั้ง
1	B3B3	N4C8	21.8
2	B7B5	H2B5	38.1
3	M4L8	G1J5	42.8
	G1J5	A6A8	40.4
	A6A8	M4L8	42.8
4	B7B0	V7B4	35.8
	V7B4	H2B5	42.8
5	G0E5	J6E7	37
	J6E7	S0E2	26.4
6	S1E9	S6E3	18.3
7	T5C3	T5C3	0
8	K4W2	J7W8	39.3
	J7W8	B8W0	42.8
9	C6G9	M1G5	34.7
	M1G5	K8H3	38.1
10	E7G4	H6G0	31.4
11	R4C2	T5C5	37
12	K8X5	S4V2	45
	S4V2	F6V7	41.6
13	K0U5	K8V4	35.7
	K8V4	K0V4	21.8
14	U2V8	U2V8	0
15	B6R2	B8R8	7.7
	B8R8	F2R4	42.8
	F2R4	A3U4	40.4
16	K1R2	P2S3	42.8
17	H6L2	H3L9	7.7
	H3L9	F4L5	40.4
	F4L5	P4L7	40.4
	P4L7	L4D9	42.8
18	L4D9	G6D4	38.1
19	M5F7	M3F0	18.3
	M3F0	M8F8	7.7
20	N1D8	N1D8	0
21	K6Y4	K4Y8	14.7
	K4Y8	M8Y9	40.4
22	R3Y2	T5Y0	39.3
23	U8Y0	W5Y6	11.1
24	W7A9	F4F6	42.8
	F4F6	J4C0	42.7
25	C1H1	T0H8	30
	T0H8	T8F7	40.4
26	C2D0	C2D0	0
27	M8E4	R0B4	39.3
	R0B4	U0C3	42.8
28	A4F2	A6F9	18.1
	A6F9	G7F9	34.7
29	W0C7	A4C4	42.8
	W0C7	S2B7	42.8
30	U0C3	U0C3	0
31	B4H6	B1H8	7.7
32	G5H3	B2H1	38.1
	B2H1	B0H4	7.7

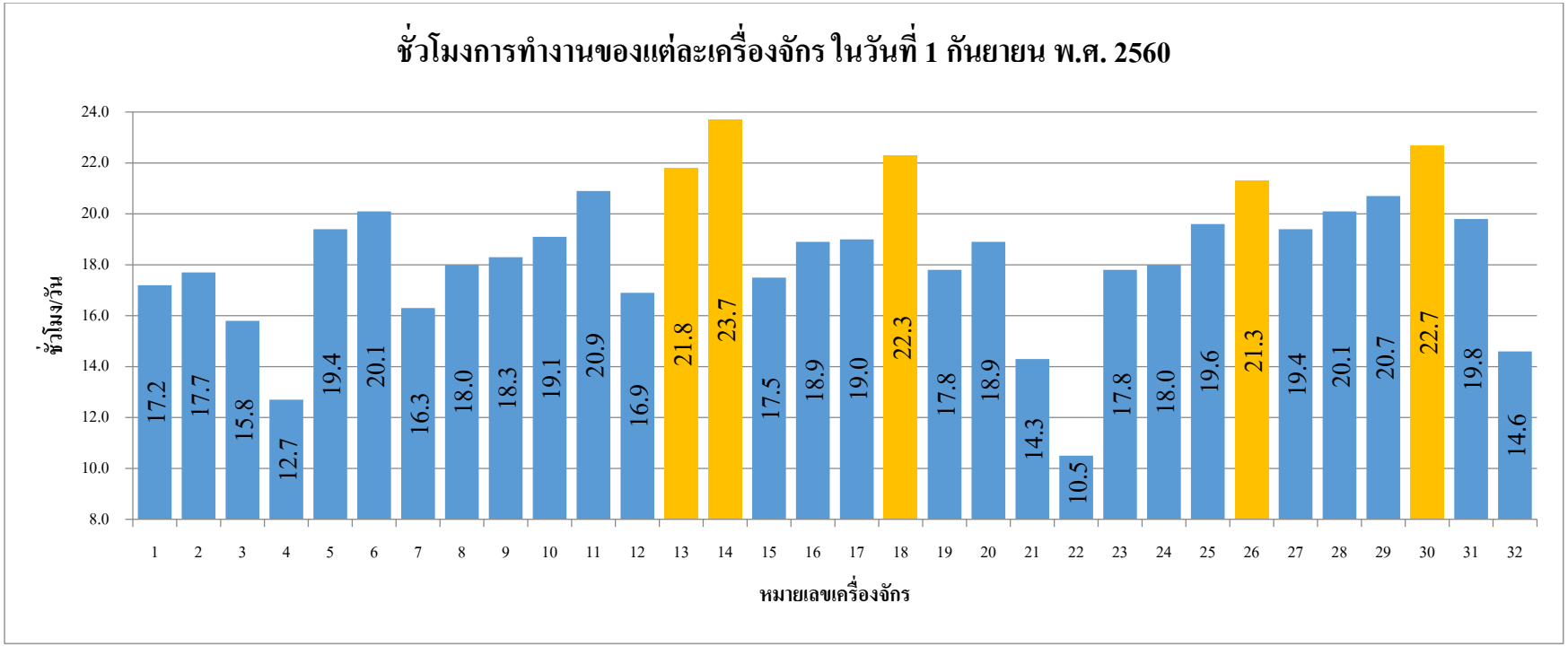
ตารางที่ 3-6 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องจักรของกลุ่มงานและขนาดขอบยางเดียวกัน โดย งาน *i* ผลิตก่อนงาน *j* บนเครื่องจักร *m* (ชั่วโมง/งาน/ครั้ง)

From(*i*) / To(*j*)	A4C4	A5C1	A6C3	A8C2
A4C4	-	0.4	0.4	0.4
A5C1	0.4	-	0.2	0.2
A6C3	0.4	0.2	-	0.2
A8C2	0.4	0.2	0.2	-

ตารางที่ 3-7 เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรหมายเลข 17 ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 เมื่อทำการปรับเปลี่ยนลำดับการผลิต

หมายเลขเครื่องจักร	ลำดับการผลิตเดิม			ปรับเปลี่ยนลำดับการผลิต		
	From (*i*)	To (*j*)	นาที/ครั้ง	From (*i*)	To (*j*)	นาที/ครั้ง
17	H6L2	H3L9	7.7	P4L7	H3L9	26.3
	H3L9	F4L5	40.4	H3L9	H6L2	7.7
	F4L5	P4L7	40.4	H6L2	F4L5	40.4
	P4L7	L4D9	42.8	F4L5	L4D9	42.8
รวม (นาที)		131.3			117.2	

2. การแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรไม่เหมาะสม ทำให้มีเครื่องจักรที่ชั่วโมงการทำงานมากกว่า 21 ชั่วโมง ทำให้ต้องมีการทำงานล่วงเวลา ในขณะบางเครื่องจักรมีเวลาว่าง เช่น ในตัวอย่างชั่วโมงการทำงานที่เกิดจากการจัดตารางการผลิตในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ดังภาพที่ 3-5 จะเกิดต้นทุนจากการทำโอทีทั้งหมด 6 ชั่วโมง เท่ากับ 798 บาท และเวลารวมของเครื่องจักรที่ว่างเท่ากับ 87.7 ชั่วโมง และจะเห็นได้ว่าเวลาในการปิดงานที่เร็วที่สุดกับเวลาปิดงานที่ช้าที่สุดมีค่าแตกต่างกันสูงถึง 23.7 – 10.5 = 13.2 ชั่วโมง



หมายเหตุ: กราฟแท่งสีฟ้า คือ เครื่องจักรไม่มีการทำงานล่วงเวลา

กราฟแท่งสีส้ม คือ เครื่องจักรมีการทำงานล่วงเวลา

ภาพที่ 3-5 กราฟชั่วโมงการทำงานของแต่ละเครื่องจักร ณ วันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560

จากปัญหาทั้งสองด้านที่เกิดจากการตัดตารางการผลิตโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้จัดตารางสามารถสรุปปัญหา สาเหตุ และเสนอแนวทางแก้ไขได้ดังตารางที่ 3-8

ตารางที่ 3-8 สรุปปัญหา สาเหตุ และแนวทางการแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
การเลือกลำดับการผลิตไม่เหมาะสม	เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน *i* ไปงาน *j* จะต้องมีการจัดกลุ่มงานที่มีความใกล้เคียงกันให้อยู่ในเครื่องจักรเดียวกัน และอยู่ในลำดับติดกัน แต่ในแต่ละวันมีคำสั่งผลิตเฉลี่ย 80 รุ่น ทำให้การตัดสินใจเลือกลำดับการผลิตที่ทำให้เวลาปรับตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุดเป็นไปได้ยาก	สร้างตัวแบบกำหนดการทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักร ที่มีเป้าหมายค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นการค่าแรงงานพนักงานคุมเครื่องจักรและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร
การแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรไม่เหมาะสม	ปริมาณงานที่สั่งผลิตเฉลี่ย 7,000 เส้นต่อวัน จาก 80 รุ่น และการจัดตารางการผลิตต้องมีการคำนึงถึงจำนวนและเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้การตัดสินใจแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรให้ใช้เวลาการผลิตไม่เกิน 21 ชั่วโมง และใช้เครื่องจักรในการผลิตน้อยที่สุดเพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดเป็นไปได้ยาก	

บทที่ 4

ผลการวิจัย

จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงสภาพปัญหาของการจัดตารางการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยาง ในปัจจุบันที่มีการวางแผนโดยใช้ประสบการณ์เป็นหลัก ขาดการคำนึงถึงเวลาการสูญเสียที่มาจากการปรับตั้งเครื่องจักร ทำให้เกิดปัญหาการทำงานล่วงเวลาและเกิดค่าใช้จ่ายจากการทำงานล่วงเวลาดังกล่าว การจัดตารางการผลิตของแผนกขึ้นรูปยางเป็นกิจกรรมที่จะต้องทำในทุกสัปดาห์ โดยหลังจากที่ได้รับข้อมูลรายละเอียดโมเดลและปริมาณการสั่งผลิตของแต่ละวันในรอบสัปดาห์แล้ว หัวหน้างานจะต้องตัดสินใจจัดลำดับการผลิตลงในเครื่องจักรที่เป็นไปได้ 32 เครื่องจักร เพื่อสร้างเป็นตารางการผลิตรายวันทั้งหมด 7 วัน เนื้อหาในบทนี้นำเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตรายวัน 2 วิธี คือ 1) ฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป และ 2) แบบจำลอง MILP สำหรับการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาปรับตั้งเครื่องจักร 2 แบบจำลอง จากนั้นนำเสนอการทดสอบประสิทธิภาพของตารางการผลิตที่สร้างจากทั้งสองวิธีโดยเปรียบเทียบกับตัวอย่างตารางการผลิตที่ใช้งานอยู่ปัจจุบันในกระบวนการขึ้นรูปยางของบริษัทกรณีศึกษา โดยมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ คือ ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า

ฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป (Shortest setup time: SST)

วิธีนี้เป็นการดำเนินการจัดลำดับงานโดยพิจารณาจากเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน i ไปงาน j งานใดที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ทำก่อน เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

สัญลักษณ์ ตัวแปร และความหมาย สำหรับฮิวริสติก SST

ตัวแปรต่าง ๆ สำหรับฮิวริสติก SST มีรายละเอียดตามตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 สัญลักษณ์ ตัวแปร และความหมาย สำหรับฮิวริสติกแบบ SST

ตัวแปร	ความหมาย
n	จำนวนงานทั้งหมด
i	ลำดับของงานที่ต้องทำ ; $i = 1,2,3,\ldots,n$
j	ลำดับงานที่ต้องทำหลังจากงาน i ; $j = 1,2,3,\ldots,n$
k	หมายเลขของเครื่องจักร ; $k = 1,2,3,\ldots,32$
S_k	เวลารวมในการปรับตั้งเครื่องจักรของเครื่องจักร k
C_k	เวลาผลิตเสร็จของเครื่องจักร k
$S_{(0,j)}$	เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j ในลำดับแรกของการจัดลำดับ (Initial setup time) ในกรณีไม่ทราบงานตั้งต้น กำหนดให้ $S_{(0,j)} = 0$ ชั่วโมง
$S_{(i,j)}$	เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน i ทำก่อนงาน j
$C_{(j,k)}$	เวลาผลิตเสร็จของงาน j บนเครื่องจักร k
P_j	เวลาในการปฏิบัติงานของงาน j

ขั้นตอนการจัดลำดับงานด้วยวิธี SST

การจัดลำดับงานด้วยวิธี SST ตามภาพที่ 4-1 มีรายละเอียด ดังนี้

1. นำงานสุดท้ายของเครื่องจักรในวันก่อนหน้าเป็นงานตั้งต้น
2. เริ่มจัดลำดับจากขนาด 24" เข้าเครื่อง 21 22 23 ตามลำดับ

2.1 พิจารณาเลือกจัดงานที่เหมือนงานตั้งต้นให้ครบก่อน

2.2 เลือกพิจารณางานที่ทำให้ $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุด บนเครื่องจักรลำดับแรกที่มี C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงโดยเรียงตามลำดับหมายเลขเครื่องจักร หากมีค่าเท่ากันให้เลือกงานใดมาจัดตารางการผลิตก่อนก็ได้

2.3 เลือกเครื่องจักรโดยจัดงานจากข้อ 2.2 ลงในเครื่อง 21 22 23 ตามลำดับ เลือกเครื่องจักรที่มีทำให้ $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุดและไม่ทำให้ C_k เกิน 21 ชั่วโมง กรณีมี $S_{(i,j)}$ ที่น้อยที่สุดมีค่าเท่ากัน ให้เลือกพิจารณาจาก P_j ที่ทำให้ C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมง หาก C_k เกิน 21 ชั่วโมงให้พิจารณางาน j ลำดับถัดไป (จัดเรียงตามค่า $S_{(i,j)}$ จากน้อยไปมาก)

2.4 หากไม่สามารถจัดลำดับงานที่ทำให้ C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมง ให้พิจารณาเลือกเครื่องจักรจาก $S_{(i,j)}$ (ค่าน้อยไปค่ามาก) และทำให้ C_k ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

3. จัดลำดับงานกลุ่มงานที่มีการสั่งผลิตจำนวนมาก (ตั้งแต่ 220 เส้นขึ้นไป)

3.1 พิจารณาเลือกจัดงานที่เหมือนงานตั้งต้นให้ครบก่อน หากไม่มีงานที่เหมือนงานตั้งต้นให้พิจารณางานจาก P_j เรียงลำดับจากค่ามากไปค่าน้อย

3.2 พิจารณาเลือกเครื่องจักรจาก $S_{(i,j)}$ เรียงลำดับจากค่าน้อยไปค่ามาก

3.3 หากจัดงานลงเครื่องจักรแล้วทำให้ค่า C_k เกิน 21 ชั่วโมง ให้ปรับปริมาณของงานให้ไม่เกิน 21 ชั่วโมง ส่วนที่เกินให้เตรียมไว้เพื่อจัดลำดับใส่เครื่องจักรอื่นตามข้อที่ 4

4. จัดงานที่เหลือตามกลุ่มงาน (Model Family)

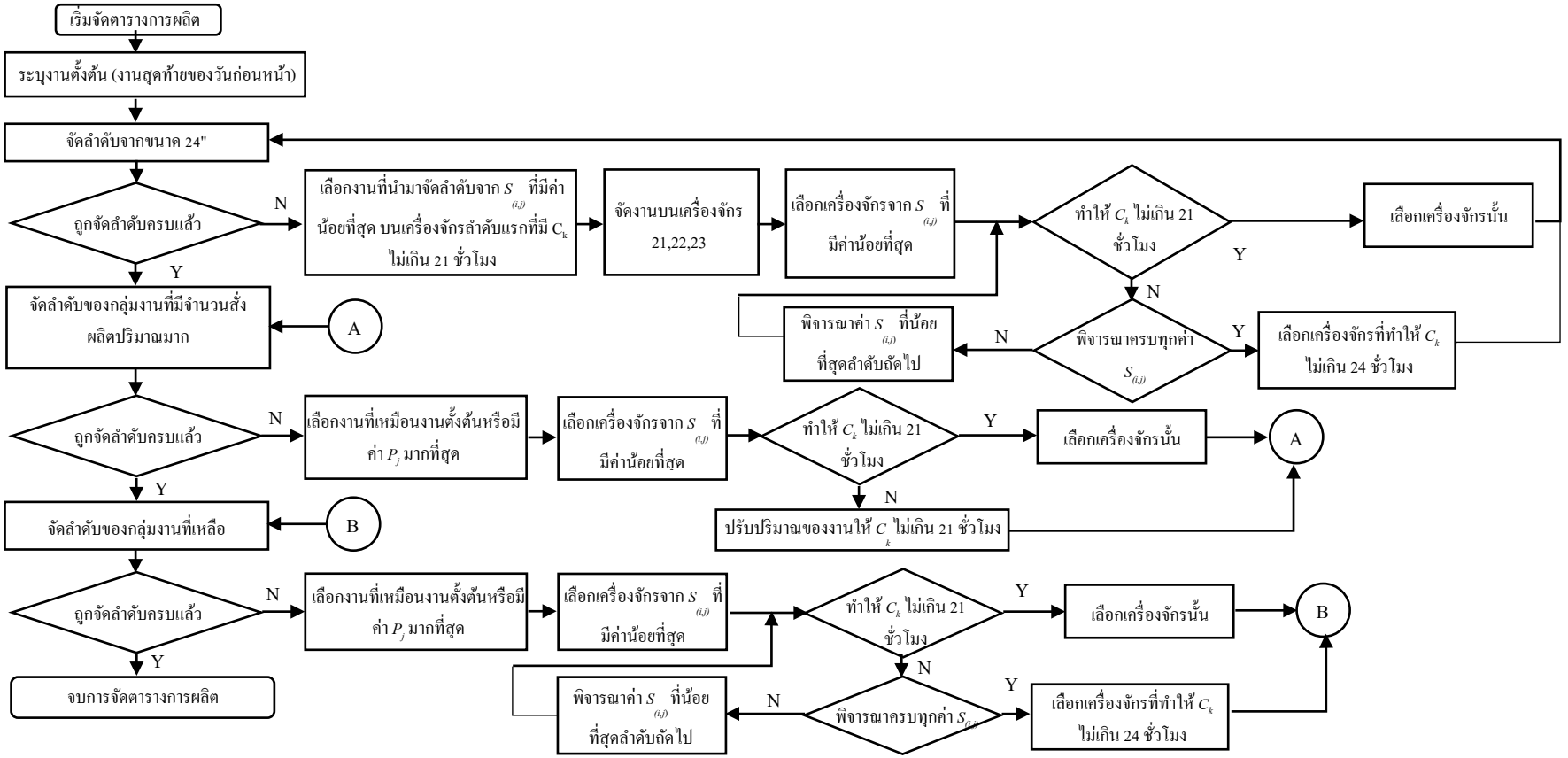
4.1 พิจารณาเลือกจัดงานที่เหมือนงานตั้งต้นให้ครบก่อน หากไม่มีงานที่เหมือนงานตั้งต้นให้พิจารณางานจาก P_j เรียงลำดับจากค่ามากไปค่าน้อย

4.2 พิจารณาเลือกเครื่องจักรจาก $S_{(i,j)}$ เรียงลำดับจากค่าน้อยไปค่ามาก

4.3 กรณีมีหลายเครื่องจักรที่ทำให้ $S_{(i,j)}$ ที่น้อยที่สุด ให้พิจารณาจาก C_k โดยเลือกเครื่องจักรที่ C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมง และถ้ามีเครื่องจักรที่ C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงมากกว่า 1 เครื่อง ให้พิจารณาเลือกเครื่องจักรที่ทำให้ C_k มากที่สุด

4.4 กรณีที่เครื่องจักรที่ทำให้ค่า $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุด มีค่า C_k เกิน 21 ชั่วโมง ให้พิจารณาเลือกเครื่องจักรลำดับถัดไป (เรียงลำดับจากค่า $S_{(i,j)}$ ที่มีค่าน้อยไปมาก)

4.5 หากพิจารณาครบทุกเครื่องจักรแล้วไม่สามารถจัดลำดับงานที่ทำให้ค่า C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงได้ ให้พิจารณาเลือกเครื่องจักรจาก $S_{(i,j)}$ ค่าน้อยไปค่ามาก และทำให้ C_k ของเครื่องจักรนั้น ๆ ไม่เกิน 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4-1 ขั้นตอนการจัดตารางการผลิตแบบ SST

ตัวอย่างการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST

นำตัวอย่างการจัดตารางการผลิตในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560 (จากภาคผนวก ก) มาจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST โดยจะแสดงตัวอย่างของการจัดลำดับขนาด 24" เข้าเครื่องจักรหมายเลข 21 22 และ 23 ดังนี้

<u>จัดตารางการผลิตรอบที่ 1</u>

เลือกงานที่มีขนาด 24" มาพิจารณา คือ K4Y8 K6Y4 R3Y2 T5Y0 U8Y0 และ W5Y6 โดยขนาดของงานดังกล่าวมีข้อจำกัด คือ สามารถทำการผลิตได้ที่เครื่องจักรหมายเลข 21 22 และ 23 เท่านั้น

เมื่อพิจารณางานตั้งต้นจากงานสุดท้ายที่เครื่องจักรผลิตเสร็จในวันก่อนหน้า คือ W5Y6 K4Y8 และ S6B2 สำหรับเครื่องจักรหมายเลข 21 22 และ 23 ตามลำดับ จึงทำการเลือกงาน W5Y6 มาจัดตารางทดสอบก่อนเพราะเป็นงานเดียวกับงานตั้งต้น ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน W5Y6 ครั้งที่ 1

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$	P_j	C_k
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3	(หน่วย:นาที)	(หน่วย:นาที)	(หน่วย:นาที)
21	W5Y6	W5Y6[1]			0	190.15	190.15
22	K4Y8	W5Y6[1]			40.42	190.15	230.57
23	S6B2	W5Y6[1]			882.75	190.15	1,072.90

จากตารางที่ 4-2 จะเห็นได้ว่างาน W5Y6 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 21 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ ดังตารางที่ 4-3 เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)} = 0$ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ $C_k < 21$ ชั่วโมง

ตารางที่ 4-3 การผลิตของงาน W5Y6 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3		
21	งาน		W5Y6		-		-		
	สั่งผลิต (เส้น)		40		-		-		
	เวลา (นาที)	0	190.15	-	-	-	-	0	190.15

<u>จัดตารางการผลิตรอบที่ 2</u>

เลือกงานที่มีขนาด 24" ที่ยังไม่ได้จัดลำดับการผลิตมาพิจารณา คือ K4Y8 K6Y4 R3Y2 T5Y0 และ U8Y0

เมื่อพิจารณางานตั้งต้นจากงานสุดท้ายของเครื่องจักร คือ W5Y6 K4Y8 และ S6B2 ตามลำดับ จึงทำการเลือกงาน K4Y8 มาจัดตารางทดสอบก่อนเพราะเป็นงานเดียวกับงานตั้งต้น ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน K4Y8 ครั้งที่ 1

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)	P_j (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3			
21	W5Y6	W5Y6	K4Y8[1]		40.42	142.31	372.88
22	K4Y8	K4Y8[1]			0	142.31	142.31
23	S6B2	K4Y8[1]			882.75	142.31	1025.06

จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่างาน K4Y8 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 22 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)} = 0$ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ $C_k < 21$ ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 การผลิตของงาน K4Y8 บนเครื่องจักรที่ 22

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3		
22	งาน		K4Y8		-		-		
	สั่งผลิต (เส้น)		30		-		-		
	เวลา (นาที)	0	142.31	-	-	-	-	0	142.31

จัดตารางการผลิตรอบที่ 3

เลือกงานที่มีขนาด 24" ที่ยังไม่ได้จัดลำดับการผลิตมาพิจารณา คือ K6Y4 R3Y2 T5Y0 และ U8Y0

เมื่อพิจารณางานตั้งต้นจากงานสุดท้ายของเครื่องจักร คือ W5Y6 K4Y8 และ S6B2 ตามลำดับ ไม่มีงานขนาด 24" ที่เหมือนกับงานตั้งต้น จึงพิจารณาที่เครื่องจักรที่มีค่า C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงโดยเรียงตามลำดับหมายเลขเครื่องจักร คือ เครื่องจักร 21 โดยเลือก $S_{(i,j)}$ ที่มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-6 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น W5Y6 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร	ลำดับการจัดตารางการผลิต		$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)
	i	j	
21	W5Y6	K6Y4	40.42
		R3Y2	42.75
		T5Y0	40.42
		U8Y0	11.05

จากตารางจึงทำการเลือกงาน U8Y0 มาจัดตารางทดสอบเพราะเป็นงานที่มีค่า $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุดดังตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-7 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน U8Y0 ครั้งที่ 1

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)	P_j (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3			
21	W5Y6	W5Y6	U8Y0[1]		11.05	442.86	644.06
22	K4Y8	K4Y8	U8Y0[1]		40.42	442.86	625.59
23	S6B2	U8Y0[1]			882.75	442.86	1325.61

จากตารางที่ 4-7 จะเห็นได้ว่างาน U8Y0 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 21 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)} = 11.05$ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ $C_k < 21$ ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 การผลิตของงาน U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3		
21	งาน		W5Y6	11.05	U8Y0		-		
	สั่งผลิต (เส้น)		30		92		-		
	เวลา (นาที)	0	142.31	11.05	442.86	-	-	11.05	644.06

<u>จัดตารางการผลิตรอบที่ 4</u>

เลือกงานที่มีขนาด 24" ที่ยังไม่ได้จัดลำดับการผลิตมาพิจารณา คือ K6Y4 R3Y2 และ T5Y0

เมื่อพิจารณางานตั้งต้นจากงานสุดท้ายของเครื่องจักร คือ U8Y0 K4Y8 และ S6B2 ตามลำดับ ไม่มีงานขนาด 24" ที่เหมือนกับงานตั้งต้น จึงพิจารณาที่เครื่องจักรที่มีค่า C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงโดยเรียงตามลำดับหมายเลขเครื่องจักร คือ เครื่องจักร 21 โดยเลือก $S_{(i,j)}$ ที่มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-9 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร	ลำดับการจัดตารางการผลิต		$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)
	i	j	
21	U8Y0	K6Y4	40.42
		R3Y2	42.75
		T5Y0	40.42

จากตารางจึงทำการเลือกงาน K6Y4 และ T5Y0 ตามลำดับ มาจัดตารางทดสอบเพราะเป็นงานที่มีค่า $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุดดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-10 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน K6Y4 ครั้งที่ 1

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)	P_j (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3			
21	W5Y6	W5Y6	U8Y0	K6Y4[1]	40.42	379.50	1063.98
22	K4Y8	K4Y8	K6Y4[1]		14.65	379.50	536.46
23	S6B2	K6Y4[1]			882.75	379.50	1262.25

ตารางที่ 4-11 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน T5Y0 ครั้งที่ 1

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)	P_j (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3			
21	W5Y6	W5Y6	U8Y0	T5Y0[1]	40.42	328.59	1,013.07
22	K4Y8	K4Y8	T5Y0[1]		40.42	328.59	511.32
23	S6B2	T5Y0[1]			882.75	328.59	1,211.34

จากตารางที่ 4-10 และตารางที่ 4-11 จะเห็นได้ว่างาน K6Y4 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 22 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)} = 14.65$ ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ $C_k < 21$ ชั่วโมง ดังตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 การผลิตของงาน K6Y4 บนเครื่องจักรที่ 22

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3		
22	งาน		K4Y8	14.65	K6Y4		-		
	สั่งผลิต (เส้น)		30		80		-		
	เวลา (นาที)	0	142.31	14.65	379.50	-	-	14.65	536.46

<u>จัดตารางการผลิตรอบที่ 5</u>

เลือกงานที่มีขนาด 24" ที่ยังไม่ได้จัดลำดับการผลิตมาพิจารณา คือ R3Y2 และ T5Y0

เมื่อพิจารณางานตั้งต้นจากงานสุดท้ายของเครื่องจักร คือ U8Y0 K6Y4 และ S6B2 ตามลำดับ ไม่มีงานขนาด 24" ที่เหมือนกับงานตั้งต้น จึงพิจารณาที่เครื่องจักรที่มีค่า C_k ไม่เกิน 21 ชั่วโมงโดยเรียงตามลำดับหมายเลขเครื่องจักร คือ เครื่องจักร 21 โดยเลือก $S_{(i,j)}$ ที่มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4-13 เวลาตั้งเครื่องจักรของงานตั้งต้น U8Y0 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร	ลำดับการจัดตารางการผลิต		$S_{(i,j)}$ (หน่วย:นาที)
	i	j	
21	U8Y0	R3Y2	42.75
		T5Y0	40.42

จากตารางจึงทำการเลือกงาน T5Y0 มาจัดตารางทดสอบเพราะเป็นงานที่มีค่า $S_{(i,j)}$ น้อยที่สุดดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-14 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน T5Y0 ครั้งที่ 2

เครื่องจักร	ลำดับการผลิต				$S_{(i,j)}$	P_j	C_k
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3	(หน่วย:นาที)	(หน่วย:นาที)	(หน่วย:นาที)
21	W5Y6	W5Y6	U8Y0	T5Y0[2]	40.42	328.59	1,013.07
22	K4Y8	K4Y8	K6Y4	T5Y0[2]	40.42	328.59	905.46
23	S6B2	T5Y0[2]			882.75	328.59	1,211.34

จากตารางที่ 4-14 จะเห็นได้ว่างาน T5Y0 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 21 และ 22 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)}$ = 40.42 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด และ C_k < 21 ชั่วโมง โดยได้ตัดสินใจให้ผลิตที่เครื่องจักรที่ 21 เนื่องจากทำให้ค่า C_k มากกว่าเครื่องจักรที่ 22 ดังตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 การผลิตของงาน T5Y0 บนเครื่องจักรที่ 21

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k	C_k
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3	(หน่วย:นาที)	(หน่วย:นาที)
21	งาน		W5Y6	11.05	U8Y0	40.42	T5Y0		
	สั่งผลิต (เส้น)		30		92		72		
	เวลา (นาที)	0	142.31	11.05	442.86	40.42	328.59	51.47	1,013.07

<u>จัดตารางการผลิตรอบที่ 6</u>

เลือกงานที่มีขนาด 24" ที่ยังไม่ได้จัดลำดับการผลิตมาพิจารณา คือ R3Y2 มาจัดตารางทดสอบเพราะเป็นงานสุดท้ายของขนาด 24"

ตารางที่ 4-16 เวลาตั้งเครื่องจักรและเวลาเสร็จงานของเครื่องจักร สำหรับการจัดงาน R3Y2 ครั้งที่ 1

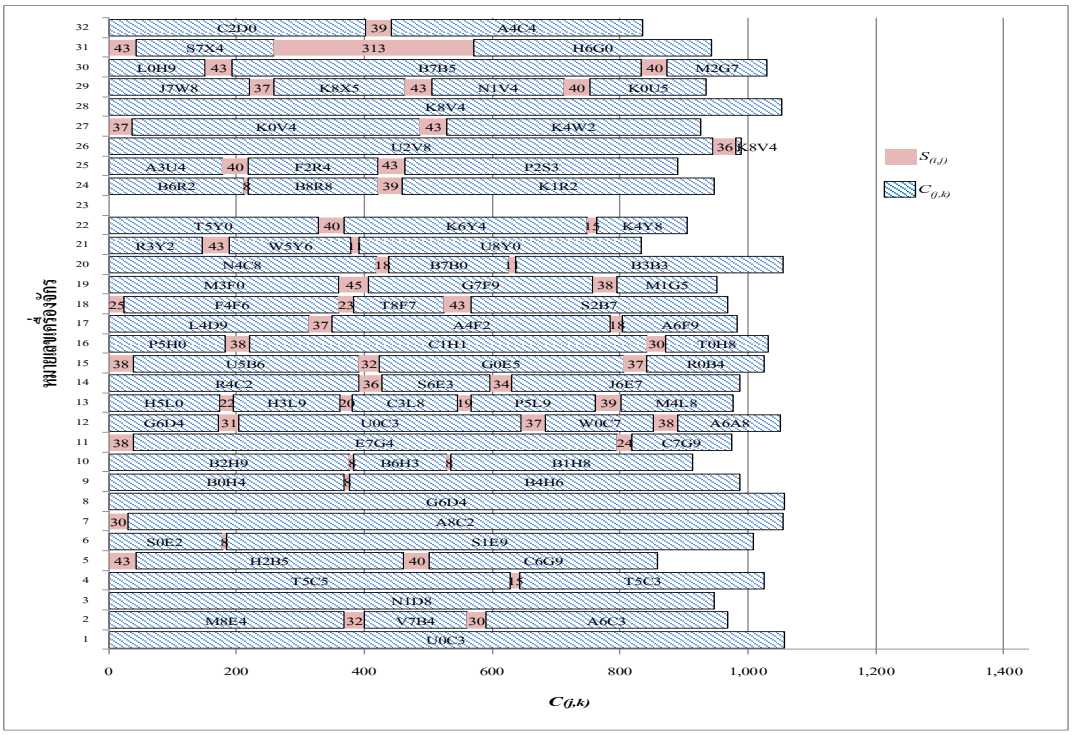
เครื่องจักร	ลำดับการผลิต					$S_{(i,j)}$ (หน่วย: นาที)	P_j (หน่วย: นาที)	C_k (หน่วย: นาที)
	งานตั้งต้น	งานที่ 1	งานที่ 2	งานที่ 3	งานที่ 4			
21	W5Y6	W5Y6	U8Y0	T5Y0	R3Y2[1]	39.26	147.12	1,199.44
22	K4Y8	K4Y8	K6Y4	R3Y2[1]		42.75	147.12	726.33
23	S6B2	R3Y2[1]				882.75	147.12	1,029.87

