เมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์

คณิศร ศรีทาพักตร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

เมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์

คณิศร ศรีทาพักตร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

METAHEURISTIC FOR PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM IN TIRE BUILDING PROCESS

KANISORN SRITAPAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER OF ENGINEERING
IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
BURAPHA UNIVERSITY
2021

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ คณิศร ศรีทาพักตร์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย รุ่งเรืองอนันต์)

กรรมการ
(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรหาญ ลิลา)

กรรมการ
(ดร.บัญชา อริยะจรรยา)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉยศ คุรุกิจโกศล)
วันที่ 7 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2564

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล)
วันที่ 9 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2564

2030824453
BUU iThesis 62920273 thesis / recv: 02072564 10:48:28 / seq: 75

62920273: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การจัดตารางการผลิต/ เครื่องจักรขนาน/ เมตาฮิวริสติก/ วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

คณิศร ศรีทาพักตร์ : เมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์. (METAHEURISTIC FOR PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM IN TIRE BUILDING PROCESS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก ปี พ.ศ. 2564.

งานวิจัยนี้นำเสนอปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก และคำนวณต้นทุนรวมในการดำเนินการผลิตให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้ อีกทั้งเพื่อเพิ่มทางเลือกสำหรับวิธีการที่ใช้ในการจัดตารางการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการเสนอวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยกำหนดต้นทุนรวมในการผลิตให้เป็นค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของกระบวนการค้นหาตารางการผลิต ซึ่งมีการนำงานมาเข้ารหัสคำตอบที่เรียกว่าโครโมโซมด้วยตัวเลขแบบสุ่ม และการดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรม ทำโดยการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด รวมถึงการข้ามสายพันธุ์ที่ใช้วิธีพาราเมตริกซ์ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ส และการกลายพันธุ์ที่มีการเปลี่ยนตัวเลขสุ่ม ที่มีการกำหนดระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุด 550 วินาที วิธีการที่นำเสนอนี้ถูกทดสอบกับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 30 วัน ที่มีการจัดตารางการผลิตของงานวันละ 71-86 รุ่น สำหรับเครื่องจักรแบบขนาน 32 เครื่อง ผลการทดสอบประสิทธิภาพกับวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม พบว่าวิธีการที่นำเสนอทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2,935.8 บาทต่อวัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 แต่ในด้านระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุดมีการลดลง 950 วินาที หรือลดลงร้อยละ 63.3 อีกทั้งไม่มีค่าใช้จ่ายในด้านเครื่องมือประมวลผลลัพธ์ซึ่งลดลงประมาณ 420,000 บาท หรือลดลงร้อยละ 100 ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถทำการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก และคำนวณต้นทุนให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสมที่นำไปใช้ในสถานการณ์จริงได้ รวมถึงเพิ่มทางเลือกวิธีการในการจัดตารางการผลิตตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

62920273: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: PRODUCTION SCHEDULING/ PARALLEL MACHINES/ METAHEURISTIC/ GENETIC ALGORITHM

KANISORN SRITAPAK : METAHEURISTIC FOR PARALLEL MACHINE SCHEDULING PROBLEM IN TIRE BUILDING PROCESS. ADVISORY COMMITTEE: JAKKRAWARN KUNADILOK, 2021.

This thesis presents the parallel machines scheduling problem with sequence-dependent setup time in the tire building process by using the metaheuristic. The objective is to design a metaheuristic method of production scheduling and calculate the total cost of the production to be appropriately low that can be used in the real world. In addition, to provide more options for the methods used in production scheduling. In which this thesis proposes a Genetic Algorithm (GA) for parallel machine scheduling. The total production cost is set to be the objective function of the finding production schedule process by genetic algorithm. The proposed GA used a set of random keys as a chromosome that represents the sequence of jobs performed on their assigned machine. Three genetic operations were used for transforming the population to the next generation including elite reproduction, parametric uniform crossover, and randomized mutation. Defining a maximum result processing time of 550 seconds. The proposed method was tested by using 30 daily scheduling problems from an industry with 71-86 job models and 32 parallel machines. The result of efficiency compared with mixed-integer linear programming (MILP) method. Which the proposed methods increased the total cost of production average by 2,935.8 baht per day (or 4.1%). But in terms of the time of the maximum result processing that reduced 950 seconds (or 63.3%), including there is no cost to use the processing tools that reduced 420,000 baths (or 100%). So this thesis can make the parallel machines scheduling by using the metaheuristic method to calculate the cost appropriately low that can be used in the real world and add an alternative to production scheduling by purposes efficiently.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ดร.จักรวาล คุณะดิลก ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้สละเวลาอันมีค่า และกรุณาให้คำปรึกษา ข้อคิดเห็น แนะนำแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำงานวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงานครั้งนี้ด้วยความเอาใจใส่ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขร่างงานวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ รวมถึงคณะกรรมการสอบงานวิจัยทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ตลอดจนรวมไปถึง คุณอารดา ไชยโคตร ที่ได้ทำงานวิจัยและได้เสนอแนะให้มีการพัฒนางานวิจัยต่อไปจนกระทั่งผู้วิจัยได้ทำงานวิจัยฉบับนี้ขึ้น ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว รวมไปถึงผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่เป็นส่วนสำคัญในการให้กำลังใจเพื่อเป็นแรงผลักดัน และสนับสนุนผู้วิจัยในทุกด้าน ตลอดจนสำเร็จการศึกษา หากมีข้อบกพร่อง หรือข้อผิดพลาดใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดและกราบอภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย อีกทั้งผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจและทำการศึกษา เพื่อทำการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณิศร ศรีทาพักตร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์งานวิจัย 4

สมมุติฐานงานวิจัย 4

ขอบเขตของงานวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 6

ระบบการผลิต 6

การจัดตารางการผลิต 9

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพธอน 16

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 24

ขั้นตอนกระบวนการดำเนินงานวิจัย 25

ข้อมูลสำหรับการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา 26

ผลลัพธ์ของงานวิจัยที่อ้างอิง 29
การออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิต 31
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย 40
วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดตารางการผลิต 40
การกำหนดขนาดประชากรและระยะเวลาประมวลผลลัพธ์ที่เหมาะสม 49
การทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก 52
การทดสอบสำหรับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 53
การทดสอบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิต 59
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินงานวิจัยในวิธีการที่นำเสนอกับงานวิจัยที่อ้างอิง 69
บทที่ 5 สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย 71
สรุปผลงานวิจัย 71
อภิปรายผลงานวิจัย 74
ข้อเสนอแนะ 77
บรรณานุกรม 78
ภาคผนวก 80
ภาคผนวก ก 81
ภาคผนวก ข 86
ประวัติย่อของผู้วิจัย 93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปัญหาในแต่ละด้านของงานวิจัยที่อ้างอิง 3
ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการดำเนินงานวิจัย 5
ตารางที่ 3 ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน 22
ตารางที่ 4 ตารางสรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
ตารางที่ 5 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา 27
ตารางที่ 6 ข้อมูลสำหรับการจัดตารางการผลิต 28
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็กจากงานวิจัยที่อ้างอิง 29
ตารางที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพในแต่ละด้านจากงานวิจัยที่อ้างอิง 30
ตารางที่ 9 ตัวแปรและความหมายสำหรับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 31
ตารางที่ 10 โครโมโซมตัวเลขแบบสุ่ม 1 โครโมโซม 35
ตารางที่ 11 การจัดตารางการผลิตของแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม 35
ตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด 37
ตารางที่ 13 การสร้างโครโมโซมลูก 1 และ 2 38
ตารางที่ 14 การเปลี่ยนตัวเลขแบบสุ่มในวิธีการกลายพันธุ์ 38
ตารางที่ 15 ผลการทดลองหาค่าของขนาดประชากรและเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด 51
ตารางที่ 16 การพิจารณาเลือกค่าขนาดประชากรและเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่เหมาะสม 52
ตารางที่ 17 ผลการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก 53
ตารางที่ 18 การแบ่งกลุ่มงานของคำสั่งผลิตยางรถยนต์ 54
ตารางที่ 19 ผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธี GA1 และ GA2 57
ตารางที่ 20 ผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 58

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีที่ใช้ประสบการณ์ผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม.....60

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีที่ใช้ประสบการณ์ผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 61

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 63

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม.....64

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม 66

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม.....67

ตารางที่ 27 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านต้นทุนการผลิต.....69

ตารางที่ 28 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพงานวิจัย.....70

ตารางที่ 29 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตแต่ละวิธีการ 73

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเดี่ยว.....6
ภาพที่ 2 ระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน.....7
ภาพที่ 3 ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน.....7
ภาพที่ 4 ระบบการผลิตแบบตามงาน.....8
ภาพที่ 5 ระบบการผลิตแบบเปิด.....8
ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....25
ภาพที่ 7 แผนผังขั้นตอนการออกแบบตารางการผลิต.....32
ภาพที่ 8 การนำงานใส่เครื่องจักรของประชากรเริ่มต้น.....34
ภาพที่ 9 ระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่เป็นปัญหาขนาดเล็ก.....35
ภาพที่ 10 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับงาน ขนาดของงาน และเวลามาตรฐานการผลิต.....42
ภาพที่ 11 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับเวลามาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรของงาน.....43
ภาพที่ 12 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับคำสั่งผลิตของงานแต่ละรุ่น.....44
ภาพที่ 13 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับรุ่นของงานก่อนหน้าที่อยู่ในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง.....45
ภาพที่ 14 ตัวอย่างโปรแกรม Visual Studio Code.....46
ภาพที่ 15 ขั้นตอนการเลือก Folder ของไฟล์นำเข้า.....46
ภาพที่ 16 การเลือก Folder ของไฟล์นำเข้า.....47
ภาพที่ 17 การเลือกเมนู Run โปรแกรมการค้นหาตารางการผลิต.....47
ภาพที่ 18 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลตัวเลข.....48
ภาพที่ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์ด้านต้นทุนการผลิต.....49
ภาพที่ 20 ตัวอย่างผลลัพธ์ตารางการผลิต.....49

ภาพที่ 21 เวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA1 ในปัญหาที่ 7 55

ภาพที่ 22 เวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA2 ในปัญหาที่ 7 56

ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ในการค้นหาผลลัพธ์ตามระยะเวลาของวิธี GA.....76

ภาพที่ 24 ความสมดุลของงานในแต่ละเครื่องจักรของวิธี GA.....77

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีภาคอุตสาหกรรมทั้งในประเทศและต่างประเทศนั้นมีการประกอบกิจการและการขยายตัวขึ้นในภาคอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว จากสถิติจำนวนโรงงานทั้งหมดใน 10 ปีล่าสุด พบว่า ในสิ้นปีของปีพุทธศักราช 2552 มีจำนวนโรงงานทั้งสิ้น 128,517 โรงงานและในสิ้นปีของปีพุทธศักราช 2562 มีจำนวนโรงงานทั้งสิ้น 138,807 โรงงาน (กรมโรงงานอุสาหกรรม, 2563) จะเห็นว่ามีการเติบโตของจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นจากเดิมประมาณร้อยละ 8 ใน 10 ปี และในแต่ละกลุ่มของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีการแข่งขันที่ค่อนข้างสูงมาก ทำให้ในแต่ละโรงงานหรือองค์กรจึงต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาสิ่งต่าง ๆ ภายในองค์กรให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในทุกด้าน เพื่อที่จะสามารถดำรงธุรกิจต่อไปได้อย่างราบรื่น และไม่ว่าจะประสบกับระบบเศรษฐกิจแบบใด ถ้าภายในองค์กรมีการบริหารจัดการและพัฒนาองค์กรขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ก็จะทำให้ต่อสู้กับคู่แข่งในระบบอุตสาหกรรมเดียวกันได้อย่างดีหรือมีประสิทธิภาพแม้ในสภาวะเศรษฐกิจที่มั่นคงหรือมีความแปรปรวนสูงแน่นอนว่าเป้าหมายในการทำธุรกิจของแต่ละองค์กร คือการสร้างผลกำไรเพราะธุรกิจจะสำเร็จได้หรือไม่นั้น สิ่งที่จะบ่งบอกได้เป็นอย่างดีคือรายได้จากการดำเนินงาน ซึ่งในวิธีการลดต้นทุนก็เป็นการเพิ่มรายได้เช่นเดียวกัน (พันธวณิช, 2563) ซึ่งต้นทุนเป็นสิ่งสำคัญและเป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพขององค์กรว่าในแต่ละองค์กรมีการจัดการในเรื่องของต้นทุนเป็นอย่างไร ทั้งนี้การจัดการต้นทุนที่ดีหรือมีต้นทุนรวมที่ต่ำ องค์กรก็จะได้เปรียบคู่แข่งในอุตสาหกรรมเดียวกันเป็นอย่างมาก เพราะถ้าองค์กรมีต้นทุนที่ต่ำแล้วก็จะทำให้มีกำไรหรือผลประกอบการณ์ที่ดียิ่งขึ้นรวมถึงสามารถกำหนดราคาสินค้าหรือบริการของตนเองได้ สิ่งนี้เป็นการเพิ่มโอกาสในทางธุรกิจได้เป็นอย่างดี รวมถึงต้องมีการพัฒนาองค์กรในทุกด้าน ในโรงงานอุตสาหกรรมการจัดการต้นทุนทางด้านการผลิตนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ไม่ใช่เพียงแต่ต้นทุนในเรื่องของเงินตรา ในเรื่องของเวลาก็มีความสำคัญไม่แพ้กันเพราะถ้ามีการบริหารจัดการในเรื่องของเวลาได้ดี ไม่ว่าจะเป็นเวลาในการผลิต หรือเวลาในการขนส่ง ก็จะสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้เป็นอย่างดี สิ่งเหล่านี้ล้วนจำเป็นต้องมีการวางแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการวางแผนจะเป็นตัวกำหนดกระบวนการต่าง ๆ ทั้งหมดภายในองค์กร

การวางแผนในการผลิตนั้นนับเป็นการวางแผนที่สำคัญที่สุดภายในโรงงานหรือองค์กรก็ว่าได้ เพราะมีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานทั้งหมดขององค์กรให้เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนดขึ้น (อมรรัตน์ วัดเล็ก, 2557) เพื่อจัดการกับทรัพยากรที่มีอยู่ภายในองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ และถ้ามีการวางแผนที่ดีก็จะทำให้ต้นทุนรวมจากการผลิตนั้นลดลงได้เพราะจะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออก เช่น ค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาของแรงงาน ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้า เป็นต้น รวมถึงเรื่องของเวลาถ้ามีระบบการวางแผนที่ดี ทำให้ในการทำกระบวนการต่าง ๆ ก็จะดียิ่งขึ้น และส่งผลให้สามารถส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันเวลาที่กำหนด

ในการวางแผนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันนั้น พบเจอและมีปัญหาในการวางแผนและควบคุมการผลิตมากมาย เช่น ปัญหาในการวางแผนความต้องการวัสดุ ปัญหาในวางแผนการจัดตารางการผลิต เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยมองเห็นถึงปัญหาในวางแผนการจัดตารางการผลิตที่นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญและมักพบปัญหานี้อยู่บ่อยครั้งในโรงงานอุตสาหกรรม จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยในเรื่อง การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ (อารดา ไชยโคตร, 2561) ซึ่งพบว่างานวิจัยดังกล่าวได้ทำการจัดตารางการผลิตสำหรับการขึ้นรูปยางยนต์ ที่มีรูปแบบของระบบการผลิตเป็นแบบเครื่องจักรขนาน ที่มีเครื่องจักรทั้งหมด 32 เครื่อง ในการผลิตงานประมาณ 80 รุ่น โดยมียางที่ต้องผลิตต่อวันรวมทั้งหมดประมาณ 7000 เส้น อีกทั้งยังมีเงื่อนไขการผลิตในเรื่องของลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งเครื่องจักร โดยงานวิจัยดังกล่าวนั้นได้มีการนำเสนอวิธีการของการจัดตารางการผลิตในรูปแบบของการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP) และใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลวีบีเอ (Microsoft excel VBA) โดยมีโปรแกรม Opensolver ร่วมกับตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ในการประมวลผลและหาคำตอบในการสร้างตารางการผลิตขึ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพในการวางแผนการสร้างตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยมีเป้าหมายในงานวิจัยคือการลดต้นทุนรวมจากการดำเนินการผลิตลดลงจากการจัดตารางการผลิตแบบเดิมของทางโรงงานกรณีศึกษา และผลการวิจัยพบว่าจากการใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการผลิตเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมของทางโรงงาน ซึ่งเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง พบว่าในส่วนของทางด้านต้นทุนรวมในการผลิตนั้นลดลงจากเดิมเฉลี่ย 10,962 บาทต่อวัน และในด้านอื่น ๆ คือ จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ต่อวัน เวลาในการตั้งเครื่องจักรต่อวัน และช่วงเวลาในการทำงานล่วงเวลาต่อวัน นั้นมีการลดลงหรือมีการพัฒนาที่ดีขึ้นเช่นเดียวกัน แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธี MILP ในการหาคำตอบนั้น ยังมีคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างกับคุณภาพของผลลัพธ์จากขอบเขตล่างอยู่ประมาณร้อยละ 6.3 และวิธีการที่ใช้แบบจำลอง MILP ของงานวิจัยดังกล่าวนั้น จะมีการใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์