จากตารางที่ 4-16 จะเห็นได้ว่างาน R3Y2 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 21 ไม่สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ ถึงแม้จะมีค่า $S_{(i,j)}$ = 39.26 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุด แต่ค่า C_k > 21 ชั่วโมง และเมื่อพิจาณางาน R3Y2 ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 22 สามารถสรุปเป็นตารางการผลิตได้ เนื่องจากมีค่า $S_{(i,j)}$ = 42.75 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดลำดับถัดมา และ C_k < 21 ชั่วโมง โดยได้ตัดสินใจให้ผลิตที่เครื่องจักรที่ 22 ดังตารางที่ 4-17

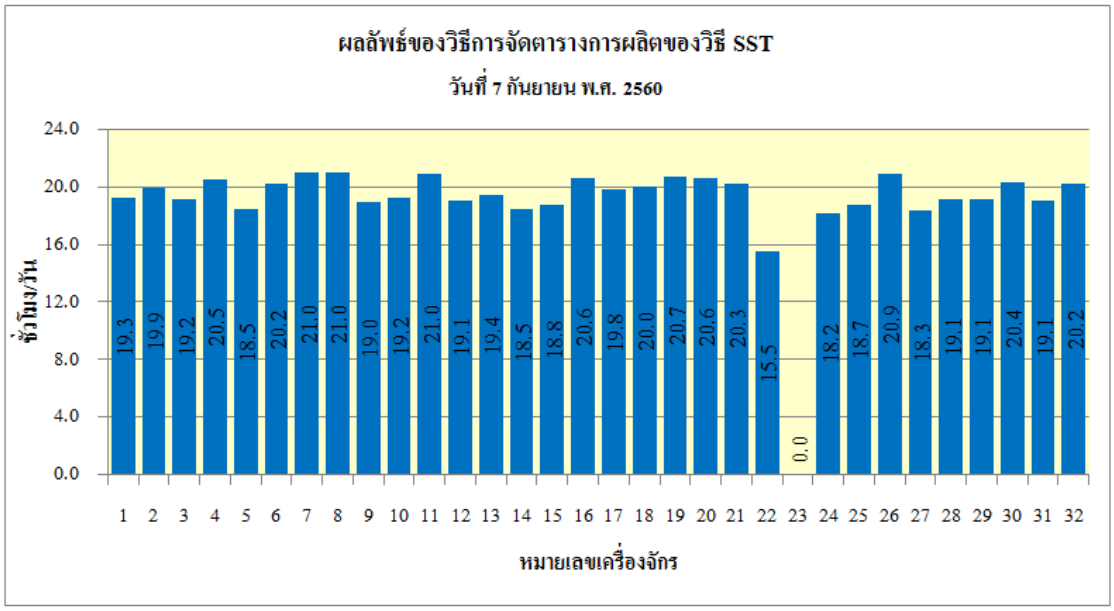
ตารางที่ 4-17 การผลิตของงาน R3Y2 บนเครื่องจักรที่ 22

เครื่องจักร		ลำดับการจัดตารางการผลิต						S_k (หน่วย:นาที)	C_k (หน่วย:นาที)
		$S_{(0,j)}$	งานที่ 1	$S_{(i,j)}$	งานที่ 2	$S_{(i,j)}$	งานที่ 3		
22	งาน		K4Y8	14.65	K6Y4		R3Y2		
	สั่งผลิต (เส้น)		30		80		30		
	เวลา (นาที)	0	142.31	14.65	379.50	42.75	147.12	57.40	668.93

เมื่อจัดตารางการผลิตของขนาด 24" ครบทุกงานแล้ว ก็ทำการจัดตารางการผลิตของงานอื่น ๆ ตามวิธีการของ SST ต่อไปจนครบทุกงานในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560 ได้ผลสรุปตารางการผลิตที่จัดด้วยวิธีการ SST ดังภาพที่ 4-2 และสรุปเวลาการทำงานของเครื่องจักรดังภาพที่ 4-3 พบว่าไม่มีเครื่องจักรต้องทำงานล่วงเวลา และสามารถหยุดเครื่องจักรได้ 1 เครื่อง



ภาพที่ 4-2 ตารางการผลิตที่สร้างจากวิธี SST ในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560



ภาพที่ 4-3 เวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักรของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST ในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับจัดตารางการผลิต

การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรแบบขนานของปัญหากรณีศึกษาที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักร มีจุดประสงค์หลักเพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าที่คำนวณจากเวลาการทำงานของเครื่องจักรมีค่าน้อยที่สุด การจัดตารางการผลิตในงานวิจัยนี้เป็นการกำหนดกลุ่มงานและจัดลำดับการผลิตงานในแต่ละกลุ่มให้ทำการผลิตบนเครื่องจักรทุกเครื่องที่จำเป็นต้องใช้ และพร้อมทั้งคำนวณเวลาการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องให้ไม่เกินเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ (รวมการทำงานล่วงเวลา) ที่กำหนดไว้ งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming model; MILP) ที่มีลักษณะของตัวแปรตัดสินใจมีทั้งจำนวนจริงและจำนวนเต็ม ในงานวิจัยนี้ต้องตัดสินใจเกี่ยวกับลำดับงานบนเครื่องจักร การทำงานล่วงเวลา และเวลาการผลิตเสร็จ จึงมีการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารีซึ่งเป็นเซตย่อยของจำนวนเต็มสำหรับลำดับงาน และการทำงานล่วงเวลาว่างานที่ 2 มีลำดับการผลิตต่อจากงานที่ 1 หรือไม่ และมีการทำงานล่วงเวลาหรือไม่ ส่วนเวลาการผลิตเสร็จมีลักษณะเป็นจำนวนจริง จึงทำให้แบบจำลองที่เสนอต้องมีลักษณะเป็น MILP งานวิจัยนี้เสนอ 2 แบบจำลองสำหรับแก้ปัญหานี้ แบบจำลองที่ 1 (MILP_ID3) มีตัวแปรตัดสินใจหลักขึ้นอยู่กับสามดัชนี คือ งานก่อนหน้า งานลำดับถัดไป และผลิตบนเครื่องจักรใด และแบบจำลองที่ 2 (MILP_ID2) มีตัวแปรตัดสินใจหลักขึ้นอยู่กับสองดัชนี คือ งานก่อนหน้าและงานลำดับถัดไป

แบบจำลอง MILP_ID3

แบบจำลองนี้พัฒนาจากรูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple traveling salesman problem, m-TSP) การแก้ปัญหา m-TSP ด้วยแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สามารถจำลองปัญหาได้หลายรูปแบบ (Bektas, 2006) แบบจำลอง MILP ที่เสนอในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นโดยใช้พื้นฐานของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem, VRP) ที่เสนอโดย Christofides, Mingozzi, and Toth (1981) สำหรับแก้ปัญหาเส้นทางเดินรถในการขนส่งสินค้ากรณีที่มีรถขนส่งมากกว่า 1 คัน แบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์นี้ได้ออกแบบเงื่อนไขการกำจัดเส้นทางย่อย (Subtour elimination constraint, SEC) จากการประยุกต์วิธีเอ็มทีแซด (MTZ) ที่เสนอใน Miller, Tucker, and Zemlin (1960); Bektas (2006) ได้นำผลการวิจัยมาสรุปในรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้กับปัญหา m-TSP จะพบความแตกต่างและเทียบเท่าตามตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 เปรียบเทียบปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้กับปัญหา m-TSP

หัวข้อ	ปัญหา m-TSP	ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้
เทียบเท่า	จำนวนพนักงานขาย m คน	จำนวนเครื่องจักร
	จำนวนลูกค้าที่ต้องเข้าบริการ	จำนวนงานที่ต้องผลิต
	เวลาการเดินทางจากลูกค้ารายที่ i ไปรายที่ j	เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i
	เวลาในการให้บริการลูกค้า	เวลาการผลิตของงานหนึ่ง ๆ
ความแตกต่าง	เมื่อพนักงานขายบริการลูกค้ารายสุดท้ายเสร็จจะต้องกลับมาที่ตำแหน่งตั้งต้น	เมื่อเครื่องจักรผลิตงานสุดท้ายเสร็จ ไม่ต้องกลับมาตั้งเครื่องจักรที่ตำแหน่งตั้งต้นอีก
	ต้องการให้ระยะทางการเดินทาง (หรือเวลาที่ใช้) ทั้งหมดของพนักงานขายรวมกันทุกคนมีค่าต่ำที่สุด	ต้องการให้ค่าใช้จ่ายรวมจากค่าแรง (คำนวณจากจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ และค่าแรงจากการทำงานล่วงเวลา) และค่าไฟฟ้า (คำนวณจากเวลาเดินเครื่องจักร) ต่ำที่สุด

ตัวแบบ MILP_ID3 ที่เสนอ มีรายละเอียดที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ผลลัพธ์ของแบบจำลอง ดัชนี พารามิเตอร์ ตัวแปรในการตัดสินใจ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขบังคับ ดังนี้

ข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ประกอบด้วยกลุ่มงานที่ต้องการจัดตารางการผลิต เวลาในการผลิตงาน เวลาการตั้งเครื่องจักรตามคู่ลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด งานล่าสุดที่เครื่องจักรผลิตเสร็จในช่วงเวลาก่อนหน้า

ผลลัพธ์ของแบบจำลองเป็นการแสดงตารางการผลิตที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับลำดับการงานต่าง ๆ บนเครื่องจักรจำนวน m เครื่อง เวลาเริ่มผลิต และเวลาผลิตเสร็จของงาน

ดัชนีและเซตของตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลอง MILP_ID3 ประกอบด้วย

i, j, p = ดัชนีของงานมีค่าตั้งแต่ 0,1,..., n

k = ดัชนีของเครื่องจักรมีค่าตั้งแต่ 1,…, m

t = ดัชนีของเวลาการทำงานล่วงเวลามีค่าเท่ากับ 1, 2, 3

เซต

J = เซตของงาน $\{1,\ldots, n\}$

K = เซตของเครื่องจักรหมายเลข k เมื่อ $K = \{1,2,3,..., m\}$

Z = เซตชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา เมื่อ Z = {1, 2, 3}

พารามิเตอร์ ที่เป็นค่าคงที่สำหรับตัวแบบ ประกอบด้วย

n = จำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต (รุ่น)

m = จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้ (เครื่อง)

T = เวลาการทำงานสูงสุด (นาที) (=24 ชั่วโมง x 60 นาที x *Eff*)

S_{ij} = เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i (นาที)

P_i = เวลาการผลิตงาน i (นาที)

L = ค่าแรงงานพนักงานควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง (บาทต่อวัน)

L_o = อัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (บาทต่อชั่วโมง)

E = อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (บาทต่อนาที)

Eff = 87%

ตัวแปรในการตัดสินใจ ประกอบด้วย 3 ตัวแปรต่อไปนี้

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{งาน } j \text{ ผลิตต่อจากงาน } i \text{ บนเครื่องจักร } k \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

$$o_{tk} = \begin{cases} 1, & \text{ใช้เครื่องจักร } k \text{ ในการผลิตระหว่างการทำงานล่วงเวลา } t \text{ ชั่วโมง} \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

u_i = ตัวแปรตัดสินใจช่วยสำหรับป้องกันเส้นทางย่อย

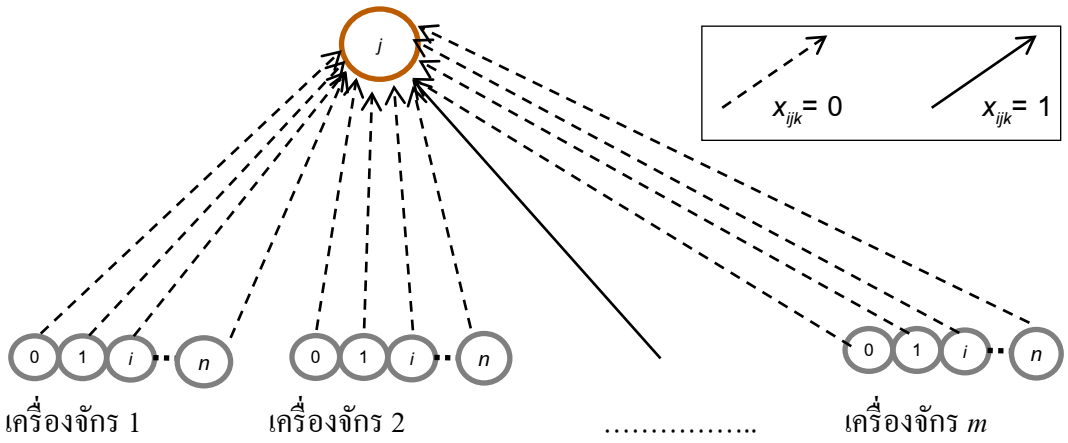
ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากค่าแรงงานกับค่าไฟฟ้า ที่มีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด รายละเอียดการคำนวณแสดงในสมการที่ (4-1) โดยพจน์แรกแสดงการคำนวณค่าแรงงานเมื่อมีการใช้งานเครื่องจักร ค่าแรงงานนี้เกิดจากค่าพนักงานคุมเครื่องจักรในช่วงเวลาผลิตปกติ 21 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อกำหนดของบริษัทว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ถูกเลือกใช้งานแล้ว ให้จัดพนักงานสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักรนั้นตลอดสามกะทำงานของวันที่ทำการผลิต พจน์ที่สอง แสดงการคำนวณค่าแรงงานเมื่อมีการทำงานล่วงเวลา และพจน์ที่สามแสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าซึ่งคำนวณเฉพาะเวลาที่เครื่องจักรทำงาน (รวมเวลาตั้งเครื่องจักร)

$$\text{Minimize } L\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} x_{0jk} + L_o\sum_{t\in Z}\sum_{k\in K} o_{tk} + E\sum_{\substack{i\in J\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}(S_{ij}+P_j)\,x_{ijk} \qquad (4\text{-}1)$$

เงื่อนไขบังคับของแบบจำลอง MILP_ID3 ประกอบด้วยกลุ่มเงื่อนไขบังคับ 6 ด้าน คือ ด้านการมอบหมายงาน (Assignment constraints) ด้านสมดุลของการไหลของการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตงานหนึ่ง ๆ จะต้องมีการผลิตงานก่อนหน้าและงานถัดไป ด้านการป้องกันการเกิดเส้นการเดินทางย่อย (Subtour elimination) ที่ทำให้ไม่สามารถผลิตงานได้จริงตามตารางการผลิตที่สร้างขึ้น (เป็นตารางการผลิตที่เป็นไปไม่ได้) ด้านเวลาการผลิต ด้านการทำงานล่วงเวลา และด้านตัวแปรตัดสินใจ

เงื่อนไขบังคับด้านการมอบหมายงานแสดงรายละเอียดการกำหนดลำดับการผลิตงานบนเครื่องจักร เงื่อนไขบังคับด้านนี้ประกอบด้วยชุดสมการที่ (4-2) ถึง (4-5) สมการที่ (4-2) เป็นการทำให้มั่นใจว่างาน j ใด ๆ จะถูกผลิตได้ก็ต่อเมื่อมีงาน i ใด ๆ ที่ผลิตอยู่ 1 งานก่อนหน้าเสมอ ($i = 0$ ในกรณีที่งาน j เป็นงานที่ผลิตเป็นลำดับแรกของเครื่องจักร) จากภาพที่ 4-4 เมื่อพิจารณาที่งาน j ($j = 1,\ldots,n$) มีเส้นประที่เชื่อมมาจากงาน i จากทุกเครื่องจักร เส้นประนี้แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ijk} เท่ากับศูนย์ หมายถึง งาน i ไม่ได้ผลิตก่อนหน้างาน j บนเครื่องจักร k สมการที่ (4-2) นี้บังคับมีต้องเส้นเชื่อมจากงาน i มายังงาน j บนเครื่องจักร k จำนวน 1 เส้น ที่แสดงแผนการผลิตงาน j เช่น เมื่อพิจารณางาน $j = 2$ ที่ผลิตบนเครื่องจักร 3 โดยมีงาน $i = 8$ เป็นงานที่ผลิตก่อนหน้า จะทำให้ค่าตัวแปรตัดสินใจ $x_{8,2,3} = 1$ ส่วนค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{i2k} ทุกค่า i และ k เมื่อ $i \neq 8$ และ $k \neq 3$ จะมีค่าเป็นศูนย์ เป็นต้น

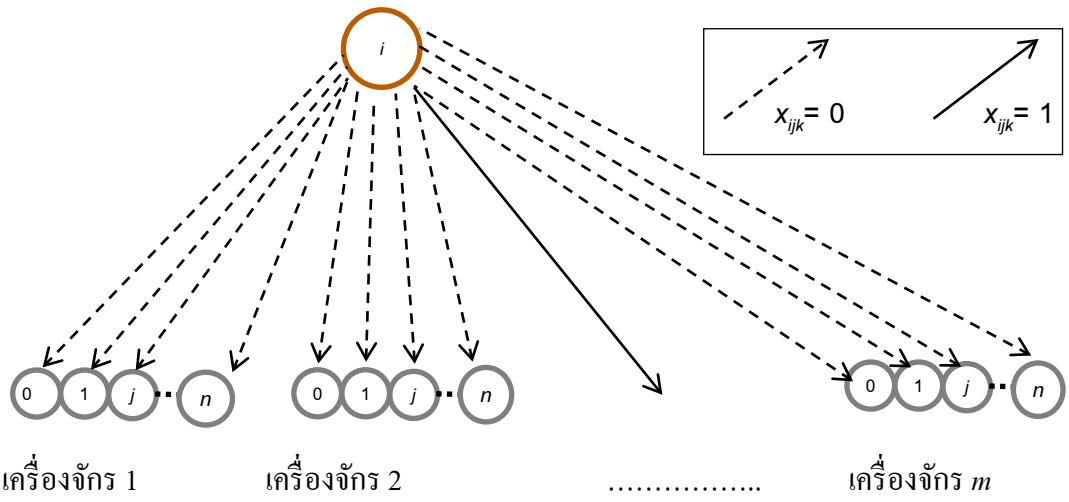
$$\sum_{\substack{i \in J \cup \{0\} \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } j \in J \tag{4-2}$$



ภาพที่ 4-4 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-2)

สมการที่ (4-3) เป็นการทำให้มั่นใจว่าเมื่อผลิตงาน i หนึ่ง ๆ เสร็จแล้ว ($i = 1,\ldots,n$) จะต้องมีงาน j ใด ๆ ที่ผลิตต่อตามหลัง 1 งานเสมอ ($j = 1,\ldots,n$) หรือจบการผลิตบนเครื่องจักรนั้นในกรณีที่ $j = 0$ จากภาพที่ 4-5 เมื่อพิจารณาที่งาน i ($i = 1,\ldots,n$) มีเส้นประที่เชื่อมออกไปยังงาน j ของทุกเครื่องจักร เส้นประนี้แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ijk} เท่ากับศูนย์ หมายถึงงานที่ผลิตต่อจากงาน i บนเครื่องจักร k ใด ๆ ไม่ใช่งาน j สมการที่ 4-3 นี้บังคับมีต้องเส้นทึบเชื่อมงาน i ไปสู่งาน j ของเครื่องจักร k จำนวน 1 เส้นซึ่งแสดงว่างานที่ทำต่อจากงาน i นั้น คือ งาน j ที่ถูกผลิตบนเครื่องจักร k เช่น เมื่อพิจารณางาน $i = 3$ หากงานที่ผลิตต่อจากงานนี้ คือ งาน $j = 5$ บนเครื่องจักร $k = 4$ จะทำให้ค่าตัวแปรตัดสินใจ $x_{3,\,5,\,4} = 1$ ส่วนค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{3jk} ทุกค่า j และ k เมื่อ $j \neq 5$ และ $k \neq 4$ จะมีค่าเป็นศูนย์

$$\sum_{\substack{j \in J \cup \{0\} \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i \in J \tag{4-3}$$



ภาพที่ 4-5 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-3)

ข้อสังเกตของสมการที่ (4-2) และ (4-3) นี้ทำให้งานทุกงานต้องถูกจัดลงในตารางการผลิตหนึ่งครั้ง อย่างไรก็ตามสองสมการนี้สามารถให้ค่าตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไปตามเงื่อนไขสมการได้ แต่ทำให้ตารางการผลิตไม่สามารถทำการผลิตได้จริง ดังภาพที่ 4-6 เช่นเครื่องจักรที่ 2 เริ่มผลิตที่งานที่ 1 ($x_{0,\,1,\,2} = 1$) ขณะที่งานที่ 3 ถูกผลิตต่อจากงานที่ 1 บนเครื่องจักรที่ 1 ($x_{1,\,3,\,1} = 1$)

k=1

i\j	0	1	2	3	4
0		0	0	0	1
1	0		0	1	0
2	0	0		0	0
3	0	0	0		0
4	1	0	0	0	
ผลรวมตามสมการที่ 4.2		1	1	1	1

k=2 x_{ijk}

i\j	0	1	2	3	4	ผลรวมตามสมการที่ 4.3
0		1	0	0	0	
1	0		0	0	0	1
2	1	0		0	0	1
3	0	0	1		0	1
4	0	0	0	0		1

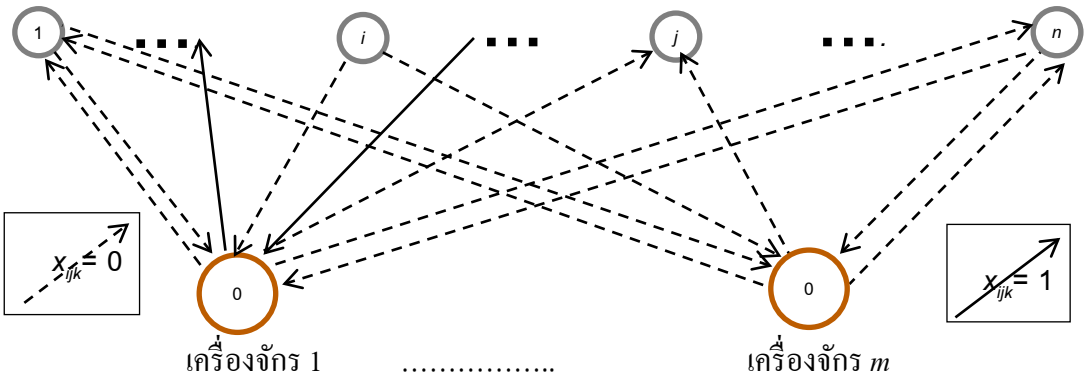
ปัญหา 4 งาน 2 เครื่องจักร

ภาพที่ 4-6 ตัวอย่างค่าตัวแปรตัดสินใจที่เป็นไปตามสมการที่ (4-2) และ (4-3)

สมการที่ (4-4) และสมการที่ (4-5) เพื่อให้มั่นใจว่า หากเครื่องจักรใดถูกกำหนดให้ผลิตงาน เครื่องจักรนั้นจะเริ่มผลิตงานใดงานหนึ่ง (งาน j) เท่านั้น และจุดสิ้นสุดการผลิตของเครื่องจักร k เมื่องาน i หนึ่ง ๆ ถูกผลิตเสร็จ ดังภาพที่ 4-7 แสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรบางเครื่องจะมีเส้นทึบ 1 เส้นออกจาก node i =0 ไปยังงาน j ใด ๆ และมีเส้นทึบ 1 เส้นออกจากงาน i ใด ๆ กลับมาเครื่องจักรนั้น (j =0)

$$\sum_{j \in J} x_{0jk} \leq 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in K \qquad (4\text{-}4)$$

$$\sum_{i \in J} x_{i0k} \leq 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in K \qquad (4\text{-}5)$$

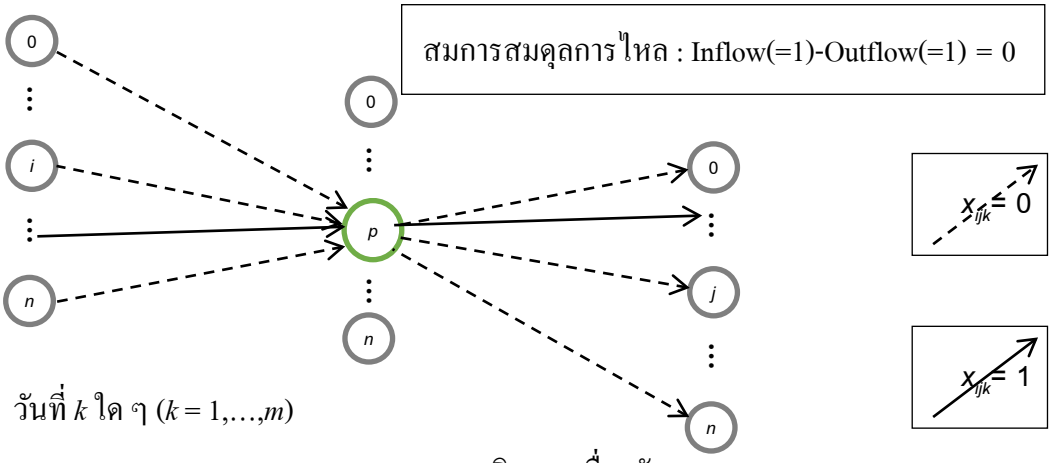


ภาพที่ 4-7 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-4) และ (4-5)

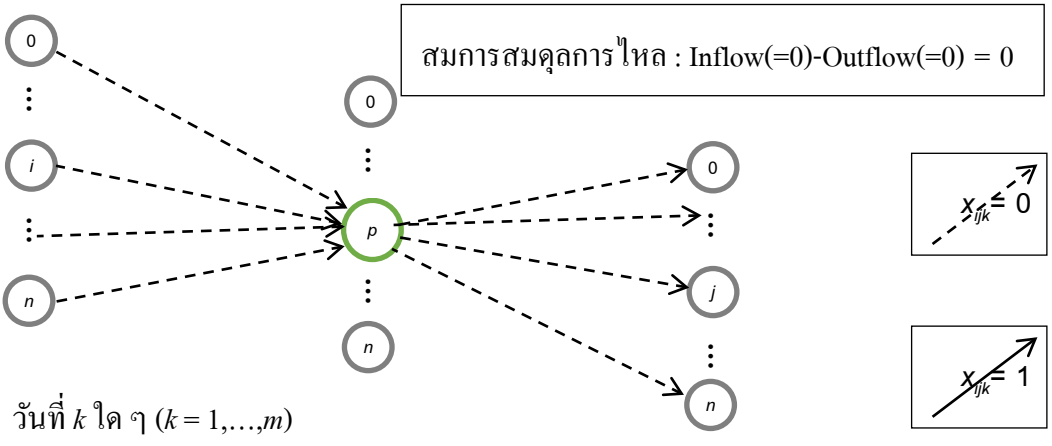
เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลของการไหลของการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตงานหนึ่ง ๆ ตามสมการที่ (4-6) เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหากงาน p ใด ๆ ถูกกำหนดให้ผลิตบนเครื่องจักร k ใด ๆ แล้ว เครื่องจักร k จะต้องผลิตงานก่อนที่จะผลิตงาน p และเมื่อผลิตงาน p เสร็จแล้วจะผลิตงานอื่นต่อไป ดังภาพที่ 4-8 (ก) และหากงาน p ไม่ได้ผลิตบนเครื่องจักร k สมการที่ (4-6)

จะทำให้ไม่มีงานผลิตก่อนหน้าและตามหลังงาน p บนเครื่องจักรนี้ ภาพที่ 4-8 (ข) ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาเครื่องจักร $k = 1$ มีการผลิตงาน $i = 9$ แล้วต่อด้วยงาน $p = 7$ ($x_{9,7,1} = 1$) แสดงลำดับการผลิตของเครื่องจักร 1 นี้ ซึ่งหลังผลิตงาน 7 เสร็จจะต้องผลิตงานในลำดับถัดไป เช่น ผลิตงาน $j = 2$ ($x_{7,2,1} = 1$) ซึ่งแสดงลำดับการผลิตงานแบบสมดุลการไหล (Inflow-Outflow = 0) คือ "1-1 = 0" ขณะที่หากเครื่องจักรนี้มีลำดับการผลิตงาน 0-9-7-2-0 แสดงว่าไม่ได้ผลิตงานอื่น ๆ เช่น งาน $p = 5$ เป็นต้น สมการแสดงสมดุลการไหลของงาน $p = 5$ บนเครื่องจักรนี้ คือ "0-0 = 0"

$$\sum_{\substack{i \in J \cup \{0\} \\ i \neq p}} x_{ipk} - \sum_{\substack{j \in J \cup \{0\} \\ j \neq p}} x_{pjk} = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } p \in J, \quad k \in K \tag{4-6}$$



(ก) งาน p ผลิตบนเครื่องจักร k



(ข) งาน p ไม่ได้ผลิตบนเครื่องจักร k

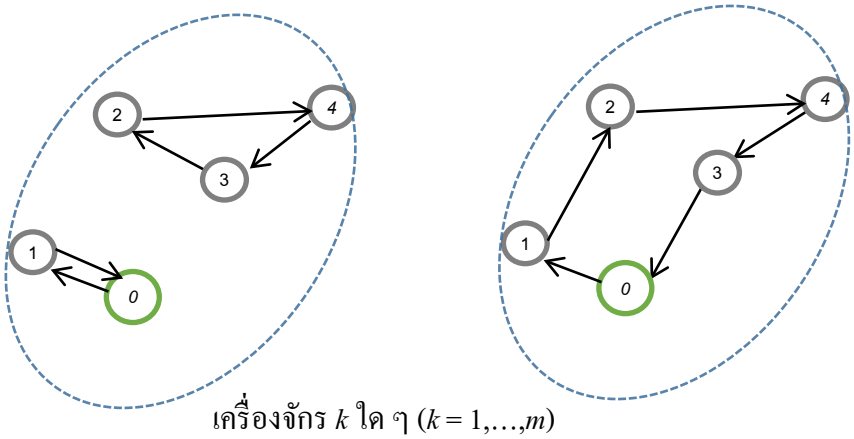
ภาพที่ 4-8 เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลของการไหล

เงื่อนไขบังคับด้านสมดุลการไหลตามสมการที่ (4-6) นี้จะช่วยกำจัดปัญหาตารางการผลิตที่เป็นไปไม่ได้ตามภาพที่ 4-6 ที่ค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ijk} เป็นไปตามสมการที่ (4-2) และ (4-3) เช่น จากตัวอย่างเดิมเครื่องจักร 2 เริ่มผลิตที่งาน 1 ($x_{0,1,2} = 1$) ขณะที่งาน 3 ถูกผลิตต่อจากงาน 1 บนเครื่องจักร 1 ($x_{1,3,1} = 1$) หากพิจารณาสมการสมดุลการไหลของงาน p = 1 บนเครื่องจักร k = 2 พบว่า Inflow = 1 (เพราะ $x_{0,1,2} = 1$) ขณะที่ Outflow = 0 ($x_{1,0,2} + x_{1,2,2} + x_{1,3,2} + x_{1,4,2} = 0$) ซึ่งทำให้สมการที่ (4-6) ไม่เป็นจริง (Inflow ≠ Outflow)

เงื่อนไขบังคับด้านการป้องกันการเกิดเส้นการเดินทางย่อย (Subtour elimination constriants, SEC) ตามสมการที่ (4-7) เป็นการประยุกต์วิธีเอ็มทีแซด (MTZ) ที่เสนอใน Miller et al. (1960); Bektas (2006) ได้นำผลการวิจัยมาสรุปในรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน

$$u_i - u_j + n\sum_{k\in K} x_{ijk} \le n-1 \text{ สำหรับทุกค่า } i \in J, j \in J \text{ และ } i \ne j \qquad (4\text{-}7)$$

จากตัวอย่างภาพที่ 4-9 มีงาน 4 งาน ที่ต้องจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรที่ k ใด ๆ ภาพที่ 4-9 (ก) แสดงตัวอย่างการเกิดเส้นทางเดินย่อยจากการประมวลผลของตัวแบบ MILP หากไม่มีสมการที่ (4-7) ลำดับงานบนเครื่องจักร k นี้ คือ ผลิตงานที่ 1 เพียงงานเดียว และผลิตงานตามเส้นทางเดินย่อยตามลำดับงาน 2->4->3->2 ซึ่งเป็นลำดับการผลิตที่เป็นไปไม่ได้ เส้นทางตามภาพที่ 4-9 (ก) นี้เป็นไปตามเงื่อนไขบังคับตามสมการที่ (4-2) ถึง (4-6) คือ สมการที่ (4-2) มีการผลิตงานใด ๆ ก่อนหน้างาน j หนึ่งงานสำหรับทุกค่า $j = 1,\ldots,n$ สมการที่ (4-3) มีการผลิตงานใด ๆ ตามหลังงาน i หนึ่งงานสำหรับทุกค่า $i = 1,\ldots,n$ สมการที่ (4-4) และ (4-5) เครื่องจักรมีการเริ่มผลิตงาน และมีการจบการทำงาน (มีเส้นเชื่อมที่แสดงลำดับการผลิตงานออกและเข้างานที่ 0 อย่างละ 1 เส้น) และสมการที่ (4-6) บนเครื่องจักร k ใด ๆ หากมีการผลิตงาน p จะต้องมีงานก่อนหน้าและตามหลังหนึ่งงาน เส้นทางเดินย่อยนี้มักจะเกิดขึ้นหลังการประมวลผล เนื่องจากมีเวลาการผลิตโดยรวมที่ต่ำกว่าลำดับงานตามภาพที่ 4-9 (ข) ที่แสดงลำดับงานที่เป็นไปได้ (พิจารณาจากผลรวมความยาวเส้นเชื่อม node)



เครื่องจักร k ใด ๆ ($k = 1,\ldots,m$)

(ก) การเกิดลำดับงานตามเส้นทางเดินย่อย (ข) ลำดับงานที่เป็นไปได้

ภาพที่ 4-9 เงื่อนไขบังคับด้านการป้องกันการเกิดเส้นการเดินทางย่อย

การกำจัดหรือป้องกันไม่ให้เกิดลำดับงานตามเส้นทางเดินย่อยด้วยสมการที่ (4-7) จากการบังคับให้ลำดับงานที่เป็นไปได้ต้องมีค่าตัวแปรตัดสินใจ u_i สำหรับงานที่ i ที่มีลักษณะเป็นจำนวนจริงที่ไม่ติดลบและทำให้สมการที่ (4-7) เป็นจริง เช่น เมื่อจำนวนงานในตัวแบบ MILP เท่ากับ n งาน ($n = 4$ จากตัวอย่างตามภาพที่ 4-9) หลังจากการประมวลผลตัวแบบ MILP แล้วได้ค่า $u_1 = 1$, $u_2 = 2$, $u_3 = 4$, และ $u_4 = 3$ กรณีที่เกิดเส้นทางที่เป็นไปได้จะมีค่าด้านซ้ายมือ (LHS) ของสมการที่ (4-7) ไม่เกินค่าด้านขวามือ (RHS) และในทางกลับกันกรณีที่เกิดเส้นทางเดินย่อยค่า LHS จะมีค่ามากกว่า RHS เป็นต้น ตัวอย่างการกำจัดเส้นทางย่อยแสดงได้ดังตารางที่ 4-19 พบว่าลำดับงานที่เกิดเส้นทางเดินย่อย ตามภาพที่ 4-9 (ก) ที่ $x_{3,2,k} = 1$ ทำให้ค่า LHS มีค่ามากกว่า RHS หมายความว่าผลลัพธ์ลำดับงานบนเครื่องจักรนี้เป็นผลลัพธ์ที่เป็นไปไม่ได้

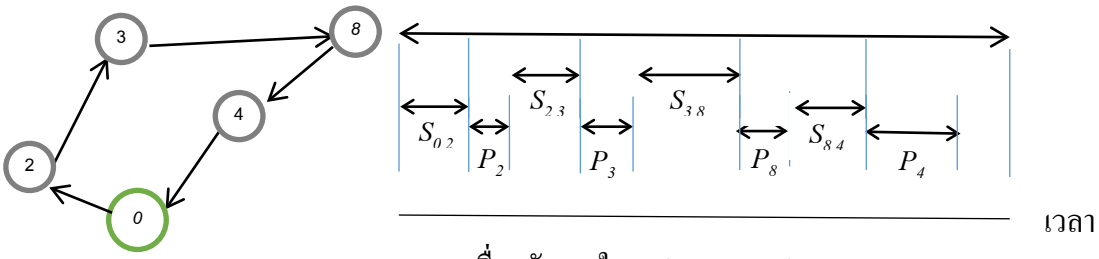
ตารางที่ 4-19 ตัวอย่างการกำจัดเส้นทางย่อยด้วยการประยุกต์วิธีการ MTZ ตามสมการที่ (4-7)

From/to		เส้นทางที่เกิด subtour ตามภาพที่ 4-7 (ก)				เส้นทางที่เป็นไปได้ตามภาพที่ 4-7 (ข)			
i	j	x_{ijk}	LHS*	$\leq$	RHS	x_{ijk}	LHS*	$\leq$	RHS
1	2	0	1-2+(4x0) = -1	$\leq$	3	1	1-2+(4x1) = 3	$\leq$	3
1	3	0	1-4+(4x0) = -3	$\leq$	3	0	1-4+(4x0) = -3	$\leq$	3
1	4	0	1-3+(4x0) = -2	$\leq$	3	0	1-3+(4x0) = -2	$\leq$	3
2	1	0	2-1+(4x0) = 1	$\leq$	3	0	2-1+(4x0) = 1	$\leq$	3
2	3	0	2-4+(4x0) = -2	$\leq$	3	0	2-4+(4x0) = -2	$\leq$	3
2	4	1	2-3+(4x1) = 3	$\leq$	3	1	2-3+(4x1) = 3	$\leq$	3
3	1	0	4-1+(4x0) = 3	$\leq$	3	0	4-1+(4x0) = 3	$\leq$	3
3	2	1	4-2+(4x1) = 6	$>$	3	0	4-2+(4x0) = 2	$\leq$	3
3	4	0	4-3+(4x0) = 1	$\leq$	3	0	4-3+(4x0) = 1	$\leq$	3
4	1	0	3-1+(4x0) = 2	$\leq$	3	0	3-1+(4x0) = 2	$\leq$	3
4	2	0	3-2+(4x0) = 1	$\leq$	3	0	3-2+(4x0) = 1	$\leq$	3
4	3	1	3-4+(4x1) = 3	$\leq$	3	1	3-4+(4x1) = 3	$\leq$	3

หมายเหตุ: $u_1 = 1$, $u_2 = 2$, $u_3 = 4$, และ $u_4 = 3$ จากการประมวลผลของตัวแบบ MILP

เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการผลิตดังสมการที่ (4-8) เป็นการกำหนดให้ผลรวมเวลาการผลิตบนเครื่องจักรเครื่องหนึ่ง ๆ ต้องไม่เกินเวลาการทำงานสูงสุดในหนึ่งวัน (24 x 60 นาที คูณด้วย *eff*) ดังแสดงตัวอย่างลำดับงานที่เป็นไปได้บนเครื่องจักรหนึ่งในภาพที่ 4-10 มีเวลาการผลิตรวมไม่เกิน T

$$\sum_{\substack{i \in J \cup \{0\} \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} (S_{ij} + P_j)\, x_{ijk} \leq T \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in K \tag{4-8}$$



เครื่องจักร k ใด ๆ ($k = 1,\ldots,m$)

ภาพที่ 4-10 เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการทำงานตามสมการที่ (4-8)

เงื่อนไขบังคับด้านการทำงานล่วงเวลากำหนดให้เครื่องจักรแต่ละเครื่องสามารถทำงานล่วงเวลาเป็นสามช่วง คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมงจากเวลาการทำงานปกติ 21 ชั่วโมง (1,260 นาที คูณด้วย *eff*) สมการที่ (4-9) ทำให้มั่นใจได้ว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ทำงานเกินเวลาปกติแล้วจะทำให้ตัวแปรตัดสินใจที่แสดงเวลาการทำงานล่วงเวลา t ชั่วโมงใด ๆ จะต้องมีค่าเป็น “1” เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงการทำงานล่วงเวลา

$$\sum_{\substack{i\in J\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}(S_{ij}+P_j)\,x_{ijk}-60Eff(20+t)\leq(180\,o_{tk})Eff \text{ สำหรับทุกค่า } t\in \mathrm{Z};\ k\in K \quad (4\text{-}9)$$

เงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินใจแสดงดังสมการที่ (4-9) และ (4-10) เป็นการกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ x_{ijk} และ o_{tk} เป็นตัวแปรแบบไบนารี และ u_i เป็นจำนวนจริงที่ไม่ติดลบ

$$x_{ijk}\in\{0,1\} \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i\in J, j\in J \text{ และ } k\in K \qquad (4\text{-}10)$$

$$o_{tk}\in\{0,1\} \qquad \text{สำหรับทุกค่า } t\in \mathrm{Z} \text{ และ } k\in K \qquad (4\text{-}11)$$

$$1\leq u_i\leq n \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i,j\in J \qquad (4\text{-}12)$$

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม MILP_ID3 ที่ใช้สำหรับจัดตารางการผลิตของปัญหากรณีศึกษา สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-11

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

$$\text{Minimize } L\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} x_{0jk} + L_o\sum_{t\in Z}\sum_{k\in K} o_{tk} + E\sum_{\substack{i\in J\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K}(S_{ij}+P_j)\,x_{ijk} \quad (4\text{-}1)$$

เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{\substack{i\in J\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{k\in K} x_{ijk} = 1\,,\forall j\in J \quad (4\text{-}2)$$

$$\sum_{\substack{j\in J\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{k\in K} x_{ijk} = 1\,,\forall i\in J \quad (4\text{-}3)$$

$$\sum_{j\in J} x_{0jk} \leq 1\,,\forall k\in K \quad (4\text{-}4)$$

$$\sum_{i\in J} x_{i0k} \leq 1\,,\forall k\in K \quad (4\text{-}5)$$

$$\sum_{\substack{i\in J\cup\{0\}\\ i\neq p}} x_{ipk} - \sum_{\substack{j\in J\cup\{0\}\\ j\neq p}} x_{pjk} = 0\ \,,\forall p\in J, k\in K \quad (4\text{-}6)$$

$$u_i - u_j + n\sum_{k\in K} x_{ijk} \leq n-1\,,\forall i\in J, j\in J, i\neq j \quad (4\text{-}7)$$

$$\sum_{\substack{i\in J\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}(S_{ij}+P_j)\,x_{ijk} \leq T\,,\forall k\in K \quad (4\text{-}8)$$

$$\sum_{\substack{i\in J\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}(S_{ij}+P_j)\,x_{ijk} - 60Eff(20+t) \leq (180\,o_{tk})Eff\,,\forall t\in \mathrm{Z}, k\in K \quad (4\text{-}9)$$

$$x_{ijk}\in\{0,1\}\,,\forall i\in J,\ j\in J,\ k\in K \quad (4\text{-}10)$$

$$o_{tk}\in\{0,1\}\,,\forall t\in Z, k\ \in K \quad (4\text{-}11)$$

$$1\leq u_i\leq n\,,\forall i,j\in J \quad (4\text{-}12)$$

ภาพที่ 4-11 แบบจำลอง MILP_ID3

แบบจำลอง MILP_ID2

แบบจำลอง MILP_ID2 ถูกสร้างขึ้นจากการใช้พื้นฐานของแบบจำลอง MILP ที่พัฒนาโดย BektaŞ and ElmastaŞ (2007); Demir and Kara (2008) ซึ่งเป็นแบบจำลอง MILP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถรับส่งนักเรียน (School Bus Routing Problem: SBRP) แบบจำลองนี้สร้าง

จากการใช้สูตรการสมดุลการไหล (Flow based formulation) ปัญหา SBRP เป็นปัญหาการกำหนดจุดรับส่งนักเรียนของรถรับส่งแต่ละคันให้ครบทุกจุดรับส่งโดยมีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมจากจำนวนรถรับส่งที่ใช้และที่เชื้อเพลิงที่แปรผันตามระยะทางรวม (หรือเวลารวม) มีค่าต่ำที่สุด โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้กับปัญหา SBRP จะพบความแตกต่างและเทียบเท่าตามตารางที่ 4-20

ตารางที่ 4-20 เปรียบเทียบปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยกับปัญหา SBRP

หัวข้อ	ปัญหา SBRP	ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานของงานวิจัยนี้
เทียบเท่า	จำนวนรถรับส่ง	จำนวนเครื่องจักร
	จำนวนจุดที่รับส่งนักเรียน	จำนวนงานที่ต้องผลิต
	เวลาการเดินทางจากจุดรับส่ง *i* ไปจุด *j*	เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน *j* ต่อจากงาน *i*
	ค่าใช้จ่ายการใช้รถรับส่ง 1 คัน	ค่าแรงงานพนักงานควบคุมเครื่องจักร 1 เครื่อง
	ค่าเชื้อเพลิงต่อหน่วยเวลา	ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา
ความแตกต่าง	มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการเดินทางของรถรับส่งพนักงานอย่างละ 1 จุด	งานสุดท้ายที่เครื่องจักรผลิตในรอบการผลิตก่อนหน้าเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มต้นการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และไม่มีการกำหนดจุดสิ้นสุดการทำงานของเครื่องจักร
	ไม่มีการกำหนดเวลาจอดรถส่งนักเรียนที่จุดรับส่งต่าง ๆ	มีเวลาในการผลิตงานแต่ละงาน
	มีเงื่อนไขด้านความจุรถรับส่งและเวลาการเดินทางสูงสุดของรถรับส่งแต่ละคัน	พิจารณาเฉพาะเวลาการผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้เท่านั้น
	การคำนวณค่าเช่ารถแปรผันตามจำนวนรถรับส่งที่ใช้	การคำนวณค่าใช้จ่ายเมื่อเครื่องจักรถูกเลือกใช้งานจากค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักรซึ่งมีอัตราค่าแรงแบบขั้นบันได คือ ช่วงเวลาการทำงานปกติ 21 ชั่วโมง และเวลาการทำงานล่วงเวลาสามช่วง คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมง

ตัวแบบ MILP_ID2 ที่เสนอมีรายละเอียดที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ผลลัพธ์ของตัวแบบ ดัชนี พารามิเตอร์ ตัวแปรในการตัดสินใจ ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขบังคับ ดังนี้

ข้อมูลนำเข้าของตัวแบบ ประกอบด้วยกลุ่มงานที่ต้องการจัดตารางการผลิต เวลาในการผลิตงาน เวลาการตั้งเครื่องจักรตามคู่ลำดับงานที่เป็นไปได้ทั้งหมด งานล่าสุดที่เครื่องจักรผลิตเสร็จในช่วงเวลาก่อนหน้า

ผลลัพธ์ของแบบจำลองเป็นการแสดงตารางการผลิตที่มีรายละเอียดเกี่ยวกับลำดับการงานต่าง ๆ บนเครื่องจักรจำนวน m เครื่อง และเวลาเริ่มผลิตและเวลาผลิตเสร็จของงาน

ดัชนีและเซตของตัวแปรต่าง ๆ ใน MILP_ID2 ประกอบด้วย

i, j, p, k = ดัชนีของงาน

t = ดัชนีของเวลาการทำงานล่วงเวลามีค่าเท่ากับ 1, 2, 3

เซต

J = เซตของงาน เมื่อ $J = \{1,\ldots,n\}$

K = เซตของงานจำลอง k แสดงถึงการเริ่มต้นทำงานของเครื่องจักรหมายเลข k-100 เมื่อ $K = \{101, 102,...,100+m\}$

Z = เซตชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา เมื่อ $Z = \{1, 2, 3\}$

พารามิเตอร์ ที่เป็นค่าคงที่สำหรับตัวแบบ ประกอบด้วย

n = จำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต (รุ่น)

m = จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้ (เครื่อง)

T = เวลาการทำงานสูงสุด (นาที) (เท่ากับ 24 ชั่วโมง x 60 นาที x *Eff*)

S_{ij} = เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i (นาที)

P_i = เวลาการผลิตงาน i (นาที)

L = ค่าแรงงานพนักงานควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง (บาท)

L_o = อัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (บาทต่อชั่วโมง)

E = อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (บาทต่อนาที)

Eff = 87%

ตัวแปรในการตัดสินใจ

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{งาน } j \text{ ผลิตต่อจากงาน } i \\ 0, & \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

c_{ij} = เวลาผลิตเสร็จของงาน j (เมื่อผลิตต่อจากงาน i)

$$o_{i,t} = \begin{cases} 1, \text{ใช้เครื่องจักรในการผลิตงาน } i \text{ ระหว่างการทำงานล่วงเวลา } t \text{ ชั่วโมง} \\ 0, \text{อื่น ๆ} \end{cases}$$

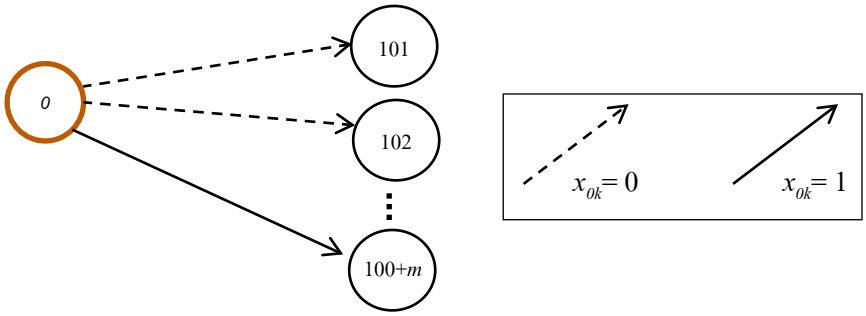
ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดจากค่าแรงงานกับค่าไฟฟ้า ที่มีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด รายละเอียดการคำนวณแสดงในสมการที่ (4-13) โดยพจน์แรกแสดงการคำนวณค่าแรงงานเมื่อมีการใช้งานเครื่องจักร ค่าแรงงานนี้เกิดจากค่าพนักงานคุมเครื่องจักรในช่วงเวลาผลิตปกติ 21 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อกำหนดของบริษัทว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ถูกเลือกใช้งานแล้ว ต้องจัดให้มีพนักงานสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องจักรนั้นตลอดสามกะทำงานของวันที่ทำการผลิต พจน์ที่สอง แสดงการคำนวณค่าแรงงานเมื่อมีการทำงานล่วงเวลา และพจน์ที่สามแสดงการคำนวณค่าไฟฟ้าซึ่งคำนวณเฉพาะเวลาที่เครื่องจักรทำงาน (รวมเวลาตั้งเครื่องจักร)

$$\text{Minimize } L \sum_{k \in K} x_{0,k} + L_o \sum_{i \in J} \sum_{t \in Z} o_{i,t} + E \sum_{\substack{i \in J \cup K \\ i \neq j}} \sum_{j \in J} (S_{ij} + P_j)\, x_{ij} \tag{4-13}$$

เงื่อนไขบังคับของตัวแบบ MILP ที่เสนอประกอบด้วยกลุ่มเงื่อนไขบังคับ 4 ด้าน คือ ด้านการมอบหมายงาน ด้านเวลาการผลิต ด้านการทำงานล่วงเวลา และด้านตัวแปรตัดสินใจ

เงื่อนไขบังคับด้านการมอบหมายงานประกอบไปด้วยชุดสมการที่ (4-14) ถึง (4-18) โดยเงื่อนไขบังคับด้านการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรดังสมการที่ (4-14) เป็นการกำหนดให้ผลรวมของจำนวนเครื่องจักรที่ทำการผลิตจะต้องไม่เกินจำนวนสูงสุดของเครื่องจักรที่มีอยู่ ดังแสดงตัวอย่างการสั่งผลิตบนแต่ละเครื่องจักรที่เป็นไปได้ m เครื่องในภาพที่ 4-12

$$\sum_{j \in K} x_{0,j} \leq m \tag{4-14}$$



ภาพที่ 4-12 เงื่อนไขบังคับด้านการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรดังสมการที่ (4-14)

สมการสมดุลการไหลของการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักรในการผลิตงานหนึ่ง ๆ ตามสมการที่ (4-15) ทำให้มั่นใจได้ว่าหากเครื่องจักร k ใด ๆ ถูกเปิดใช้งาน จะต้องมีการกำหนดงาน j ใด ๆ ให้ผลิตบนเครื่องจักรนั้นดังภาพที่ 4-13 (ก) และหากไม่มีการกำหนดให้งาน j ผลิตบนเครื่องจักร k สมการที่ (4-15) จะทำให้เครื่องจักรไม่ถูกเปิดใช้งานดังภาพที่ 4-13 (ข)

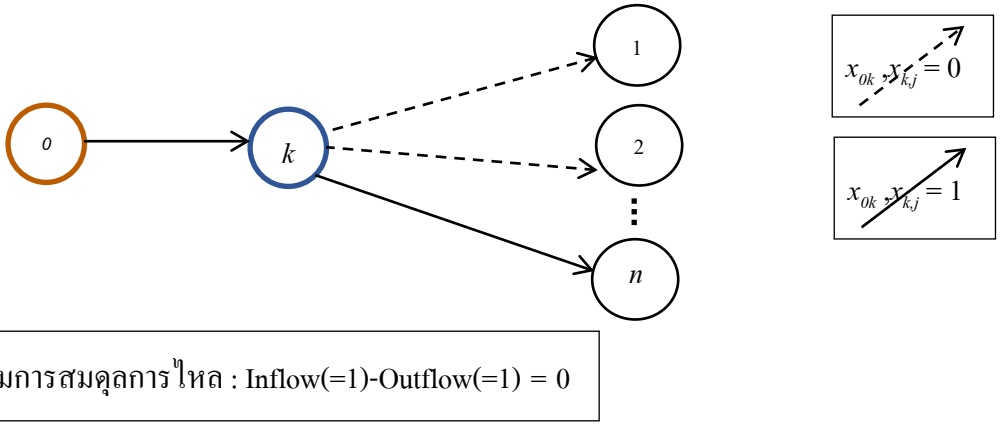
$$x_{0,k} - \sum_{j \in J} x_{k,j} = 0 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in K \tag{4-15}$$

สมการสำหรับการกำหนดลำดับการผลิตงานบนเครื่องจักรประกอบด้วยชุดสมการที่ (4-16) ถึง (4-18) สมการที่ (4-16) เป็นการทำให้มั่นใจว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ถูกเลือกให้ผลิตแล้ว งาน n+1 จะแสดงจุดสิ้นสุดการทำงานของเครื่องจักรนั้นที่ ผลิตงาน i ใด ๆ ลำดับการผลิตสุดท้าย ดังภาพที่ 4-14 และจำนวนเครื่องจักรที่ทำการผลิต มีจำนวนไม่เกิน m เครื่อง

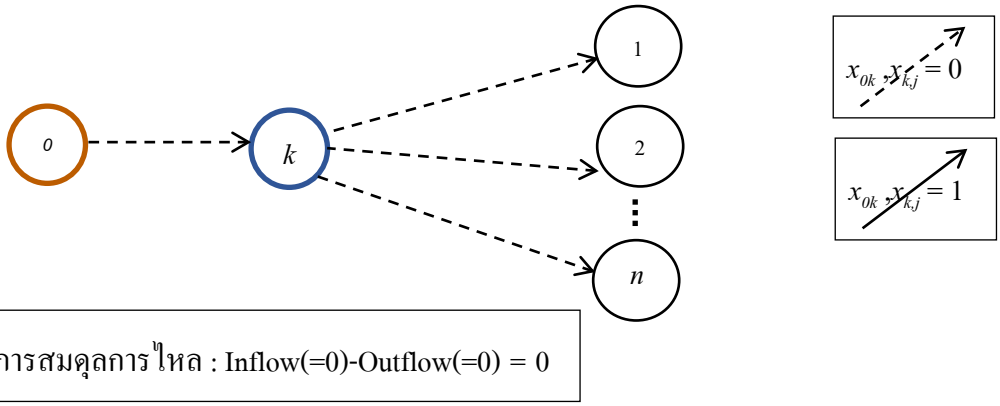
$$\sum_{i \in J} x_{i,n+1} \leq m \tag{4-16}$$

สมการที่ (4-17) เป็นการทำให้มั่นใจว่าเมื่อมีการผลิตงาน i หนึ่ง ๆ เสร็จแล้ว (i = 1,…,n) จะต้องมีงาน j ใด ๆ ที่ผลิตต่อตามหลัง 1 งานเสมอ (j = 1,…,n+1) หรือจบการผลิตบนเครื่องจักรนั้นในกรณีที่ $j = n+1$ มีค่าเป็นหนึ่ง จากภาพที่ 4-15 เมื่อพิจารณาที่งาน i มีเส้นทึบที่เชื่อมออกไปสู่งาน j เส้นประนี้แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} เท่ากับหนึ่ง หมายถึงงานที่ผลิตต่อจากงาน i บนเครื่องจักร k ใด ๆ คือ งาน j

$$\sum_{\substack{j \in J \cup \{n+1\} \\ i \neq j}} x_{ij} = 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i \in J \tag{4-17}$$

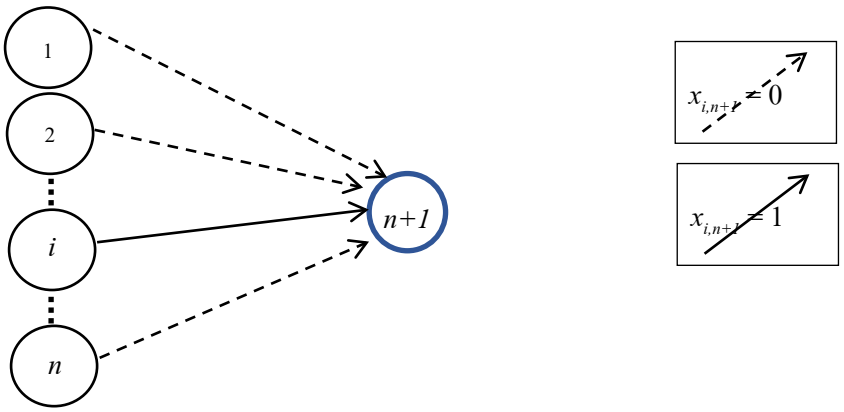


(ก) เครื่องจักร k มีการผลิตงาน j ใด ๆ

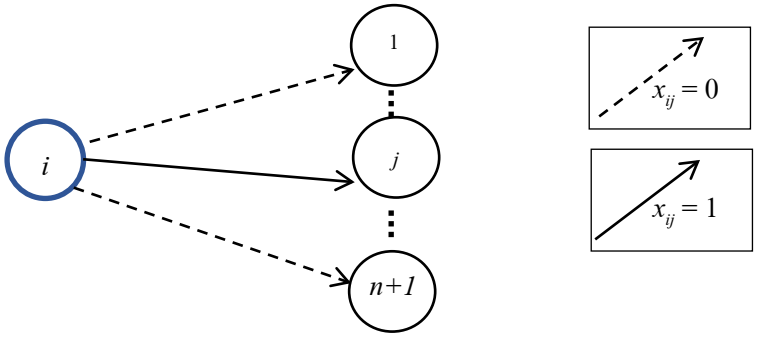


(ข) เครื่องจักร k ไม่มีการผลิตงาน j ใด ๆ

ภาพที่ 4-13 สมดุลของการไหลของการมอบหมายงานให้กับเครื่องจักร



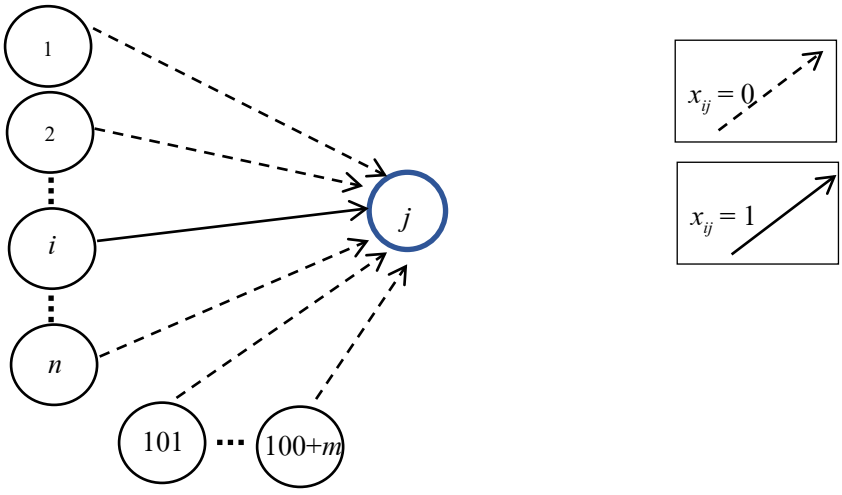
ภาพที่ 4-14 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-16)



ภาพที่ 4-15 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-17)

สมการที่ (4-18) เป็นการทำให้มั่นใจว่างาน j ($j = 1,\ldots,n$) ใด ๆ จะถูกผลิตได้ก็ต่อเมื่อมีงาน i ใด ๆ ที่ผลิตอยู่ 1 งานก่อนหน้าเสมอ (กรณีที่ $i = 101,\ldots,100+m$ งาน j จะเป็นงานที่ผลิตเป็นลำดับแรกของเครื่องจักรหมายเลข i-100) จากภาพที่ 4-16 เมื่อพิจารณาที่งาน j มีเส้นทึบที่เชื่อมมาจากงาน i เส้นทึบนี้แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} เท่ากับหนึ่ง หมายถึงงาน i ทำการผลิตก่อนหน้างาน j บนเครื่องจักรใด ๆ

$$\sum_{\substack{i \in J \cup K \\ i \neq j}} x_{ij} = 1 \qquad \text{สำหรับทุกค่า } j \in J \qquad (4\text{-}18)$$



ภาพที่ 4-16 เงื่อนไขบังคับการมอบหมายงานตามสมการที่ (4-18)

เงื่อนไขบังคับด้านเวลาการผลิตแสดงรายละเอียดการกำหนดลำดับการผลิตงานบนเครื่องจักรประกอบด้วยชุดสมการที่ (4-19) และ (4-22) สมการที่ (4-19) เป็นการกำหนดเวลาขั้นต่ำ

ที่งาน *j* จะผลิตเสร็จ เมื่องาน *j* ผลิตต่อจากงาน *i* เวลาขั้นต่ำนี้คำนวณจากเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน *j* เมื่อทำการผลิตต่อจากกงาน *i* รวมกับเวลาการผลิตของ *j*

$$c_{ij} \geq (S_{ij}+P_j)x_{ij} \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i \in K \cup J, j \in J \cup \{n+1\}, i \neq j \qquad (4\text{-}19)$$

สมการที่ (4-20) เป็นการกำหนดเวลาสูงที่สุดที่เป็นไปได้ที่งาน *j* จะผลิตเสร็จได้ เมื่องาน *j* ผลิตต่อจากงาน *i* เวลาสูงที่สุดที่เป็นไปได้นี้ต้องไม่เกินเวลาการทำงานสูงสุดในหนึ่งวัน (พารามิเตอร์ $T = 24 \text{ x } 60$ นาที คูณด้วย *eff*)

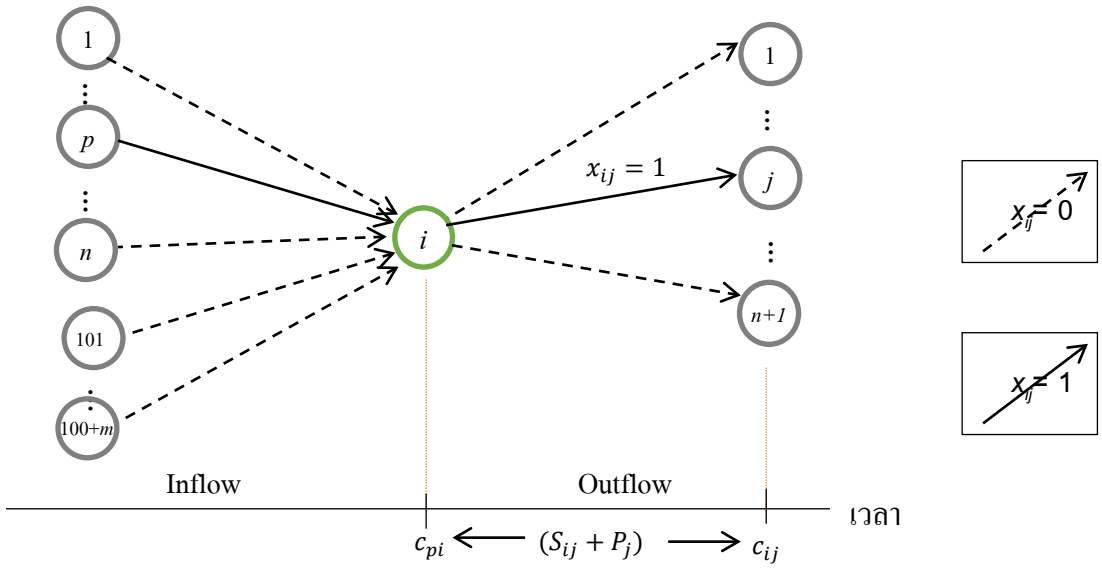
$$c_{ij} \leq x_{ij}T \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i \in K \cup J, j \in J \cup \{n+1\}, i \neq j \qquad (4\text{-}20)$$

สมการที่ (4-21) เป็นสมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตเมื่อพิจารณาเวลาก่อนและหลังการผลิตงาน *i* ใด ๆ โดยแสดงรายละเอียดการทำงานของเครื่องจักรในการผลิตงาน *p* ใด ๆ แล้วผลิตงาน *i* เป็นลำดับถัดไป (การไหลเข้าของการทำงานของเครื่องจักรมาผลิตงาน *i*) จากนั้นผลิตงาน *j* ใด ๆ ต่อจากงาน *i* เป็นลำดับถัดไป (การไหลออกของการทำงานของเครื่องจักรหลังจากผลิตงาน *i*) เวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรหลังจากผลิตงาน *i* เสร็จ (c_{pi}) รวมกับเวลาตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน *j* ต่อจากงาน *i* และเวลาในการผลิตงาน *j* ($S_{ij}+P_j$) เท่ากับเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรหลังจากผลิตงาน *j* เสร็จ (c_{ij}) ดังภาพที่ 4-17

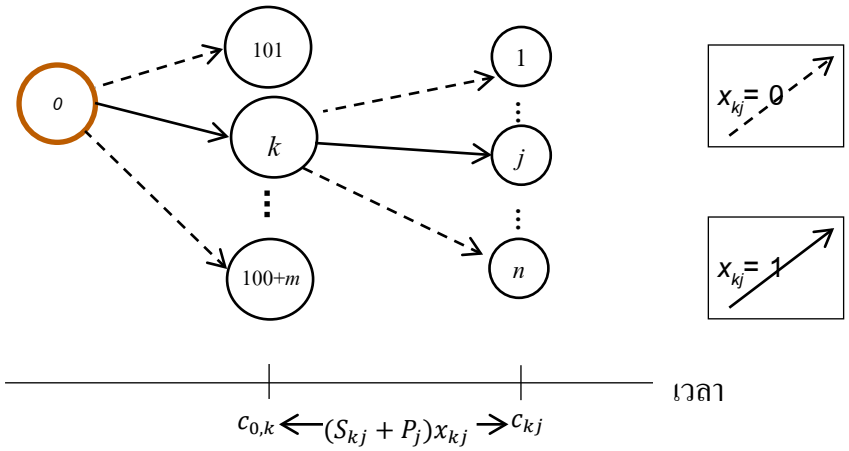
$$\sum_{p \in J \cup K} c_{pi} + \sum_{j \in J \cup \{n+1\}} (S_{ij} + P_j)x_{ij} = \sum_{j \in J \cup \{n+1\}} c_{ij} \quad \text{สำหรับทุกค่า } i \in J \qquad (4\text{-}21)$$