1,500 วินาที อีกทั้งผู้ทำการวิจัยดังกล่าวยังได้ใช้ตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ที่มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการขออนุญาตใช้งานเริ่มต้นประมาณ 420,000 บาทอีกด้วย จากที่ได้กล่าวเกี่ยวกับวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงช่องว่างของงานวิจัยดังกล่าว ในเรื่องของคุณภาพของผลลัพธ์ในส่วนส่วนของต้นทุนรวมในการผลิตที่ยังมีความแตกต่างกันกับขอบเขตล่างของผลลัพธ์อยู่ประมาณร้อยละ 6.3 รวมถึงในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลลัพธ์ที่วิจัยข้างต้นจะใช้ระยะเวลา 1,500 วินาที อีกทั้งทางโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าวยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการขออนุญาตใช้ตัวประมวลผลลัพธ์ของ Gurobi ด้วย ที่แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัญหาในแต่ละด้านของงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

ด้านคุณภาพผลลัพธ์ (แตกต่างจากขอบเขตล่าง)	**ด้านระยะเวลาในการประมวลผล**	**ด้านเครื่องมือในการประมวลผลลัพธ์**
ร้อยละ 6.3	1,500 วินาที	Gurobi (มีค่าใช้จ่าย)

ทำให้ผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะออกแบบหรือสร้างตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและเหมาะสมสำหรับการจัดตารางการผลิต (Ali Allahverdi, 2015) ของปัญหาขนาดใหญ่และภายใต้ระยะเวลาในการวางแผนที่จำกัดเหมือนกับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าว เพื่อนำเสนอการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกและใช้เป็นทางเลือกในการสร้างตารางการผลิตต่อไป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อการตั้งค่าเครื่องจักรโดยมีวัตถุประสงค์ให้ค่าใช้จ่ายรวมจากการเดินเครื่องจักรและค่าแรงมีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก จากเงื่อนไขและข้อจำกัดของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้น จากนั้นทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการวางแผนในการจัดตารางการผลิต ในการคำนวณและหาคำตอบในการสร้างตารางการผลิตจากเทคนิคที่ได้ทำการออกแบบนั้นเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง เพื่อใช้เป็นทางเลือกในการพัฒนางานวิจัยสำหรับช่องว่างของปัญหาดังกล่าว ซึ่งมีตัววัดประสิทธิภาพงานวิจัยโดยมุ่งเน้นในเรื่องของคุณภาพของผลลัพธ์ คือ ต้นทุนรวมจากการดำเนินการผลิตเฉลี่ยต่อวัน และเวลาในการประมวลผลลัพธ์ จากนั้นนำผลการวิจัยไปทำการเปรียบเทียบกับการวางแผนในการจัดตารางการผลิตในกรณีศึกษาจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่เสนอ

วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก
2. เพื่อคำนวณต้นทุนรวมในการดำเนินการผลิตให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง
3. เพื่อเพิ่มทางเลือกสำหรับวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น

สมมุติฐานงานวิจัย

1. สามารถออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก
2. สามารถออกแบบโปรแกรมสำหรับการคำนวณในการจัดตารางการผลิตที่ได้จากวิธีเมตาฮิวริสติกและสามารถใช้โปรแกรมสำหรับสถานการณ์จริงได้

ขอบเขตของงานวิจัย

ศึกษางานวิจัยในเรื่องการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์และออกแบบตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตรวมถึงเงื่อนไขในการผลิตดังกล่าวด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ให้มีความเหมาะสมทั้งในด้านคุณภาพของผลลัพธ์ที่ต้องจัดตารางการผลิตโดยมีการคำนวณต้นทุนรวมในการดำเนินการผลิตและในด้านเวลาในการประมวลผลลัพธ์ จากนั้นสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดตารางการผลิตจากเทคนิคในวิธีเมตาฮิวริสติก และนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาในตอนต้นที่มีลักษณะในด้านของปัญหา รวมถึงในด้านของข้อมูลสำหรับการผลิตและมีข้อจำกัดในการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาที่เหมือนกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สามารถจัดตารางการผลิตโดยมีความเหมาะสมของคำตอบในเรื่องของต้นทุนรวมและเวลาที่ใช้ในการวางแผนในสถานการณ์จริงได้
2. นำไปประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตที่เป็นระบบเครื่องจักรขนานหรือมีลักษณะของปัญหาใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการดำเนินงานวิจัย

ช่วงเวลา / กระบวนการ	พ.ศ. 2563							พ.ศ. 2564			
	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
ศึกษาที่มาและความสำคัญของปัญหาในงานวิจัยที่อ้างอิง	←		→								
ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง		←		→							
ศึกษาข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา			←		→						
ออกแบบตารางการผลิตด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก				←			→				
สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดตารางการผลิต					←			→			
ทดสอบวิธีการจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดต่าง ๆ								←		→	
เปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยที่อ้างอิง										←	→
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ											← →

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะแสดงถึงทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานโดยที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ที่ประกอบไปด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบการผลิต การจัดตารางการผลิต วิธีการเมตาฮิวริสติก และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพธอน รวมถึงจะมีการศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำความรู้ที่ได้จากศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ และงานวิจัยในอดีตมาดำเนินงานวิจัยต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบการผลิต

ระบบการผลิต หมายถึง ขั้นตอนหรือกระบวนการในการแปรรูปหรือแปรสภาพจากวัตถุดิบหรือทรัพยากรที่มีอยู่ให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้าสำเร็จรูป โดยทั่วไปสำหรับปัญหาทางด้านการจัดตารางการผลิต มักจะแบ่งระบบการผลิตออกไปตามลำดับของเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน เช่น ระบบเครื่องจักรเดี่ยว ระบบเครื่องจักรขนาน ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน ระบบการผลิตแบบ ตามงาน โดยมีนิยามสัญลักษณ์

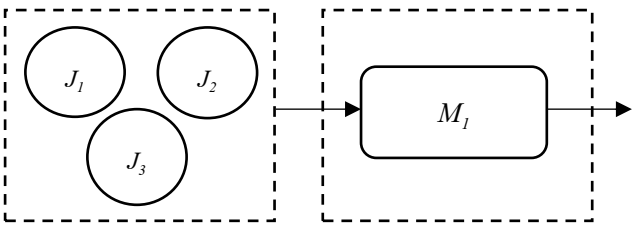
J_i หมายถึง งาน i

$J_{i,j}$ หมายถึง งาน i ในขั้นตอน j

M_k หมายถึง เครื่องจักร k โดยที่ $\{i, j, k = 1, 2, 3, \ldots\}$

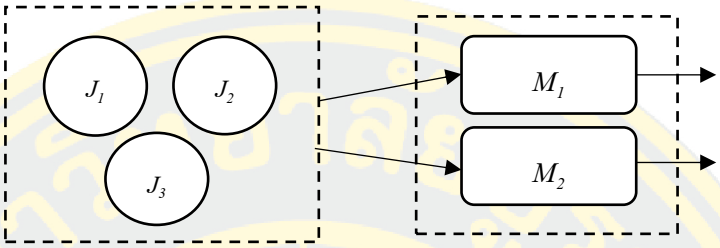
ซึ่งแต่ละระบบการผลิตจะมีความแตกต่างกันดังนี้

1. ระบบเครื่องจักรเดี่ยว (Single machine) จะประกอบไปด้วยงานชนิดขั้นตอนเดียวจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละงานเหล่านี้จะทำบนเครื่องจักรเดียวกัน ดังภาพที่ 1



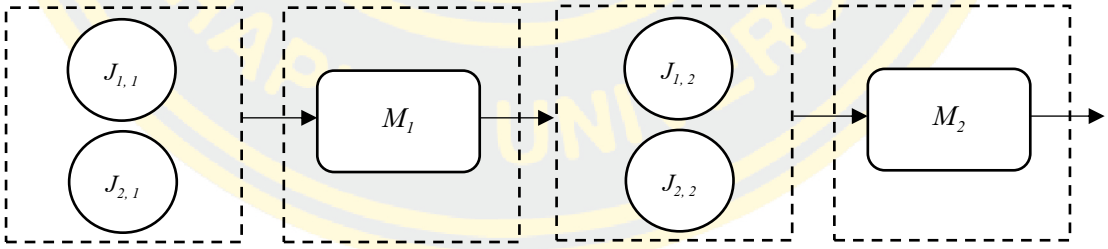
ภาพที่ 1 ระบบการผลิตแบบเครื่องจักรเดี่ยว

2. ระบบเครื่องจักรขนาน (Parallel machines) จะประกอบไปด้วยงานที่มีชนิดขั้นตอนการทำงานเพียงขั้นตอนเดียว แต่ในเรื่องของเครื่องจักรจะมีเครื่องจักรที่สามารถทำงานทดแทนกันได้ จำนวน M เครื่อง ดังภาพที่ 2



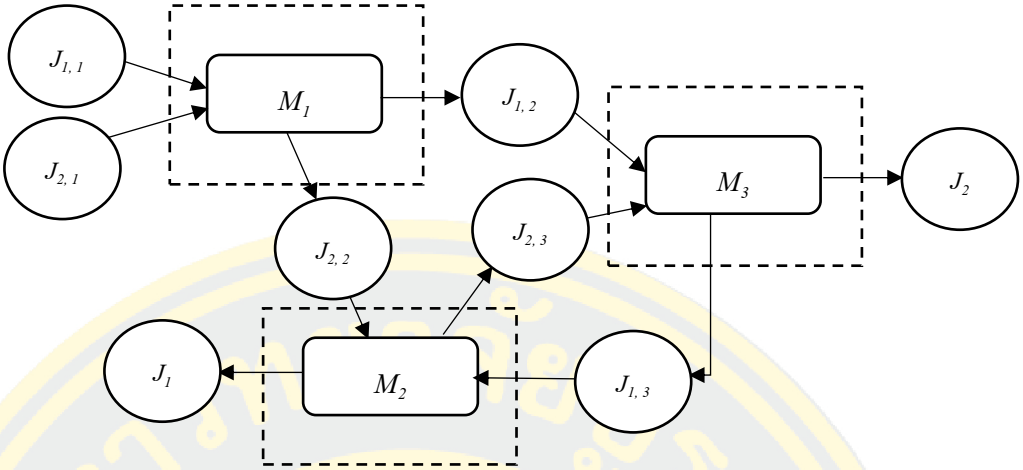
ภาพที่ 2 ระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน

3. ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow shop) จะประกอบไปด้วยงานที่มีขั้นตอนการทำงานมากกว่า 1 ขั้นตอน และเครื่องจักรที่ใช้ทำงานจะมีจำนวน M เครื่องที่เรียงต่อกันในลักษณะอนุกรม ในระบบการผลิตนี้จะมีทิศทางการทำงานหรือการไหลของงานไปในทิศทางเดียวกัน และจะต้อง ไม่วนกลับมาทำงานที่เครื่องจักรเดิมอีก ซึ่งยังต้องคำนึงถึงเงื่อนไขการทำงานก่อน-หลังอีกด้วย ดังภาพที่ 3



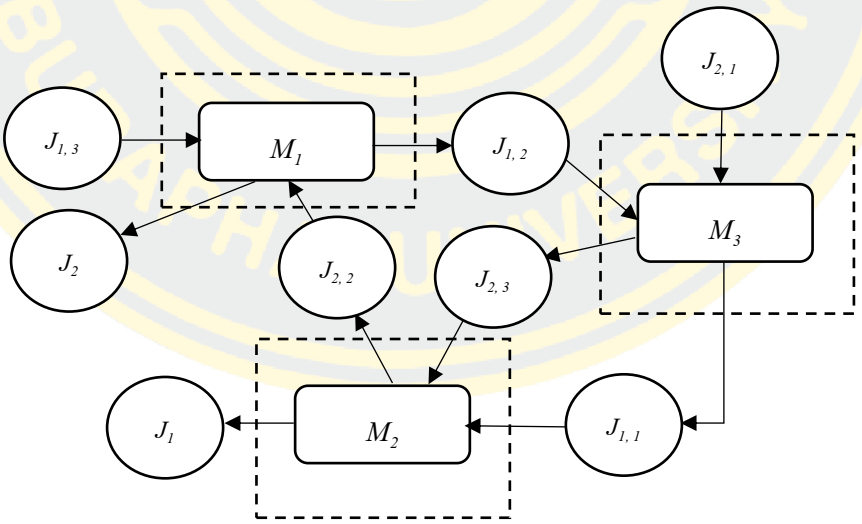
ภาพที่ 3 ระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน

4. ระบบการผลิตแบบตามงาน (Job shop) จะประกอบไปด้วยงานที่มีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอนและมีเครื่องจักรจำนวนหนึ่งที่นำมาใช้งาน รวมถึงมีเงื่อนไขก่อน-หลังในการทำงาน แต่ทิศทางการไหลของงานไม่จำเป็นต้องมีทิศทางเดียวกัน และสามารถวนกลับมาทำงานบนเครื่องจักรเดิมได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ระบบการผลิตแบบตามงาน

5. ระบบการผลิตแบบเปิด (Open shop) ระบบนี้จะมีทิศทางการไหลของงานได้หลายทิศทาง และสามารถให้งานวนกลับมาทำบนเครื่องจักรเดิมได้ แต่จะไม่มีเงื่อนไขในด้านลำดับการทำงานก่อน - หลัง จึงมีรูปแบบการผลิตหรือเส้นทางการผลิตได้หลากหลายรูปแบบมาก ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ระบบการผลิตแบบเปิด

การจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิต หมายถึง การจัดการทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตที่มีอยู่ให้มีความเหมาะสมกับงานที่จะต้องดำเนินการผลิต ภายใต้ระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งเป็นการจัดลำดับของงานในแต่ละกระบวนการผลิต เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินการผลิตจากนโยบายหรือเป้าหมายที่แต่ละองค์กรได้กำหนดไว้ และทรัพยากรที่ได้กล่าวข้างต้น คือ เครื่องจักร ที่จะมีการแสดงให้เห็นว่าจะผลิตงานชนิดใด ผลิตเมื่อไหร่ โดยมีการใช้ทรัพยากรที่เกี่ยวข้องอะไรบ้าง และจะใช้ระยะเวลาในการผลิตงานแต่ละงานยาวนานเท่าใด (ทวีพร ขำดี, 2554) การจัดตารางการผลิตเป็นในการจัดสรรทรัพยากรการผลิตไม่ว่าจะเป็น แรงงาน เครื่องจักร หรือสิ่งที่คอยอำนวยความสะดวกในกระบวนการผลิต เพื่อให้มีการดำเนินการผลิตตามที่ได้รับมอบหมายในช่วงเวลาที่ได้กำหนดไว้ โดยเป็นการรับช่วงต่อมาจากกระบวนการวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) และการวางแผนความต้องการกำลังการผลิต (CRP) ดังนั้นในทุกทรัพยากรล้วนเป็นสิ่งจำเป็นและต้องมีการจัดการทรัพยากรที่ดีเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด หรือกล่าวได้ว่า การจัดตารางการผลิตเป็นการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่และมีการกำหนดงานเพื่อให้มีความมั่นใจว่าจะดำเนินการผลิตเสร็จได้ในเวลาที่เหมาะสม

ลักษณะของปัญหาการจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิตอาจแบ่งลักษณะของปัญหาได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัญหาประเภทพี (Polynomial: P) ที่ลักษณะของปัญหาเป็นในรูปแบบขนาดของปัญหาจะส่งผลต่อเวลาในการหาคำตอบแบบพหุนาม และปัญหาประเภทเอ็นพี (Non-polynomial: NP) ที่ขนาดของปัญหาจะส่งผลต่อเวลาในการหาคำตอบแบบเท่าทวีคูณ ซึ่งถ้าปัญหาการจัดตารางการผลิตมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้น เวลาในการหาคำตอบของปัญหาประเภท NP จะมีค่ามากขึ้นแบบทวีคูณนั้นอาจสูงกว่าปัญหาประเภท P จนในทางปฏิบัตินั้นอาจไม่สามารถรอคอยได้ โดยทั่วไป ปัญหาประเภท NP จะมีความซับซ้อนและแก้ไขได้ยากกว่าปัญหาประเภท P อีกทั้งมักจะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานกว่าดังที่กล่าว และในบางกรณีอาจจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

ลักษณะหรือข้อจำกัดของการจัดตารางการผลิตนั้น ในแต่ละระบบการผลิตจะมีความแตกต่างกันจากเงื่อนไขหรือข้อจำกัดบางประการ เนื่องจากมีลักษณะหรือสมบัติเฉพาะตัว โดยจึงต้องนำเอาเงื่อนไขหรือลักษณะของสมบัติที่บ่งบอกถึงความแตกต่างของระบบมาทำการสร้างหรือออกแบบตารางการผลิต โดยมีลักษณะหรือข้อจำกัด เช่น

1. เวลาตั้งเครื่องจักรขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้า (Sequence dependent setup time)
2. ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence constraint)
3. ข้อจำกัดด้านเส้นทางงาน (Routing constraint)

4. ข้อจำกัดด้านเครื่องจักรที่เลือกได้ (Machine-eligibility constraint)
5. ข้อจำกัดด้านพื้นที่จัดเก็บและเวลาคอย (Storage space and waiting time constraint)
6. การแทรกงาน (Preemption)
7. การแยกงาน (Job splitting)
8. การเสีย (Breakdown)
9. การสลับตำแหน่ง (Permutation)
10. การบล็อก (Blocking)
11. การไม่คอย (No wait)

ซึ่งข้อจำกัดหรือเงื่อนไขดังที่กล่าวเป็นตัวอย่างของลักษณะในการจัดตารางการผลิตที่แสดงให้เห็นถึงความหลากหลายและความซับซ้อนที่ต้องพิจารณาในกระบวนการจัดตารางการผลิต

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตารางการผลิต

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของตารางการผลิตจะเป็นตัวกำหนดว่า ตารางการผลิตที่สร้างขึ้นเป็นไปตามเป้าหมายที่ได้วางไว้หรือไม่ การกำหนดตัวชี้วัดจะขึ้นอยู่กับนโยบายขององค์กรว่าต้องการให้ตารางการผลิตที่ได้ออกมาเป็นรูปแบบใด ซึ่งทุกตัวชี้วัดที่ได้มีการกำหนดขึ้นจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป (ธีรเดช วุฒิพรพันธ์, 2559) โดยตัวชี้วัด มีดังนี้

1. เวลาล่าช้า (Tardiness: T) หมายถึง เวลาที่ทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่ง โดยอาจแบ่งตัวชี้วัดในด้านเวลาล่าช้าออกเป็น เวลาล่าช้าสูงสุด เวลาล่าช้ารวม เวลาล่าช้าเฉลี่ย เวลาล่าช้ารวมแบบถ่วงน้ำหนัก จำนวนงานล่าช้า และจำนวนงานล่าช้าแบบถ่วงน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีจุดประสงค์ของตารางการผลิตในเรื่องของเวลาล่าช้าเป็นแบบใด ก็จะใช้ตัวชี้วัดนั้นเป็นตัวกำหนดการสร้างตารางการผลิตขึ้น

2. เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดส่ง (Earliness: E) หมายถึง เวลาที่งานที่ทำการผลิตแล้วเสร็จก่อนกำหนดส่ง โดยอาจแบ่งตัวชี้วัดในด้านเวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดออกเป็น เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดสูงสุด เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดรวม เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดเฉลี่ย เวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดแบบถ่วงน้ำหนัก จำนวนงานเสร็จก่อนกำหนด และจำนวนงานเสร็จก่อนกำหนดแบบถ่วงน้ำหนัก

3. เวลาสาย (Lateness: L) หมายถึง เวลาของงานที่บ่งบอกว่าเวลาในการเสร็จของงานต่างจากกำหนดส่งเท่าไร ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งเวลาล่าช้าที่เสร็จช้ากว่ากำหนดส่งหรือเวลาที่เสร็จก่อนกำหนดส่งก็ได้ โดยตัวชี้วัดในด้านเวลาสายนั้นสามารถแบ่งได้เป็น เวลาสายสูงสุด เวลาสายรวม เวลาสายเฉลี่ย และเวลาสายรวมแบบถ่วงน้ำหนัก

4. เวลางานที่อยู่ในระบบ (Flow time: F) หมายถึง เวลาของงานที่อยู่ในระบบทั้งหมด

ตั้งแต่เริ่มงานจนกระทั่งเสร็จงาน ซึ่งรวมถึงเวลารอคอยที่เกิดขึ้นในระหว่างที่งานยังคงอยู่ภายในระบบด้วย โดยตัวชี้วัดด้านเวลางานที่อยู่ในระบบที่ได้รับความนิยมในการใช้งานคือ เวลางานที่อยู่ในระบบทั้งหมด และเวลาที่งานอยู่ในระบบเฉลี่ย

5. เวลาเสร็จงาน (Completion time: C) หมายถึง เวลาที่งานย่อยสุดท้ายของงานใด ๆ ทำงาน เสร็จสิ้น โดยตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับค่าเวลาเสร็จงานนั้นอาจเป็น เวลาเสร็จงานสูงสุด และเวลาเสร็จงานเฉลี่ย

6. เวลาปิดงาน (Makespan: MS) หมายถึง ช่วงเวลาที่ทำการเริ่มของงานแรกจนกระทั่งถึงเวลาที่ทำงานย่อยสุดท้ายของงานสุดท้ายเสร็จ ซึ่งมีค่าเท่ากับเวลาเสร็จงานสูงสุดนั่นเอง เป็นตัวชี้วัดที่ได้รับความนิยมโดยทั่วไปในการจัดตารางการผลิต

วิธีการจัดตารางการผลิต

วิธีการจัดตารางการผลิตหรือวิธีการในการหาคำตอบให้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นจะมีวิธีอยู่หลากหลายวิธีในการหาคำตอบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ ขนาดของปัญหาและลักษณะของปัญหา โดยะสามารถแบ่งวิธีในการจัดตารางการผลิตได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทวิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) และประเภทที่ให้คำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีสุดหรือแบบหาคำตอบแบบประมาณ (Approximate method) (ธีรเดช วุฒิพรพันธ์, 2559)

1. วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดเป็นวิธีที่แสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดตารางการผลิตนั้นจะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพต่าง ๆ ที่กำหนดดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ถ้าเกิดเป้าหมายของการจัดตารางการผลิต ต้องการให้มีเวลาปิดงานจากการผลิตน้อยที่สุด ดังนั้นคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Global optimal solution) นั่นคือตารางการผลิตจะมีเวลาปิดงานน้อยที่สุด เป็นต้น แต่ในบางครั้งหรือบางปัญหาอาจมีตารางการผลิตที่ทำให้คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด มากกว่า 1 รูปแบบ ก็เป็นได้ และวิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด จะมีวิธีการสำหรับการหาคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการแจงนับบริบูรณ์ วิธีการแจงนับโดยนัย และวิธีกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

1.1 วิธีการแจงนับบริบูรณ์ (Complete enumeration) เป็นวิธีที่ทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากจำนวนผลลัพธ์หรือคำตอบที่มีโอกาสเป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่า วิธีการนี้ค่อนข้างใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานจึงเหมาะกับปัญหาในการจัดตารางการผลิตที่มีขนาดของปัญหาที่เล็ก เพราะถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้มีจำนวนของคำตอบที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมดนั้นมากขึ้นตามขนาดของปัญหา ที่ยังส่งผลให้ระยะการประมวลผลเพื่อหาคำตอบนั้นยาวนานมากขึ้น

1.2 วิธีแจงนับโดยนัย (Implicit enumeration) วิธีนี้จะเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด

โดยที่มีระบบขั้นตอนในการตัดคำตอบออกไปบางส่วน ทำให้จำนวนคำตอบที่ต้องมีการพิจารณานั้นน้อยลง ซึ่งจะส่งผลให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือระยะเวลาในการหาคำตอบได้เร็วขึ้น ตัวอย่างของวิธีการดังกล่าว เช่น วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound)

1.3 วิธีกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) เป็นการออกแบบโมเดลทางคณิตศาสตร์ในการจำลองปัญหา และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยรูปแบบของวิธีกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีหลายรูปแบบ เช่น กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming: ILP) กำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP) เป็นต้น โดยรูปแบบของโมเดลทางคณิตศาสตร์จะขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและคำตอบที่ต้องการ

2. วิธีการหาคำตอบแบบประมาณ (Approximation method) ในกรณีของวิธีการหาคำตอบโดยประมาณนั้นเป็นวิธีการที่ตอบสนองความต้องการในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากว่าวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นในกรณีที่มีปัญหาขนาดใหญ่หรือในการมีจำนวนงานที่จะต้องทำการผลิตหรือจำนวนเครื่องจักรเพิ่มมากขึ้น จะต้องใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์หรือหาคำตอบที่ค่อนข้างนานจนไม่สามารถรอคอยได้ จึงมีวิธีการหาคำตอบแบบประมาณขึ้นเพื่อให้มีการหาคำตอบของแต่ละปัญหาได้อย่างรวดเร็ว จึงเหมาะแก่ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีนี้จะมีคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด และในบางครั้งคำตอบจากวิธีนี้นั้นก็อาจเป็นคำตอบที่ดีที่สุดก็เป็นได้ โดยวิธีการนี้จะมีการหาคำตอบและกำหนดคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) ก่อน และจากนั้นจะดำเนินการหาคำตอบถัดไปที่มีคำตอบที่ดีขึ้นโดยใช้วิธีหรือระบบการค้นหาคำตอบในรูปแบบต่าง ๆ และจะทำการหยุดค้นหาคำตอบภายใต้ปัจจัยเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ เช่น ทำการค้นหาคำตอบภายในระยะเวลาที่ใช้ในการค้นหา ทำการค้นหาจนกระทั่งได้คุณภาพของคำตอบที่ต้องการหรือสามารถยอมรับได้ เป็นต้น ซึ่งวิธีการหาคำตอบโดยประมาณนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

2.1 วิธีฮิวริสติก (Heuristic) จะเป็นเทคนิควิธีการหาคำตอบแบบประมาณวิธีหนึ่งซึ่งที่มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้ระยะวลาในการคำนวณหรือประมวลผลลัพธ์ไม่นาน แต่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดในการใช้คือ จะเป็นวิธีการที่ใช้แก้ไขปัญหาเฉพาะกลุ่ม เนื่องจากได้มีการออกแบบหรือสร้างวิธีการหาคำตอบมาเพื่อให้ใช้งานได้เฉพาะกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหากลุ่มอื่นได้ ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติก เช่น กฎการจ่ายงาน (Dispatching rule) ที่มีการนิยมกันใช้โดยทั่วไป

2.2 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) จัดอยู่ในกลุ่มของวิธีการหาคำตอบแบบประมาณเช่นกันแต่เป็นวิธีในการหาคำตอบที่ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีการของฮิวริสติก เนื่องจาก

วิธีนี้สามารถทำการประยุกต์วิธีการทำหรือขั้นตอนในการค้นหาคำตอบไปใช้งานกับปัญหาในลักษณะอื่น ๆ ได้อีกด้วย วิธีเมตาฮิวริสติกจะมีขั้นตอนการทำที่ซับซ้อนกว่าวิธีฮิวริสติกเพื่อพัฒนาคุณภาพของคำตอบหรือทำให้มีวิธีการหาคำตอบในแต่ละปัญหานั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ภายใต้ข้อจำกัด ซึ่งเหมาะกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่ต้องการค้นหาคำตอบภายใต้เวลาจำกัด วิธีนี้จะทำการวนซ้ำในการหาคำตอบจนกระทั่งหยุดค้นหาเมื่อถึงเกณฑ์เงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ (Criteria) โดยจะสามารถแบ่งรูปแบบของวิธีการเมตาฮิวริสติกเป็น 2 รูปแบบตามลักษณะการค้นหาคำตอบ ได้แก่

2.2.1 กลุ่มที่จะค้นหาครั้งละ 1 คำตอบ จะเริ่มจากการกำหนดคำตอบเริ่มต้นจำนวน 1 คำตอบแล้วจะทำการสร้างกลุ่มคำตอบใกล้เคียงและจะทำการใช้คำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มคำตอบที่มีเพื่อใช้เป็นคำตอบตั้งต้นสำหรับการค้นหาในรอบถัดไป วิธีการในกลุ่มนี้ เช่น วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated local search) วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated annealing) เป็นต้น

2.2.2 กลุ่มที่จะค้นหาครั้งละหลายคำตอบ โดยจะใช้คำตอบเริ่มต้นจำนวนหนึ่งแล้วทำการหาคำตอบใกล้เคียงของคำตอบเริ่มต้นนี้ และทำการเลือกคำตอบที่ดีจากคำตอบที่มีอยู่มาอีกจำนวนหนึ่งเพื่อใช้ในการค้นหาในรอบถัดไป ซึ่งการค้นหาครั้งละหลายคำตอบจะมีโอกาสค้นหาคำตอบในหลายบริเวณมากกว่าการค้นหาครั้งละ 1 คำตอบ ตัวอย่างของวิธีเหล่านี้ เช่น วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) เป็นต้น

เมตาฮิวริสติก (Metaheuristics)

เมตาฮิวริกติกเป็นวิธีที่ได้พัฒนามาจากฮิวริสติกเพื่อให้มีความยืดหยุ่นในการค้นหาคำตอบของปัญหาใด ๆ ที่มีความซับซ้อนและมีข้อจำกัดจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ถึงแม้การหาคำตอบด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกจะไม่ได้ผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดในทุกครั้งที่ได้มีการทำ แต่ผลลัพธ์ที่ได้ก็เป็นที่ยอมรับและสามารถค้นหาได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม (สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และอัมภิกา บุญมี, 2561) วิธีที่ได้รับความนิยมของนักวิจัยที่สุดวิธีหนึ่งคือ วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ที่มี John H. Holland (Fred Glover & Gary A. Kochenberger, 2003) เป็นผู้ซึ่งใช้วิธีการดังกล่าวเป็นคนแรกในปี ค.ศ. 1975

วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm)

จัดเป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกที่มีการค้นหาครั้งละหลายคำตอบ (Multiple points search) หรือที่เรียกว่า การค้นหาโดยใช้กลุ่มประชากร (Population-based) ซึ่งมีแนวคิดที่จะใช้ขั้นตอนการถ่ายทอดพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมาเป็นขั้นตอนในการหาคำตอบ ทำให้การค้นหาคำตอบมีวิวัฒนาการจากกลุ่มคำตอบหนึ่งไปยังอีกกลุ่มคำตอบหนึ่ง ซึ่งอาจจะมีวิวัฒนาการที่ดีขึ้นหรือแย่ลง