สมการที่ (4-22) เป็นสมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตเมื่อพิจารณาเวลาเริ่มการทำงานของเครื่องจักรหมายเลข *k*-100 ใด ๆ ($k = 101,\ldots, 100+m$) และหลังจากเครื่องจักรนั้นผลิตงาน *j* ใด ๆ เสร็จเป็นงานแรก เวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรเมื่อเริ่มต้นทำงาน (หลังจากผลิตงานจำลอง *k* เสร็จ) ($c_{0,k}$) รวมกับเวลาตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน *j* ต่อจากงานจำลอง *k* (S_{kj}) เท่ากับเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรหลังจากผลิตงาน *j* เสร็จ (c_{kj}) ดังภาพที่ 4-18

$$c_{0,k} + \sum_{j \in J} (S_{kj} + P_j)x_{kj} = \sum_{j \in J} c_{kj} \qquad \text{สำหรับทุกค่า } k \in K \qquad (4\text{-}22)$$



ภาพที่ 4-17 สมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตหลังจากเครื่องจักรเริ่มผลิตงานแล้ว ตามสมการที่ (4-21)



ภาพที่ 4-18 สมการสมดุลการไหลของเวลาการผลิตเมื่อเครื่องจักรเริ่มผลิตงานลำดับแรก ตามสมการที่ (4-22)

เงื่อนไขบังคับด้านการทำงานล่วงเวลา โดยกำหนดให้เครื่องจักรแต่ละเครื่องสามารถทำงานล่วงเวลาเป็น 3 ช่วง คือ 1 2 และ 3 ชั่วโมงจากเวลาการทำงานปกติ 21 ชั่วโมง (1,260 นาที คูณด้วย *eff*) สมการที่ (4-23) ทำให้มั่นใจได้ว่าหากเครื่องจักรใด ๆ ทำงานเกินเวลาปกติแล้วจะทำให้

ตัวแปรตัดสินใจที่แสดงเวลาการทำงานล่วงเวลา t ชั่วโมงใด ๆ จะต้องมีค่าเป็น “1” เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าแรงการทำงานล่วงเวลา

$$c_{i,n+1} - [60Eff(20+t)]x_{i,n+1} \leq (180o_{i,t})Eff \qquad \text{สำหรับทุกค่า } i \in J, t \in Z \qquad (4\text{-}23)$$

เงื่อนไขบังคับด้านตัวแปรตัดสินใจแสดงดังสมการที่ (4-24) (4-25) และ (4-26) เป็นการกำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} และ $o_{i,t}$ เป็นตัวแปรแบบไบนารี และ c_{ij} เป็นจำนวนจริงที่ไม่ติดลบ

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{สำหรับทุกค่า } i \in K \cup J, j \in J \cup \{n+1\}, i \neq j, \text{และสำหรับทุกค่า } i \in \{0\}, j \in K \qquad (4\text{-}24)$$

$$c_{ij} \geq 0 \quad \text{สำหรับทุกค่า } i \in K \cup J, j \in J \cup \{n+1\}, i \neq j, \text{และสำหรับทุกค่า } i \in \{0\}, j \in K \qquad (4\text{-}25)$$

$$o_{i,t} \in \{0,1\} \text{ สำหรับทุกค่า } i \in J, t \in Z \qquad (4\text{-}26)$$

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม MILP_ID2 ที่ใช้สำหรับจัดตารางการผลิตของปัญหากรณีศึกษา สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4-19 และตัวอย่างแสดงในภาคผนวก ข

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

$$\text{Minimize } L\sum_{k\in K} x_{0,k} + L_0\sum_{i\in J}\sum_{t\in Z} o_{i,t} + E\sum_{\substack{i\in J\cup K\\ i\neq j}}\sum_{j\in J}(S_{ij}+P_j)\,x_{ij} \quad (4\text{-}13)$$

เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{j\in K} x_{0,j} \le m \quad (4\text{-}14)$$

$$x_{0,k} - \sum_{j\in J} x_{k,j} = 0 \qquad \forall k \in K \quad (4\text{-}15)$$

$$\sum_{i\in J} x_{i,n+1} \le m \quad (4\text{-}16)$$

$$\sum_{\substack{j\in J\cup\{n+1\}\\ i\neq j}} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in J \quad (4\text{-}17)$$

$$\sum_{\substack{i\in J\cup K\\ i\neq j}} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in J \quad (4\text{-}18)$$

$$c_{ij} \ge (S_{ij}+P_j)x_{ij} \qquad \forall i \in K\cup J, j \in J\cup\{n+1\}, i\neq j \quad (4\text{-}19)$$

$$c_{ij} \le x_{ij}T \qquad \forall i \in K\cup J, j \in J\cup\{n+1\}, i\neq j \quad (4\text{-}20)$$

$$\sum_{p\in J\cup K} c_{pi} + \sum_{j\in J\cup\{n+1\}} (S_{ij}+P_j)x_{ij} = \sum_{j\in J\cup\{n+1\}} c_{ij} \qquad \forall i \in J \quad (4\text{-}21)$$

$$c_{0,k} + \sum_{j\in J}(S_{kj}+P_j)x_{kj} = \sum_{j\in J} c_{kj} \qquad \forall k \in K \quad (4\text{-}22)$$

$$c_{i,n+1} - [60Eff(20+t)]x_{i,n+1} \le (180o_{i,t})Eff \qquad \forall i \in J, t \in Z \quad (4\text{-}23)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in K\cup J, j \in J\cup\{n+1\}, i\neq j, and\ \forall i \in \{0\}, j \in K \quad (4\text{-}24)$$

$$c_{ij} \ge 0 \qquad \forall i \in K\cup J, j \in J\cup\{n+1\}, i\neq j, and\ \forall i \in \{0\}, j \in K \quad (4\text{-}25)$$

$$o_{i,t} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in J, t \in Z \quad (4\text{-}26)$$

ภาพที่ 4-19 แบบจำลอง MILP_ID2

การใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม OpenSolver ที่เป็นโอเพ่นซอร์สซอฟต์แวร์ (Open source software) สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดแบบไม่จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจและจำนวนเงื่อนไขบังคับของ MILP ได้ ส่วนตัวประมวลผล (Solver engine) เลือกใช้โปรแกรม Gurobi 7.5.2 เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ประมวลผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (ภิญญามาศ มานะทวีวัฒน์, 2561)

รายละเอียดในการใช้ซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ของ MILP ที่เสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ต้นแบบที่บันทึกตัวแบบ MILP ที่เสนอให้พร้อมใช้ในการจัดตารางการผลิตประจำวัน 2) การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และ 3) การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการผลิตที่พร้อมสำหรับใช้งาน

การออกแบบไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ

ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบประกอบด้วยแผ่นงาน (Worksheets) ทั้งสิ้น 5 แผ่นงาน ดังนี้

1. แผ่นงาน DB_CT เป็นแผ่นงานฐานข้อมูลของขนาดขอบยางของงานแต่ละรุ่น ซึ่งมี 4 ขนาดด้วยกัน คือ 19 20 22 และ 24 มีหน่วยเป็นนิ้ว และข้อมูลเวลามาตรฐานของการขึ้นรูปยางของแต่ละของงานมีหน่วยเป็นนาทีต่อเส้น โดยมีข้อมูลทั้งหมด 202 ข้อมูลตามรุ่นที่ทำการผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 ดังภาพที่ 4-20

	A	B	C	D	E	F
1	Size	Rim	STD tir			
2			[min/tire]			
3	A4A1	22	3.34			
4	A6A8	22	3.34			
5	G2A0	22	4.60			
6	W7A9	22	3.63			
7	B1B1	22	3.61			
8	B3B3	22	3.61			
9	B7B0	22	3.61			
10	B7B5	22	3.61			
11	C5B9	22	3.60			
12	H2B5	22	3.61			
13	L6B9	22	4.68			
14	R0B4	22	4.05			
15	S0B0	22	4.00			
16	S2B7	22	4.10			
17	S3B4	22	4.00			
18	S4B9	22	4.00			
19	S6B2	22	4.10			
20	S6B6	22	4.00			
21	T5B8	22	4.34			
22	U5B6	22	3.60			
23	V7B4	22	3.99			
24	A4C4	22	3.78			
25	A5C1	22	3.78			
26	A6C3	22	3.78			
27	A7C2	22	3.78			

DB_CT | DB_Sij | Input | calculation | output

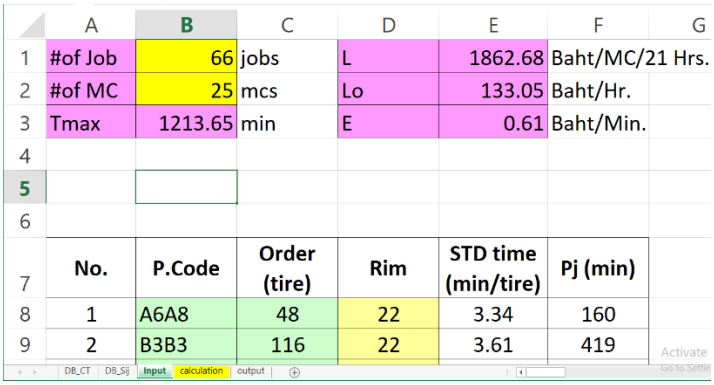
ภาพที่ 4-20 แผ่นงาน DB_CT

2. แผ่นงาน DB_ S_{ij} เป็นแผ่นงานฐานข้อมูลของเวลามาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน i ทำก่อนงาน j มีหน่วยเป็นนาทีต่อครั้ง ซึ่งเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะใช้เวลามากหากเป็นการเปลี่ยนจาก i ไป j ที่มีขนาดขอบยางที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 4-21

From/To	A4A1	A6A8	G2A0	W7A9	B1B1	B3B3	B7B0	B7B5	C5B9	H2B5
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
A4A1	-	7.7	45.0	42.8	38.1	34.6	38.1	34.6	38.1	34.6
A6A8	7.7	-	45.0	42.8	38.1	34.6	38.1	34.6	38.1	34.6
G2A0	45.0	45.0	-	18.0	45.0	45.0	41.5	45.0	41.5	45.0
W7A9	42.8	42.8	18.0	-	42.8	42.8	39.3	42.8	39.3	42.8
B1B1	38.1	38.1	45.0	42.8	-	21.8	21.8	21.8	31.2	38.1
B3B3	34.6	34.6	45.0	42.8	21.8	-	11.1	18.3	34.7	38.1
B7B0	38.1	38.1	41.5	39.3	21.8	11.1	-	21.8	31.2	38.1
B7B5	34.6	34.6	45.0	42.8	21.8	18.3	21.8	-	34.7	38.1
C5B9	38.1	38.1	41.5	39.3	31.2	34.7	31.2	34.7	-	38.1
H2B5	34.6	34.6	45.0	42.8	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	-
L6B9	45.0	45.0	42.8	40.4	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
R0B4	39.3	39.3	45.0	42.8	39.2	39.3	42.8	35.6	39.2	42.8
S0B0	39.2	39.2	45.0	42.8	39.4	39.4	39.4	32.2	39.4	39.2
S2B7	42.8	42.8	45.0	42.8	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	42.8

ภาพที่ 4-21 แผ่นงาน DB_S_{ij}

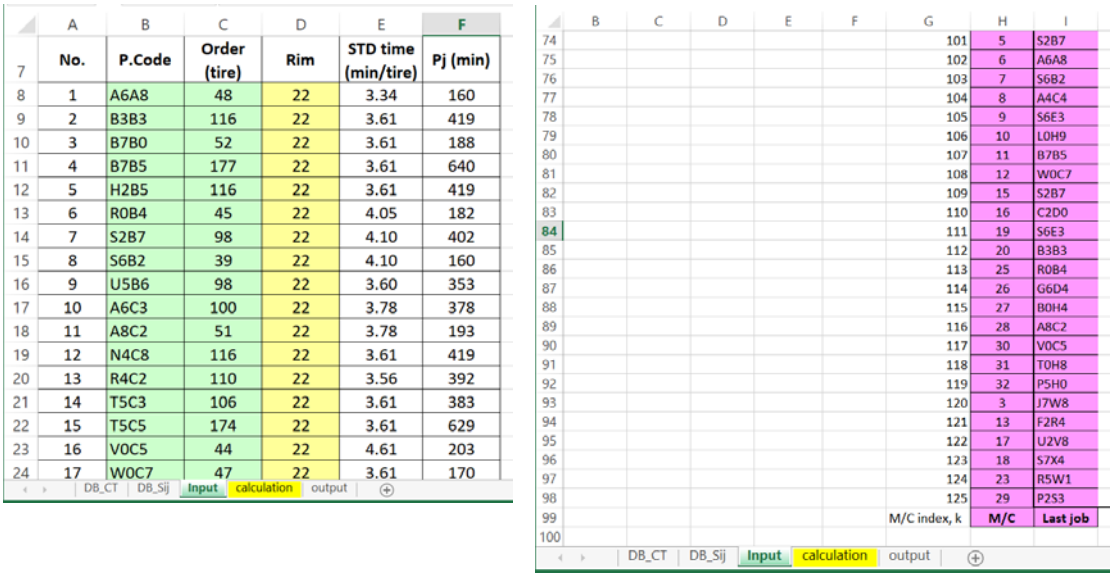
3. แผ่นงาน Input ส่วนแรกแสดงฐานข้อมูลนำเข้าของพารามิเตอร์จำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต (n) จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้ (m) เวลาการทำงานสูงสุด (T) ค่าแรงงานพนักงานควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง (L) อัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (L_o) และ อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (E) ดังภาพที่ 4-22 (ก) ส่วนต่อมาแสดงข้อมูลนำเข้าและรายละเอียดต่าง ๆ ดังภาพที่ 4-22 (ข) ได้แก่ งานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักร (last job, x_{0j}) ปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละรุ่น (P.Code Order และ Rim) และ เวลาการผลิตงาน j (P_j) ซึ่งมาจากการดึงข้อมูลเวลามาตรฐานของการขึ้นรูปยางของแต่ละของงานจากแผ่นงาน DB_CT มาคูณกับปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละงาน และเวลามาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน i ทำก่อนงาน j (S_{ij}) ที่ต้องการจัดตารางการผลิตในวันหนึ่ง ๆ ซึ่งถูกดึงข้อมูลมาจากแผ่นงาน DB_S_{ij} ข้อมูลในแผ่นงาน Input นี้ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของตัวแบบในแผ่นงาน Calculation



	A	B	C	D	E	F	G
1	#of Job	66	jobs	L	1862.68	Baht/MC/21 Hrs.	
2	#of MC	25	mcs	Lo	133.05	Baht/Hr.	
3	Tmax	1213.65	min	E	0.61	Baht/Min.	
4							
5							
6							

7	No.	P.Code	Order (tire)	Rim	STD time (min/tire)	Pj (min)
8	1	A6A8	48	22	3.34	160
9	2	B3B3	116	22	3.61	419

(ก) ข้อมูลนำเข้า: จำนวนงานและจำนวนเครื่องจักร และพารามิเตอร์: Tmax, L, L_o, E



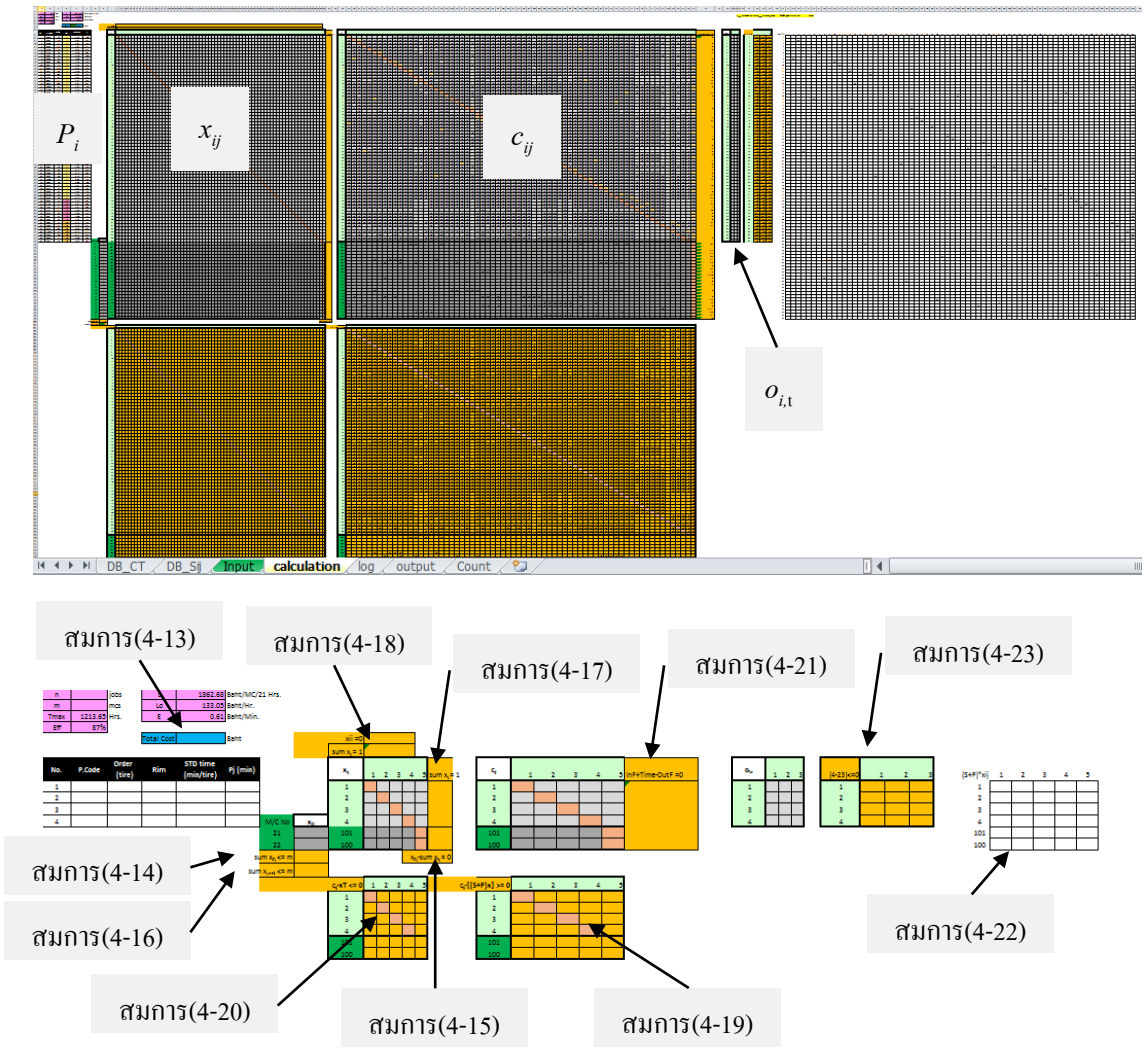
7	No.	P.Code	Order (tire)	Rim	STD time (min/tire)	Pj (min)
8	1	A6A8	48	22	3.34	160
9	2	B3B3	116	22	3.61	419
10	3	B7B0	52	22	3.61	188
11	4	B7B5	177	22	3.61	640
12	5	H2B5	116	22	3.61	419
13	6	R0B4	45	22	4.05	182
14	7	S2B7	98	22	4.10	402
15	8	S6B2	39	22	4.10	160
16	9	U5B6	98	22	3.60	353
17	10	A6C3	100	22	3.78	378
18	11	A8C2	51	22	3.78	193
19	12	N4C8	116	22	3.61	419
20	13	R4C2	110	22	3.56	392
21	14	T5C3	106	22	3.61	383
22	15	T5C5	174	22	3.61	629
23	16	V0C5	44	22	4.61	203
24	17	W0C7	47	22	3.61	170

74	101	5	S2B7
75	102	6	A6A8
76	103	7	S6B2
77	104	8	A4C4
78	105	9	S6E3
79	106	10	L0H9
80	107	11	B7B5
81	108	12	W0C7
82	109	15	S2B7
83	110	16	C2D0
84	111	19	S6E3
85	112	20	B3B3
86	113	25	R0B4
87	114	26	G6D4
88	115	27	B0H4
89	116	28	A8C2
90	117	30	V0C5
91	118	31	T0H8
92	119	32	P5H0
93	120	3	J7W8
94	121	13	F2R4
95	122	17	U2V8
96	123	18	S7X4
97	124	23	R5W1
98	125	29	P2S3
99	M/C index, k	M/C	Last job
100			

(ข) ข้อมูลนำเข้า ปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละรุ่น (P.Code Order และ Rim) เวลาการผลิตงาน j (P_j) และงานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักร (Last job)

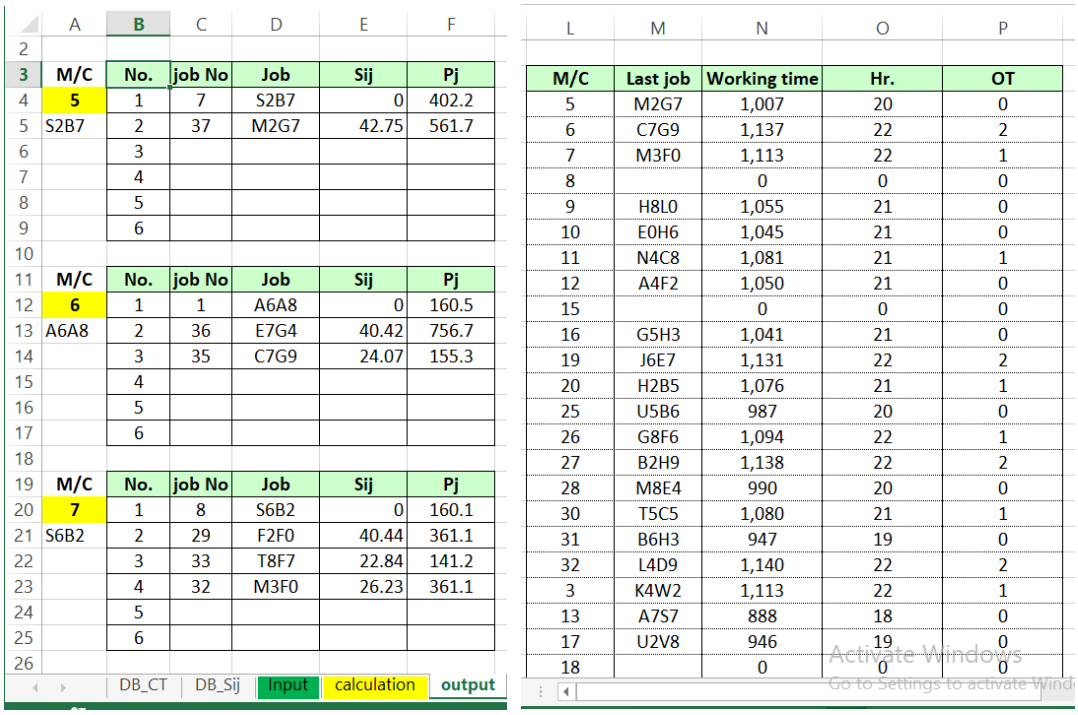
ภาพที่ 4-22 ส่วนประกอบของแผ่นงาน Input

4. แผ่นงาน Calculation เป็นแผ่นงานการจัดตารางการผลิตเพื่อหาผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำที่สุด ถูกสร้างเป็นแบบจำลองแผ่นงาน (Spread sheet model) จากแบบจำลอง MILP_ID2 และเชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองที่เป็นค่าพารามิเตอร์ในเซลล์ต่าง ๆ ของแผ่นงาน Input การเขียนสูตรในเซลล์เพื่อแสดงความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ตามแบบจำลอง MILP_ID2 กำหนดการเชื่อมโยงข้อมูลนำเข้าในส่วนของข้อมูลเวลาผลิต เวลาการปรับตั้งเครื่องจักร ตัวแปรตัดสินใจ ฟังก์ชั่นจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ดังภาพที่ 4-23



ภาพที่ 4-23 แผ่นงาน Calculation

5. แผ่นงาน Output เป็นแผ่นงานที่รายงานผลการจัดตารางการผลิตดังตัวอย่างในภาพที่ 4-24 โดยแปลงผลลัพธ์หลังการประมวลผลแบบจำลองแผ่นงานจากแผ่นงาน Calculation มาแสดงผลเป็นตารางการผลิตของแต่ละเครื่องจักร และแสดงลำดับงานสุดท้ายของแต่ละเครื่อง เพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าในส่วนของงานตั้งต้นของวันถัดไป



	A	B	C	D	E	F
2						
3	M/C	No.	job No	Job	Sij	Pj
4	5	1	7	S2B7	0	402.2
5	S2B7	2	37	M2G7	42.75	561.7
6		3				
7		4				
8		5				
9		6				
10						
11	M/C	No.	job No	Job	Sij	Pj
12	6	1	1	A6A8	0	160.5
13	A6A8	2	36	E7G4	40.42	756.7
14		3	35	C7G9	24.07	155.3
15		4				
16		5				
17		6				
18						
19	M/C	No.	job No	Job	Sij	Pj
20	7	1	8	S6B2	0	160.1
21	S6B2	2	29	F2F0	40.44	361.1
22		3	33	T8F7	22.84	141.2
23		4	32	M3F0	26.23	361.1
24		5				
25		6				
26						

DB_CT | DB_Sij | Input | calculation | output

L	M	N	O	P
M/C	Last job	Working time	Hr.	OT
5	M2G7	1,007	20	0
6	C7G9	1,137	22	2
7	M3F0	1,113	22	1
8		0	0	0
9	H8L0	1,055	21	0
10	E0H6	1,045	21	0
11	N4C8	1,081	21	1
12	A4F2	1,050	21	0
15		0	0	0
16	G5H3	1,041	21	0
19	J6E7	1,131	22	2
20	H2B5	1,076	21	1
25	U5B6	987	20	0
26	G8F6	1,094	22	1
27	B2H9	1,138	22	2
28	M8E4	990	20	0
30	T5C5	1,080	21	1
31	B6H3	947	19	0
32	L4D9	1,140	22	2
3	K4W2	1,113	22	1
13	A7S7	888	18	0
17	U2V8	946	19	0
18		0	0	0

Activate Windows
Go to Settings to activate Wind

ภาพที่ 4-24 แผ่นงาน Output

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver

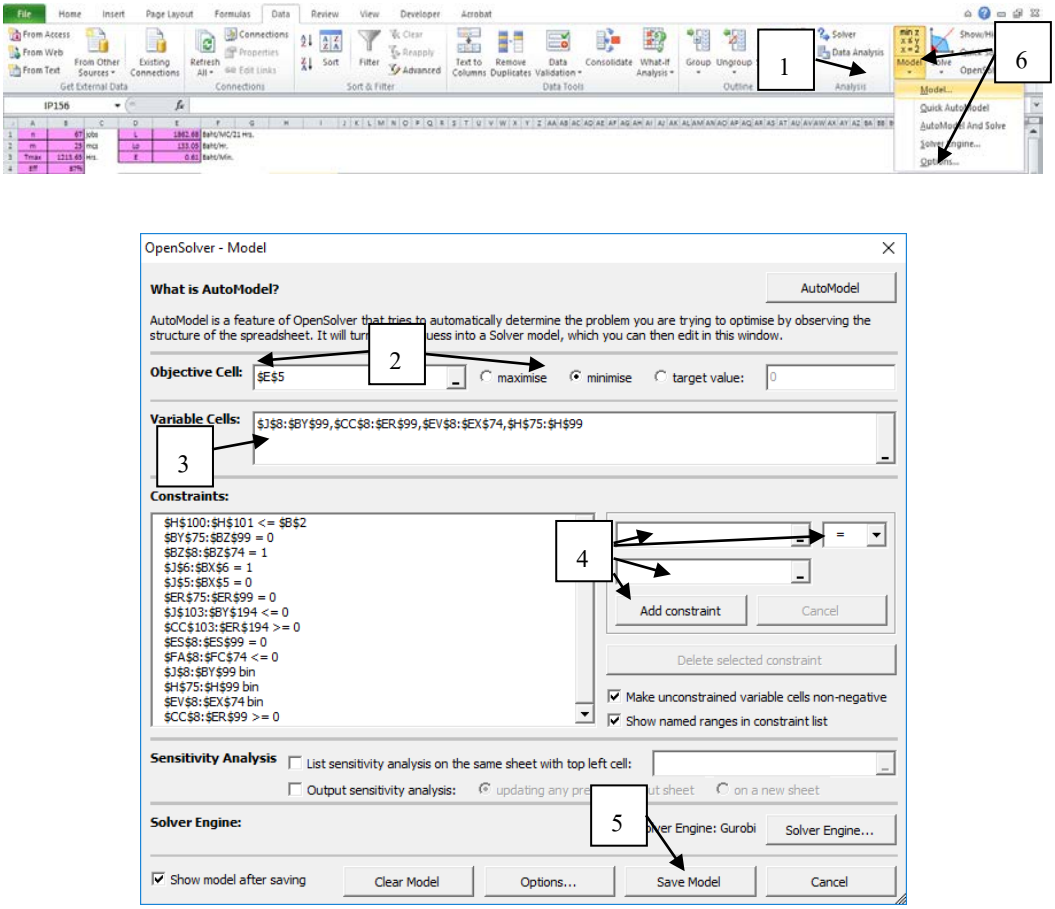
การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วย OpenSolver เริ่มจากการนำข้อมูลของวันที่ต้องการจัดตารางการผลิตไปบันทึกในไฟล์เอ็กซ์เซลต้นแบบ ในแผ่นงาน Input ซึ่งประกอบด้วยจำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้ งานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักรและปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละงาน จากนั้นคอมพิวเตอร์จะประมวลผลดึงข้อมูลและคำนวณเวลาการผลิตงาน i และเวลามาตรฐานในการปรับตั้งเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน i ทำก่อนงาน j จากแผ่นงาน DB_CT และ แผ่นงาน DB_S_{ij} เข้ามาในแผ่นงาน Input กรณีที่จำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนในไฟล์ Excel ต้นแบบให้ตัดแถวและคอลัมภ์ที่ไม่เกี่ยวข้องออกก่อน เมื่อปรับปรุงไฟล์เสร็จแล้วจึงพร้อมที่จะหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วย OpenSolver โดยมีขั้นตอนในการใช้โปรแกรมดังภาพที่ 4-25 มีรายละเอียดดังนี้

1. เลือก Model เพื่อเชื่อมโยงเซลล์ต่าง ๆ ใน Spread sheet model ลงใน OpenSolver
2. ใส่เซลล์ที่แสดงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ลงในช่อง Objective cell และเลือก minimise
3. ใส่เซลล์ที่แสดงค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij}, c_{ij} และ $o_{i,t}$ โดยช่วงเซลล์ของตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวถูกคั่นด้วยเครื่องหมายคอมมา (Comma, “,”)

4. ใส่เงื่อนไขบังคับครั้งละ 1 สมการ (สมการที่ (4-14) ถึง (4-26)) ในแต่ละสมการเงื่อนไขบังคับให้ใส่ช่วงเซลล์ด้านซ้ายมือและขวามือของสมการ และเลือกเครื่องหมายความสัมพันธ์ของสมการหรือลักษณะตัวแปรตัดสินใจ จากนั้นจึงเลือกเพิ่มเงื่อนไขบังคับต่อไปที่ Add constraint

5. เมื่อใส่เซลล์ความสัมพันธ์ตาม MILP ที่เสนอเสร็จแล้วให้เลือก Save Model

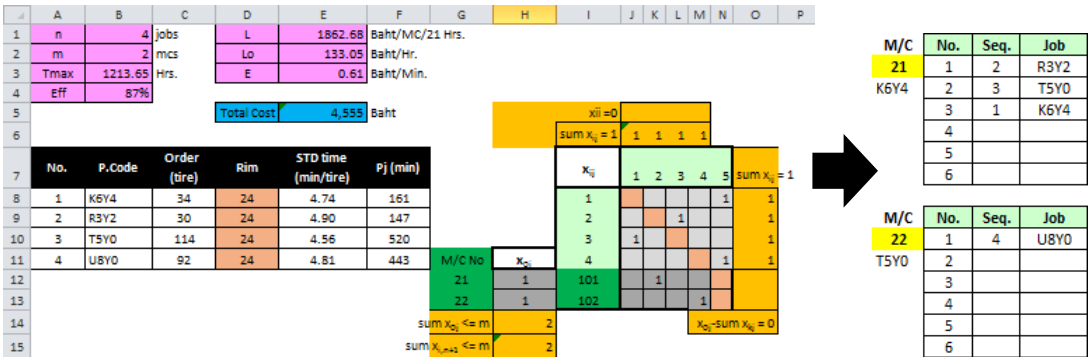
6. เมื่อต้องการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมให้คลิ๊กที่ Solve ทั้งนี้ตัวแบบคณิตศาสตร์ที่เสนอนี้เป็นตัวแบบจำนวนเต็มเชิงเส้นผสม (Mixed integer linear programming) ดังนั้นก่อนการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม ผู้รันโปรแกรมควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการรันได้แก่ Branch and Bound tolerance % และ Maximum solution time (Seconds) งานวิจัยนี้กำหนดที่ 1% และ 1,500 วินาที ตามลำดับ การกำหนดค่าพารามิเตอร์นี้ใน OpenSolver ให้คลิ๊กที่ Model แล้วเลือก Option จะพบช่องให้กำหนดค่าพารามิเตอร์



ภาพที่ 4-25 การบันทึกตัวแบบใน OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม

การแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการผลิต

เมื่อ OpenSolver ทำการหาผลลัพธ์ที่สมบูรณ์แล้วจะแสดงค่าตัวแปรตัดสินใจที่สำคัญ คือ x_{ij} และค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมทั้งหมดในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ผู้ใช้งานโปรแกรมจึงมีหน้าที่ในการแปลงค่าตัวแปรตัดสินใจให้อยู่ในรูปตารางการผลิตในแต่ละวัน เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ขั้นตอนการแปลงผลลัพธ์จาก OpenSolver ให้เป็นตารางการผลิตรายวันจะสนใจเฉพาะค่าตัวแปรตัดสินใจ x_{ij} เท่านั้น ซึ่งผลการแปลงผลลัพธ์จะแสดงในแผ่นงาน Output ดังภาพที่ 4-26



ภาพที่ 4-26 ตัวอย่างผลลัพธ์หลังการประมวลผลด้วย OpenSolver

การทดสอบประสิทธิภาพ

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธี SST และแบบจำลอง MILP ที่เสนอ ทำโดยการเปรียบเทียบผลการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST และตัวแบบ MILP โดยใช้ข้อมูลการจัดตารางการผลิตในวันที่ 1-30 กันยายน พ.ศ. 2560 (รุ่นและปริมาณความต้องการ งานล่าสุดที่เครื่องจักรผลิตเสร็จ และข้อมูลคำสั่งผลิตแสดงในภาคผนวก ค และ ง) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการผลิต และการลดเวลาในการจัดตารางการผลิต เนื้อหาในส่วนนี้ประกอบด้วยผลการทดสอบและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตระหว่างตารางการผลิตที่จัดในปัจจุบัน ซึ่งใช้พนักงานกับวิธี SST และตัวแบบ MILP ที่เสนอ ดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตที่จัดในปัจจุบันกับวิธี SST

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ คือ ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า โดยแสดงผลดังตารางที่ 4-21 และตารางที่ 4-22 สรุปได้ว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 2,942 ชั่วโมงแต่สามารถลด

ชั่วโมงทำงานล่วงเวลาลงได้ 309 ชั่วโมง และลดจำนวนเครื่องจักรที่ต้องใช้เฉลี่ย 1 เครื่องต่อวัน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายผลิตได้ 92,207 บาทต่อเดือน โดยคิดเป็นการลดลงร้อยละ 3.7

ตารางที่ 4-21 สรุปผลการเปรียบเทียบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้และต้นทุนการผลิตระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับวิธี SST ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

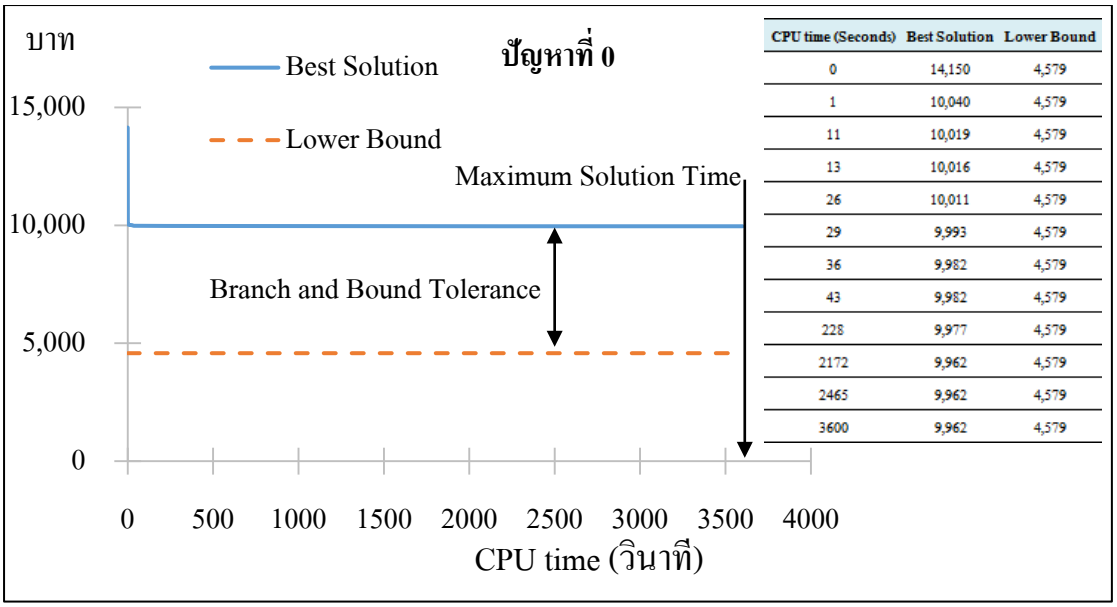
วันที่	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)			ต้นทุนการผลิต (บาท)		
	ปัจจุบัน	SST	ลดลง	ปัจจุบัน	SST	ลดลง
1	32	31	1	82,549	79,853	2,696
2	32	31	1	83,795	79,691	4,103
3	32	31	1	83,454	79,936	3,518
4	32	31	1	85,422	80,118	5,304
5	32	31	1	83,276	80,098	3,178
6	32	32	0	83,251	82,599	653
7	32	31	1	83,340	80,053	3,287
8	32	32	0	83,660	81,913	1,746
9	32	30	2	81,391	76,695	4,696
10	32	30	2	80,728	76,670	4,058
11	32	30	2	81,620	76,648	4,972
12	32	30	2	82,095	77,093	5,002
13	32	31	1	82,682	79,263	3,419
14	32	32	0	83,746	81,434	2,312
15	32	31	1	84,279	79,783	4,496
16	32	31	1	83,208	79,600	3,608
17	32	32	0	83,569	82,164	1,405
18	32	31	1	82,249	79,375	2,874
19	32	32	0	83,304	81,848	1,455
20	32	32	0	82,483	81,470	1,013
21	32	32	0	82,031	80,972	1,058
22	32	31	1	82,016	78,955	3,061
23	32	31	1	81,909	78,994	2,916
24	32	31	1	82,041	79,205	2,837
25	32	30	2	81,422	76,662	4,761
26	32	31	1	81,571	79,032	2,539
27	32	32	0	81,934	81,220	714
28	32	32	0	82,834	81,488	1,346
29	32	31	1	82,894	79,247	3,647
30	32	30	2	82,111	76,579	5,532
รวม				2,480,863	2,388,656	92,207

ตารางที่ 4-22 สรุปผลการเปรียบเทียบเวลาปรับตั้งเครื่องจักรและชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา ระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับวิธี SST ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

วันที่	เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
	ปัจจุบัน	SST	แตกต่าง	ปัจจุบัน	SST	แตกต่าง
1	1,545	1,507	-38	6	0	-6
2	1,693	1,594	-99	17	0	-17
3	1,572	1,896	324	13	0	-13
4	2,579	1,944	-636	22	0	-22
5	1,672	1,900	227	10	0	-10
6	1,623	2,727	1,105	10	0	-10
7	1,491	1,758	267	11	0	-11
8	1,448	1,421	-27	13	0	-13
9	1,503	1,411	-91	5	0	-5
10	1,251	1,420	169	3	0	-3
11	1,333	1,225	-108	7	0	-7
12	1,335	1,395	60	8	0	-8
13	1,268	1,350	81	12	0	-12
14	1,525	1,443	-82	17	0	-17
15	1,505	1,320	-186	18	0	-18
16	1,462	1,422	-39	12	0	-12
17	1,411	2,157	746	14	0	-14
18	1,310	1,383	72	7	0	-7
19	1,815	1,612	-204	11	1	-10
20	1,411	1,278	-134	7	0	-7
21	1,473	1,266	-207	7	0	-7
22	1,361	1,346	-15	8	0	-8
23	1,439	1,444	5	7	0	-7
24	1,448	1,798	351	8	0	-8
25	1,467	1,527	61	7	0	-7
26	1,505	1,906	401	6	0	-6
27	1,516	1,653	137	6	0	-6
28	1,518	1,927	409	12	0	-12
29	1,493	1,824	331	14	0	-14
30	1,337	1,400	63	12	0	-12
รวม	45,311	48,252	2,942	310	1	-309

การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยตัวแบบ MILP_ID3 และตัวแบบ MILP_ID2

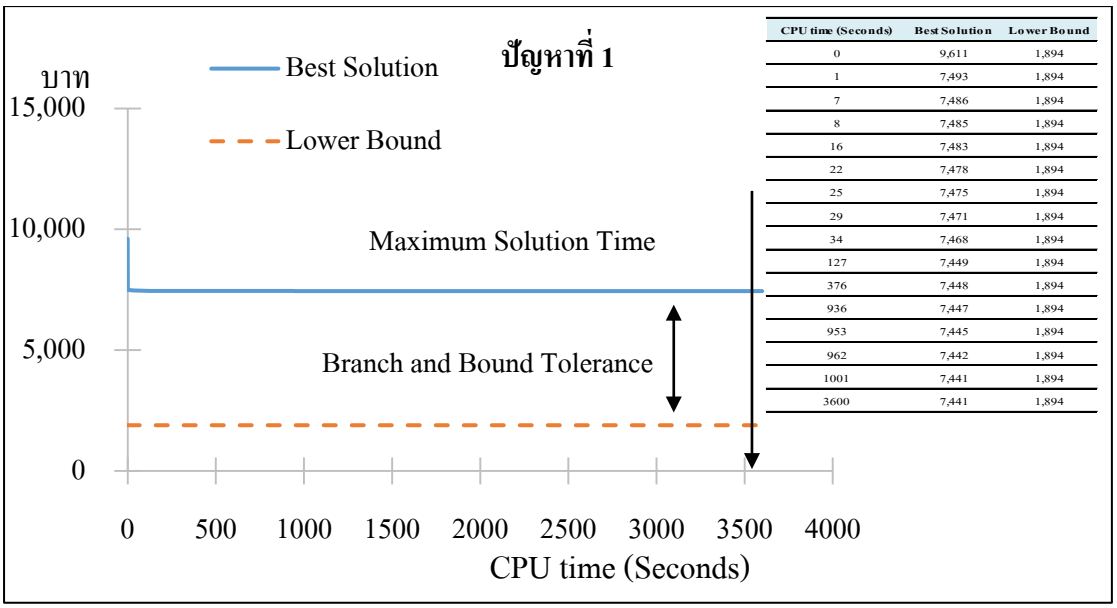
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวแบบ MILP ทั้งสองแบบ ทดสอบผ่านกลุ่มตัวอย่างปัญหาขนาดเล็ก (Small problem) 4 ปัญหาที่มีขนาดงาน 12 รุ่นและทำการจัดลำดับการผลิตเข้าเครื่องจักร 6 เครื่อง ค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลตัวแบบ MILP ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver และใช้ซอฟต์แวร์ Gurobi 7.5.2 เป็นตัวประมวลผล สำหรับการทดสอบนี้ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประมวลผลตัวแบบ คือ เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (% Branch and Bound tolerance, % BBT) เท่ากับ 0% และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) เท่ากับ 900 วินาทีสำหรับ MILP_ID2 และ 3,600 วินาทีสำหรับ MILP_ID3



CPU time (Seconds)	Best Solution	Lower Bound
0	14,150	4,579
1	10,040	4,579
11	10,019	4,579
13	10,016	4,579
26	10,011	4,579
29	9,993	4,579
36	9,982	4,579
43	9,982	4,579
228	9,977	4,579
2172	9,962	4,579
2465	9,962	4,579
3600	9,962	4,579

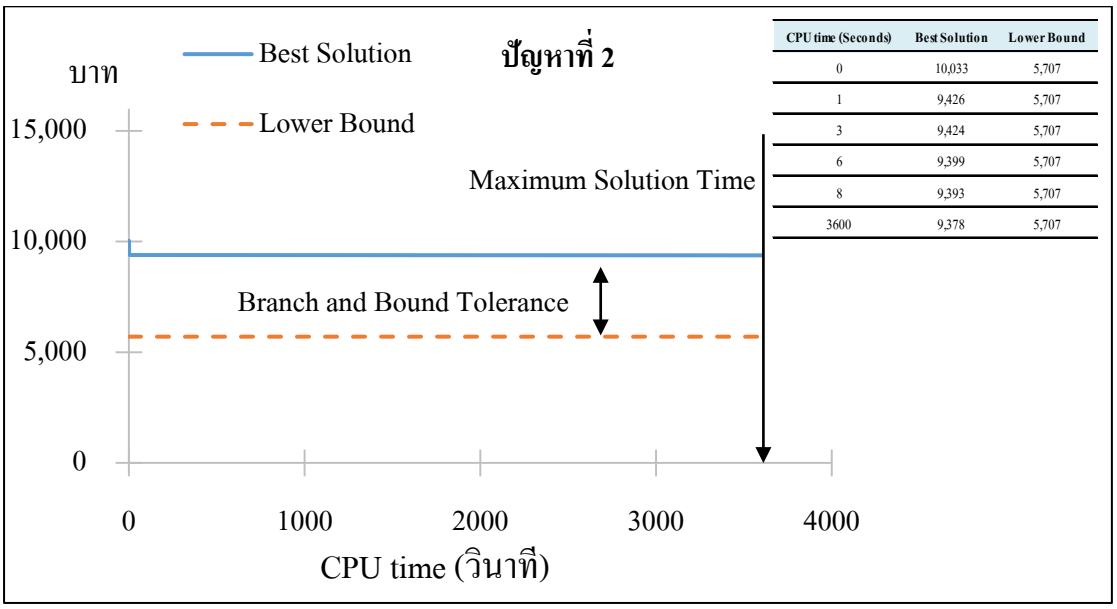
(ก) ผลการประมวลผลปัญหาที่ 0 ด้วย MILP_ID3

ภาพที่ 4-27 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดงาน 12 รุ่น 6 เครื่องจักรหลังการประมวลผลด้วยตัวแบบ MILP_ID3



CPU time (Seconds)	Best Solution	Lower Bound
0	9,611	1,894
1	7,493	1,894
7	7,486	1,894
8	7,485	1,894
16	7,483	1,894
22	7,478	1,894
25	7,475	1,894
29	7,471	1,894
34	7,468	1,894
127	7,449	1,894
376	7,448	1,894
936	7,447	1,894
953	7,445	1,894
962	7,442	1,894
1001	7,441	1,894
3600	7,441	1,894

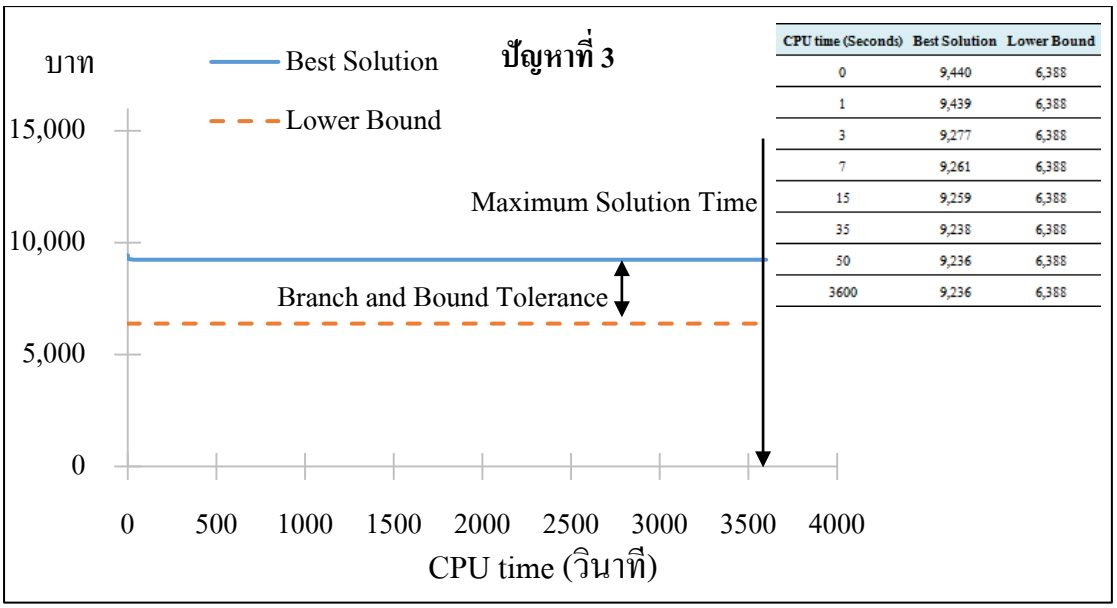
(ข) ผลการประมวลผลปัญหาที่ 1 ด้วย MILP_ID3



CPU time (Seconds)	Best Solution	Lower Bound
0	10,033	5,707
1	9,426	5,707
3	9,424	5,707
6	9,399	5,707
8	9,393	5,707
3600	9,378	5,707

(ค) ผลการประมวลผลปัญหาที่ 2 ด้วย MILP_ID3

ภาพที่ 4-27 (ต่อ)



CPU time (Seconds)	Best Solution	Lower Bound
0	9,440	6,388
1	9,439	6,388
3	9,277	6,388
7	9,261	6,388
15	9,259	6,388
35	9,238	6,388
50	9,236	6,388
3600	9,236	6,388

(ง) ผลการประมวลผลปัญหาที่ 3 ด้วย MILP_ID3

ภาพที่ 4-27 (ต่อ)

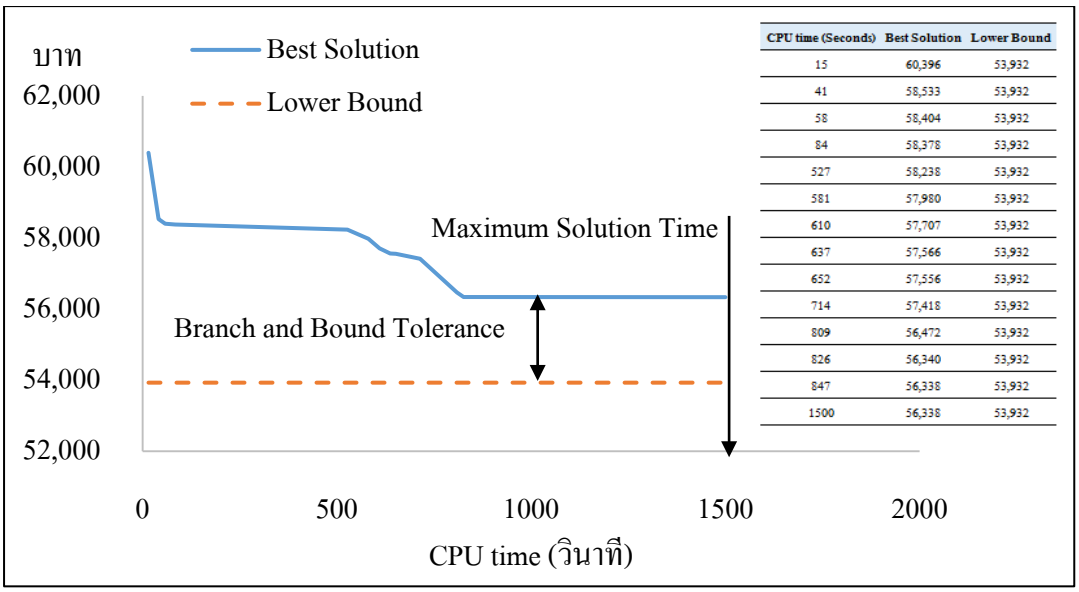
การประมวลผลปัญหาตัวอย่างของตัวแบบ MILP_ID3 ดังภาพที่ 4-27 สรุปได้ว่าไม่พบค่า Optimal solution ทั้ง 4 ปัญหา เมื่อโปรแกรมหยุดการประมวลผลที่ 3,600 วินาที (Best solution ไม่เท่ากับ Lower bound) และมี Branch and Bound tolerance อยู่ในช่วง 30%-75% และเมื่อนำผลการประมวลมาเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ MILP_ID3 และ MILP_ID2 ตามตารางที่ 4-22 สามารถสรุปได้ว่า MILP_ID2 มีโอกาสในการพบ Optimal solution มากกว่า MILP_ID3 และใช้เวลาในการประมวลน้อยกว่ามาก เนื่องจากเมื่อเทียบในปัญหาเดียวกันจำนวนตัวแปรในการประมวลของตัวแบบ MILP_ID2 มีจำนวนน้อยกว่า MILP_ID3 ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประมวลผลผ่านตัวแบบ MILP_ID2

ตารางที่ 4-23 ผลลัพธ์หลังการประมวลผลระหว่างตัวแบบ MILP_ID3 และ MILP_ID2

ปัญหาที่	ตัวแบบ MILP	ผลการประมวล		
		Optimal/Best solution	% BBT	เวลาที่พบ Optimal solution
0	ID2	9,962	0%	3.95 วินาที
	ID3	9,962	54%	Time limit reached (3,600 วินาที)
1	ID2	7,431	0%	70 วินาที
	ID3	7,441	74.5%	Time limit reached (3,600 วินาที)
2	ID2	9,357	0%	1.36 วินาที
	ID3	9,378	39.1%	Time limit reached (3,600 วินาที)
3	ID2	9,225	0%	5.95 วินาที
	ID3	9,236	30.8%	Time limit reached (3,600 วินาที)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตที่ใช้ในปัจจุบันกับตัวแบบ MILP_ID2

ค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลตัวแบบ MILP ด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับการทดสอบนี้ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการประมวลผลตัวแบบ คือ เปอร์เซนต์ค่าเผื่อการแตกกิ่งและขอบเขต (% Branch and Bound tolerance, % BBT) เท่ากับ 1% และเวลาสูงสุดที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์ (Maximum solution time) เท่ากับ 1500 วินาที ค่าพารามิเตอร์สองตัวนี้ถูกกำหนดจากการทดลองประมวลผลตัวแบบเพื่อเปรียบเทียบเวลาการประมวลผลกับคุณภาพผลลัพธ์ที่ได้เมื่อเทียบกับค่าขอบเขตผลลัพธ์ด้านล่าง (Lower Bound) ดังภาพที่ 4-28 ซึ่งแสดงตัวอย่างการหาผลลัพธ์ของ Gurobi จากปัญหาการจัดตารางการผลิตวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2560 การประมวลผลในช่วงต้น (0-100 วินาที) Gurobi สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง หลังการประมวลผล 847 วินาทีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 56,338 บาทซึ่งมีค่าสูงกว่า Lower bound เท่ากับ 2,406 บาท หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์ความแตกต่าง (% Difference, %D) เท่ากับ 4.0% สำหรับปัญหานี้ %D ยังมีค่ามากกว่า %BBT ทำให้ Gurobi ประมวลผลต่อไปจนกระทั่งครบ 1,500 วินาที



CPU time (Seconds)	Best Solution	Lower Bound
15	60,396	53,932
41	58,533	53,932
58	58,404	53,932
84	58,378	53,932
527	58,238	53,932
581	57,980	53,932
610	57,707	53,932
637	57,566	53,932
652	57,556	53,932
714	57,418	53,932
809	56,472	53,932
826	56,340	53,932
847	56,338	53,932
1500	56,338	53,932

ภาพที่ 4-28 ค่าพารามิเตอร์ใน Gurobi solver engine

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตมีดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำงาน โดยแสดงผลดังตารางที่ 4-23 สรุปได้ว่าการจัดตารางการผลิตด้วยตัวแบบ MILP_ID2 สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 1,047 ชั่วโมง ลดชั่วโมงทำงานล่วงเวลาลงได้ 189 ชั่วโมง และลดจำนวนเครื่องจักรที่ต้องใช้เฉลี่ย 4 เครื่องต่อวัน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายผลิตได้ 328,848 บาทต่อเดือน โดยคิดเป็นการลดลงร้อยละ 13.3

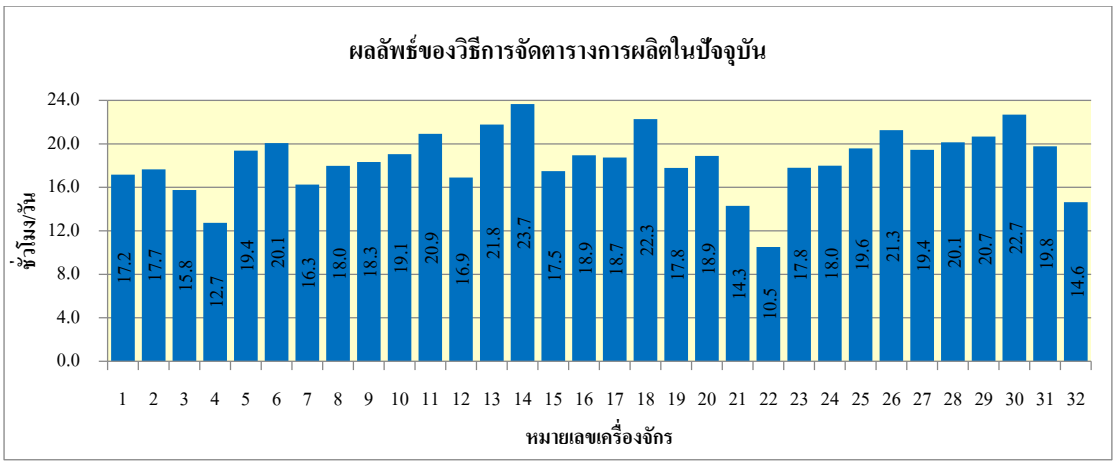
และเมื่อพิจารณาเวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักรของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีในปัจจุบัน วิธี SST และตัวแบบ MILP_ID2 ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560 ดังภาพที่ 4-29 จะพบว่าวิธี SST มีการแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 19.4 ชั่วโมงและส่วนใหญ่มีภาระงานใกล้เคียงกันแต่มีเครื่องจักรหมายเลข 23 มียังภาระงานน้อยสุดอยู่ที่ 8.9 ชั่วโมง ทำให้เวลาในการปิดงานที่เร็วที่สุดกับเวลาปิดงานที่ช้าที่สุด มีค่าแตกต่างกันยังมีค่าสูง คือ 12.1 ชั่วโมง ส่วนตัวแบบ MILP_ID2 มีการแบ่งภาระงานให้แต่ละเครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 19.8 ชั่วโมงซึ่งใกล้เคียงกับวิธี SST แต่เวลาในการปิดงานที่เร็วที่สุดกับเวลาปิดงานที่ช้าที่สุด มีค่าแตกต่างกันเพียง 4.4 ชั่วโมง

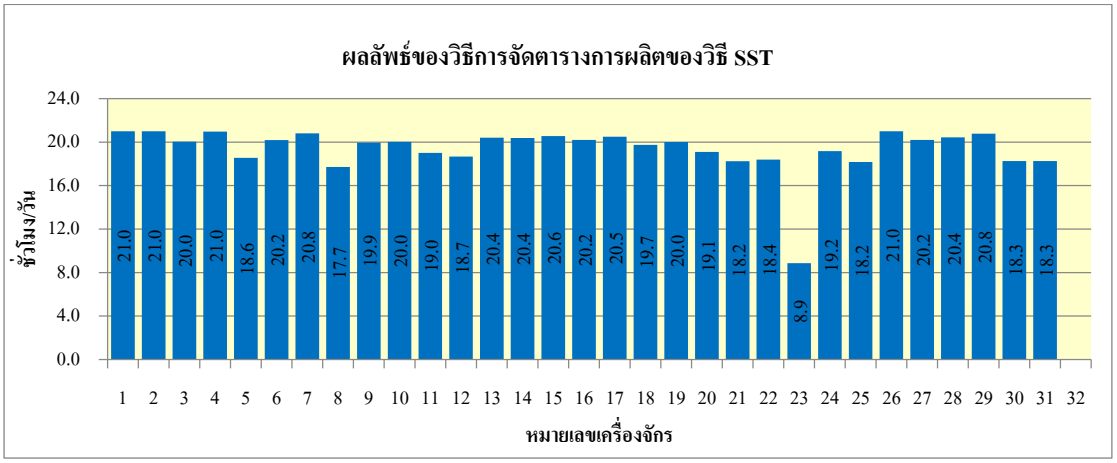
ตารางที่ 4-24 สรุปผลการเปรียบเทียบจำนวนเครื่องจักรที่ใช้และต้นทุนการผลิตระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับตัวแบบ MILP_ID2 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

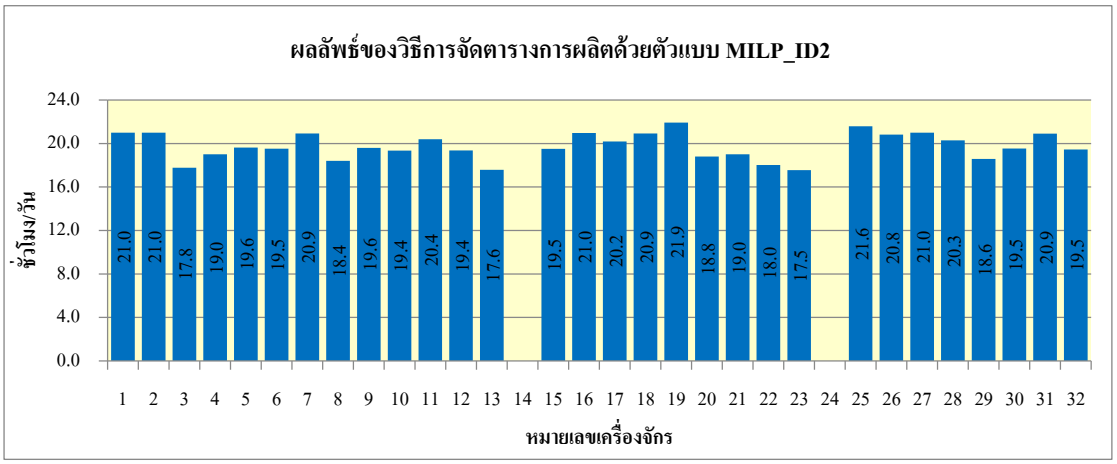
วันที่	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)			ต้นทุนการผลิต (บาท)		
	ปัจจุบัน	MILP_ID2	ลดลง	ปัจจุบัน	MILP_ID2	ลดลง
1	32	29	3	82,549	74,510	8,040
2	32	29	3	83,795	72,358	11,436
3	32	29	3	83,454	72,662	10,792
4	32	30	2	85,422	74,406	11,016
5	32	28	4	83,276	73,100	10,176
6	32	29	3	83,251	73,051	10,201
7	32	30	2	83,340	72,732	10,608
8	32	30	2	83,660	75,162	8,498
9	32	27	5	81,391	68,158	13,233
10	32	28	4	80,728	69,665	11,063
11	32	26	6	81,620	68,382	13,238
12	32	28	4	82,095	70,884	11,211
13	32	29	3	82,682	71,954	10,728
14	32	29	3	83,746	72,411	11,336
15	32	30	2	84,279	74,091	10,188
16	32	30	2	83,208	71,881	11,327
17	32	29	3	83,569	73,228	10,341
18	32	27	5	82,249	71,090	11,159
19	32	30	2	83,304	73,898	9,406
20	32	30	2	82,483	74,673	7,809
21	32	29	3	82,031	72,094	9,937
22	32	28	4	82,016	70,332	11,684
23	32	29	3	81,909	71,328	10,581
24	32	28	4	82,041	69,759	12,282
25	32	28	4	81,422	69,298	12,125
26	32	28	4	81,571	69,481	12,090
27	32	28	4	81,934	69,461	12,472
28	32	28	4	82,834	70,705	12,129
29	32	29	3	82,894	71,407	11,487
30	32	29	3	82,111	69,856	12,255
รวม				2,480,863	2,152,015	328,848

ตารางที่ 4-25 สรุปผลการเปรียบเทียบเวลาปรับตั้งเครื่องจักรและชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับตัวแบบ MILP_ID2 ในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

วันที่	เวลาปรับตั้งเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
	ปัจจุบัน	MILP_ID2	แตกต่าง	ปัจจุบัน	MILP_ID2	แตกต่าง
1	1,545	1,503	-42	6	2	-4
2	1,693	1,574	-120	17	2	-15
3	1,572	1,538	-34	13	4	-9
4	2,579	1,530	-1,050	22	2	-20
5	1,672	1,559	-114	10	2	-8
6	1,623	1,468	-154	10	6	-4
7	1,491	1,640	150	11	4	-7
8	1,448	1,897	448	13	5	-8
9	1,503	1,395	-108	5	6	1
10	1,251	1,298	47	3	4	1
11	1,333	1,651	319	7	20	13
12	1,335	1,704	369	8	8	0
13	1,268	1,370	102	12	2	-10
14	1,525	1,474	-52	17	4	-13
15	1,505	1,370	-135	18	0	-18
16	1,462	1,003	-458	12	1	-11
17	1,411	1,894	483	14	6	-8
18	1,310	1,329	18	7	9	2
19	1,815	1,221	-594	11	1	-10
20	1,411	1,251	-161	7	7	0
21	1,473	1,533	59	7	4	-3
22	1,361	1,390	30	8	6	-2
23	1,439	1,315	-125	7	0	-7
24	1,448	1,369	-79	8	2	-6
25	1,467	1,470	4	7	1	-6
26	1,505	1,524	20	6	1	-5
27	1,516	1,507	-9	6	0	-6
28	1,518	1,473	-45	12	7	-5
29	1,493	1,411	-82	14	0	-14
30	1,337	1,602	266	12	5	-7
รวม	45,311	44,263	-1,047	310	121	-189







ภาพที่ 4-29 เวลาการทำงานของแต่ละเครื่องจักรของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีต่าง ๆ ในวันที่ 1 กันยายน พ.ศ. 2560

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผล

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตกระบวนขึ้นรูปยางที่มีเครื่องจักรแบบขนานโดยมีเป้าหมายให้ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นรวมจากค่าแรงพนักงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรน้อยที่สุด จากการเก็บข้อมูลของบริษัทผลิตยางรถยนต์แห่งหนึ่งในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 พบว่าบริษัทผลิตยางรถยนต์มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำงานประมาณ 2.48 ล้านบาทต่อเดือน ในการผลิตงานทั้งหมด 200,000 เส้น บนเครื่องจักร 32 เครื่อง