ก็ได้ แต่จะมีวิธีในการรักษาคำตอบไว้เพื่อใช้ในการหาคำตอบในรอบถัดไปด้วย โดยองค์ประกอบหลักของวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (ธีรเดช วุฒิพรพันธ์, 2559) มีดังต่อไปนี้

1. การเข้ารหัสคำตอบ (Solution encoding) วิธีการเข้ารหัสในการจัดตารางการผลิตจะมีวิธีการเข้ารหัสที่นิยมใช้ คือ การเข้ารหัสแบบไบนารี การเข้ารหัสโดยค่าสุ่ม การเข้ารหัสแบบเรียงสับเปลี่ยน การเข้ารหัสโดยใช้ค่าจริง งานแต่ละงานที่นำมาเข้ารหัสจะถูกเรียกว่า ยีน รหัสคำตอบที่ได้จะถูกเรียกว่า โครโมโซม

2. การสร้างประชากรเริ่มต้น และการกำหนดจำนวนของประชากร (Population size: PZ) การสร้างคำตอบเริ่มต้นจำนวนหลายๆคำตอบ หรือเป็นการสร้างโครโมโซมเริ่มต้นขึ้นจำนวนหนึ่ง และการกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องการหรือการกำหนดขนาดของประชากร (PZ) จะมีผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการนี้ ถ้าต้องการให้หาคำตอบได้ครั้งละหลายๆบริเวณก็ต้องใช้ประชากรที่มีขนาดใหญ่ แต่ก็จะทำให้การหาคำตอบแต่ละรอบใช้เวลานานขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำหนดขนาดของประชากรให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหา

3. การกำหนดค่าวัตถุประสงค์ (Fitness function) เป็นการกำหนดตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิต เช่น เวลาปิดงาน เวลาล่าช้ารวม เวลาที่งานอยู่ในระบบรวม หรืออาจจะเป็นค่าตัวชี้วัดหลายๆตัวรวมกัน

4. การดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรม (Genetic operations) ในการถ่ายทอดพันธุกรรมจะประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน ได้แก่

4.1 กระบวนการคัดเลือก (Selection) คือ การเลือกโครโมโซมพ่อแม่เข้าสู่กระบวนการข้ามสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ วิธีการคัดเลือกคำตอบที่เกี่ยวข้อง เช่น วิธีการเลือกโครโมโซมที่แข็งแรงที่สุด (Elitism) วิธีการนี้จะเลือกค่าที่มีวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดมาใช้เป็นประชากรรุ่นใหม่โดยไม่ต้องผ่านการขั้นตอนการถ่ายทอดพันธุกรรม หรือวิธีวงล้อรูเล็ตต์ (Roulette wheel) วิธีการนี้จะทำการคัดเลือกโครโมโซมโดยค่าของวัตถุประสงค์ไปเป็นตัวกำหนดสัดส่วนพื้นที่บนวงล้อ โดยมีหลักการว่าโครโมโซมที่มีค่าวัตถุประสงค์ดีที่สุดจะมีสัดส่วนพื้นที่มากที่สุด

4.2 การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) คือกระบวนการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซมของพ่อและแม่ (Parent) ในการสร้างโครโมโซมลูก (Offspring) การข้ามสายพันธุ์จะทำให้การค้นหาคำตอบสามารถข้ามไปยังพื้นที่อื่นได้และในการอนุญาตให้มีการข้ามสายพันธุ์นั้นจะมาจากการสุ่มค่าระหว่างเลข [0,1] ซึ่งจะต้องมีการกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะมีการอนุญาตให้มีการข้ามสายพันธุ์ (Crossover probability) วิธีการทำในการข้ามสายพันธุ์ที่ใช้สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต เช่น วิธีพาราเมตริกยูนิฟอร์ม (Parametric uniform crossover: PUC) วิธีแบบจับคู่บางส่วน (Partial mapped crossover: PMX) วิธีแบบยึดตำแหน่งเป็นหลัก (Position-based

crossover: PBX)

4.3 การกลายพันธุ์ (Mutation) คือการแลกเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซมรุ่นลูกที่มาจากการข้ามสายพันธุ์ ซึ่งจะช่วยให้การค้นหาคำตอบไม่ติดอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง โดยจะมีการสุ่มค่าตัวเลขระหว่าง [0,1] ที่เป็นความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation probability) วิธีการกลายพันธุ์ เช่น วิธีการแทรก (Insertion) วิธีการสลับที่ (Swap) วิธีการผกผัน (Inversion) เป็นต้น

สัญลักษณ์ของวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

PZ: ขนาดของประชากร (Population size)

h: ลำดับที่ของโครโมโซมในประชากร

Z_h: โครโมโซมคำตอบที่ h

Z^*: โครโมโซมที่มีค่าวัตถุประสงค์ดีที่สุด

g: ลำดับที่ของชุดโครโมโซมพ่อแม่

$Parent_g$: โครโมโซมพ่อแม่ชุด g

b: ลำดับที่ของโครโมโซมลูก

Off_b: โครโมโซมลูกลำดับที่ b

p_c: ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์

p_m: ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

f_x: ค่าวัตถุประสงค์ (Objective value)

ขั้นตอนของวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 1: การเข้ารหัสโดยใช้วิธีการเรียงสับเปลี่ยน และสร้างประชากรคำตอบเริ่มต้นตามจำนวนที่กำหนด (PZ)

ขั้นตอนนี่ 2: การประเมินค่าความแข็งแรงของแต่ละโครโมโซม (f_x) จากแผนภูมิแกนต์

ขั้นตอนที่ 3: การคัดเลือกโครโมโซมคำตอบเพื่อนำไปสู่กระบวนการทางพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 4: ทำการข้ามสายพันธุ์ของโครโมโซมพ่อแม่ ตามเงื่อนไข

4.1 ทำการข้ามสายพันธุ์ ถ้าค่าของเลขสุ่ม $\leq p_c$

4.2 ไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ ถ้าค่าของเลขสุ่ม $> p_c$

ขั้นตอนที่ 5: ทำการกลายพันธุ์โครโมโซมรุ่นลูกที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ตามเงื่อนไข

5.1 ทำการกลายพันธุ์โครโมโซมรุ่นลูก ถ้าค่าของเลขสุ่ม $\leq p_m$

5.2 ไม่ทำการกลายพันธุ์โครโมโซมรุ่นลูก ถ้าค่าของเลขสุ่ม $> p_m$

ขั้นตอนที่ 6: สร้างประชากรรุ่นใหม่ พร้อมกับคำนวณค่าวัตถุประสงค์

ขั้นตอนที่ 7: ตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุดค้นหาคำตอบ

7.1 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ให้ใช้โครโมโซมที่แข็งแรงที่สุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 เป็นคำตอบและหยุดการค้นหา

7.2 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จ ให้ค้นหารอบถัดไปด้วยการใช้ประชากรรุ่นใหม่ โดยเริ่มทำตั้งแต่การคัดเลือกโครโมโซมในขั้นตอนที่ 3 เป็นต้นไป

การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพธอน

ภาษาไพธอน คือ ภาษาระดับสูงที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมอีกภาษาหนึ่งที่มีความสามารถสูงไม่แพ้ภาษาอื่นๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ถูกสร้างขึ้นโดยนักพัฒนาโปรแกรมชื่อ Guido van Rossum เป็นชาวดัชท์ (Dutch) ประเทศเนเธอร์แลนด์ ภาษาไพธอนเป็นภาษาที่ถูกออกแบบและพัฒนามาเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ง่าย รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงไม่แพ้ภาษาระดับสูงอื่นๆ เช่น ภาษา C/C++ จาวา (Java) เพิร์ล (Perl) พีเอชพี (PHP) และ วิชวลเบสิค เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันภาษาไพธอนกำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (จากผลการสำรวจของ CodeEval.com ในปี 2014 พบว่ามีผู้เขียนโปรแกรมด้วยภาษาไพธอนสูงที่สุดถึง 30.3% รองลงมาคือ Java 22.2%, C++ 13% ตามลำดับ) โดยเป็นภาษาที่นำเอาคุณลักษณะเด่น ๆ ของภาษาอื่น ๆ มาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาต่อยอด ซึ่งมีความสามารถในการจัดการเกี่ยวกับข้อผิดพลาดของโปรแกรมได้ดี ส่งผลให้ภาษาไพธอนเป็นที่นิยม และใช้งานกันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไพธอนถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ขึ้นกับแพลตฟอร์ม คือ สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการตระกูลวินโดวส์ (Windows) ตระกูลยูนิกส์ - ลินกซ์ (Unix, Linux) และตระกูลแมค (Macintosh) แต่ไพธอนก็มีจุดด้อยคือ เป็นภาษาสคริปต์ ซึ่งทำงานโดยมีตัวแปลภาษา (Interpreter) แปลงคำสั่งในแต่ละบรรทัดของโปรแกรมต้นฉบับ (Source code) ให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine code) ในขณะที่โปรแกรมกำลังทำงาน ซึ่งแตกต่างจากภาษาซี C++ โคบอล หรือปาสคาล เพราะภาษาเหล่านี้จะทำการแปลรหัสต้นฉบับให้กลายเป็น ภาษาเครื่องทั้งหมดก่อนเริ่มต้นทำงาน ส่งผลให้โปรแกรมขนาดใหญ่ที่เขียนขึ้นด้วยภาษาไพธอนจะทำงานได้ช้ากว่า (สุชาติ คุ้มมะณี, 2561) โดยใช้โปรแกรม Visual Studio Code ที่เป็นโปรแกรมประเภท Editor ใช้ในการแก้ไขโค้ดที่มีขนาดเล็ก แต่มีประสิทธิภาพสูง เป็น Opensource โปรแกรมจึงสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย สามารถนำมาใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีเครื่องมือและส่วนขยายต่าง ๆ ให้เลือกใช้มากมาย (ณัฐพล แสนคำ, 2563)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อารดา ไชยโคตร (2561) ได้ทำงานวิจัยในการสร้างตารางการผลิตสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีระบบการผลิตเป็นเครื่องจักรขนานจำนวน 32 เครื่อง ในการผลิตยางรถยนต์นั้นมีงานที่ต้องทำการผลิตต่อวันเฉลี่ย 7,000 เส้นต่อวัน และมีเงื่อนไขในการผลิตในเรื่องของลำดับ

งานจะมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยมีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมจากค่าแรงพนักงาน และค่าไฟฟ้าจากการดำเนินการผลิต ซึ่งการจัดตารางการผลิตนี้จะทำเป็นรายสัปดาห์ โดยเริ่มจากการได้รับปริมาณความต้องการยางรถยนต์แต่ละวันในสัปดาห์ถัดไปจากแผนการผลิตหลักแล้วนำมาสร้างตารางการผลิตรายวัน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP) ที่สร้างขึ้นจากพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน ร่วมกับโปรแกรม Opensolver และใช้ตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ซึ่งมีการกำหนดเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุด 1500 นาที ในการจัดตารางการผลิต จากนั้นได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบกับตารางการผลิตจริง 30 วันที่สร้างขึ้นโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผน พบว่าวิธีการ MILP สามารถลดต้นทุนรวมได้ 328,848 บาทต่อเดือน จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ต่อวันลดลงเฉลี่ย 3.3 เครื่องต่อวัน และเวลาที่ใช้ในการทำงานล่วงเวลาลดลงเฉลี่ย 6 ชั่วโมงต่อวัน

ทวีพร ขำดี (2554) ได้ทำงานวิจัยที่เป็นกาพัฒนาวิธีการจัดตารางการผลิตของกลุ่มงานให้กับเครื่องจักรแบบขนานที่มีประสิทธิภาพของเครื่องจักรแตกต่างกัน รวมถึงมีเงื่อนไขในเรื่องเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลำดับงานก่อนหน้าโดยมีเป้าหมายในการจัดตารางการผลิตให้มีเวลาปิดงานต่ำที่สุด และจำนวนงานสายน้อยที่สุด ซึ่งใช้เมตาฮิวริสติกนั่นคือใช้วิธีการค้นหาซ้ำด้วยวิธีทาบูในการจัดตารางการผลิต โดยงานวิจัยนี้ได้ออกแบบโครงสร้างเนเบอร์ฮูดและออกแบบรายการข้อจำกัดหลายรูปแบบที่ให้มีความสอดคล้องกับเป้าหมายของการจัดตารางการผลิต ผลการวิจัยพบว่าตารางการผลิตที่จัดด้วยวิธีการค้นหาแบบทาบูมีเวลาปิดงานและจำนวนงานสายลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดตารางการผลิตที่ใช้หลักการจัดลำดับงานเวลาการผลิตน้อยที่สุด (SPT) และหลักการกำหนดส่งมอบหลังสุด (EDD) จากงานวิจัยในอดีตพบว่าค่าเฉลี่ยของเวลาปิดงานลดลง 17.5 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนงานสายโดยเฉลี่ยลดลง 9 งาน

รัชฎาภรณ์ ศรีวิชัย และ มณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ (2561) ได้ทำงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการบริหารความเสี่ยงร่วมกับ Tabu Search เพื่อค้นหาเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุด และเหมาะสมที่สุด เพื่อให้พนักงานวางแผนในการจัดการขนส่งทำการตัดสินใจบริหารจัดการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำการจัดการความเสี่ยงเพื่อให้การจัดการขนส่งดำเนินการต่อไปได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ผลการประเมินคุณภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าระบบมีคุณภาพอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.38 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 และผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.41 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.52 ซึ่งอยู่ในระดับดี ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารการขนส่งสินค้า

กัญชลา สุดตาชาติ (2552) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน และมีเงื่อนไขเกี่ยวกับเวลาในการติดตั้งเครื่องจักรที่มีผลมาจากลำดับของงานรวมถึงข้อจำกัดของเครื่องจักรคือมีงานบางงานไม่สามารถผลิตบนเครื่องจักรบางเครื่องได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาในการผลิตของระบบมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งใช้รูปแบบของโปรแกรมกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming: ILP) ที่พัฒนาขึ้นมาจากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งในการจัดตารางการผลิต ซึ่งผลการทดลองพบว่าการใช้วิธีการ ILP นั้นสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น จากนั้นได้นำเสนอวิธีการฮิวริสติกสำหรับปัญหาขนาดใหญ่และมีผลการทดลองที่พบว่าฮิวริสติกที่ได้ออกแบบมานั้นมีประสิทธิภาพดี โดยมีค่าของคำตอบที่แตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ร้อยละ 7.6

ปริญญา กวีกิจบัณฑิต และ อรจิตร แจ่มแสง (2554) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม โดยเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานที่เหมือนกัน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการส่งมอบงานล่าช้า และเพื่อวัดประสิทธิภาพของเทคนิคเชิงพันธุกรรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น โดยการนำคำของคำตอบที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับวิธีการจัดตารางการผลิตในรูปแบบอื่น ได้แก่ วิธีจัดตารางการผลิตโดยใช้หลักการทำงานที่ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุดก่อน (SPT) วิธีจัดตารางการผลิตโดยหลักการทำงานที่ใช้เวลาทำงานมากที่สุดก่อน (LPT) และวิธีจัดตารางการผลิตโดยหลักการทำงานที่มีกำหนดส่งมอบงานที่เร็วที่สุดก่อน (EDD) และจากผลการทดลองพบว่าวิธีการของการใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมนั้นมีประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตที่ดีกว่าวิธีอื่น