ลักษณะของงานที่ทำการวิจัยให้ความสนใจเกี่ยวกับงานที่เป็นการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่มีข้อกำจัดของเครื่องจักรที่บางเครื่องไม่สามารถผลิตยางบางขนาดได้ และข้อกำจัดของเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรที่ขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า การดำเนินการวิจัยเริ่มจากการศึกษาวิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบันพร้อมทั้งข้อจำกัดพร้อมทั้งเงื่อนไขต่าง ๆ ของแผนกขึ้นรูปยางซึ่งเป็นกระบวนการคอขวดของบริษัท ปริมาณยางและจำนวนงานที่ต้องผลิตในแต่วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการจัดตารางการผลิตในเดือนกันยายน พ.ศ. 2560 พบว่าบริษัทผู้ผลิตยังไม่มีการศึกษาการจัดลำดับการผลิตอย่างเป็นระบบ การจัดลำดับกลุ่มงานให้ผลิตแต่ละเครื่องจักรจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญของฝ่ายผลิต ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการจัดตารางการผลิตที่ต้องตัดสินใจว่าจะให้งานใดผลิตก่อน งานใดผลิตหลัง และผลิตบนเครื่องจักรใด มี 2 วิธีดังนี้

1. วิธีฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป (Shortest setup time: SST) วิธีการนี้จะจัดตารางการผลิตโดยเริ่มพิจารณาจากกลุ่มงานที่มีขนาด 24 นิ้ว กลุ่มงานที่มีการสั่งผลิตจำนวนมาก กลุ่มงานอื่น ๆ ตามลำดับ และพิจารณาลำดับงานจากเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน i ไปงาน j งานใดที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ทำก่อน และคำนวณเวลาการผลิตรวมของแต่ละเครื่องจักรให้ไม่เกินเวลาสูงสุดที่เป็นไปได้ที่กำหนดไว้

2. แบบจำลองกำหนดการคณิตศาสตร์ในการจัดตารางการผลิต (Mathematical programming model) โดยงานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming model, MILP) แบบจำลอง MILP ที่เสนอนี้ทำการตัดสินใจเลือกกลุ่มงานและจัดลำดับการผลิตงานในแต่ละกลุ่มให้ทำการผลิตบนเครื่องจักรทุกเครื่องที่จำเป็นต้องใช้ และพร้อมทั้งคำนวณเวลาการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องให้ไม่เกินเวลาสูงสุด

ที่เป็นไปได้ที่กำหนดไว้ โดยเสนอแบบจำลอง MILP 2 แบบสำหรับงานวิจัยนี้ แบบจำลองที่ 1 (MILP_ID3) พัฒนาจากรูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple traveling salesman problem, m-TSP) แบบจำลองนี้มีตัวแปรตัดสินใจหลักขึ้นอยู่กับสามดัชนี คือ งานก่อนหน้าและงานลำดับถัดไป และงานผลิตที่เครื่องจักรใด ส่วนแบบจำลองที่ 2 พัฒนาจากรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน (School bus routing problem: SBRP) แบบจำลองนี้มีตัวแปรตัดสินใจหลักขึ้นอยู่กับสองดัชนี คือ งานก่อนหน้าและงานลำดับถัดไป

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบไฟล์เอ็กเซลต้นแบบ ที่จัดรูปแบบของแบบจำลอง MILP ให้อยู่ในรูปแบบจำลองแผ่นงาน แล้วใช้โปรแกรม OpenSolver ที่ติดตั้งในโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล และเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Gurobi เวอร์ชั่น 7.5.2 ในหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด ไฟล์เอ็กเซลต้นแบบมีการกำหนดข้อมูลนำเข้าได้แก่ รายละเอียดของงานที่ต้องการจัดตารางการผลิตในแต่ละวันได้สูงสุด 80 รุ่น จำนวนเครื่องจักรที่ใช้สูงสุด 32 เครื่อง และงานล่าสุดที่เครื่องจักรผลิตเสร็จ ผลลัพธ์ที่ได้หลังการประมวลผลของแบบจำลองจะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของตารางการผลิตเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP โดยทดสอบผ่านปัญหาตัวอย่างขนาดเล็กจำนวน 4 ปัญหาที่มีจำนวนงาน 12 รุ่น และจำนวนเครื่องจักร 6 เครื่อง พบว่าแบบจำลอง MILP_ID2 สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ได้ในเวลาเฉลี่ยที่ต่ำกว่า 30 วินาที ขณะที่แบบจำลอง MILP_ID3 เมื่อประมวลผลครบ 3,600 วินาที ยังไม่พบค่า Optimal solution ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประมวลผลผ่านตัวแบบ MILP_ID2 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันและวิธี SST

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิตที่เสนอด้วยการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร โดยใช้ข้อมูลการผลิตระหว่างวันที่ 1-30 กันยายน พ.ศ. 2560 ที่มีปริมาณการผลิตเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 7,000 เส้น บนเครื่องจักรรวม 32 เครื่องและผลิตงานประมาณ 80 รุ่นต่อวัน พบว่าวิธี SST ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานลดลงประมาณ 92,207 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงร้อย 3.7 และตัวแบบ MILP_ID2 ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานลดลงประมาณ 328,848 บาทต่อเดือน คิดเป็นต้นทุนที่ลดลงร้อย 13.3 จึงสรุปได้ว่า การใช้วิธี SST และแบบจำลอง MILP_ID2สำหรับจัดตารางการผลิตประจำวันสามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานลงได้ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย และเมื่อทำการเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี SST กับแบบจำลอง MILP_ID2 พบว่าแบบจำลอง MILP_ID2 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทำงานได้มากกว่าวิธี SST เท่ากับ 236,641บาทต่อเดือนหรือคิดเป็น 3.6 เท่า และเมื่อพิจารณาเวลาด้านเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตพบว่าวิธี SST ใช้เวลา

ในการจัดตารางการผลิตประมาณ 60 นาทีต่อการจัดตารางการผลิตหนึ่งวัน (ไม่ได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันที่ใช้เวลาจัดตารางการผลิตประมาณ 40 นาทีต่อการจัดตารางการผลิตหนึ่งวันจะใช้เวลามากกว่าถึง 20 นาที ส่วนแบบจำลอง MILP_ID2 ใช้เวลาในการจัดตารางจากการบันทึกข้อมูลนำเข้าลงในไฟล์ต้นแบบ รอการประมวลผลจากโปรแกรม และอ่านผลลัพธ์จากโปรแกรมแล้วจัดการไฟล์ให้อยู่ในรูปตารางการผลิตสำหรับใช้งานในขั้นตอนการทำงานถัดไป รวมไม่เกิน 30 นาที (สำหรับผู้ที่ฝึกฝนจนชำนาญแล้ว) จึงสรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอสามารถลดเวลาในการจัดตารางการผลิตลงได้ การสรุปเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันกับวิธี SST และวิธีการใช้แบบจำลอง MILP ดังตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการจัดตารางการผลิต

ดัชนีชี้วัด	วิธีการปัจจุบัน	SST	MILP
ค่าใช้จ่ายโดยรวม (บาทต่อเดือน)	2,480,863	2,388,656	2,152,015
เวลาในการจัดตารางการผลิต (นาทีต่อวัน)	40	60	<30
จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งาน (เครื่องต่อวัน)	32	31	29
จำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมงต่อเดือน)	310	1	121
เวลาการตั้งเครื่องจักรโดยรวม (นาทีต่อวัน)	45,311	48,252	44,263

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ทฤษฎีการวิจัยการดำเนินงานในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่เวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้า ปัญหานี้เป็นปัญหาแบบ NP hard ที่เมื่อขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ (เช่น จำนวนงานและ/ หรือจำนวนเครื่องจักรมีจำนวนมาก) จะไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ งานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ในการจัดตารางการผลิตให้มีต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าต่ำที่สุด เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพกับปัญหาขนาดเล็ก (ทดสอบที่ 12 งาน 6 เครื่องจักร) พบว่าสามารถสร้างตารางการผลิตที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดได้ และเมื่อทดสอบกับปัญหาขนาดใหญ่ขึ้นพบว่าไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ ผลการทดสอบนี้สอดคล้องกับทฤษฎี

ฮิวริสติก SST ถูกออกแบบให้ใช้ในการจัดตารางการผลิตของปัญหานี้ แนวคิดในการออกแบบเกิดจากการกำหนดงานที่จะผลิตในลำดับถัดไปให้ใช้เวลาตั้งเครื่องจักรต่ำที่สุด และ

เวลาผลิตงานเสร็จต้องไม่เกินเวลาการทำงานปกติที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่าฮิวริสติก SST สามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้ และเมื่อพิจารณาจากสมดุลภาระงานของเครื่องจักรพบว่า ตารางการผลิตมีภาระงานที่สมดุลมากขึ้นเมื่อเทียบกับตารางการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นไปตามสมมติฐานของงานวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการใช้ฮิวริสติก SST กับแบบจำลอง MILP_ID2 ในการจัดตารางผลิตพบว่าฮิวริสติก SST มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบจำลอง MILP_ID2 อยู่มาก ทำให้สรุปได้ว่าวิธีการอย่างง่ายในการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรแบบขนานที่เวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้าเป็นวิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตที่มีเงื่อนไขการผลิตที่ซับซ้อนนั้น การใช้ฮิวริสติกอย่างง่ายจะไม่สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีได้ เมื่อเทียบกับการใช้วิธีการเมตาฮิวริสติก

การสร้างตารางการผลิตรายวันด้วยตัวแบบ MILP โดยประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ OpenSolver สำหรับหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามตัวแบบ MILP ต้องทำการออกแบบแผ่นงานในไฟล์เอ็กเซลให้เป็นตัวแบบสเปรดชีท (Spreadsheet model) ก่อนเซตค่า OpenSolver model เพื่อหาผลลัพธ์ การออกแบบแผ่นงานมีความซับซ้อนต้องใช้ประสบการณ์ในการสร้างแผ่นงาน กรณีแบบจำลอง MILP_ID3 เป็นแบบจำลองที่มีตัวแปรตัดสินใจ 3 ดัชนี ทำให้การออกแบบแผ่นงานมียุ่งยากมาก นอกจากนี้แล้วจำนวนตัวแปรตัดสินใจมีปริมาณมาก เมื่อเปรียบเทียบกับ MILP_ID2 ที่เป็นแบบจำลองที่มีตัวแปรตัดสินใจ 2 ดัชนี สำหรับการจัดตารางการผลิต 60 งานบนเครื่องจักร 20 เครื่อง แบบจำลอง MILP_ID3 มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจมากกว่า MILP_ID2 ประมาณ 10 เท่า (MILP_ID3 มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 72,180 ตัวแปร ส่วนแบบจำลอง MILP_ID2 มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจ 7,380 ตัวแปร) แต่จำนวนเงื่อนไขบังคับของแบบจำลอง MILP_ID2 มีจำนวนมากกว่าแบบจำลอง MILP_ID3 ประมาณ 6.6 เท่า (แบบจำลอง MILP_ID3 มีจำนวนเงื่อนไขบังคับ 1,530 เงื่อนไข ส่วนแบบจำลอง MILP_ID2 มีจำนวนเงื่อนไขบังคับ 10,042 เงื่อนไข) จากการทดสอบปัญหาขนาดเล็กพบว่าแบบจำลอง MILP_ID2 มีคุณภาพผลลัพธ์ที่ดีกว่า (พบ Optimal solution) และใช้เวลาในการประมวลผลที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลอง MILP_ID3 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยนี้ จำนวนตัวแปรตัดสินใจส่งผลต่อคุณภาพผลลัพธ์และเวลาในการประมวลผลมากกว่าจำนวนเงื่อนไขบังคับ และเมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายโดยรวมที่ตารางการผลิตที่สร้างจากแบบจำลอง MILP_ID2 พบว่ามีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่เป็นไปได้ (Lower bound) ไม่มากนัก (ประมาณ 4%) ทำให้สรุปได้ว่าภายใต้ขนาดปัญหาการจัดตารางการผลิตของบริษัทตัวอย่างสามารถใช้แบบจำลอง MILP_ID2 ในการสร้างตารางการผลิตที่มีประหยัดค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ควรสร้างระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision support system) ด้วย Excel VBA มาจัดการกับแบบจำลอง MILP_ID2 ที่เสนอเพื่อให้สามารถสร้างตารางการผลิตรายวันที่เป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งานแบบจำลอง MILP_ID2 มากยิ่งขึ้น

2. ควรทดลองออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตของปัญหานี้ด้วยเมตาฮิวริสติก เช่น เจนเนติกอัลกอริทึ่ม (Genetic algorithm) ทาบูเสิร์ช (Tabu search) ซิมูเลตเตดแอนนีลลิ่ง (Simulated annealing) แอ๊นท์อัลกอริทึ่ม (Ant algorithm) เป็นต้น วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการค้นหาผลลัพธ์แบบย้อนซ้ำ (Iterative search) ที่ใช้เวลาในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพผลลัพธ์ที่ดี เพื่อมาเปรียบเทียบกับแบบจำลอง MILP_ID2 เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดตารางการผลิตต่อไป

บรรณานุกรม

กรมการค้าภายใน. (2556). *อุตสาหกรรมยางรถยนต์*. เข้าถึงได้จาก http://dit-km.myreadyweb.com/article/topic-41910.html

กัญชลา สุดตาชาติ. (2552). ฮิวริสติกสำหรับการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, *5*(2), 77-88.

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

ชัยวัฒน์ กิตติเดชา. (2551). *โปรแกรมจัดตารางการผลิตตามกฎเกณฑ์ฮิวริสติกสำหรับอุตสาหกรรมผลิตสินค้าตามสั่ง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าของประเทศไทย. (2549). *ขั้นตอนผลิตยางยานพาหะนะ*. เข้าถึงได้จาก http://www.exim.go.th/doc/research/business/industry_profile/5395.pdf

บริษัท ดีสโตน จำกัด. (2560). *กระบวนการผลิตยางรถยนต์*. เข้าถึงได้จาก http://www.deestone.com/WhyDeestone/Production.aspx

บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์. (2552). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

ปารเมศ ชุติมา. (2546). *เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แอคทีฟ พริ้นท์.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2553). *การกำหนดตารางการผลิตและการควบคุม*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เพ็ญศิริ สมพงษ์. (2552). *การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมชนิดเมมเมติกสำหรับการจัดตารางการผลิตของเครื่องขนานที่ไม่สัมพันธ์กันโดยมีค่าใช้จ่ายจากงานที่ผลิตเสร็จก่อน ค่าใช้จ่ายจากงานที่ล่าช้าและเวลาปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงาน*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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

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

Allahverdi, A. (2015). “The third comprehensive survey on scheduling problems with setup times/costs”, *European Journal of Operational ResearchI*, *246*, 354-378.

Allahverdi, A., Gupta, J. N. D., & Aldowaisan, T. (1999). A review of scheduling research involving setup consideration. *The International Journal of Management Science*, *27*, 219-239.

Bagshaw, K. B. (2014). Assessing the Application of Production Scheduling: Demand Uncertainty and the Performance of Manufacturing Firms in Rivers State, Nigeria. *International Review of Management and Business Research*, *3*, 38-54.

Bektas, T. (2006). The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures. *Omega 34*, 209-219.

BektaŞ, T. & ElmastaŞ, S. (2007). Solving school bus routing problems through integer programming. *Journal of Operational Research Society, 58*, 1599-1604.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P. (1981). Exact algorithms for vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxtions. *Mathematical Programming*, *20*, 255-282.

Demir E. & Kara I. (2008). Formulations for school bus routing problems. In *Proceedings of The 21st Conference of the European Chapter on Combinatorial Optimization* (p. 401-406), Dubrovnik, Croatia.

Eren Akyol, D. & Bayhan, M. (2008). Multi-machine earliness and tardiness scheduling problem: An interconnected neural network approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 37*, 576-588.

Gourgand, M., Grangeon, N., & Norre, S. (2003). A contribution to stochastic flowshop scheduling problem. *European journal of operational research*, *151*(2), 415-433.

Jui, C.J., Kou, H.C., & Hui, M.W. (2008). A dynamic scheduling model of parallel-machine group for weapon production. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *36*, 1202-1209.

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*.

Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of Association for Computing Machinery*, *7*, 326--329.

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

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

Yu, C., Ji, Y., Qi, G.; Gu, X., & Tao, L. (2015). Group-based production scheduling for make-to-order production. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *26*, 585-600.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแผนการผลิตวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560

ตารางภาคผนวก ก-1 ตัวอย่างแผนการผลิตวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2560

เครื่องจักร หมายเลข	ลำดับงานที่	Job	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
1	1	K8V4	20	255
2	1	V0C5	22	100
	2	T5C5	22	174
3	1		No Order	
4	1	A8C2	22	279
5	1	E7G4	22	200
	2	C7G9	22	40
6	1	A2G4	22	84
	2	B0H4	22	100
	3	B1H8	22	102
7	1	G7F9	22	86
	2	G6D4	22	49
	3	F2R4	19	52
	4	P0S1	19	48
8	1	A6C3	22	100
	2	A8C2	22	51
	3	N4C8	22	116
9	1	M4L8	22	44
	2	B8R8	19	57
	3	K1R2	19	122
	4	T8U2	19	46
10	1	B6H3	22	39
	2	B2H9	22	102
	3	C3L8	22	42
	4	H3L9	22	43
	5	H8L0	22	45
11	1	R4C2	22	110
	2	T5C3	22	106
	3	W0C7	22	47

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

เครื่องจักร หมายเลข	ลำดับงานที่	Job	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
12	1	A4F2	22	112
	2	S6E3	22	42
	3	S4E7	22	92
13	1	K0V4	20	47
	2	J7W8	20	53
	3	K8X5	20	44
	4	U4W3	20	52
14	1	G6D4	22	299
15	1	U5B6	22	98
	2	B3B3	22	116
	3	B7B0	22	52
16	1	S0E2	22	44
	2	S1E9	22	204
17	1	U2V8	20	204
18	1		No Order	
19	1	J6E7	22	88
	2	P5L9	22	46
	3	J3R5	19	52
	4	A7S7	19	44
20	1	H2B5	22	116
	2	G5H3	22	40
	3	C2D0	22	114
21	1	K4Y8	24	30
	2	K6Y4	24	80
	3	U8Y0	24	92
22	1	T5Y0	24	72
	2	R3Y2	24	30
	3	W5Y6	24	40
24	1	N1D8	22	268

ตารางภาคผนวก ก-1 (ต่อ)

เครื่องจักร หมายเลข	ลำดับงานที่	Job	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
25	1	G0E5	22	94
	2	S2B7	22	98
	3	S6B2	22	39
26	1	F2F0	22	80
	2	C2F9	22	96
	3	A6A8	22	48
27	1	B4H6	22	165
	2	M8E4	22	102
28	1	M2G7	22	141
	2	B7B5	22	114
29	1	K8V4	20	113
	2	K4W2	20	150
30	1	U0C3	22	212
	2	P5H0	22	45
	3	T0H8	22	40
31	1	C1H1	22	150
	2	E0H6	22	88
32	1	L4D9	22	88
	2	T8F7	22	35
	3	M3F0	22	80
	4	G8F6	22	36

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างแบบจำลอง MILP_ID2

ตัวอย่างแบบจำลอง MILP_ID2

ตัวอย่างปัญหาการจัดตารางการผลิต

- งาน 12 รุ่น (รุ่นที่ 1 ถึง 12)
- เครื่องจักร 6 เครื่อง
- งานล่าสุดที่ผลิตเสร็จบนเครื่องจักรหมายเลข 1 ถึง 6 คือ งานรุ่นที่ 11 ถึง 16 ตามลำดับ

เซตที่เกี่ยวข้อง

$J = \{1, 2, 3, \ldots, 12\}$

$K = \{101, 102, 103, \ldots.., 106\}$

$Z = \{1, 2, 3\}$

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

n (จำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต) = 12

m (จำนวนเครื่องจักรที่สามารถใช้ในการผลิตได้) = 6

T (เวลาการทำงานสูงสุด)

S_{ij} (เวลาการตั้งเครื่องจักรเมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i) ได้แก่

$S_{1,1}, S_{1,2}, \ldots., S_{1,12}, S_{2,1}, S_{2,3}, \ldots., S_{2,12}, S_{3,1}, S_{3,2}, \ldots., S_{3,12},$

$S_{4,1}, S_{4,2}, \ldots., S_{4,12}, S_{5,1}, S_{5,2}, \ldots., S_{5,12}, S_{12,1}, S_{12,2}, \ldots., S_{12,11},$

$S_{101,1}, S_{101,2}, \ldots., S_{101,12}, S_{102,1}, S_{102,2}, \ldots., S_{102,12}, \ldots, S_{106,1}, S_{106,2}, \ldots., S_{106,12}$

P_i (เวลาการผลิตงาน i) ได้แก่ $P_1, P_2, \ldots, P_{12}$

L = ค่าแรงงานพนักงานควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง (บาท)

L_o = อัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (บาทต่อชั่วโมง)

E = อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (บาทต่อนาที)

Eff = 87%

ตัวแปรตัดสินใจ

- x_{ij}(เป็นตัวแปรไบนารี่ มีค่าเป็น 1 เมื่อผลิตงาน j ต่อจากงาน i) ได้แก่

$x_{0,101}, x_{0,102}, \ldots., x_{0,106}$

$x_{1,1}, x_{1,2}, \ldots., x_{1,13}, x_{2,1}, x_{2,3}, \ldots., x_{2,13}, x_{3,1}, x_{3,2}, \ldots., x_{3,13},$

$x_{4,1}, x_{4,2}, \ldots., x_{4,13}, x_{5,1}, x_{5,2}, \ldots., x_{5,13}, x_{12,1}, x_{12,2}, \ldots., x_{12,13},$

$x_{101,1}, x_{101,2}, \ldots., x_{101,12}, x_{102,1}, x_{102,2}, \ldots., x_{102,12}, \ldots, x_{106,1}, x_{106,2}, \ldots., x_{106,12}$

- c_{ij}(เวลาผลิตเสร็จของงาน j ต่อจากงาน i) ได้แก่

$$c_{1,1}, c_{1,2}, \ldots, c_{1,12}, c_{2,1}, c_{2,3}, \ldots, c_{2,12}, c_{3,1}, c_{3,2}, \ldots, c_{3,12},$$

$$c_{4,1}, c_{4,2}, \ldots, c_{4,12}, c_{5,1}, c_{5,2}, \ldots, c_{5,12}, c_{12,1}, c_{12,2}, \ldots, c_{12,11},$$

$$c_{101,1}, c_{101,2}, \ldots, c_{101,12}, c_{102,1}, c_{102,2}, \ldots, c_{102,12}, \ldots, c_{106,1}, c_{106,2}, \ldots, c_{106,12}$$

- $o_{i,t}$(ใช้เครื่องจักรในการผลิตงาน i) ได้แก่

$$o_{1,1}, o_{1,2}, o_{1,3}, o_{2,1}, o_{2,2}, o_{2,3} \ldots, o_{12,1}, o_{12,2}, o_{12,3}$$

ฟังก์ชั่นจุดประสงค์

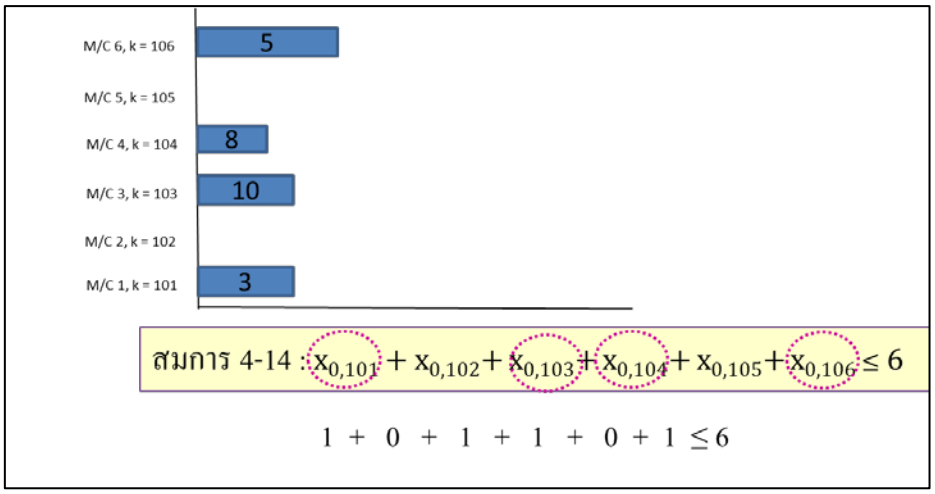
สมการที่ 4-13 Minimize

$$\begin{aligned}
&L\,(x_{0,101} + x_{0,101} + x_{0,102} + \ldots + x_{0,106}) \\
&+ L_O\,(o_{1,1} + o_{1,2} + o_{1,3} + o_{2,1} + o_{2,2} + o_{2,3} + \ldots + o_{12,1} + o_{12,2} + o_{12,3}) \\
&+ E\,[(S_{101,1}+P_1)x_{101,1} + (S_{101,2}+P_2)x_{101,2} + \ldots + (S_{101,12}+P_{12})x_{101,12} + \\
&\quad (S_{102,1}+P_1)x_{102,1} + (S_{102,2}+P_2)x_{102,2} + \ldots + (S_{102,12}+P_{12})x_{102,12} + \\
&\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \\
&\quad (S_{106,1}+P_1)x_{106,1} + (S_{106,2}+P_2)x_{106,2} + \ldots + (S_{106,12}+P_{12})x_{106,12} + \\
&\quad (S_{1,2}+P_2)x_{1,2} + (S_{1,3}+P_3)x_{1,3} + \ldots + (S_{1,12}+P_{12})x_{1,12} + \\
&\quad (S_{2,1}+P_1)x_{2,1} + (S_{2,3}+P_3)x_{2,3} + \ldots + (S_{2,12}+P_{12})x_{2,12} + \\
&\quad (S_{3,1}+P_1)x_{3,1} + (S_{3,2}+P_2)x_{3,2} + \ldots + (S_{3,12}+P_{12})x_{3,12} + \\
&\quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + \\
&\quad (S_{12,1}+P_1)x_{12,1} + (S_{12,2}+P_2)x_{12,2} + \ldots + (S_{12,11}+P_{11})x_{12,11}
\end{aligned}$$

เงื่อนไขบังคับ

สมการที่ 4-14

$$x_{0,101} + x_{0,102} + x_{0,103} + \ldots + x_{0,106} \leq m$$



ภาพภาคผนวก ข-1 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-14

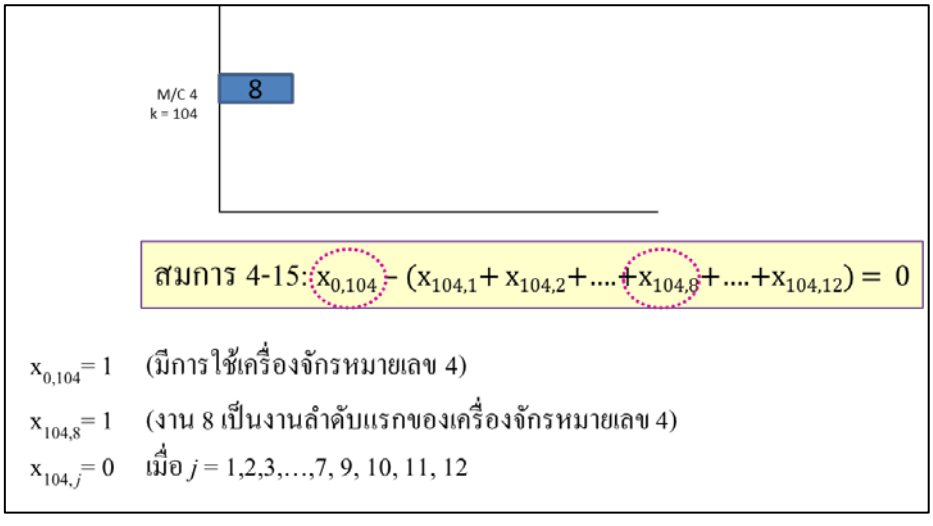
สมการที่ 4-15

$k = 101$

$$x_{0,101} - (x_{101,1} + x_{101,2} + ... + x_{101,12}) = 0$$

$k = 102, 103, \ldots, 106$

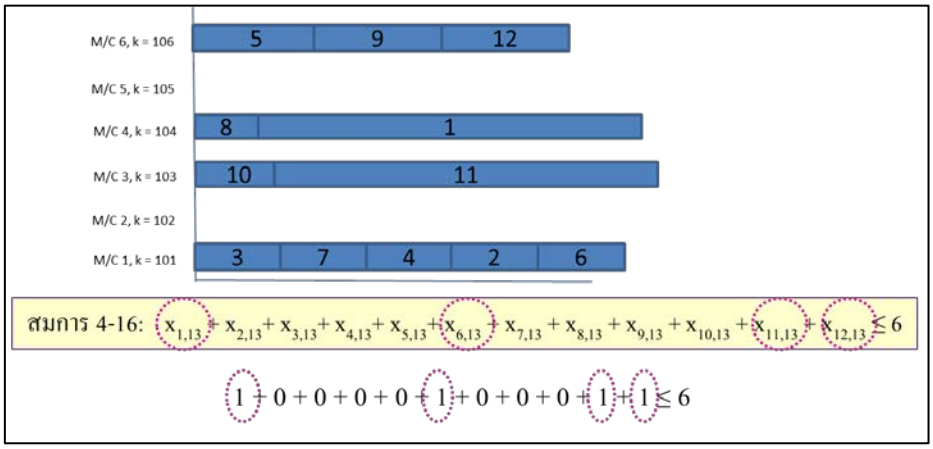
$$x_{0,k} - (x_{k,1} + x_{k,2} + ... + x_{k,12}) = 0$$



ภาพภาคผนวก ข-2 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-15

สมการที่ 4-16

$$x_{1,13} + x_{2,13} + x_{3,13} + ... + x_{12,13} \leq m$$



ภาพภาคผนวก ข-3 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-16

สมการที่ 4-17

$i = 1$

$$x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + ... + x_{1,13} = 1$$

$i = 2, 3, \ldots, 12$

$$x_{i,1} + x_{i,2} + x_{i,3} + ... + x_{i,13} = 1$$

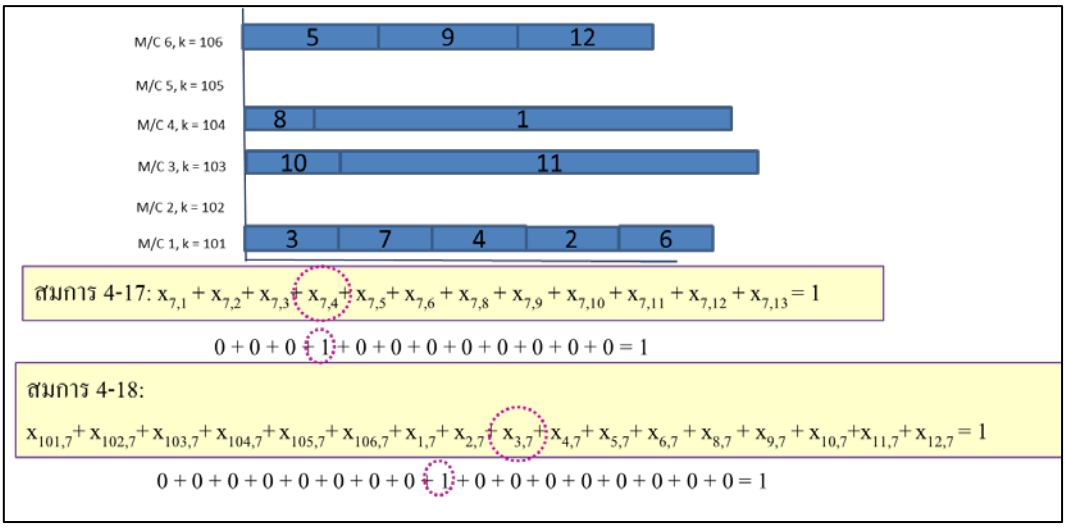
สมการที่ 4-18

$j = 1$

$$x_{2,1} + x_{3,1} + ... + x_{12,1} + x_{101,1} + x_{102,1} + ... + x_{106,1} = 1$$

$j = 2, 3, \ldots, 12$

$$x_{1,j} + x_{2,j} + x_{3,j} + ... + x_{12,j} + x_{101,j} + x_{102,j} + ... + x_{106,j} = 1$$



ภาพภาคผนวก ข-4 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-17 และสมการที่ 4-18

สมการที่ 4-19

$i = 1$

$j = 2, \quad c_{1,2} \geq (S_{1,2} + P_2)\, x_{1,2}$

$j = 3, \quad c_{1,3} \geq (S_{1,3} + P_3)\, x_{1,3}$

……..

$j = 13, \quad c_{1,13} \geq (S_{1,13} + P_{13})\, x_{1,13}$

$i = 101, 102, \ldots, 106, 2, 3, .., 12$

$j = 1, \quad c_{i,1} \geq (S_{i,1} + P_1)\, x_{i,1}$

$j = 2, \quad c_{i,2} \geq (S_{i,2} + P_2)\, x_{i,2}$

……..

$j = 13, \quad c_{i,13} \geq (S_{i,13} + P_{13})\, x_{i,13}$

สมการที่ 4-20

$i = 1$

$j = 2, \quad c_{1,2} \leq x_{1,2}T$

$j = 3, \quad c_{1,3} \geq x_{1,3}T$

……..