วริยา วิสิทธิพานิช (2558) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาค่าเวลาการทำงานทั้งหมดที่ต่ำที่สุดในปัญหาการจัดตารางการผลิตตามสั่งแบบยืดหยุ่นโดยการปรับแต่งวิธีวิวัฒนาการผลต่าง โดยประยุกต์ใช้วิธีวิวัฒนาการผลต่างที่มีการปรับแต่งเพื่อหาค่าเวลาการทำงานทั้งหมดที่ต่ำที่สุดในปัญหาการจัดตารางการผลิต ตามสั่งแบบยืดหยุ่น ผลต่างวิธีที่หนึ่งเรียกว่าวิธีวิวัฒนาการผลต่างกับกลยุทธ์การแบ่งกลุ่มในวิธีนี้ประชากรจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มและประชากรแต่ละกลุ่มจะใช้กลยุทธ์ที่ต่างกันในการหาคำตอบ เพิ่มประสิทธิภาพการหาคำตอบโดยรวม วิธีที่สอง เรียกว่าวิธีวิวัฒนาการผลต่างกับกลยุทธ์ การสลับ วิธีนี้จะให้ประชากรทั้งหมดเปลี่ยนกลยุทธ์ในการหาคำตอบใหม่เมื่อพบว่าคำตอบที่ได้ไม่ดีขึ้น ทำให้โอกาสของการ ติดอยู่ที่จุดที่คล้ายกับจุดต่ำที่สุดลดลง จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพกับ ปัญหาตัวอย่างและเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบดั้งเดิม ผลการทดลองพบว่าวิธีวิวัฒนาการผลต่าง ที่มีการปรับแต่งทั้งสองวิธีนั้นสามารถหาคำตอบที่ดีเทียบเท่าหรือดีกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีวิวัฒนาการผลต่างแบบดั้งเดิม

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2556) ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้วิธีการวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1: กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ในการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบเย็บ โดยศึกษาและประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหา จะทำหน้าที่ในการสร้างเวคเตอร์เริ่มต้นด้วยการสุ่มจากจำนวนจริงและปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนค่า ในพิกัด วิธีการแลกเปลี่ยนพิกัด และการคัดเลือก จากผลการทดลองประยุกต์ใช้สูตรในขั้นตอน สามารถลดจำนวนสถานีงานได้จากสายงานการประกอบเย็บ มีประสิทธิภาพของสายงานการประกอบเย็บเพิ่มขึ้นและใช้เวลาประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และอัมภิกา บุญมี (2561) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การวางแผนเส้นทางการเยี่ยมชมจุดท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลา โดยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม: กรณีศึกษาเมืองจำลอง จังหวัดชลบุรี งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางเมตาฮิวริสติกที่เรียกว่าวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อช่วยในการวางแผนเพื่อให้ได้ เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ในการแก้ปัญหาที่มีการพิจารณาเชื่อมโยงในส่วนของจำนวนนักท่องเที่ยวที่แตกต่างกัน จำนวนจุด เที่ยวชมสูงสุด รวมถึงเงื่อนไขด้านเวลาในการเยี่ยมชมที่จำกัด นอกจากนี้ได้นำหลักการการเข้ารหัสแบบมาฮิวริสติกใช้เพื่อป้องกันการติดอยู่ในคำตอบเฉพาะถิ่นและเพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่าวิธีเชิงพันธุกรรมมีผลเฉลยที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีการหาเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และ ดีกว่าวิธีการค้นหาตามค่าที่ดีที่สุด

วิจิตรา กิจชัยนุกูล และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์ (2556) ได้ทำการวิจัยเรื่อง อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมสำหรับแบบจำลองการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง ในโรงงานตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง ต้องใช้เวลาในการค้นหา การสลับค่า คำตอบของลำดับงานรวมถึงเงื่อนไขของลำดับก่อนหลังของเครื่องจักรในแต่ละงาน เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม งานวิจัยนี้ได้เสนอการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมกับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่งของโรงงานผลิตตู้ปาเป้าอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดเวลาปิดงานของระบบ ซึ่งผลของการวิจัยพบว่าการจัดตารางการผลิตสามารถลดเวลาปิดงานของระบบจากวิธีเดิม 7,614 นาทีต่อ 80 ตู้ เป็น 2,005.8 นาทีต่อ 80 ตู้ ซึ่งลดลงถึง 5,608.2 นาทีต่อ 80 ตู้

ณรงค์ศักดิ์ บุญประเสริฐ และ เชฎฐา ชำนาญหล่อ (2561) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การจัดสมดุลสายการประกอบในการผลิตรถกึ่งพ่วงโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ที่ปรับตัวเองได้ โดยมีการประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติก คือ เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) ในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในกรณีศึกษานี้ มากกว่านั้น เจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้

(Adaptive genetic algorithms) ได้แก่ เจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติแบบหยาบ (GA with rough auto-tuning parameters) และเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์อัตโนมัติแบบละเอียด (GA with fine auto-tuning parameters) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเดียวกัน และเปรียบเทียบกับเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย ผลสรุปที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถใช้ในการจัดสมดุลได้อย่างเหมาะสม และเจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับพารามิเตอร์ อัตโนมัติแบบละเอียดเป็นวิธีที่มีประสิทธิผลดีที่สุด

อมรพงศ์ สงวนสินธุ์ และ จักรวาล คุณะดิลก (2557) ได้ทำงานวิจัยเรื่องการจัดสมดุลสายงานการประกอบรูปทรงตัวยู ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithm) ร่วมกับระบบมดแม็ก-มิน (Max-min ant system: MMAS) วิธีการที่นำเสนอนี้ GA ทำหน้าที่กำหนดจำนวนขั้นของงานที่เหมาะสมให้กับแต่ละสถานีงาน และ MMAS ทำหน้าที่ปรับละเอียดลำดับ ขั้นงานที่ ทำให้ค่าความแปรปรวนของภาระงานของสายงานการประกอบมีค่าน้อยที่สุด โดยสอดคล้องกับเงื่อนไขความสัมพันธ์ก่อน-หลังของขั้นงาน โดยมีเป้าหมายในการใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม คือ ค่าความแปรปรวนของภาระงาน จากนั้นทดสอบกับปัญหา UALB จำนวน 24 ปัญหาที่ได้จากการรวบรวมของ Scholl จากผลการทดสอบพบว่า วิธีการที่นำเสนอนี้สามารถลดค่าความแปรปรวนของภาระงานในทุกปัญหา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี COMSOAL และวิธีระบบมดแม็ก-มิน ร่วมกับเทคนิคแบบสุ่มมีค่าความแปรปรวนของภาระงานเฉลี่ยเท่ากับ 81.95% และ 73.16% ตามลำดับ

Iima (2005) ได้ทำการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานใหม่ที่มีหลายจุดประสงค์คือ เวลาล่าช้ารวมและความแตกต่างของตารางการผลิตก่อนการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงวันนัดหมาย โดยประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

Balin (2011) ได้ทำการจัดตารางการผลิตในเครื่องจักรขนานที่แตกต่างกันและกล่าวว่าปัญหา NP-hard ที่มีความยากในการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม จัดอยู่ในกลุ่มที่ต้องการมากที่สุด เพราะคำตอบที่ได้จาก GA สามารถให้คำตอบที่มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมและทำได้ง่ายในความเป็นจริง โดยได้มีการนำวิธี GA ไปทำการเปรียบเทียบกับวิธี LPT ในเรื่องของเวลาปิดงานน้อยที่สุด (Makespan) ซึ่งผลลัพธ์มีแนวโน้มที่ดีและในปัญหาขนาดใหญ่ก็ยังสามารถใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว

Ali Allahverdi (2015) ได้ทำการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาในการจัดตารางการผลิตที่มีเงื่อนไขการผลิตในด้านเวลาและต้นทุนในการตั้งค่าเครื่องจักร ในช่วงปี ค.ศ. 2006 ถึงปี ค.ศ. 2014 ซึ่งนับเป็นครั้งที่สามตั้งแต่ในอดีตที่ได้มีการสำรวจงานวิจัยประเภทนี้ โดยครั้งแรกได้มีสำรวจงานวิจัยในช่วง ค.ศ. 1960 ถึงปี ค.ศ. 1998 ถัดมาครั้งที่สองมีการสำรวจในช่วงปี ค.ศ. 1999

ถึงกลางปี ค.ศ. 2006 และในการสำรวจงานวิจัยครั้งที่สามนี้ได้มีการแบ่งหัวข้อในการสำรวจออกเป็นตามระบบการผลิตในแต่ละรูปแบบ ซึ่งสำหรับระบบการผลิตที่เป็นแบบเครื่องจักรขนานนั้นจากที่ได้มีการสำรวจพบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 82 งานวิจัย งานวิจัยส่วนใหญ่ประมาณ 60 งานวิจัยที่นิยมใช้วิธีเมตาฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนี้ โดยมีตัวอย่างงานวิจัย ดังตารางที่ 3 อีกทั้งบางงานวิจัยมีการใช้วิธีการอื่นในการจัดตารางการผลิต เช่น วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบกำหนดการเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต เป็นต้น รวมถึงในตารางที่ 4 ที่มีการสรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 3 ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการจัดตารางการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน

งานวิจัยที่	วิธีการที่ใช้	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	งานวิจัยที่	วิธีการที่ใช้	ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ
1	วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาล่าช้ารวม	11	วิธีการค้นหาแบบทาบู	เวลาปิดงาน
2	วิธีการค้นหาแบบกลุ่มอนุภาค	เวลาที่งานอยู่รวมแบบถ่วงน้ำหนัก, เวลาล่าช้ารวมแบบถ่วงน้ำหนัก	12	โปรแกรมจำนวนเต็มผสม, วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาปิดงาน
3	วิธีการค้นหาแบบอาณานิคมมด	เวลาปิดงาน	13	โปรแกรมจำนวนเต็มผสม, วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาปิดงาน
4	เมตาฮิวริสติก	เวลาปิดงาน	14	วิธีการค้นหาแบบทาบู	เวลาล่าช้ารวม
5	วิธีการค้นหาแบบอาณานิคมมด, การจำลองการอบอ่อน, การค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบผันแปร	เวลาปิดงาน	15	โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม, วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาปิดงาน, เวลาล่าช้ารวม
6	วิธีการค้นหาแบบอาณานิคมมด, การจำลองการอบอ่อน, การค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบผันแปร	เวลาสายรวม	16	วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบผันแปร	เวลาล่าช้ารวมแบบถ่วงน้ำหนัก
7	วิธีการค้นหาแบบอาณานิคมมด, การจำลองการอบอ่อน, การค้นหาคำตอบใกล้เคียงแบบผันแปร	เวลาปิดงาน, เวลาสายรวม	17	วิธีการค้นหาแบบทาบู, เมตาฮิวริสติก	จำนวนงานล่าช้าแบบถ่วงน้ำหนัก
8	วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาปิดงาน, เวลาล่าช้ารวม	18	วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบวนซ้ำ	เวลาปิดงาน
9	วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม, การจำลองการอบอ่อน , เมตาฮิวริสติก	เวลาปิดงาน	19	วิธีการค้นหาแบบทาบู, วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม	เวลาล่าช้ารวม
10	วิธีการจำลองการอบอ่อน	เวลาล่าช้ารวม	20	โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม, วิธีการค้นหาแบบทาบู	เวลาเสร็จงานรวมแบบถ่วงน้ำหนัก, จำนวนงานล่าช้าแบบถ่วงน้ำหนัก

ตารางที่ 4 ตารางสรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

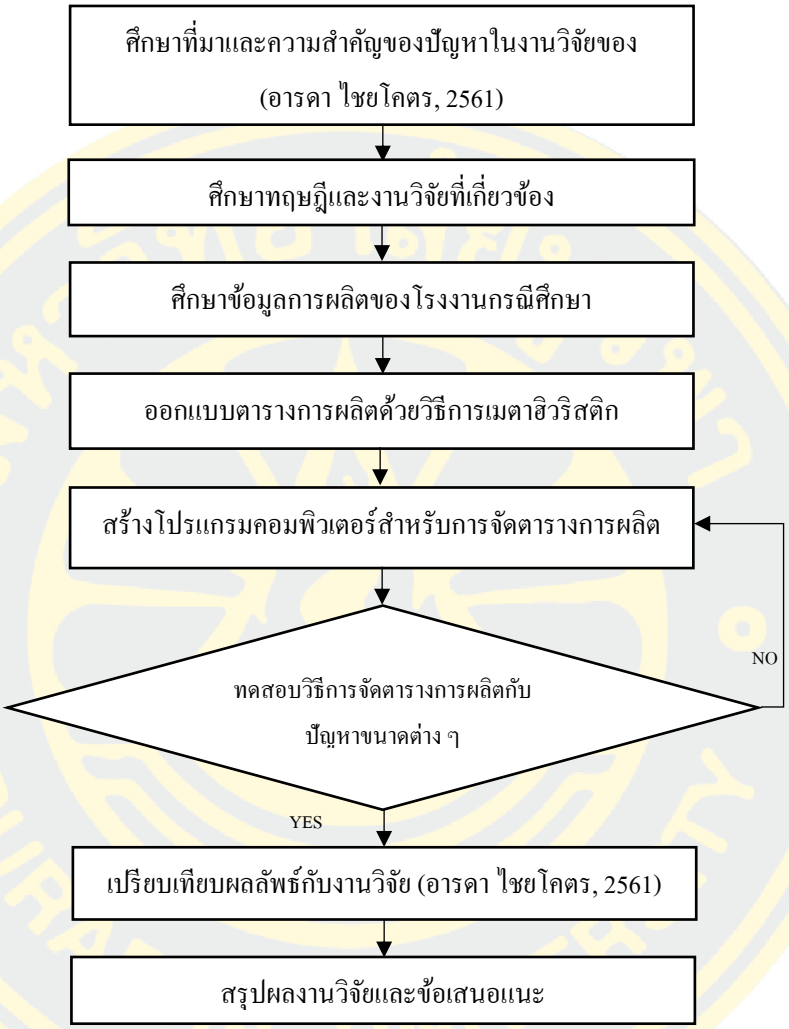
ทฤษฎี / งานวิจัย	ปัญหาการจัดตารางการผลิต	ระบบการผลิต (เครื่องจักรขนาน)	ลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร	วิธีการเมตาฮิวริสติก
กัญชลา, 2552	●	●	●	
กนกกาญจน์ และระพีพันธ์, 2556				●
ทวีพร, 2554	●	●	●	●
ณรงค์ศักดิ์ และเชฎฐา, 2561				●
ปริญญา และอรจิตร, 2554	●	●		●
รัชฎาภรณ์ และมณเฑียร, 2561				●
วิจิตรา และ วิชัย, 2556	●		●	●
วริยา, 2558	●			●
สุวิมล และคณะ, 2561				●
อมรพงศ์ และจักรวาล, 2557				●
อารดา, 2561	●	●	●	
Allahverdi, 2015	●	●	●	●
Balin, 2011	●	●		●
Iima, 2005	●	●		●

ดังนั้นจากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบการผลิตในแต่ละรูปแบบการจัดตารางการผลิต ที่มีการศึกษาลักษณะและข้อจำกัดของการจัดตารางการผลิต ตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิต วิธีการจัดตารางการผลิต รวมทั้งศึกษางานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกัน ซึ่งผู้วิจัยจะนำสิ่งที่ได้ทำการศึกษามาทั้งหมดในบทนี้ ไปทำการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เกิดประสิทธิภาพและผลลัพธ์ที่ดีต่อไป

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการหรือขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยในการประยุกต์ใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนาน ที่มีเป้าหมายหรือจุดประสงค์เพื่อให้ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ได้ใช้เป็นทางเลือกในการจัดตารางการผลิต โดยอาจจะเป็นการลดช่องว่างระหว่างผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเรื่องต้นทุนจากการดำเนินการผลิตกับขอบเขตล่างของผลลัพธ์ ซึ่งเป็นการพัฒนาคุณภาพของผลลัพธ์ หรือความเหมาะสมในด้านของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลลัพธ์ที่ส่งผลต่อเวลาในการวางแผนในการจัดตารางการผลิตเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีการอธิบายเกี่ยวกับข้อมูลของการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา และมีการแสดงผลลัพธ์ของงานวิจัยที่อ้างอิงจาก (อารดา ไชยโคตร, 2561) รวมถึงการออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตในงานวิจัย

ขั้นตอนกระบวนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากภาพที่ 6 ที่มีการแสดงถึงขั้นตอนกระบวนการทำงานวิจัยทั้งหมดตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นในการดำเนินงานจนถึงสรุปผลงานวิจัยโดยมีขั้นตอนทั้งหมดดังนี้

1. ศึกษาที่มาและความสำคัญของปัญหาจากงานวิจัยของ (อารดา ไชยโคตร, 2561) ในเรื่องการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ ที่มีการออกแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการผลิตแทนการอาศัยประสบการณ์ในการจัดตารางการผลิตของผู้วางแผน ซึ่งผลลัพธ์จากการวิจัยดังกล่าวยังมีช่องว่างในคุณภาพของคำตอบระหว่างผลลัพธ์ที่ดีที่สุดกับขอบเขตล่าง ผู้วิจัยจึง

ตัดสินใจทำงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตของระบบเครื่องจักรขนานด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก เพื่อเป็นทางเลือกในการจัดตารางการผลิตของกระบวนการดังกล่าว ที่ได้แสดงไว้ในบทนำ

2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับการจัดตารางการผลิต ระบบการผลิต เมตาฮิวริสติก รวมถึงทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตรวมถึงการใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 2 ของงานวิจัย

3. ศึกษาข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา โดยแสดงรายละเอียดของข้อมูลการผลิตทั้งหมดในกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาจากงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง

4. ออกแบบตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกที่ได้ทำการศึกษาเทคนิคการจัดตารางการผลิตมาในขั้นตอนที่ 2

5. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดตารางการผลิต ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามแนวทางของวิธีเมตาฮิวริสติกที่ได้ออกแบบไว้ในขั้นตอนก่อนหน้าในการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานที่มีข้อมูลการผลิตรวมถึงข้อจำกัดของการผลิตที่ได้ศึกษาในขั้นตอนที่ 3

6. ทดสอบวิธีการจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดต่าง ๆ โดยจะทำการทดสอบจัดตารางการผลิตด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้สร้างขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้าสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตขนาดเล็กจนถึงขนาดของปัญหาในโรงงานกรณีศึกษา

7. เปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยที่ทำการอ้างอิงของ (อารดา ไชยโคตร, 2561) ในขั้นตอนนี้จะทำการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการสร้างตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกกับผลลัพธ์จากงานวิจัยที่อ้างอิงซึ่งทำการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการออกแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมและวิธีการต่าง ๆ มาทำการเปรียบเทียบในด้านของคุณภาพของผลลัพธ์ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากการจัดตารางการผลิต

8. สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ ในขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยจะทำการสรุปผลจากการทำงานวิจัยในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกและจัดทำข้อเสนอแนะที่คาดว่าจะสามารถพัฒนางานวิจัยในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ข้อมูลสำหรับการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

ในสมัยก่อนที่จะมีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตของโรงงานกรณีศึกษานั้นจะใช้วิธีการแบบเดิมในการจัดตารางการผลิตคือ ผู้วางแผนจะทำการใช้ประสบการณ์ในการจัดตารางการผลิตด้วยตนเอง ซึ่งข้อมูลในการผลิตของโรงงานที่งานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) นี้

ได้ให้ความสนใจ คือ การจัดตารางการผลิตในกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ ที่มีรุ่นของผลิตภัณฑ์จำนวนประมาณ 200 รุ่น โดยแบ่งตามประเภทของขนาดของขอบยางได้ทั้งหมด 4 ขนาด คือ ขนาด 19, 20, 22 และ 24 นิ้ว ตามลำดับ โดยมีเครื่องจักรที่สามารถทำการผลิตในกระบวนการขึ้นรูปทั้งสิ้น 32 เครื่องโดยจะเป็นระบบการผลิตที่มีลักษณะเป็นเครื่องจักรแบบขนาน ซึ่งมีปริมาณงานที่ต้องผลิตต่อวันอยู่ที่ประมาณ 71 - 86 งาน และมีข้อจำกัดเพิ่มเติมของกระบวนการขึ้นรูปคือมีงานจำนวน 4 - 6 งานที่จะต้องใช้เวลาในการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งตลอดทั้งวันซึ่งถูกจัดให้เป็นงานกลุ่มที่ 1 และมีกระบวนการขึ้นรูปในยางบางขนาด คือ ในกระบวนการขึ้นรูปของยางประเภทขนาด 24 นิ้ว จะสามารถทำการผลิตบนเครื่องจักรเฉพาะ 3 เครื่องที่ถูกจัดให้เป็นงานกลุ่มที่ 2 ส่วนงานที่เหลือถูกจัดให้เป็นงานกลุ่มที่ 3 ที่สามารถผลิตบนเครื่องจักรใดก็ได้และข้อจำกัดเงื่อนไขในเรื่องของการตั้งค่าเครื่องจักรโดยเมื่อมีการเปลี่ยนรุ่นการผลิตบนเครื่องจักรนั้นจะต้องมีการตั้งค่าหรือปรับตั้งเครื่องจักรใหม่ โดยเวลาการตั้งค่าเครื่องจักรในการผลิตจะขึ้นอยู่กับรุ่นของผลิตภัณฑ์และขนาดของประเภทของยางที่ทำการผลิตก่อนหน้า ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

ปัญหา	เป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนาน (Parallel Machines Scheduling Problems) ที่มีเงื่อนไขในด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่า (Sequence-dependent Setup times)
การแบ่งงานในการจัดตารางการผลิต	กลุ่มที่ 1 งานที่จะต้องใช้เวลาในการผลิตบนเครื่องจักรหนึ่งตลอดทั้งวัน (งานที่ต้องผลิตในปริมาณมากกว่า 220 เส้นต่อวัน)
	กลุ่มที่ 2 งานที่มีขนาดของขอบยางเท่ากับ 24 นิ้ว (ใช้เครื่องจักรเฉพาะ 3 เครื่อง)
	กลุ่มที่ 3 งานที่เหลือจากกลุ่มที่ 1 และ 2 หรือ งานที่มีอิสระสามารถผลิตบนเครื่องจักรใดก็ได้

นั่นคือลำดับการผลิตของงานในกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ดังกล่าวนั้นจะส่งผลต่อเวลาในการตั้งค่าหรือปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งมีการกระจายตัวของความน่าจะเป็นในการตั้งค่าเครื่องจักรของทุกลำดับในการผลิต จะแบ่งออกเป็น 6 ช่วงเวลา คือ ระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 0 - 40 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้นร้อยละ 12, ระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 40 - 50 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้นร้อยละ 40, ระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 300 - 360 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้นร้อยละ 25, ระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 530 - 560 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้น

ร้อยละ 14, ระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 860 - 900 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้นร้อยละ 5 และระยะเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรในช่วง 1300 - 1400 นาที จะมีโอกาสเกิดขึ้นร้อยละ 4 อีกทั้งเครื่องจักรจะมีเวลาการผลิตในแต่ละเครื่องต่อวันต่ำกว่า 1,440 นาที (24 ชั่วโมง) เนื่องจากในการคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องจักรจะคิดที่ร้อยละ 87 หรือคิดเป็นประมาณ 1,200 นาที และโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าวได้มีการแบ่งกะทำงานใน 1 วัน ออกเป็นทั้งหมด 3 กะทำงาน โดยแต่ละกะทำงานจะมีชั่วโมงการทำงานปกติจำนวน 7 ชั่วโมง และการทำงานล่วงเวลา 1 ชั่วโมงต่อกะทำงาน โดยจะทำการคิดค่าแรงของพนักงานในการทำงานล่วงเวลาเป็น 1.5 เท่าของค่าแรงในการทำงานในช่วงเวลาปกติ ซึ่งค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องจักร 1 เครื่องต่อวัน (ช่วงเวลาทำงานปกติต่อวัน = 21 ชั่วโมง) มีค่าประมาณ 1,862.68 บาท และค่าแรงในช่วงการทำงานล่วงเวลามีค่าประมาณ 133.05 บาทต่อชั่วโมง ส่วนในเรื่องค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องจักรจะทำการคิดเฉพาะช่วงที่เครื่องจักรทำการผลิตรวมถึงช่วงที่มีการตั้งค่าของเครื่องจักร โดยจากอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อชั่วโมงจะคิดเป็น 0.4 เท่าของค่าแรงพนักงานที่ทำงานในช่วงเวลาปกติซึ่งมีค่าประมาณ 0.613 บาทต่อนาที ที่แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลสำหรับการจัดตารางการผลิต

ข้อมูลทั่วไป	ด้านเวลาในการตั้งเครื่องจักร		ด้านทรัพยากร		ด้านค่าใช้จ่าย	
	เวลาที่ใช้	โอกาสเกิดขึ้น	พนักงาน	เครื่องจักร	พนักงาน	ค่าไฟฟ้า
ปริมาณงานต่อวัน 71-86 งาน / เครื่องจักร 32 เครื่อง (แบบขนาน) และลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร	0 - 40 นาที	12 %	1 วัน = 3 กะทำงาน (1 กะ = 7 ชั่วโมง) สามารถมีการทำงาล่วงเวลา 1 ชั่วโมงต่อกะทำงาน	1 เครื่องคิดประสิทธิภาพในการผลิต 87 % จากเวลาการทำงาน 1 วัน	ช่วงเวลาปกติต่อเครื่องจักร 1,862.68 บาท และช่วงที่ล่วงเวลา 133.05 บาทต่อชั่วโมง	ประมาณ 0.6 บาทต่อนาที
	40 - 50 นาที	40 %				
	300 - 360 นาที	25 %				
	530 - 560 นาที	14 %				
	860 - 900 นาที	5 %				
	1300 - 1400 นาที	4 %				

จากข้อมูลข้างต้นของโรงงานกรณีศึกษาจะมีวิธีเดิมในการจัดตารางการผลิตโดยเริ่มจากการรับแผนการผลิตหลักที่มีการบ่งบอกถึงปริมาณการผลิตยางที่ต้องผลิตต่อวันล่วงหน้า 7 วัน แล้วผู้ที่ทำการวางแผนก็จะทำการตัดสินใจวางแผนในการจัดตารางการผลิต ว่างานใดหรือผลิตภัณฑ์ใดจะทำการผลิตบนเครื่องจักรใดโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผน และต่อมาได้มีการทำวิจัย

เกิดขึ้นเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตในโรงงานกรณีศึกษาดังกล่าว โดยใช้วิธีสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในเทคนิคของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed integer linear programming: MILP) ในการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานและลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรตามที่ได้กล่าวมา โดยมีแนวคิดการสร้างแบบจำลองมาจากปัญหาในการจัดเส้นทางรถรับส่งนักเรียน (School bus routing problem: SBRP) เป็นพื้นฐาน และมีเป้าหมายเพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตของกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์มีค่าต่ำที่สุด

ผลลัพธ์ของงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

จากผลการวิจัยในเรื่อง การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ ที่สร้างตารางการผลิตขึ้นจากการออกแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม และใช้โปรแกรม Opensolver ร่วมกับตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ของงานวิจัยดังกล่าวนั้น ได้มาทำการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการข้างต้นด้วยการสร้างตารางการผลิตสำหรับปัญหาขนาดเล็กทั้งสิ้น 15 ปัญหาโดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็กจากงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

ขนาดปัญหา	จำนวนปัญหา	ผลการทดสอบ
6 งาน 2 เครื่องจักร	4	ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมทุกปัญหาและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า 1 วินาที
12 - 13 งาน 6-8 เครื่องจักร	5	ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมทุกปัญหาและใช้เวลาในการประมวลผล 2-10 วินาที
14 - 16 งาน 2-7 เครื่องจักร	6	ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม 4 ปัญหาและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า 3-32 วินาที

จะเห็นว่าในการทดสอบปัญหาขนาดเล็กในการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี MILP นั้นสามารถพบผลลัพธ์ที่เหมาะสม 13 ปัญหาจาก 15 ปัญหาและมีผลลัพธ์ในเรื่องค่าใช้จ่ายรวมที่ต่างจากขอบเขตล่างเพียงร้อยละ 0.96 เมื่อกำหนดเวลาประมวลผลสูงสุด 1500 วินาทีที่ได้จากการทดสอบแล้วว่าเวลาในการประมวลผลดังกล่าวสามารถสร้างตารางการผลิตที่ดีและมีคุณภาพได้แล้วต่อมางานวิจัยที่ทำการอ้างอิงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพกับขนาดปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา

ในการจัดตารางการผลิตจำนวน 30 วัน ในการวัดประสิทธิภาพในกระบวนการนี้ได้มีการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมของตารางการผลิตที่ได้จัดขึ้นกับขอบเขตล่างของการจัดตารางการผลิตในงานกลุ่มที่ 3 และส่วนของ การเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตในวิธีการ MILP กับวิธีการเดิมที่ทางโรงงานกรณีศึกษาได้ใช้ โดยมีการเปรียบเทียบด้านต้นทุนการผลิตรวมในช่วงเวลาปกติ จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ เวลาตั้งค่าเครื่องจักร และค่าแรงในช่วงการทำงานล่วงเวลา

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในส่วนที่ 1 ที่มีการจัดตารางการผลิตในปริมาณงาน 61-73 งานต่อวัน และใช้เครื่องจักรในการดำเนินการผลิตจำนวน 25 - 27 เครื่อง พบว่าได้ค่าผลลัพธ์ในด้านค่าใช้จ่ายรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 57,188 บาทต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างที่มีค่าเฉลี่ย 53,611 บาทต่อวัน อยู่ร้อยละ 6.3 ที่ได้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพในแต่ละด้านจากงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

การทดสอบประสิทธิภาพ	คุณภาพผลลัพธ์ (บาท)		ต้นทุนรวม (บาท)		จำนวนเครื่องจักร		เวลาในที่ใช้การตั้งค่า (นาที)		จำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา	
วิธีการ	MILP	Lower bound	ดั้งเดิม	MILP	ดั้งเดิม	MILP	ดั้งเดิม	MILP	ดั้งเดิม	MILP
ผลลัพธ์	57,188	53,611	82,695	71,734	32	28.7	1,510.3	1,475.4	10.3	4.0
ความแตกต่าง	ร้อยละ 6.3		ลดลงร้อยละ 13.3		ลดลงร้อยละ 10.3		ลดลงร้อยละ 2.3		ลดลงร้อยละ 61	

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในส่วนที่ 2 ที่มีการเปรียบเทียบการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการดั้งเดิมของโรงงานกรณีศึกษากับวิธีการที่ใช้ MILP โดยจะมีการเปรียบเทียบในด้านต้นทุนการผลิตรวมในช่วงเวลาปกติ ซึ่งในวิธีการดั้งเดิมที่ใช้จัดตารางการผลิตจะมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 82,695 บาทต่อวัน แต่ในการใช้วิธี MILP พบว่ามีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 71,734 บาทต่อวัน ซึ่งมีการลดลงของต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 10,962 บาทต่อวันหรือมีการลดลงคิดเป็นร้อยละ 13.3 และในด้านของจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตต่อวันจากวิธีการดั้งเดิมที่มีการใช้เครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 32 เครื่อง แต่ในวิธีของ MILP พบว่ามีการใช้เครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 28.7 เครื่อง ซึ่งมีการลดลงของจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ต่อวันเฉลี่ย 3.3 เครื่องหรือคิดเป็นร้อยละ 10.3 ส่วนในด้านของเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรต่อวันจากวิธีการดั้งเดิมที่มีการใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 1,510.3 นาที แต่ในวิธีการของ MILP พบว่าเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรเฉลี่ยอยู่ที่ 1,475.4 นาที ซึ่งมีการลดลงของ

เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรต่อวันเฉลี่ย 34.9 นาทีหรือคิดเป็นร้อยละ 2.3 และในด้านสุดท้ายที่มีการเปรียบเทียบคือจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาต่อวันจากวิธีการดั้งเดิมที่มีการทำงานล่วงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 10.3 ชั่วโมง แต่ในวิธีการของ MILP พบว่ามีการทำงานล่วงเวลาเฉลี่ยอยู่ที่ 4.0 ชั่วโมง ซึ่งมีการลดลงของจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาต่อวันเฉลี่ย 6.3 ชั่วโมงหรือคิดเป็นร้อยละ 61 ซึ่งผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามการใช้งานในแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ เวลาที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักร และจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา

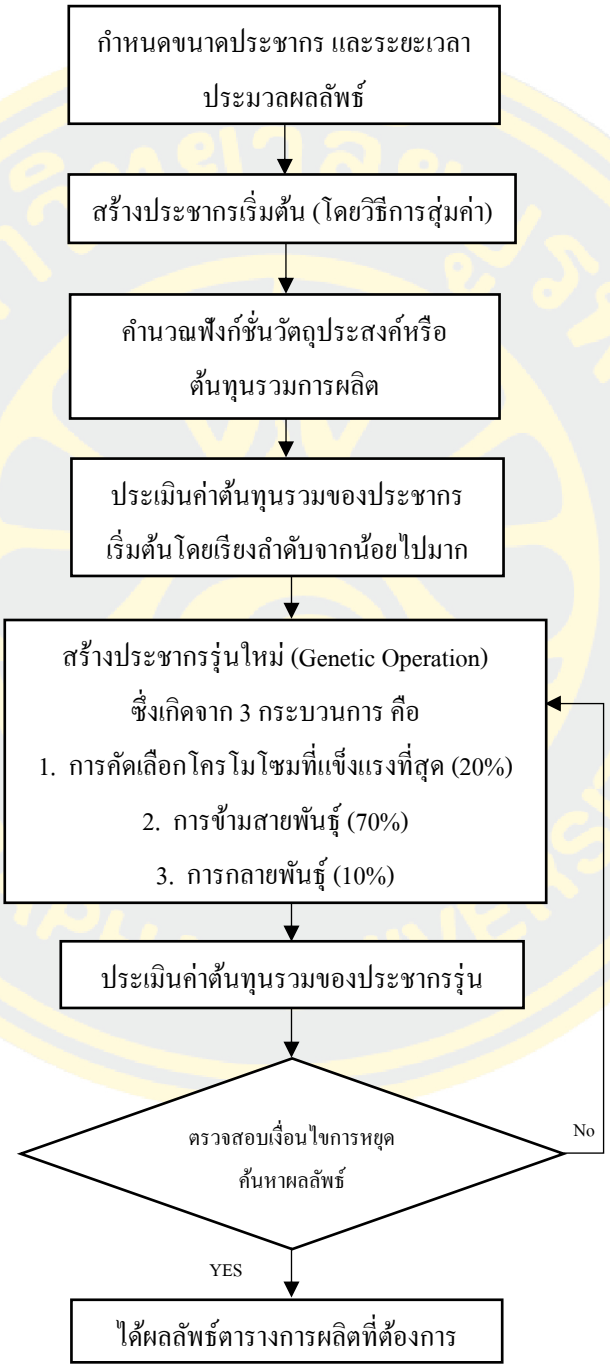
การออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิต

ในการออกแบบตารางการผลิตในงานวิจัยนี้จะเสนอวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน และมีเงื่อนไขในเรื่องของลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Fitness function) คือ ต้นทุนรวมในการผลิต ที่เกิดจากการดำเนินการผลิตที่ได้จากการจัดตารางการผลิต ซึ่งจะมีโครโมโซม (ตารางการผลิต) ที่ประกอบไปด้วยยีน ซึ่งภายในยีนมีส่วนประกอบได้แก่ เครื่องจักร และ ลำดับงาน ที่จะบ่งบอกถึงงาน แต่ละงานจะทำการผลิตบนเครื่องจักรใดและมีลำดับการผลิตที่เท่าไร การจัดตารางการผลิตในงานวิจัยนี้มีตัวแปรและดัชนี ดังตารางที่ 9 และขั้นตอนการออกแบบตารางการผลิต ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 9 ตัวแปรและความหมายสำหรับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ตัวแปร	ความหมาย
i, j	ดัชนีของงาน
k	ดัชนีของเครื่องจักร
J_i	งานที่ i เมื่อ i = {1, 2, 3, …}
M_k	เครื่องจักรที่ k เมื่อ k = {1, 2, 3, …}
P_i	เวลาการผลิตของงาน i (นาที)
S_{ij}	เวลาการตั้งค่าเครื่องจักรเมื่อทำการผลิตงาน j ต่อจากงาน i (นาที)
C_k	เวลาการผลิตรวมของเครื่องจักร k (นาที)
T_{max}	เวลาการผลิตสูงสุดในแต่ละเครื่องจักร (นาที)
NT	เวลาการทำงานในช่วงเวลาปกติ (นาที)
OT_k	จำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาของเครื่องจักร k (ชั่วโมง)
E	อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร (บาทต่อนาที)
L	หมายถึงอัตราค่าแรงของพนักงานในช่วงเวลาปกติ (บาทต่อเครื่องต่อวัน)
L_o	หมายถึงอัตราค่าแรงของพนักงานในช่วงล่วงเวลา (บาทต่อชั่วโมง)

โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในตัวแปรข้างต้นจะทำการอ้างอิงจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) โดยมีขั้นตอนการออกแบบตารางการผลิต ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนผังขั้นตอนการออกแบบตารางการผลิต

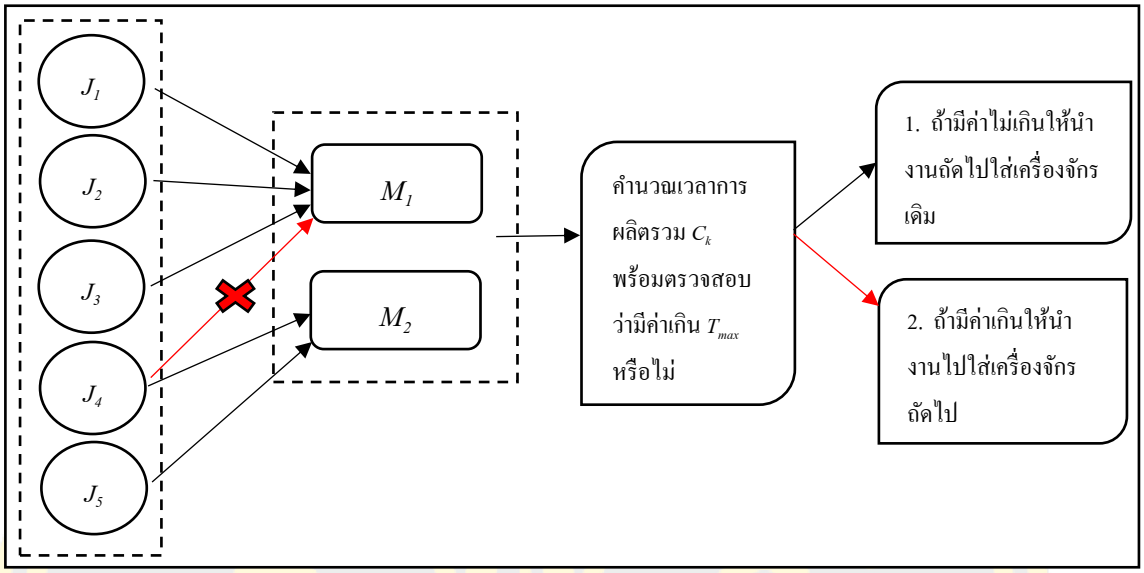
ขั้นตอนการจัดตารางการผลิต

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขนาดของประชากร (PZ) และระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุด (Run time)

ขั้นตอนที่ 2 สร้างประชากรเริ่มต้นโดยการทำ Chromosome encoding คือ การออกแบบสำหรับการเข้ารหัสของแต่ละยีนในโครโมโซม ในงานวิจัยนี้ใช้ Random key encoding ซึ่งเป็นการเข้ารหัสด้วยการดำเนินการจำลองตัวเลขแบบสุ่มให้กับแต่ละยีน โดยการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม [0,1] ซึ่งในชุดของยีน 1 ยีนจะประกอบไปด้วยเครื่องจักรที่ได้ทำการผลิตและลำดับการผลิตของงานในเครื่องจักรนั้น ที่มีเลขสุ่มประจำชุดของแต่ละยีนในโครโมโซม โดยขั้นตอนการทำ Random key encoding ทำได้ดังนี้

2.1 ทำการแบ่งสัดส่วนตัวเลขแบบสุ่มขึ้นเป็นช่วงของตัวเลขประจำเครื่องจักรตั้งแต่ [0,1] เช่น ตัวอย่างของปัญหาขนาดเล็กในภาพที่ 9 ซึ่งมีเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตจำนวน 2 เครื่อง จึงทำให้ในการแบ่งสัดส่วนของเครื่องจักร คือ ถ้าเลขสุ่มในด้านของเครื่องจักร (Random key machine) อยู่ในช่วง [0,0.5] จะทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 1 แต่ถ้าเลขสุ่มอยู่ในช่วง (0.5,1] จะทำการผลิตบนเครื่องจักรที่ 2

2.2 เริ่มใส่งานลงเครื่องจักรตั้งแต่งานแรกจนกระทั่งงานสุดท้าย โดยเรียงลำดับหมายเลขของเครื่องจักร เช่นกัน โดยจะต้องไม่ลืมว่าในการนำงานลงเครื่องจักรแต่ละเครื่องสำหรับการจัดตารางการผลิตในแต่ละครั้งนั้น จะมีงานสุดท้ายที่ทำการผลิตในเครื่องจักรแต่ละเครื่องในการผลิตครั้งก่อน หรือเรียกได้ว่าเป็นงานก่อนหน้าที่มีการตั้งค่าไว้อยู่ก่อนแล้ว ซึ่งการจัดตารางการผลิตครั้งใหม่ถ้างานที่ทำการผลิตในลำดับแรกถ้าไม่ใช่งานเดิมที่มีการตั้งค่าเครื่องจักรไว้ ทำให้ต้องมีการ ตั้งค่าเครื่องจักรก่อนเริ่มทำการผลิต ซึ่งการจัดตารางการผลิตนั้นมีเงื่อนไขว่าในเครื่องจักร 1 เครื่องจะต้องทำการใส่งานแล้วคำนวณเวลาการผลิตรวม ที่เกิดจากเวลาในการผลิตของงานแต่ละงานและเวลาที่ใช้ในการตั้งค่าเมื่อมีการเปลี่ยนงาน ซึ่งใน 1 เครื่องจักรไม่ให้มี C_k เกินเวลาการผลิตสูงสุด (T_{max}) ดังภาพที่ 8 ที่มีการคำนวณตามสมการที่ (3-1) และ (3-2)

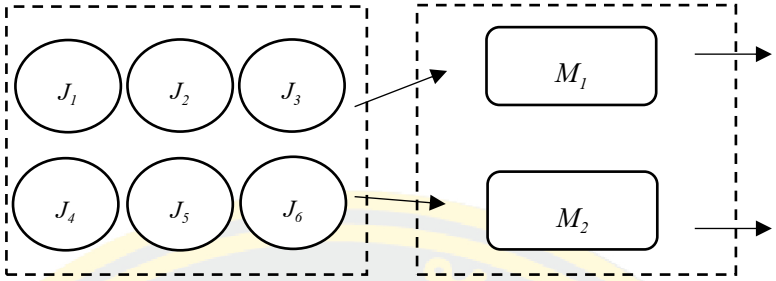


ภาพที่ 8 การนำงานใส่เครื่องจักรของประชากรเริ่มต้น

$$\sum_{i,j\in J} S_{ij} + \sum_{i\in J} P_i = C_k \quad (3\text{-}1)$$

$$C_k \leq T_{max} \quad (3\text{-}2)$$

จากสมการที่ (3-1) เป็นการคำนวณเวลาการผลิตรวมของแต่ละเครื่องจักรที่เกิดจากผลรวมในด้านเวลาการตั้งค่าเครื่องจักรแต่ละครั้งที่มีการเปลี่ยนงานในพจน์แรก กับ เวลาในการผลิตของแต่ละงานในพจน์ที่สอง และสมการที่ (3-2) เป็นการตรวจสอบเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องไม่เกินค่าของเวลาในการผลิตสูงสุด โดยจากภาพที่ 8 ถ้าทำการใส่งานใดลงเครื่องแล้วคำนวณเวลาการผลิตรวมเกินค่า T_{max} จึงจะอนุญาตให้นำงานนั้นไปทำการผลิตบนเครื่องจักรถัดไป ทำเช่นนี้ไปจนกระทั่งครบจำนวนงานที่ต้องผลิตทั้งหมด ปัญหาในภาพที่ 9 สามารถสร้างโครโมโซมตัวเลขแบบสุ่มให้กับแต่ละงาน ดังตารางที่ 10 ที่เป็นตัวอย่างโครโมโซมตัวเลขแบบสุ่ม 1 โครโมโซม



ภาพที่ 9 ระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่เป็นปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ 10 โครโมโซมตัวเลขแบบสุ่ม 1 โครโมโซม

งานที่	1	2	3	4	5	6
Random key (Machine)	0.4000	0.4000	0.4000	0.8000	0.8000	0.8000
Random key (Sequence)	0.5449	0.3759	0.6503	0.4075	0.0252	0.1728

ขั้นตอนที่ 3 ทำการหาค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (ต้นทุนการผลิต) จากโครโมโซมหนึ่ง (Decoding) สามารถทำได้ดังนี้

3.1 นำค่า Random key machine และ Random key sequence ที่ได้จากโครโมโซมมาจัดเป็นตารางการผลิต จากตารางที่ 10 จะได้ตารางการผลิตในเครื่องจักรที่ 1 ที่มี Random key machine [0,0.5) และเรียงลำดับการผลิตโดยค่า Random key sequence จากน้อยไปมาก คือ ทำการผลิตงานที่ 2, 1 และ 3 ตามลำดับ เงื่อนไขการผลิตก่อน - หลัง ส่วนเครื่องที่ 2 มี Random key machine [0.5,1] ทำการผลิต งานที่ 5, 6 และ 4 ตามลำดับ ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การจัดตารางการผลิตของแต่ละเครื่องจักรด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม

เครื่องจักร	**ผลิตงานที่**		
1	2	1	3
2	5	6	4

3.2 ทำการคำนวณต้นทุนการผลิตซึ่งเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ตามสมการ (3-3)

$$Production\ Cost = E\sum_{k\in K}(C_k) + (L \times N_m) + L_o\sum_{k\in K}(OT_k) \qquad (3\text{-}3)$$

โดยการคำนวณในสมการที่ (3-3) เป็นการคำนวณหาค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์หรือต้นทุนรวมเกิดจากผลรวมของค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่คำนวณจากเวลาการใช้งานเครื่องจักรทั้งหมดคูณกับอัตราค่าไฟฟ้า ในพจน์แรก กับค่าแรงพนักงานในช่วงเวลาการทำงานปกติที่คำนวณจากการนำอัตราค่าแรงพนักงานในช่วงเวลาปกติต่อเครื่องคูณกับจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ทั้งหมด เนื่องจากมีเงื่อนไขว่าถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรใดแล้วจะต้องมีพนักงานประจำเครื่องจักรตลอดช่วงเวลา ในพจน์ที่สอง รวมถึงค่าแรงพนักงานในช่วงเวลาการทำงานล่วงเวลาที่คำนวณจากจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาทั้งหมดคูณกับอัตราค่าแรงพนักงานในช่วงการทำงานล่วงเวลา ในพจน์ที่สาม ซึ่งถ้าเครื่องจักรใดมีเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรไม่เกินเวลาการทำงานในช่วงเวลาปกติ ($C_k \leq NT$) ก็จะไม่มีการคิดค่าแรงในช่วงการทำงานล่วงเวลา แต่ถ้าเครื่องจักรใดมีเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรเกินเวลาการทำงานในช่วงเวลาปกติ ($C_k > NT$) ก็จะต้องคิดค่าแรงในช่วงล่วงเวลาตามสมการที่ (3-4) โดยจะต้องปัดเศษขึ้นให้เป็นจำนวนเต็มของชั่วโมง

$$OT_k = \frac{C_k - NT}{60} \qquad (3\text{-}4)$$

จากสมการที่ (3-4) เป็นการคำนวณจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่เกิดจากการนำเอาผลต่างระหว่างเวลาการผลิตรวมของเครื่องจักรที่มีหน่วยเป็นนาที กับเวลาการทำงานในช่วงเวลาปกติหน่วยนาที จากนั้นนำมาหารด้วย 60 นาที เพื่อทำให้การทำงานล่วงเวลามีหน่วยเป็นชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสร้างตารางการผลิตพร้อมหาค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 ให้ครบตามขนาดของประชากรตามที่กำหนดไว้ แล้วทำการประเมินฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ได้จากการค้นหาคำตอบโดยเรียงลำดับโครโมโซมที่ดีที่สุดไปแย่ที่สุด (งานวิจัยนี้เรียงต้นทุนการผลิตรวมจากน้อยไปมาก)