$j = 13, \quad c_{1,13} \geq x_{1,13}T$

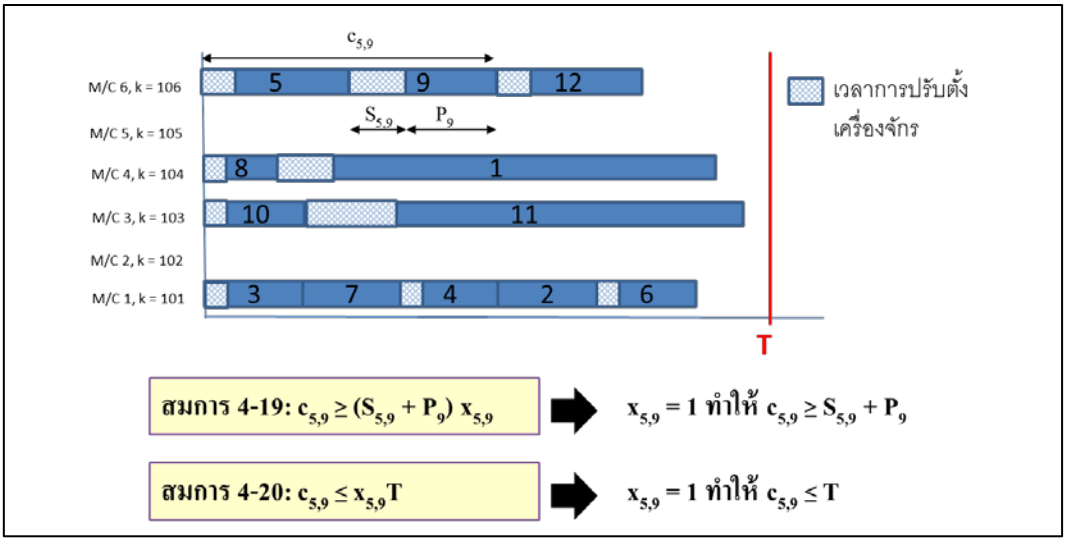
$i = 101, 102, \ldots, 106, 2, 3, .., 12$

$j = 1, \quad c_{i,1} \geq x_{i,1}T$

$j = 2, \quad c_{i,2} \geq x_{i,2}T$

……..

$j = 13, \quad c_{i,13} \geq x_{i,13}T$



ภาพภาคผนวก ข-5 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-19 และสมการที่ 4-20

สมการที่ 4-21

$i = 1$

$$(c_{101,1} + c_{102,1} + \ldots + c_{106,1} + c_{2,1} + \ldots + c_{12,1}) + [(S_{1,2}+P_2)\, x_{1,2} + \ldots + (S_{1,13}+P_{13})\, x_{1,13}]$$
$$= (c_{1,1} + c_{1,2} + \ldots + c_{1,13})$$

i = 2, 3,..,12

$$(c_{101,i} + c_{102,i} + ... + c_{106,i} + c_{1,i} + c_{2,i} + ... + c_{12,i}) + [(S_{i,1}+P_1)\, x_{i,1} + (S_{i,2}+P_2)\, x_{i,2} + ... + (S_{i,13}+P_{13})\, x_{i,13}] = (c_{i,1} + c_{i,2} + ... + c_{i,13})$$

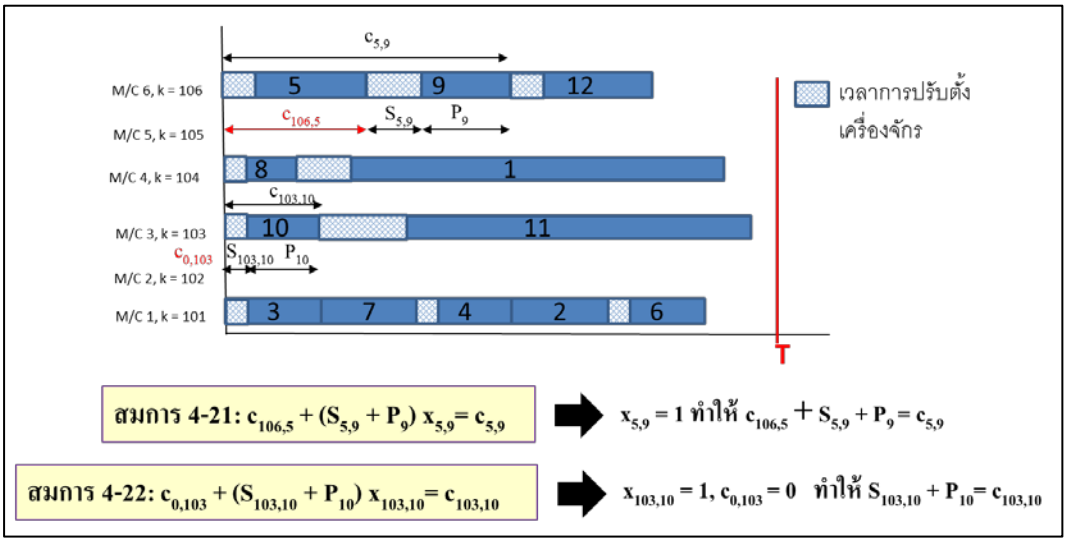
สมการที่ 4-22

k = 101

$$c_{0,101} + [(S_{101,1}+P_1)\, x_{101,1} + ... + (S_{101,12}+P_{12})\, x_{101,12}] = c_{101,1} + c_{101,2} + ... + c_{101,12}$$

k = 102, 103,..,106

$$c_{0,k} + [(S_{k,1}+P_1)\, x_{k,1} + ... + (S_{k,12}+P_{12})\, x_{k,12}) = c_{k,1} + c_{k,2} + ... + c_{k,12}$$



ภาพภาคผนวก ข-6 ตัวอย่าง Gatt chart และการแทนค่าตามสมการที่ 4-21 และสมการที่ 4-22

สมการที่ 4-23

$i = 1$

$t = 1, \quad c_{1,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 21)\, x_{1,13} \leq 180 \text{ x } o_{1,1} \text{ x } Eff$

$t = 2, \quad c_{1,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 22)\, x_{1,13} \leq 180 \text{ x } o_{1,2} \text{ x } Eff$

$t = 3, \quad c_{1,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 23)\, x_{1,13} \leq 180 \text{ x } o_{1,3} \text{ x } Eff$

$i = 2, 3, \ldots, 12$

$t = 1, \quad c_{i,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 21)\, x_{i,13} \leq 180 \text{ x } o_{i,1} \text{ x } Eff$

$t = 2, \quad c_{i,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 22)\, x_{i,13} \leq 180 \text{ x } o_{i,2} \text{ x } Eff$

$t = 3, \quad c_{i,13} - (60 \text{ x } Eff \text{ x } 23)\, x_{i,13} \leq 180 \text{ x } o_{i,3} \text{ x } Eff$

สมการที่ 4-24, 4-25, 4-26

$x_{0,101}, x_{0,102}, \ldots, x_{0,106}$

$x_{1,1}, x_{1,2}, \ldots, x_{1,13}, x_{2,1}, x_{2,3}, \ldots, x_{2,13}, x_{3,1}, x_{3,2}, \ldots, x_{3,13},$

$x_{4,1}, x_{4,2}, \ldots, x_{4,13}, x_{5,1}, x_{5,2}, \ldots, x_{5,13}, x_{12,1}, x_{12,2}, \ldots, x_{12,13},$

$x_{101,1}, x_{101,2}, \ldots, x_{101,12}, x_{102,1}, x_{102,2}, \ldots, x_{102,12}, \ldots, x_{106,1}, x_{106,2}, \ldots, x_{106,12}$

$o_{1,1}, o_{1,2}, o_{1,3}, o_{2,1}, o_{2,2}, o_{2,3} \ldots, o_{12,1}, o_{12,2}, o_{12,3} \quad = \textit{binary}$

$c_{1,1}, c_{1,2}, \ldots, c_{1,12}, c_{2,1}, c_{2,3}, \ldots, c_{2,12}, c_{3,1}, c_{3,2}, \ldots, c_{3,12},$

$c_{4,1}, c_{4,2}, \ldots, c_{4,12}, c_{5,1}, c_{5,2}, \ldots, c_{5,12}, c_{12,1}, c_{12,2}, \ldots, c_{12,11},$

$c_{101,1}, c_{101,2}, \ldots, c_{101,12}, c_{102,1}, c_{102,2}, \ldots, c_{102,12}, \ldots, c_{106,1}, c_{106,2}, \ldots, c_{106,12} \geq 0$

ภาคผนวก ค

ข้อมูลนำเข้าสำหรับวางแผนการผลิตรายวัน

#of Job แสดงจำนวนงานในรอบการจัดตารางการผลิต

#of MC แสดงจำนวนเครื่องจักรที่สามารถรองรับคำสั่งผลิตได้

T_{max} แสดงเวลาการทำงานสูงสุด (1,213.65 นาที) ของวันทำงานในวันที่วางแผน

L แสดงค่าแรงงานพนักงานควบคุมการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง (1,862.68 บาท/เครื่อง/21 ชั่วโมง)

L_o แสดงอัตราค่าแรงงานการทำงานล่วงเวลา (133.05 บาท/ชั่วโมง)

E แสดงค่าอัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากทำงานของเครื่องจักร (0.61 บาท/นาที)

P.Code แสดงงานที่ต้องจัดตารางการผลิต

Order แสดงปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละงาน (เส้น)

M/C แสดงหมายเลขเครื่องจักรใช้ในการจัดตารางการผลิต

Last job แสดงงานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักร (x_{0j})

#Job	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4		วันที่ 5		วันที่ 6		วันที่ 7		วันที่ 8		วันที่ 9		วันที่ 10	
	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order
1	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48
2	B3B3	116	W7A9	86	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116
3	B7B0	52	B3B3	116	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52
4	B7B5	177	B7B0	52	B7B5	177	B7B5	177	B7B5	177	B7B5	177	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114
5	H2B5	116	B7B5	177	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116
6	R0B4	45	H2B5	116	R0B4	45	R0B4	45	R0B4	45	R0B4	45	S2B7	98	S2B7	98	S2B7	43	A6C3	100
7	S2B7	98	R0B4	45	S2B7	98	S2B7	98	S2B7	98	S2B7	98	S6B2	39	U5B6	43	A6C3	100	A8C2	124
8	V7B4	40	S2B7	98	V7B4	40	U5B6	98	S6B2	39	S6B2	39	U5B6	98	A6C3	100	A8C2	124	K1C6	44
9	A4C4	104	V7B4	40	A4C4	104	V7B4	40	U5B6	98	U5B6	98	A6C3	100	A8C2	51	K1C6	44	N4C8	46
10	J4C0	43	A4C4	104	A6C3	100	A4C4	104	V7B4	40	A6C3	100	A8C2	51	N4C8	116	N4C8	46	R4C2	110
11	N4C8	116	A6C3	100	A8C2	106	A6C3	100	A6C3	100	A8C2	51	N4C8	116	R4C2	110	R4C2	110	T5C3	165
12	R4C2	110	J4C0	43	N4C8	116	N4C8	116	A8C2	51	N4C8	116	R4C2	110	T5C3	106	T5C3	165	T5C5	110
13	T5C3	224	N4C8	116	R4C2	110	R4C2	110	N4C8	116	R4C2	110	T5C3	106	T5C5	174	T5C5	110	V0C5	100
14	T5C5	174	R4C2	110	T5C3	106	T5C3	106	R4C2	110	T5C3	106	T5C5	174	U0C3	212	V0C5	100	V1C0	100
15	U0C3	125	T5C3	106	T5C5	174	T5C5	174	T5C3	106	T5C5	174	U0C3	212	V0C5	100	V1C0	44	W0C7	47
16	W0C7	47	T5C5	174	U0C3	125	U0C3	125	T5C5	174	V0C5	44	V0C5	100	V1C0	44	W0C7	47	C2D0	114
17	C2D0	4	U0C3	125	W0C7	47	W0C7	47	V0C5	44	W0C7	47	W0C7	47	W0C7	47	C2D0	114	G6D4	43
18	G6D4	208	W0C7	47	C2D0	114	C2D0	114	W0C7	47	C2D0	114	C2D0	114	C2D0	114	G6D4	43	L4D9	88
19	L4D9	138	C2D0	114	G6D4	29	G6D4	49	C2D0	114	G6D4	49	G6D4	49	G6D4	49	L4D9	88	G0E5	94
20	N1D8	268	G6D4	29	L4D9	76	L4D9	88	G6D4	49	L4D9	88	L4D9	88	L4D9	88	G0E5	94	J6E7	88
21	G0E5	94	L4D9	76	G0E5	94	G0E5	94	L4D9	88	G0E5	94	G0E5	94	G0E5	94	J6E7	88	K3E1	45
22	J6E7	88	N1D8	268	J6E7	88	J6E7	88	G0E5	94	J6E7	88	J6E7	88	J6E7	88	S0E2	44	S0E2	44
23	M8E4	102	G0E5	94	M8E4	102	M8E4	102	J6E7	88	M8E4	102	M8E4	102	S0E2	44	S1E9	130	S1E9	130
24	S0E2	44	J6E7	88	S0E2	44	S0E2	44	M8E4	102	S0E2	44	S0E2	44	S1E9	204	S4E7	196	S4E7	196
25	S1E9	204	M8E4	102	S1E9	204	S1E9	204	S0E2	44	S1E9	204	S1E9	204	S4E7	92	S6E3	42	S6E3	42
26	S6E3	42	S0E2	44	S6E3	42	S6E3	42	S1E9	204	S4E7	92	S4E7	92	S6E3	42	A4F2	50	A4F2	50
27	F4F6	82	S1E9	204	A4F2	112	A4F2	112	S6E3	42	S6E3	42	S6E3	42	A4F2	112	C2F9	204	C2F9	204
28	A4F2	112	S6E3	42	A6F9	46	A6F9	46	A4F2	112	A4F2	112	A4F2	112	C2F9	204	F2F0	80	F2F0	80
29	A6F9	46	A4F2	112	F4F6	82	F4F6	82	F2F0	80	F2F0	80	C2F9	96	F2F0	80	G7F9	86	G7F9	86
30	G7F9	86	A6F9	46	G7F9	86	G7F9	86	G7F9	86	G7F9	86	F2F0	80	G7F9	86	G8F6	36	G8F6	36
31	M3F0	80	F4F6	82	M3F0	80	M3F0	80	G8F6	36	G8F6	36	G7F9	86	G8F6	36	M3F0	80	M3F0	80
32	M5F7	32	G7F9	86	M5F7	32	T8F7	35	M3F0	80	M3F0	80	G8F6	36	M3F0	80	T8F7	35	T8F7	35
33	M8F8	80	M3F0	80	M8F8	34	C6G9	92	T8F7	35	T8F7	35	M3F0	80	T8F7	35	A2G4	84	A2G4	84
34	T8F7	35	M5F7	32	T8F7	35	C7G9	40	C6G9	92	A2G4	84	T8F7	35	A2G4	84	C7G9	40	C7G9	40
35	C6G9	92	M8F8	80	C6G9	92	E7G4	200	C7G9	40	C7G9	40	A2G4	84	C7G9	40	E7G4	200	E7G4	200
36	E7G4	147	T8F7	35	E7G4	200	H6G0	92	E7G4	200	E7G4	200	C7G9	40	E7G4	200	M2G7	141	M2G7	141
37	H6G0	92	C6G9	92	H6G0	92	M1G5	39	H6G0	92	M2G7	141	E7G4	200	M2G7	141	B0H4	100	B0H4	100
38	M1G5	90	E7G4	147	M1G5	90	M2G7	39	M2G7	90	B0H4	100	M2G7	141	B0H4	100	B1H8	102	B1H8	102
39	B0H4	100	H6G0	92	B0H4	100	B0H4	100	B0H4	100	B1H8	102	B0H4	100	B1H8	102	B2H9	102	B2H9	102
40	B1H8	102	M1G5	90	B1H8	102	B1H8	102	B1H8	102	B2H9	102	B1H8	102	B2H9	102	B4H6	165	B4H6	165
41	B2H1	44	B0H4	100	B2H1	44	B2H9	102	B2H9	102	B4H6	165	B2H9	102	B4H6	165	B6H3	39	B6H3	39
42	B4H6	165	B1H8	102	B2H9	102	B4H6	165	B4H6	165	B6H3	39	B4H6	165	B6H3	39	C1H1	150	C1H1	150
43	C1H1	150	B2H1	44	B4H6	165	B6H3	39	B6H3	39	C1H1	150	B6H3	39	C1H1	150	E0H6	88	E0H6	88
44	G5H3	40	B2H9	102	B6H3	39	C1H1	150	C1H1	150	E0H6	88	C1H1	150	E0H6	88	E3H0	42	E3H0	42
45	W7A9	86	B4H6	165	C1H1	150	L0H9	37	E0H6	88	G5H3	40	E0H6	88	E3H0	42	G5H3	40	G5H3	40
46	K8H3	39	B6H3	39	K8H3	39	P5H0	45	L0H9	37	P5H0	45	G5H3	40	G5H3	40	L8H5	40	L8H5	40
47	T0H8	40	C1H1	150	L0H9	37	T0H8	40	P5H0	45	T0H8	40	P5H0	45	P5H0	45	P5H0	45	P5H0	45
48	G1J5	49	G5H3	40	P5H0	45	C3L8	42	T0H8	40	C3L8	42	T0H8	40	T0H8	40	T0H8	40	T0H8	40
49	C3L8	42	K8H3	39	T0H8	40	H3L9	43	C3L8	42	H3L9	43	C3L8	42	C3L8	42	C3L8	42	H3L9	43
50	F4L5	40	P5H0	45	C3L8	42	H5L0	45	H3L9	43	H8L0	45	H3L9	43	H3L9	43	H3L9	43	H8L0	45
51	H3L9	43	T0H8	40	H3L9	43	M4L8	44	H8L0	45	M4L8	44	H8L0	45	H8L0	45	H8L0	45	P5L9	46
52	H6L2	49	G1J5	49	H5L0	45	P5L9	46	M4L8	44	P5L9	46	M4L8	44	M4L8	44	P5L9	46	F2R4	52
53	M4L8	44	C3L8	42	H6L2	49	B6R2	60	P5L9	46	B8R8	57	P5L9	46	P5L9	46	F2R4	52	K1R2	122
54	P4L7	44	H3L9	43	M4L8	44	B8R8	57	B8R8	57	F2R4	52	B8R8	57	B8R8	57	J3R5	52	A0S4	44
55	B6R2	60	H6L2	49	P4L7	44	F2R4	52	F2R4	52	J3R5	52	F2R4	52	F2R4	52	K1R2	122	A7S7	44
56	B8R8	57	M4L8	44	P5L9	46	K1R2	122	K1R2	122	K1R2	122	J3R5	52	J3R5	52	A0S4	44	T8U2	46
57	F2R4	52	P4L7	44	B6R2	60	P2S3	118	P2S3	118	A7S7	44	K1R2	122	K1R2	122	A7S7	44	U2V8	204
58	K1R2	122	B6R2	60	B8R8	57	A3U4	46	A3U4	46	P2S3	53	A7S7	44	A6S5	44	T8U2	46	K4W2	150
59	P2S3	118	B8R8	57	F2R4	52	K0U5	45	K0U5	45	K0U5	45	P0S1	48	A7S7	44	U2V8	204	U4W3	52
60	A3U4	46	F2R4	52	K1R2	122	K0V4	106	T8U2	46	T8U2	46	T8U2	46	T8U2	46	J7W8	53	K8X5	44
61	K0U5	45	K1R2	122	P2S3	118	N1V4	46	K0V4	106	K0V4	106	K0V4	47	K8V4	170	K4W2	150	S8X2	67
62	F6V7	84	P2S3	118	A3U4	46	U2V8	204	U2V8	204	U2V8	204	K8V4	114	U2V8	204	U4W3	52	N1D8	268
63	K0V4	106	A3U4	46	K0U5	45	J7W8	53	J7W8	53	J7W8	53	U2V8	204	J7W8	53	K8X5	44	A8C2	279
64	K8V4	100	K0U5	45	K0V4	106	K4W2	96	K4W2	150	K4W2	150	J7W8	53	K4W2	150	N1D8	268	G6D4	299
65	S4V2	36	F6V7	84	K8V4	200	K8X5	44	R5W1	42	U4W3	52	K4W2	150	U4W3	52	A8C2	279	K8V4	256
66	U2V8	30	K0V4	106	S4V2	36	S7X4	53	K8X5	44	K8X5	44	U4W3	52	K8X5	44	G6D4	299	K4Y8	30
67	B8W0	55	K8V4	100	U2V8	30	U0C3	299	A8C2	279	U0C3	268	K8X5	44	A8C2	279	K8V4	256	K6Y4	80
68	J7W8	53	S4V2	36	B8W0	55	N1D8	268	U0C3	268	A8C2	279	A8C2	279	G6D4	299	K4Y8	30	R3Y2	30
69	K4W2	96	U2V8	30	J7W8	53	G6D4	299	N1D8	268	G6D4	299	G6D4	299	K8V4	255	K6Y4	80	T5Y0	72
70	K8X5	44	B8W0	55	K4W2	96	A8C2	271	G6D4	299	K8V4	256	K8V4	255	N1D8	268	R3Y2	30	U8Y0	92
71	U0C3	299	J7W8	53	K8X5	44	K8V4	256	K8V4	256	N1D8	268	N1D8	268	K4Y8	30	T5Y0	72	W5Y6	40
72	C2D0	299	K4W2	96	U0C3	299	K4Y8	30	K4Y8	30	K4Y8	30	K4Y8	30	K6Y4	80	U8Y0	92		
73	U2V8	228	K8X5	44	N1D8	268	K6Y4	80	K6Y4	80	K6Y4	80	K6Y4	80	R3Y2	30	W5Y6	40		
74	W5Y6	92	U0C3	299	G6D4	299	R3Y2	30	R3Y2	30	R3Y2	30	R3Y2	30	T5Y0	72				
75	U8Y0	92	G6D4	299	U2V8	228	T5Y0	72	T5Y0	72	T5Y0	72	T5Y0	72	U8Y0	92				
76	K6Y4	80	U2V8	228	K4Y8	30	U8Y0	92	U8Y0	92	U8Y0	92	U8Y0	92	W5Y6	40				
77	K4Y8	30	K4Y8	30	K6Y4	80	W5Y6	40	W5Y6	40	W5Y6	40	W5Y6	40						
78	M8Y9	30	K6Y4	80	R3Y2	30														
79	R3Y2	30	R3Y2	30	T5Y0	72														
80	T5Y0	72	T5Y0	72	U8Y0	92														
81			U8Y0	92	W5Y6	40														
82			W5Y6	40																

ภาพภาคผนวก ค-1 ข้อมูลนำเข้าในส่วนของงานและคำสั่งซื้อ

#Job	วันที่ 11		วันที่ 12		วันที่ 13		วันที่ 14		วันที่ 15		วันที่ 16		วันที่ 17		วันที่ 18		วันที่ 19		วันที่ 20	
	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order
1	A6A8	48	A6A8	48	A6A8	48	A4A1	48	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116
2	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B7B0	52	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112
3	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B0	52	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114
4	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	232	C5B9	232
5	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116
6	A6C3	100	A6C3	100	A6C3	100	T5B8	92	T5B8	174	T5B8	174	T5B8	174	T5B8	82	T5B8	82	T5B8	82
7	A8C2	124	A8C2	124	A7C2	100	A6C3	100	A6C3	100	A6C3	100	A6C3	100	A6C3	44	A7C2	100	A7C2	100
8	E0C2	43	E0C2	98	A8C2	124	A7C2	100	A7C2	100	A7C2	100	A7C2	100	A7C2	100	A8C2	65	A8C2	65
9	K1C6	44	K1C6	44	E0C2	98	A8C2	124	A8C2	124	A8C2	65	A8C2	65	A8C2	65	K1C6	44	K1C6	44
10	N4C8	46	N4C8	46	K1C6	44	E0C2	98	E0C2	98	E0C2	98	E0C2	98	E0C2	98	R4C2	110	R4C2	110
11	R4C2	110	R4C2	110	N4C8	46	K1C6	44	K1C6	44	K1C6	44	K1C6	44	K1C6	44	T5C3	165	T5C3	165
12	T5C3	165	T5C3	165	R4C2	110	N4C8	46	N4C8	46	N4C8	46	N4C8	46	R4C2	110	T5C5	80	T5C5	80
13	T5C5	110	T5C5	110	T5C3	165	R4C2	110	R4C2	110	R4C2	110	R4C2	110	T5C3	165	W0C7	47	W0C7	47
14	V0C5	100	V0C5	100	T5C5	80	T5C3	165	T5C3	165	T5C3	165	T5C3	165	T5C5	80	C2D0	114	C2D0	114
15	V1C0	100	V1C0	100	V0C5	100	T5C5	80	T5C5	80	T5C5	80	T5C5	80	W0C7	47	H2E5	82	H2E5	82
16	W0C7	47	W0C7	47	V1C0	100	V1C0	100	W0C7	47	W0C7	47	W0C7	47	C2D0	114	K3E1	45	M0E8	48
17	C2D0	114	C2D0	114	W0C7	47	W0C7	47	C2D0	114	C2D0	114	C2D0	114	H2E5	82	S0E2	44	S0E2	44
18	G6D4	43	G6D4	43	C2D0	114	C2D0	114	G6D4	43	H2E5	82	H2E5	82	K3E1	45	S1E9	130	S1E9	130
19	L4D9	88	L4D9	88	G6D4	43	G6D4	43	L4D9	38	K3E1	45	K3E1	45	S0E2	44	S6E3	42	S6E3	42
20	J6E7	88	J6E7	88	L4D9	88	L4D9	88	J6E7	88	S0E2	44	S0E2	44	S1E9	130	A5F5	108	A5F5	108
21	K3E1	45	K3E1	45	J6E7	88	J6E7	88	K3E1	45	S1E9	130	S1E9	130	S6E3	42	B2F5	94	B2F5	94
22	S0E2	44	S0E2	44	K3E1	45	K3E1	45	S0E2	44	S6E3	42	S6E3	42	A5F5	108	C2F9	204	C2F9	204
23	S1E9	130	S1E9	130	S0E2	44	S0E2	44	S1E9	130	A5F5	108	A5F5	108	B2F5	41	F2F0	126	F2F0	126
24	S4E7	196	S4E7	196	S1E9	130	S1E9	130	S4E7	104	C2F9	204	C2F9	204	C2F9	204	G7F9	86	G7F9	86
25	S6E3	42	S6E3	42	S4E7	104	S4E7	104	S6E3	42	F2F0	126	F2F0	126	F2F0	126	G8F6	36	G8F6	36
26	A4F2	50	A4F2	50	S6E3	42	S6E3	42	A5F5	108	G7F9	86	G7F9	86	G7F9	86	M3F0	40	M3F0	40
27	C2F9	204	C2F9	204	A5F5	48	A5F5	108	C2F9	204	G8F6	36	G8F6	36	G8F6	36	T1F0	123	T1F0	123
28	F2F0	126	F2F0	126	C2F9	204	C2F9	204	F2F0	126	M3F0	120	M3F0	120	M3F0	120	A2G4	84	T5F1	34
29	G7F9	86	G7F9	86	F2F0	126	F2F0	126	G7F9	86	T1F0	33	T1F0	78	T1F0	123	C3G0	40	A2G4	84
30	G8F6	36	G8F6	36	G7F9	86	G7F9	86	G8F6	36	A2G4	84	A2G4	84	A2G4	84	C7G9	40	C3G0	40
31	M3F0	80	M3F0	80	G8F6	36	G8F6	36	M3F0	120	C7G9	40	C7G9	40	C3G0	40	E7G4	147	C7G9	40
32	A2G4	84	A2G4	84	M3F0	80	M3F0	80	A2G4	84	E7G4	147	E7G4	147	C7G9	40	H0G7	51	E7G4	147
33	C7G9	40	C7G9	40	A2G4	84	A2G4	84	C0G2	39	M2G7	141	M2G7	141	E7G4	147	M2G7	90	H0G7	51
34	E7G4	200	E7G4	200	C0G2	39	C0G2	39	C7G9	40	B0H4	100	B0H4	100	M2G7	141	B0H4	100	M2G7	90
35	M2G7	141	M2G7	141	C7G9	40	C7G9	40	E7G4	200	B1H8	102	B1H8	102	B0H4	100	B1H8	102	B0H4	100
36	B0H4	100	B0H4	100	E7G4	200	E7G4	200	M2G7	141	B2H9	102	B2H9	102	B1H8	102	B2H9	102	B1H8	102
37	B1H8	102	B1H8	102	M2G7	141	M2G7	141	B0H4	100	B4H6	165	B4H6	165	B2H9	102	B4H6	165	B2H9	102
38	B2H9	102	B2H9	102	B0H4	100	B0H4	100	B1H8	102	B6H3	39	B6H3	39	B4H6	165	B6H3	39	B4H6	165
39	B4H6	165	B4H6	165	B1H8	102	B1H8	102	B2H9	102	C1H1	150	C1H1	150	B6H3	39	C1H1	150	C1H1	150
40	B6H3	39	B6H3	39	B2H9	102	B2H9	102	B4H6	165	C6H6	44	C6H6	44	C1H1	150	D0H1	94	D0H1	94
41	C1H1	150	C1H1	150	B4H6	165	B4H6	165	B6H3	39	E0H6	88	E0H6	88	C6H6	44	E0H6	88	E0H6	88
42	E0H6	88	E0H6	88	B6H3	39	B6H3	39	C1H1	150	G5H3	40	G5H3	40	E0H6	88	G5H3	40	G5H3	40
43	E3H0	42	E3H0	42	C1H1	150	C1H1	150	C6H6	44	L8H5	40	L8H5	40	G5H3	40	T0H8	40	T0H8	40
44	G5H3	40	G5H3	40	E0H6	88	E0H6	88	E0H6	88	T0H8	40	T0H8	40	L8H5	40	G3J6	70	G3J6	70
45	L8H5	40	L8H5	40	E3H0	42	G5H3	40	G5H3	40	G3J6	70	G3J6	70	T0H8	40	K4J7	52	K4J7	52
46	P5H0	45	P5H0	45	G5H3	40	L8H5	40	L8H5	40	K4J7	52	K4J7	52	G3J6	70	H5L1	100	F2L3	44
47	T0H8	40	T0H8	40	L8H5	40	T0H8	40	T0H8	40	H3L9	43	H3L9	43	K4J7	52	M4L8	44	H5L1	100
48	G3J6	70	G3J6	70	P5H0	45	G3J6	70	G3J6	70	H5L1	100	H5L1	100	H3L9	43	M0T7	84	M4L8	44
49	H3L9	43	H3L9	43	T0H8	40	H3L9	43	K4J7	52	M4L8	44	M4L8	44	H5L1	100	K1R2	122	M0T7	84
50	H8L0	45	M4L8	44	G3J6	70	M4L8	44	H3L9	43	D3T2	52	D3T2	52	M4L8	44	C2S2	128	K1R2	122
51	P5L9	46	W5L5	59	H3L9	43	W5L5	59	M4L8	44	M0T7	84	M0T7	84	M0T7	84	H3S3	122	C2S2	128
52	K1R2	122	K1R2	122	M4L8	44	K1R2	122	K1R2	122	K1R2	122	K1R2	122	K1R2	122	L1S6	104	H3S3	122
53	A0S4	44	A0S4	44	W5L5	59	A0S4	44	A0S4	44	A0S4	44	C2S2	58	C2S2	58	V5S2	46	L1S6	104
54	A7S7	44	A7S7	44	K1R2	122	A7S7	44	A7S7	44	A7S7	44	E2S9	56	H3S3	122	F6U4	51	V5S2	46
55	T8U2	46	T3T9	88	A0S4	44	E2S9	56	E2S9	56	E2S9	56	H3S3	122	L1S6	104	L1U8	96	F6U4	51
56	K8V4	57	T5T6	88	A7S7	44	H3S3	55	H3S3	122	H3S3	122	L1S6	104	V5S2	46	K8V4	169	L1U8	96
57	U2V8	204	K8V4	57	T5T6	176	V5S2	46	V5S2	46	V5S2	46	V5S2	46	F6U4	51	S2V7	100	K8V4	113
58	K4W2	150	U2V8	204	K8V4	113	D3T2	52	D3T2	52	F6U4	51	F6U4	51	L1U8	96	U2V8	96	S2V7	100
59	U4W3	52	D0W9	55	U2V8	204	K8V4	169	M0T7	84	K8V4	169	K8V4	169	K8V4	169	W1V1	108	U2V8	96
60	K8X5	44	K4W2	42	D0W9	55	S2V7	100	K8V4	169	S2V7	100	S2V7	100	S2V7	100	G0Y9	84	W1V1	108
61	S8X2	67	U4W3	52	U4W3	52	U2V8	204	S2V7	100	W1V1	108	U2V8	150	U2V8	96	G6Y3	40	G0Y9	84
62	A8C2	279	K8X5	44	K8X5	44	D0W9	55	S4X6	58	A8C2	279	W1V1	108	W1V1	108	P3Y4	46	G6Y3	40
63	N1D8	268	S8X2	67	S4X6	58	S4X6	58	S8X2	67	N1D8	268	A8C2	279	A8C2	279	A8C2	279	P3Y4	46
64	G6D4	299	A8C2	279	S8X2	67	S8X2	67	A8C2	279	G6D4	288	N1D8	268	N1D8	268	N1D8	268	A8C2	279
65	K8V4	255	N1D8	268	A8C2	279	A8C2	279	N1D8	268	K8V4	255	G6D4	288	G6D4	288	G6D4	288	N1D8	268
66	K4Y8	30	G6D4	299	N1D8	268	N1D8	268	G6D4	299	U2V8	204	K8V4	255	K8V4	255	K8V4	255	G6D4	288
67	K6Y4	80	K8V4	255	G6D4	299	G6D4	299	K8V4	255	K4Y8	30	K4Y8	30	K4Y8	30	K4Y8	30	K8V4	255
68	R3Y2	30	K4Y8	30	K8V4	255	K8V4	255	U2V8	204	K6Y4	80	K6Y4	80	K6Y4	80	K6Y4	34	K4Y8	30
69	T5Y0	72	K6Y4	80	K4Y8	30	K4Y8	30	K4Y8	30	R3Y2	30	R3Y2	30	R3Y2	30	R3Y2	30	K6Y4	34
70	U8Y0	92	R3Y2	30	K6Y4	80	K6Y4	80	K6Y4	80	T5Y0	114	T5Y0	114	T5Y0	114	T5Y0	114	R3Y2	30
71	W5Y6	40	T5Y0	72	R3Y2	30	R3Y2	30	R3Y2	30	U8Y0	92	U8Y0	92	U8Y0	92	U8Y0	92	T5Y0	114
72			U8Y0	92	T5Y0	72	T5Y0	72	T5Y0	114									U8Y0	92
73			W5Y6	40	U8Y0	92	U8Y0	92	U8Y0	92										
74					W5Y6	40	W5Y6	40												

ภาพภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

#Job	วันที่ 21		วันที่ 22		วันที่ 23		วันที่ 24		วันที่ 25		วันที่ 26		วันที่ 27		วันที่ 28		วันที่ 29		วันที่ 30	
	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order	P.Code	Order
1	B3B3	116	B3B3	116	B3B3	116	B1B1	108	B1B1	108	B1B1	108	B1B1	108	B1B1	108	G2A0	22	B1B1	108
2	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B7B0	112	B1B1	108	B7B0	112
3	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B5	114	B7B0	112	B7B5	114
4	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	C5B9	116	B7B5	114	C5B9	116
5	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	116	H2B5	180	H2B5	180	H2B5	180	S0B0	88	C5B9	116	S0B0	88
6	L6B9	37	L6B9	86	L6B9	86	L6B9	86	S3B4	88	S3B4	88	S0B0	88	S6B6	44	S0B0	88	S4B9	55
7	S3B4	88	S3B4	88	S3B4	88	S3B4	88	A5C1	42	S6B6	44	S6B6	44	A7C2	156	S4B9	55	S6B6	44
8	T5B8	82	A7C2	100	A7C2	100	A5C1	42	A7C2	100	A5C1	42	A7C2	156	A8C2	65	S6B6	44	A7C2	156
9	A7C2	100	A8C2	65	A8C2	65	A7C2	100	A8C2	65	A7C2	100	A8C2	65	H6C5	57	A7C2	156	A8C2	65
10	A8C2	65	K1C6	44	K1C6	44	A8C2	65	H6C5	57	A8C2	65	H6C5	57	K1C6	44	A8C2	65	H6C5	57
11	K1C6	44	R4C2	110	R4C2	110	K1C6	44	K1C6	44	H6C5	57	K1C6	44	S7C7	40	H6C5	57	K1C6	44
12	R4C2	110	T5C3	165	T5C3	165	R4C2	110	R4C2	110	K1C6	44	R4C2	110	T5C3	165	K1C6	44	S7C7	40
13	T5C3	165	T5C5	80	T5C5	80	T5C3	165	T5C3	165	R4C2	110	S7C7	40	T5C5	80	S7C7	40	T5C3	165
14	T5C5	80	W0C7	47	W0C7	47	T5C5	80	T5C5	80	T5C3	165	T5C3	165	W0C7	47	T5C3	165	T5C5	80
15	W0C7	47	C2D0	114	C2D0	126	W0C7	47	W0C7	47	T5C5	80	T5C5	80	C2D0	189	T5C5	80	W0C7	47
16	C2D0	114	H2E5	82	N1D8	156	C2D0	126	C2D0	126	W0C7	47	W0C7	47	N1D8	156	W0C7	47	C2D0	189
17	H2E5	82	S0E2	44	H2E5	82	N1D8	156	N1D8	156	C2D0	126	C2D0	126	C3E7	48	C2D0	189	N1D8	156
18	S0E2	44	S1E9	130	S0E2	44	H2E5	82	H2E5	82	N1D8	156	N1D8	156	H2E5	82	N1D8	156	C3E7	48
19	S1E9	130	S6E3	42	S1E9	130	S0E2	44	J5E6	38	C3E7	36	C3E7	36	J5E6	38	C3E7	48	H2E5	82
20	S6E3	42	A5F5	108	S6E3	42	S1E9	130	S0E2	44	H2E5	35	H2E5	35	S0E2	44	H2E5	82	M8E4	48
21	A5F5	108	B2F5	94	S7E5	42	S7E5	96	S1E9	130	J5E6	38	J5E6	38	S1E4	41	M8E4	48	S0E2	44
22	B2F5	94	C2F9	204	A5F5	108	A5F5	108	S7E5	96	S0E2	44	S0E2	44	S1E9	130	S0E2	44	S1E4	41
23	C2F9	204	C4F0	41	B2F5	94	C2F9	204	A5F5	108	S1E4	41	S1E4	41	S7E5	96	S1E4	41	S1E9	130
24	C4F0	41	F2F0	126	C2F9	204	C4F0	41	C2F9	96	S1E9	130	S1E9	130	A5F5	108	S1E9	130	S3E0	55
25	F2F0	126	G7F9	86	C4F0	41	F2F0	126	C4F0	41	S7E5	96	S7E5	96	C2F9	96	S3E0	55	S7E5	96
26	G7F9	86	M3F0	40	F2F0	126	G7F9	37	F2F0	126	A5F5	108	A5F5	108	C4F0	41	S7E5	96	A5F5	168
27	M3F0	40	T1F0	123	G7F9	86	M3F0	40	G7F9	37	C2F9	96	C2F9	96	F4F6	35	A5F5	108	C2F9	96
28	T1F0	123	T5F1	34	M3F0	40	M4F9	120	L1F4	36	C4F0	41	C4F0	41	M3F0	120	C2F9	96	F4F6	35
29	T5F1	34	A2G4	84	M4F9	32	T1F0	123	M3F0	40	F2F0	126	F2F0	126	M4F9	120	F4F6	35	M3F0	120
30	A2G4	84	C3G0	40	T1F0	123	T5F1	34	M4F9	120	G7F9	37	M3F0	120	T1F0	123	M3F0	120	M4F9	120
31	C3G0	40	C7G9	40	T5F1	34	C3G0	40	T1F0	123	L1F4	36	M4F9	120	T5F1	34	M4F9	120	T1F0	123
32	C7G9	40	E7G4	147	C3G0	40	C7G9	40	T5F1	34	M3F0	40	T1F0	123	C3G0	40	T1F0	123	T5F1	34
33	E7G4	147	H0G7	51	C7G9	40	E7G4	147	C3G0	40	M4F9	120	T5F1	34	E4G1	51	T5F1	34	C3G0	40
34	H0G7	51	M2G7	90	E7G4	147	E7G8	53	C7G9	40	T1F0	123	C3G0	40	E5G9	106	C3G0	40	E4G1	51
35	M2G7	90	B1H8	102	H0G7	51	H0G7	51	E7G4	41	T5F1	34	E4G1	51	E7G4	41	E4G1	51	E5G9	159
36	B1H8	102	B4H6	106	M2G7	90	M2G7	39	E7G8	53	C3G0	40	E5G9	106	E7G8	106	E5G9	159	E7G4	41
37	B2H9	102	C1H1	150	B1H8	102	B1H8	102	H0G7	51	E4G1	51	E7G4	41	B1H8	45	E7G4	41	E7G8	53
38	B4H6	106	D0H1	94	B4H6	106	B4H6	106	M2G7	39	E7G4	41	E7G8	106	B4H6	106	E7G8	53	B1H8	45
39	C1H1	150	E0H6	88	C1H1	150	C1H1	96	B1H8	102	E7G8	106	B1H8	102	B5H9	45	B1H8	45	B4H6	106
40	D0H1	94	T0H8	40	D0H1	45	D0H1	45	B4H6	106	M2G7	39	B4H6	106	C1H1	96	B4H6	106	C1H1	96
41	E0H6	88	G3J6	70	E0H6	88	E0H6	88	C1H1	96	B1H8	102	B8H9	41	D0H1	94	C1H1	96	D0H1	94
42	T0H8	40	K4J7	52	T0H8	40	T0H8	40	D0H1	45	B4H6	106	C1H1	96	K8H3	39	D0H1	94	K8H3	39
43	G3J6	70	F2L3	44	G2J3	64	G2J3	64	E0H6	88	B8H9	41	D0H1	94	T0H8	40	K8H3	39	T0H8	40
44	K4J7	52	F7L9	96	B2L4	108	B2L4	108	T0H8	40	C1H1	96	G2J3	64	G2J3	64	S5H5	40	G2J3	64
45	F2L3	44	M4L8	44	F2L3	44	F2L3	44	G2J3	64	D0H1	45	B2L4	108	B2L4	108	T0H8	40	B2L4	108
46	H5L1	100	W1L1	46	F7L9	96	F7L9	96	B2L4	108	E0H6	88	F2L3	44	F2L3	44	G2J3	64	F2L3	44
47	M4L8	44	M0T7	84	H5L3	104	H5L3	104	F2L3	44	G2J3	64	F7L9	150	F3L4	39	B2L4	108	F3L4	39
48	M0T7	84	K1R2	122	M4L8	44	M4L8	44	F7L9	150	B2L4	108	H2L2	48	F4L5	40	F2L3	44	F7L9	96
49	K1R2	122	C2S2	128	W3L8	58	W3L8	58	H5L3	104	F2L3	44	H5L3	104	F7L9	96	F3L4	39	H2L2	48
50	C2S2	128	H3S3	122	M0T7	84	M0T7	84	M4L8	44	F7L9	150	M4L8	44	H2L2	48	F7L9	96	H5L3	104
51	H3S3	122	L1S6	104	K1R2	122	K1R2	122	W3L8	58	H5L3	104	W3L8	58	H5L3	104	H2L2	48	M0T7	84
52	L1S6	104	V5S2	46	C2S2	128	H3S3	122	M0T7	84	M4L8	44	M0T7	84	W3L8	58	H5L3	104	E8S0	56
53	V5S2	46	F6U4	51	H3S3	122	L1S6	104	K1R2	122	W3L8	58	K1R2	122	M0T7	84	W3L8	58	L1S6	104
54	F6U4	51	K0U5	45	L1S6	104	P2S3	118	L1S6	46	M0T7	84	E8S0	56	K1R2	122	M0T7	84	P2S3	118
55	L1U8	96	L1U8	96	F6U4	51	F6U4	51	P2S3	118	K1R2	122	L1S6	104	E8S0	56	E8S0	56	V5S2	46
56	K8V4	113	K8V4	113	K0U5	102	K0U5	102	V5S2	46	L1S6	104	P2S3	118	L1S6	104	L1S6	104	A3U4	46
57	S2V7	100	S2V7	100	L1U8	96	L1U8	96	A3U4	46	P2S3	118	V5S2	46	P2S3	118	P2S3	118	F6U4	51
58	U2V8	96	U2V8	96	K8V4	57	K8V4	13	F6U4	51	V5S2	46	A3U4	46	V5S2	46	V5S2	46	K0U5	102
59	W1V1	108	W1V1	108	S2V7	100	S2V7	100	K0U5	102	A3U4	46	F6U4	51	A3U4	46	A3U4	46	L1U8	96
60	G0Y9	84	G2Y8	88	U2V8	96	U1V0	42	L1U8	96	F6U4	51	K0U5	102	F6U4	51	F6U4	51	K8V4	156
61	G6Y3	40	G6Y3	40	W1V1	54	U2V8	96	K8V4	13	K0U5	102	L1U8	96	K0U5	102	K0U5	102	S2V7	100
62	P3Y4	46	P3Y4	46	E0W4	57	W1V1	54	S2V7	100	L1U8	96	K8V4	13	L1U8	96	L1U8	96	U1V0	42
63	A8C2	279	N1D8	268	G2Y8	88	E0W4	57	U1V0	42	K8V4	13	S2V7	100	K8V4	13	K8V4	13	U2V8	96
64	N1D8	268	A8C2	279	G6Y3	40	F0W3	59	U2V8	96	S2V7	100	U1V0	42	S2V7	100	S2V7	100	L0X1	116
65	G6D4	288	G6D4	288	P3Y4	46	G2Y8	88	E0W4	57	U1V0	42	U2V8	96	U1V0	42	U1V0	42	L6X0	59
66	K8V4	255	K8V4	255	A8C2	279	G6Y3	40	F0W3	59	U2V8	96	H0W5	54	U2V8	96	U2V8	96	G6Y3	40
67	K4Y8	30	K4Y8	30	G6D4	288	P3Y4	46	H0W5	54	F0W3	59	B0X6	68	H0W5	54	L0X1	116	G8Y5	39
68	K6Y4	34	K6Y4	34	K8V4	255	A8C2	279	G2Y8	88	H0W5	54	G5Y7	44	L0X1	58	L6X0	59	H1Y9	106
69	R3Y2	30	R3Y2	30	K4Y8	30	G6D4	288	G6Y3	40	G5Y7	44	G6Y3	40	L6X0	59	G6Y3	40	A8C2	279
70	T5Y0	114	T5Y0	114	K6Y4	34	K8V4	255	P3Y4	46	G6Y3	40	G8Y5	39	G5Y7	44	G8Y5	39	G6D4	288
71	U8Y0	92	U8Y0	92	R3Y2	30	K4Y8	30	A8C2	279	G8Y5	39	P3Y4	46	G6Y3	40	H1Y9	47	H2B5	244
72					T5Y0	114	K6Y4	34	G6D4	288	P3Y4	46	A8C2	279	G8Y5	39	P3Y4	46	K6Y4	34
73					U8Y0	92	R3Y2	30	K8V4	255	A8C2	279	G6D4	288	P3Y4	46	A8C2	279	R3Y2	30
74							T5Y0	114	K4Y8	30	G6D4	288	K8V4	255	A8C2	279	G6D4	288	T5Y0	114
75							U8Y0	92	K6Y4	34	K8V4	255	K6Y4	34	G6D4	288	K8V4	255	U8Y0	92
76									R3Y2	30	K4Y8	30	R3Y2	30	K8V4	255	H2B5	244		
77									T5Y0	114	K6Y4	34	T5Y0	114	H2B5	244	K6Y4	34		
78									U8Y0	92	R3Y2	30	U8Y0	92	K6Y4	34	R3Y2	30		
79											T5Y0	114			R3Y2	30	T5Y0	114		
80											U8Y0	92			T5Y0	114	U8Y0	92		
81															U8Y0	92				

ภาพภาคผนวก ค-1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	งานตั้งต้นในแต่ละวัน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		U2V8	U2V8	U2V8	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4
2		U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	T5C5	T5C3	T5C5	T5C3	T5C5	T5C3	W0C7	H3L9
3		K4W2	J7W8	K8X5	K0V4	J7W8	K4W2	K4W2	J7W8	K4W2	S8X2	S8X2	S8X2	U4W3	S2V7
4		K8H3	J6E7	A4C4	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2
5		T0H8	G7F9	A6A8	H6G0	S2B7	M2G7	C7G9	E7G4	A6A8	C2F9	E0C2	G7F9	S4E7	S1E9
6		W0C7	B2H1	B0H4	B6H3	A6A8	C7G9	B1H8	B4H6	B2H9	B4H6	N4C8	P5H0	P5H0	P5H0
7		R4C2	P4L7	U0C3	G7F9	S6B2	M3F0	P0S1	P0S1	P0S1	P0S1	P0S1	P0S1	P0S1	A0S4
8		A6A8	G0E5	V7B4	A4C4	A4C4	A4C4	N4C8	S6E3	S4E7	S6E3	S4E7	K3E1	B4H6	B0H4
9		S1E9	S0E2	S1E9	S0E2	S6E3	H8L0	T8U2	B8R8	A0S4	A7S7	K1R2	A0S4	K1R2	K1R2
10		T8F7	T8F7	M8F8	C1H1	L0H9	E0H6	H8L0	P5H0	H8L0	K3E1	S8X2	V0C5	J6E7	V1C0
11		B3B3	N4C8	B3B3	N4C8	B7B5	N4C8	W0C7	G6D4	G6D4	M3F0	L8H5	F2F0	M3F0	G5H3
12		B4H6	G1J5	G1J5	M4L8	W0C7	A4F2	S4E7	A6C3	L8H5	C1H1	P5L9	A6C3	G3J6	A7C2
13		P2S3	B6R2	P2S3	B6R2	F2R4	A7S7	U4W3	K8V4	K8V4	K8V4	K8X5	D0W9	K8X5	K8X5
14			G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4
15		R0B4	C3L8	L0H9	S2B7	S2B7	S2B7	B7B0	V0C5	M2G7	G0E5	G0E5	G0E5	R4C2	T5C3
16		M8F8	C1H1	K8H3	E7G4	C2D0	G5H3	S1E9	S0E2	J6E7	S1E9	J6E7	S1E9	W5L5	C1H1
17		B8W0	F6V7	F6V7	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U4W3	U2V8	U4W3	U2V8	U2V8	U2V8
18		K8V4	S4V2	K0U5	S7X4	S7X4	S7X4	S7X4	L4D9	L4D9	L4D9	B2H9	C1H1	L8H5	L4D9
19		G5H3	M1G5	L4D9	S6E3	S6E3	J6E7	A7S7	K1R2	T8U2	F2R4	F2R4	T3T9	T5T6	T5T6
20		M4L8	W0C7	T0H8	A4F2	B3B3	H2B5	C2D0	M4L8	G8F6	C7G9	M2G7	A2G4	G5H3	D3T2
21		W5Y6	U8Y0	K4Y8	R3Y2	K6Y4	K4Y8	U8Y0	U8Y0	K4Y8	U8Y0	K4Y8	U8Y0	K4Y8	U8Y0
22		T5Y0	K6Y4	R3Y2	W5Y6	U8Y0	T5Y0	W5Y6	K4Y8	R3Y2	K4Y8	R3Y2	K4Y8	R3Y2	K4Y8
23				B8W0	B8W0	R5W1	K0V4	K0V4	K0V4	K0V4	K0V4	K0V4	K0V4	K0V4	D0W9
24			G6D4	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8
25		M5F7	T8F7	T8F7	C7G9	R0B4	U5B6	S6B2	M3F0	G6D4	A8C2	G3J6	L4D9	A6A8	C2D0
26		L4D9	T5C3	T5C5	T5C3	G6D4	G8F6	A6A8	C2F9	S2B7	V0C5	T0H8	V1C0	G6D4	M2G7
27		C2D0	C2D0	R0B4	U5B6	B0H4	B2H9	M8E4	A2G4	L4D9	G5H3	G5H3	E7G4	C7G9	E7G4
28		B7B5	S2B7	B7B5	M8E4	A8C2	M8E4	B7B5	G5H3	C2D0	E0H6	G6D4	E0H6	E0C2	A8C2
29		F2R4	A3U4	F2R4	A3U4	P2S3	K1R2	K4W2	G0E5	B7B5	B7B0	B7B5	B7B0	B7B5	B7B0
30		A4C4	J4C0	M5F7	M5F7	V0C5	T5C5	T0H8	B0H4	T0H8	B6H3	A6A8	C2F9	N4C8	T5B8
31		H2B5	E7G4	B1H8	B4H6	T0H8	B6H3	E0H6	C1H1	H2B5	A4F2	K1C6	H2B5	A5F5	G8F6
32		C2D0	A6F9	R4C2	H2B5	P5H0	L4D9	G8F6	A4F2	N4C8	E7G4	B0H4	B6H3	B2H9	E0H6

ภาพภาคผนวก ค-2 ข้อมูลนำเข้าในส่วนของเครื่องจักรและงานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักร

หมายเลขเครื่องจักร	งานตั้งต้นในแต่ละวัน														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4
2	S4E7	K3E1	C2F9	C2F9	C2F9	F2L3	B7B0	K1C6	B7B0	G7F9	F2F0	T1F0	M3F0	H2E5	N1D8
3	S4X6	S4X6	E7G4	G8F6	B7B0	T5C3	W0C7	T5C3	W0C7	T5C3	W0C7	R4C2	B7B0	H6C5	B7B5
4	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2
5	J6E7	F2F0	H2E5	H2E5	A7C2	C2D0	C5B9	W1L1	S3B4	M2G7	M4F9	T5F1	C5B9	D0H1	G2J3
6	B2H9	R4C2	T5C3	T5C3	W0C7	T5C5	S3B4	G7F9	E7G4	H2E5	H5L3	B2L4	S6B6	C3G0	W0C7
7	V5S2	F6U4	L8H5	T1F0	F2F0	H2E5	S2V7	U2V8	K0U5	W1V1	W1V1	W1V1	W1V1	W1V1	W1V1
8	B4H6	A6C3	A8C2	K3E1	D0H1	H5L1	L6B9	T5F1	M4F9	D0H1	E0H6	D0H1	M4F9	C4F0	M4F9
9	E2S9	K8V4	S2V7	U2V8	S2V7	K8V4	K8V4	F6U4	S2V7	S2V7	S2V7	P3Y4	S2V7	K0U5	S2V7
10	H2B5	H5L1	S6E3	C2D0	M4L8	R4C2	A7C2	B1H8	B4H6	T0H8	B1H8	H2E5	H5L3	B2L4	H5L3
11	M0T7	E2S9	V5S2	C2S2	K1R2	H3S3	L1S6	V5S2	L1S6	H3S3	K1R2	K1R2	L1S6	K1R2	A3U4
12	K4J7	T5B8	A2G4	C3G0	E7G4	C7G9	E7G4	M2G7	C3G0	B1B1	B7B5	H6C5	B1B1	C2D0	T5C5
13	K8X5	K8X5	K8X5	K8X5	G6Y3	P3Y4	G0Y9	P3Y4	G6Y3	S2V7	G6Y3	G6Y3	H0W5	F6U4	L0X1
14	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4
15	T5C5	W0C7	B6H3	T0H8	B0H4	B2F5	F2F0	B3B3	C1H1	H0G7	E7G4	C3G0	W0C7	T5C3	S6B6
16	T0H8	A7S7	K1R2	L1S6	V5S2	C2S2	K1R2	C2S2	K1R2	P2S3	A3U4	P2S3	A3U4	E8S0	P2S3
17	U2V8	U2V8	W1V1	L1U8	W1V1	L1U8	W1V1	L1U8	E0W4	P3Y4	H0W5	G6Y3	G6Y3	P3Y4	G6Y3
18	E0C2	B7B5	H2B5	H2B5	T5B8	M3F0	H2B5	D0H1	M0T7	T5F1	M0T7	S1E4	J5E6	S1E9	M8E4
19	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6	T5T6
20	C2F9	M0T7	S1E9	S1E9	S6E3	S0E2	M4L8	S0E2	S6E3	S1E9	S0E2	F7L9	F2L3	T0H8	F3L4
21	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	K4Y8	U8Y0	K6Y4
22	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	K4Y8	K6Y4	T5Y0
23	K8V4	W1V1	W1V1	K8V4	F6U4	U2V8	K8V4	K8V4	K8V4	F0W3	U1V0	L1U8	U2V8	L1U8	U2V8
24	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	H2B5	H2B5	K0U5	F6U4	K8V4	K8V4	K8V4
25	G6D4	M2G7	K4J7	M2G7	A2G4	M2G7	A2G4	R4C2	C2D0	K1C6	C2D0	C3E7	A8C2	S7C7	A8C2
26	A2G4	T0H8	C1H1	E0H6	C1H1	E0H6	C1H1	B2F5	F2F0	H2B5	J5E6	T5C3	K1C6	H2B5	H2B5
27	C7G9	B4H6	B2H9	B4H6	B2H9	T0H8	B1H8	F7L9	A5F5	F7L9	B7B0	H2B5	M0T7	S7E5	S3E0
28	K1C6	C2D0	G5H3	B3B3	G3J6	A5F5	B4H6	H2E5	H5L3	B2L4	A5F5	C2F9	C1H1	T1F0	S0B0
29	B3B3	B7B0	K1C6	K1C6	C5B9	M0E8	M0E8	M0E8	M0E8	M0E8	M0E8	M0E8	B4H6	A5F5	F7L9
30	L8H5	A5F5	G7F9	G7F9	G5H3	B3B3	K4J7	K4J7	A8C2	G2J3	A8C2	G2J3	N1D8	W3L8	B1B1
31	A5F5	M3F0	E0C2	M3F0	M0T7	T5F1	M0T7	T0H8	L6B9	R4C2	N1D8	M2G7	E5G9	E7G8	E5G9
32	M3F0	B1H8	D3T2	D3T2	D3T2	D3T2	C4F0	C2F9	C4F0	C2F9	S3B4	S7E5	F2F0	F2F0	M0T7

ภาพภาคผนวก ค-2 (ต่อ)

ภาคผนวก ง

ข้อมูลคำสั่งผลิตเดือนกันยายน พ.ศ. 2560

Total		7,234	7,149	7,188	7,279	7,232	7,233	7,224	7,227	6,692	6,670	6,704	6,848	6,935	6,993	7,168	7,042	7,107	6,973	7,081	7,067	6,834	6,790	6,755	6,741	6,602	6,686	6,858	6,899	6,840	6,681
Daily size		77	79	78	75	75	75	74	73	71	69	68	70	71	71	70	69	69	69	69	70	69	69	71	73	76	78	76	79	78	74
Job	Rim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
A0S4	19									44	44	44	44	44	44	44	44														
A2G4	22						84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84								
A3U4	19	46	46	46	46	46																				46	46	46	46	46	46
A4A1	22														48																
A4C4	22	104	104	104	104																										
A4F2	22	112	112	112	112	112	112	112	112	50	50	50	50																		
A5C1	22																								42	42	42				
A5F5	22													48	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	168
A6A8	22	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48																	
A6C3	22		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	44												
A6F9	22	46	46	46	46																										
A6S5	19								44																						
A7C2	22													100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	156	156	156	156
A7S7	19						44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44														
A8C2	22			106	271	330	330	330	330	403	403	403	403	403	403	403	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344	344
B0H4	22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100										
B0X6	20																											68			
B1B1	22																								108	108	108	108	108	108	108
B1H8	22	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	45	45	45
B2E5	22																		41	94	94	94									
B2H1	22	44	44	44																											
B2H9	22		102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102	102									
B2L4	22																							108	108	108	108	108	108	108	108
B3B3	22	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116							
B4H6	22	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	106	106	106	106	106	106	106	106	106	106
B5H9	22																												45		
B6H3	22		39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39											
B6R2	19	60	60	60	60																										
B7J0	22	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112	112
B7J5	22	177	177	177	177	177	177	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
B8H9	22																										41	41			
B8R8	19	57	57	57	57	57	57	57	57																						
B8W0	20	55	55	55																											
C0G2	22													39	39	39															
C1H1	22	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	96	96	96	96	96	96	96
C2D0	22	303	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	126	126	126	126	126	189	189	189
C2F9	22							96	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	96	96	96	96	96	96
C2S2	19																	58	58	128	128	128	128	128							
C3F7	22																										36	36	48	48	48
C3G0	22																		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
C3L8	22	42	42	42	42	42	42	42	42	42																					
C4P0	22																			41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
C5B9	22															116	116	116	116	232	232	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116
C6G9	22	92	92	92	92	92																									
C6H6	22															44	44	44	44												
C7G9	22				40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40					
D0H1	22																			94	94	94	94	45	45	45	94	94	94	94	94
D0W9	20												55		55																
D3T2	22													52	52	52	52	52													
E0C2	22											43	98	98	98	98	98	98	98												
E0H6	22						88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88			
E0W4	20																							57	57	57					
E2S9	19														56	56	56	56													
E3H0	22								42	42	42	42	42	42																	
E4G1	22																										51	51	51	51	51
E5G9	22																											106	106	159	159
E7G4	22	147	147	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	147	147	147	147	147	147	147	147	147	41	41	41	41	41	41
E7Q8	22																								53	53	106	106	106	53	53
E8S0	19																											56	56	56	56
F0W3	20																								59	59	59				
F2F0	22						80	80	80	80	80	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126	126			
F2L3	22																				44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
F2R4	19	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52																				
F3L4	22																												39	39	39
F4F6	22	82	82	82	82																								35	35	35
F4L5	22	40																											40		
F6U4	20																51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51	51
F6V7	20	84	84																												
F7L9	22																						96	96	96	150	150	150	96	96	96
G0E5	22	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94																				
G0Y9	20																			84	84	84									
G1J5	22	49	49																												
G2A0	22																													22	
G2J3	22																							64	64	64	64	64	64	64	64
G2Y8	20																						88	88	88	88					
G3J6	22											70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70								
G3M3	22	40	40				40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40										
G5Y7	20																										44	44	44		
G6W4	22	206	328	328	348	348	348	348	348	342	342	342	342	342	342	342	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288
G6Y3	20																			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
G7F9	22	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	86	37	37	37				
G8F6	22					36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36										
G8Y5	20																										39	39	39	39	39
H0G7	22																		51	51	51	51	51	51	51	51					
H0W5	20																									54	54	54	54		
H1V9	20																												47	106	
H2B5	22	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	116	180	180	180	244	244	244
H2E5	22																82	82	82	82	82	82	82	82	82	82	35	35	82	82	82
H2L2	22																											48	48	48	48
H3L9	22	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43	43												
H3S3	19														55	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122						
H5L0	22			45	45																										
H5L1	22																100	100	100	100	100	100									
H5L3	22																							104	104	104	104	104	104	104	104
H6C5	22																									57	57	57	57	57	57
H6G0	22	92	92	92	92	92																									
H6L2	22	49	49	49																											
H8L0	22						45	45	45	45	45	45	45																		

ภาพภาคผนวก ง-1 ข้อมูลคำสั่งผลิตเดือนกันยายน พ.ศ.2560

Total		7,234	7,149	7,188	7,279	7,232	7,233	7,224	7,227	6,692	6,670	6,704	6,848	6,935	6,993	7,168	7,042	7,107	6,973	7,081	7,067	6,834	6,790	6,755	6,741	6,602	6,686	6,858	6,899	6,840	6,681
Daily size		77	79	78	75	75	75	74	73	71	69	68	70	71	71	70	69	69	69	69	70	69	69	71	73	76	78	76	79	78	74
Job	Rim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
J3R5	19						52	52	52	52																					
J4C0	22	43	43																												
J5E6	22																									38	38	38	38		
J6E7	22	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88															
J7W8	20	53	53	53	53	53	53	53	53	53																					
K0U5	20	45	45	45	45	45	45																45	102	102	102	102	102	102	102	102
K0V4	20	106	106	106	106	106	106	47																							
K1C6	22									44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
K1R2	19	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122	122		
K3E1	22										45	45	45	45	45	45	45	45	45	45											
K4J7	22															52	52	52	52	52	52	52	52								
K4W2	20	96	96	96	96	150	150	150	150	150	150	150	42																		
K4Y8	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30				
K6Y4	24	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
K8H3	22	39	39	39																									39	39	39
K8V4	20	100	100	200	256	256	256	368	424	256	256	312	312	368	424	424	424	424	424	424	368	368	368	312	268	268	268	268	268	268	156
K8X5	20	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44																	
L0H9	22			37	37	37																									
L0X1	20																												58	116	116
L1E4	22																									36	36				
L1S6	19																	104	104	104	104	104	104	104	104	46	104	104	104	104	104
L1U8	20																		96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
L4D9	22	138	76	76	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	38															
L6B9	22																			37	86	86	86								
L6X0	20																												59	59	59
L8H5	22									40	40	40	40	40	40	40	40	40	40												
M0E8	22																				48										
M0T7	22															84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84
M1G5	22	90	90	90	39																										
M2G7	22				39	90	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	141	90	90	90	90	90	39	39	39				
M3F0	22	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	120	120	120	120	40	40	40	40	40	40	40	40	120	120	120	120
M4F9	22																							32	120	120	120	120	120	120	120
M4L8	22	44	44	44	44	44	44	44	44				44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44			
M5F7	22	32	32	32																											
M8E4	22	102	102	102	102	102	102	102																						48	48
M8F8	22	80	80	34																											
M8Y9	24	30																													
N1D8	22	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	156	156	156	156	156	156	156	156
N1V4	20				46																										
N4C8	22	116	116	116	116	116	116	116	116	46	46	46	46	46	46	46	46	46													
P0S1	19							48																							
P2S3	19	118	118	118	118	118	53																	118	118	118	118	118	118	118	118
P3Y4	20																			46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	
P4L7	22	44	44	44																											
P5H0	22		45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45																	
P5L9	22			46	46	46	46	46	46	46	46	46																			
R0B4	22	45	45	45	45	45	45																								
R3Y2	24	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
R4C2	22	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110	110			
R5W1	20					42																									
S0B0	22																											88	88	88	88
S0E2	22	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
S1E4	22																									41	41	41	41	41	41
S1F9	22	204	204	204	204	204	204	204	204	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
S2H7	22	98	98	98	98	98	98	98	98	43																					
S2V7	20													100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
S3B4	22																					88	88	88	88	88	88				
S3E0	22																												55	55	
S4B9	22																												55	55	
S4E7	22						92	92	92	196	196	196	196	104	104	104															
S4V2	20	36	36	36																											
S4X6	20													58	58	58															
S5H5	22																												40		
S6B2	22					39	39	39																							
S6B6	22																										44	44	44	44	44
S6E3	22	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42				40	40	40	40
S7C7	22																														
S7E5	22																							42	96	96	96	96	96	96	96
S7X4	20				53																										
S8X2	20										67	67	67	67	67	67															
T0H8	22	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40			40	40	40
T1F0	22																33	78	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123
T3T9	19												88																		
T5B8	22														92	174	174	174	82	82	82	82									
T5C3	27	224	106	106	106	106	106	106	106	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165
T5C5	27	174	174	174	174	174	174	174	174	110	110	110	110	80	80	80	80	80	80	80	80	80	30	80	80	80	80	80	80	80	80
T5F1	22																				34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
T5T6	19												88	176																	
T5V0	24	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	72	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114	114
T8F7	22	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35																				
T8U2	19					46	46	46	46	46	46	46																			
U0C3	22	424	424	424	424	268	268	212	212																						
U1V0	20																								42	42	42	42	42	42	42
U2V8	20	258	258	258	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	204	150	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
U4W3	20						52	52	52	52	52	52	52	52																	
U5B6	22				98	98	98	98	43																						
U8Y0	24	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92
V0C5	22					44	44	100	100	100	100	100	100	100																	
V1C0	22								44	44	100	100	100	100	100																
V5S2	19														46	46	46	46	46	46	46	46	46			46	46	46	46	46	46
V7B4	22	40	40	40	40	40																									
W0C7	22	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47	47
W1L1	22																						46								
W1V1	20																108	108	108	108	108	108	108	54	54						
W3L8	22																							58	58	58	58	58	58	58	
W5L5	22												59	59																	
W5Y6	24	92	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																
W7A9	22	86	86																												

ภาพภาคผนวก ง-1 (ต่อ)