ขั้นตอนที่ 5 สร้างประชากรชุดใหม่หรือการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นถัดไป ซึ่งการดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังประชากรชุดถัดไป ซึ่งเกิดจาก 3 กระบวนการคือ กระบวนการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดจากประชากรชุดเดิม (Reproduction) กระบวนการทำการข้ามสายพันธุ์

(Crossover) และกระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการสร้างประชากรรุ่นถัดไปนี้ มีการใช้ค่าของพารามิเตอร์ที่อ้างอิงจากงานวิจัย (อมรพงศ์ สงวนสินธุ์ และ จักรวาล คุณะดิลก, 2557) และที่ได้จากการทดลองของงานวิจัยนี้เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ได้อย่างเหมาะสม ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

พารามิเตอร์	**ค่าที่กำหนด**
Reproduction	0.2
Crossover	0.7
Mutation	0.1
Population size	จากการทดลอง
Run time	จากการทดลอง

วิธีการ Reproduction ในงานวิจัยนี้ได้เลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดร้อยละ 20 ของขนาดประชากรไปเป็นประชากรในชุดถัดไปหรือเป็นการนำตารางการผลิตที่ให้ผลลัพธ์ด้านต้นทุนที่น้อยที่สุดจากประชากรชุดเดิมไปเป็นประชากรชุดใหม่

วิธีการ Crossover ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างโครโมโซมร้อยละ 70 ของขนาดประชากร ซึ่งในแต่ละครั้งในการทำ Crossover ใช้วิธีพาราเมตริกซ์ยูนิฟอร์มครอสโอเวอรส์ โดยมีการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อและแม่เพื่อสร้างโครโมโซมลูกจำนวน 2 โครโมโซม แล้วทำการหาผลลัพธ์ตามขั้นตอนที่ 3 จากนั้นเลือกโครโมโซมลูกที่ดีที่สุดไปเป็นประชากรชุดใหม่ การสร้างโครโมโซมลูกสามารถสรุปวิธีการสร้างโครโมโซมลูกได้ดังตารางที่ 13 โดยจะพิจารณาจากค่าตัวเลขแบบสุ่มเพื่อใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการสร้างโครโมโซมลูก ดังนี้

การสร้างลูก 1 พิจารณาว่าถ้าเลขที่ได้จากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 0.7 ใช้ยีนที่มาจากโครโมโซมพ่อ แต่ถ้าเลขสุ่มมีค่ามากกว่า 0.7 ใช้ยีนที่มาจากโครโมโซมแม่

การสร้างลูก 2 พิจารณาว่าถ้าเลขที่ได้จากการแจกแจงแบบยูนิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 0.7 ใช้ยีนที่มาจากโครโมโซมแม่ แต่ถ้าเลขสุ่มมีค่ามากกว่า 0.7 ใช้ยีนที่มาจากโครโมโซมพ่อ

ตารางที่ 13 การสร้างโครโมโซมลูก 1 และ 2

งานที่	1	2	3	4	5	6
Random number	0.7043	0.5082	0.6925	0.9888	0.2963	0.4166
พ่อ	0.4000	0.4000	0.4000	0.8000	0.8000	0.8000
	0.5449	0.3759	0.6503	0.4075	0.0252	0.1728
แม่	0.3000	0.3000	0.3000	0.7000	0.7000	0.7000
	0.4704	0.8184	0.1388	0.3706	0.4361	0.8247
ลูก 1	0.3000	0.4000	0.4000	0.7000	0.8000	0.8000
	0.4704	0.3759	0.6503	0.3706	0.0252	0.1728
ลูก 2	0.4000	0.3000	0.3000	0.8000	0.7000	0.7000
	0.5449	0.8184	0.1388	0.4075	0.4361	0.8247

วิธีการ Mutation ทำการสุ่มโครโมโซมร้อยละ 10 ของขนาดประชากร จากนั้นทำการ Mutation โดยการสุ่มจำนวนยีนมาร้อยละ 50 ของโครโมโซม แล้วทำการเปลี่ยนตัวเลขสุ่มของยีนต่าง ๆ ที่ถูกเลือก ตัวอย่างในการทำ Mutation จากโครโมโซมตัวเลขแบบสุ่มในตารางที่ 10 ที่มียีน 6 ยีน แสดงว่าต้องมีการสุ่มจำนวนยีน 3 ยีน เพื่อทำการเปลี่ยนตัวเลขสุ่ม ดังตารางที่ 14 พร้อมทำการหาผลลัพธ์หรือค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ตามขั้นตอนที่ 3

ตารางที่ 14 การเปลี่ยนตัวเลขแบบสุ่มในวิธีการกลายพันธุ์

งานที่	1	2	3	4	5	6
Random key (Machine)	0.4000	0.7852	0.4000	0.8000	0.3205	0.0821
Random key (Sequence)	0.5449	0.4833	0.6503	0.4075	0.9082	0.1028

ขั้นตอนที่ 6 ทำการประเมินค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของประชากรชุดใหม่

ขั้นตอนที่ 7 ทำการตรวจสอบเงื่อนไขในการหยุดการค้นหาคำตอบ (Run time) ถ้ายังไม่ถึงเงื่อนไขการหยุดค้นหาผลลัพธ์ จะทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 - 7 จนกระทั่งถึงเงื่อนไขของการหยุดค้นหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 8 นำโครโมโซมหรือตารางการผลิตที่มีค่าของต้นทุนรวมดีที่สุด (ต่ำที่สุด) ไปใช้เป็นผลลัพธ์ของการหาคำตอบ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแล้ว ผู้วิจัยจะทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามวิธีการที่ได้ออกแบบไว้ข้างต้น รวมถึงทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทดสอบประสิทธิภาพของตารางการผลิตกับปัญหาการจัดตารางการผลิตขนาดต่าง ๆ ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง จากนั้นจึงทำการสรุปผลและข้อเสนอแนะงานวิจัย ตามขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยต่อไป

บทที่ 4
ผลการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัยในปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่า ด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) ที่เป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในการทำให้ต้นทุนที่เกิดจากการดำเนินการผลิตให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสม และเพื่อเป็นวิธีการทางเลือกในการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น ซึ่งในบทนี้มีการแบ่งหัวข้อออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดตารางการผลิตที่มีการแสดงถึงวิธีการค้นหาผลลัพธ์ตามขั้นตอนที่มีการออกแบบการจัดตารางการผลิตไว้ในบทก่อนหน้า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรและระยะเวลาประมวลผลลัพธ์เพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาดังกล่าวและสามารถนำไปใช้งานได้ในสถานการณ์จริง ผลการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก และผลการทดสอบสำหรับปัญหาจริงของโรงงานกรณีศึกษาพร้อมกับเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการผลิตของวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการต่าง ๆ ของงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) เพื่อนำผลการวิจัยมาทำการสรุปและทำการระบุข้อเสนอแนะของงานวิจัยต่อไป

วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมสำหรับการจัดตารางการผลิต

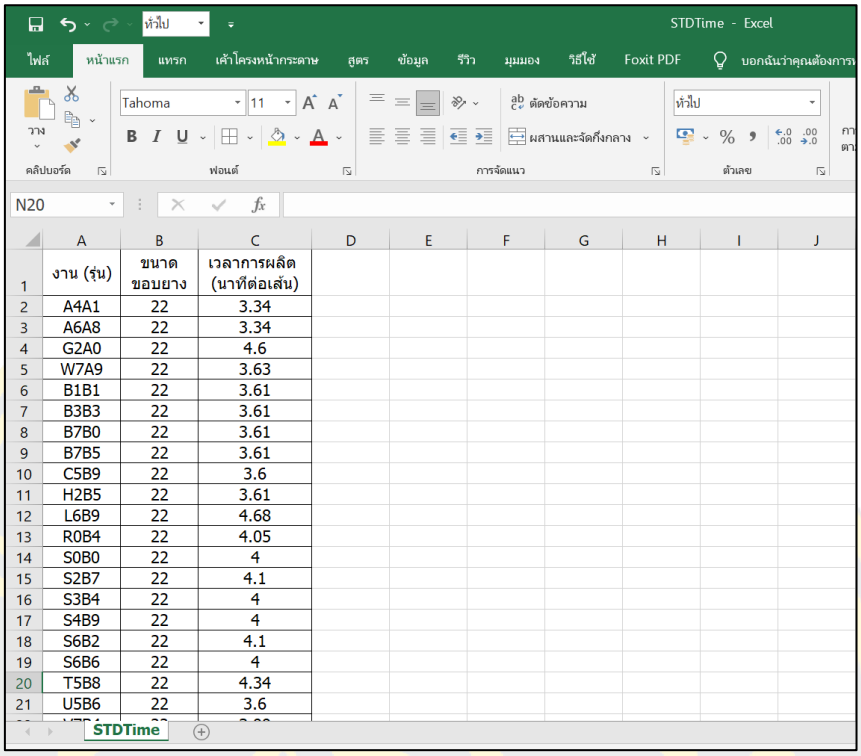
การแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตของระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าเครื่องจักร ที่มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกและคำนวณต้นทุนรวมในการดำเนินการผลิตให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสม รวมถึงเป็นการเพิ่มทางเลือกสำหรับวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนานโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น จากในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้มีการออกแบบขั้นตอนการสร้างตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมแล้ว จากนั้นผู้วิจัยได้มีการดำเนินการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพธอนตามวิธีการขั้นตอนในการสร้างตารางการผลิตที่ได้ออกแบบไว้ และได้ใช้โปรแกรม Visual Studio Code ในการสร้างโปรแกรมและทดสอบผลลัพธ์หรือค้นหาคำตอบ โดยดำเนินการบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ i5-1035G1 CPU @ 1.00GHz และ RAM 8.0 GB โดยรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตในเรื่องของ เวลามาตรฐานในการผลิตของงาน เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร

ประสิทธิภาพของเครื่องจักร เวลาการผลิตสูงสุดของเครื่องจักรต่อวัน ชั่วโมงการทำงานช่วงปกติ และล่วงเวลาของพนักงาน รวมถึงการคำนวณต้นทุนในการดำเนินการผลิตที่เกิดจากอัตรา ค่าแรงงานและค่าไฟฟ้า อีกทั้งในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่สร้างขึ้นด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบนั้น จะทำการตรวจสอบจากการค้นหาผลลัพธ์สำหรับปัญหาขนาดเล็ก โดยการตรวจสอบผลลัพธ์ในด้านของต้นทุนการผลิตที่ได้จากงานวิจัยนี้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง ซึ่งถ้ามีคำตอบที่ตรงกันทั้งหมดในทุกปัญหาที่ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimal solution) ส่งผลให้พิสูจน์ได้ว่าการจัดตารางการผลิตด้วยโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้งานได้ในสถานการณ์จริง ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้ทำการอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561)

วิธีการค้นหาผลลัพธ์สำหรับการจัดตารางการผลิต

ทำการค้นหาผลลัพธ์ตารางการผลิตรวมถึงการคำนวณต้นทุนในการดำเนินการผลิตผ่านโปรแกรม Visual Studio Code ที่สร้างขึ้นตามขั้นตอนที่ได้มีการออกแบบไว้ด้วยภาษาไพธอน โดยการใช้งานโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่สร้างขึ้นต้องทำการนำเข้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทั้งหมด ซึ่งเป็นไฟล์ที่ได้จากการสร้างขึ้นผ่านโปรแกรม Microsoft excel (.csv) ทั้งหมด 4 ไฟล์ ดังนี้

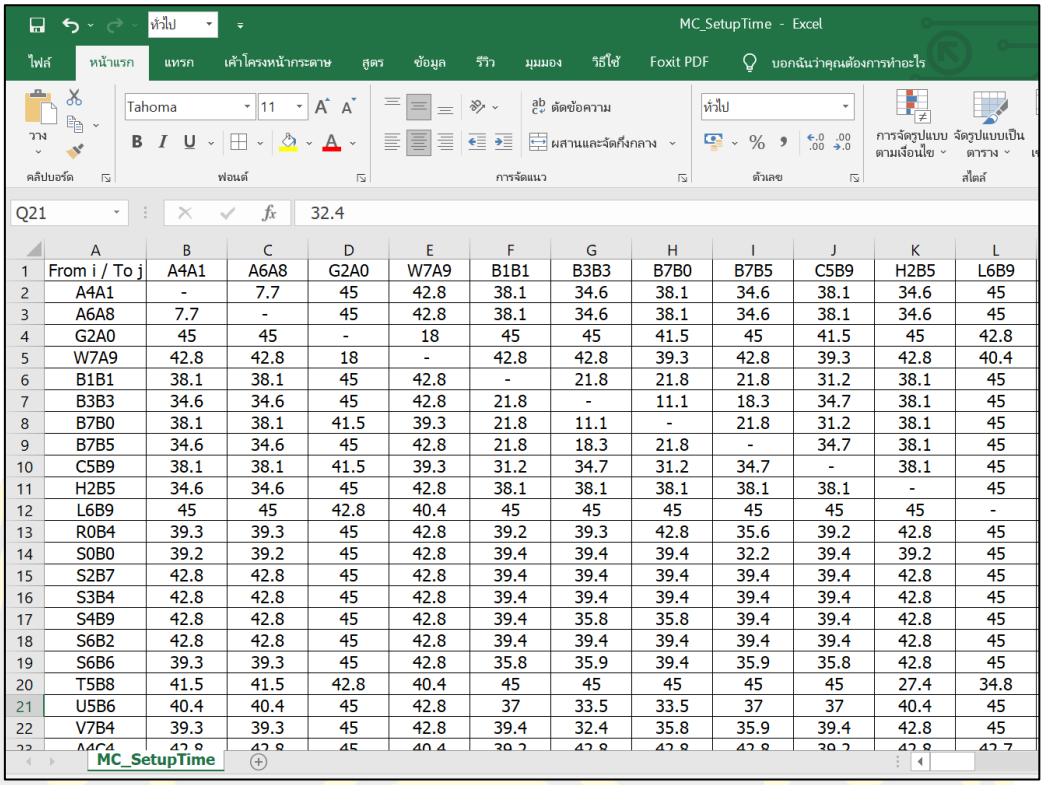
1. ไฟล์ STDTime ที่แสดงข้อมูลเกี่ยวข้องกับชื่อรุ่นของงาน (ยาง) ขนาดของงาน (ยาง) ที่มีการแบ่งขนาดของขอบยางออกเป็น 4 ขนาดคือ 19, 20, 22 และ 24 หน่วยเป็นนิ้ว และเวลามาตรฐานในการผลิตของงานแต่ละรุ่นที่มีหน่วยเป็นนาทีต่อเส้น ดังภาพที่ 10



	A	B	C
1	งาน (รุ่น)	ขนาดขอบยาง	เวลาการผลิต (นาทีต่อเส้น)
2	A4A1	22	3.34
3	A6A8	22	3.34
4	G2A0	22	4.6
5	W7A9	22	3.63
6	B1B1	22	3.61
7	B3B3	22	3.61
8	B7B0	22	3.61
9	B7B5	22	3.61
10	C5B9	22	3.6
11	H2B5	22	3.61
12	L6B9	22	4.68
13	R0B4	22	4.05
14	S0B0	22	4
15	S2B7	22	4.1
16	S3B4	22	4
17	S4B9	22	4
18	S6B2	22	4.1
19	S6B6	22	4
20	T5B8	22	4.34
21	U5B6	22	3.6

ภาพที่ 10 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับงาน ขนาดของงาน และเวลามาตรฐานการผลิต

2. ไฟล์ MC_SetupTime ที่แสดงข้อมูลเกี่ยวข้องกับเวลามาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรของงาน j เมื่องาน i ทำก่อนงาน j มีหน่วยเป็นนาทีต่อครั้ง ซึ่งเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรจะใช้เวลามากหากเป็นการเปลี่ยนงานจากงาน i ไปงาน j ที่มีขนาดของยางที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 11



MC_SetupTime - Excel

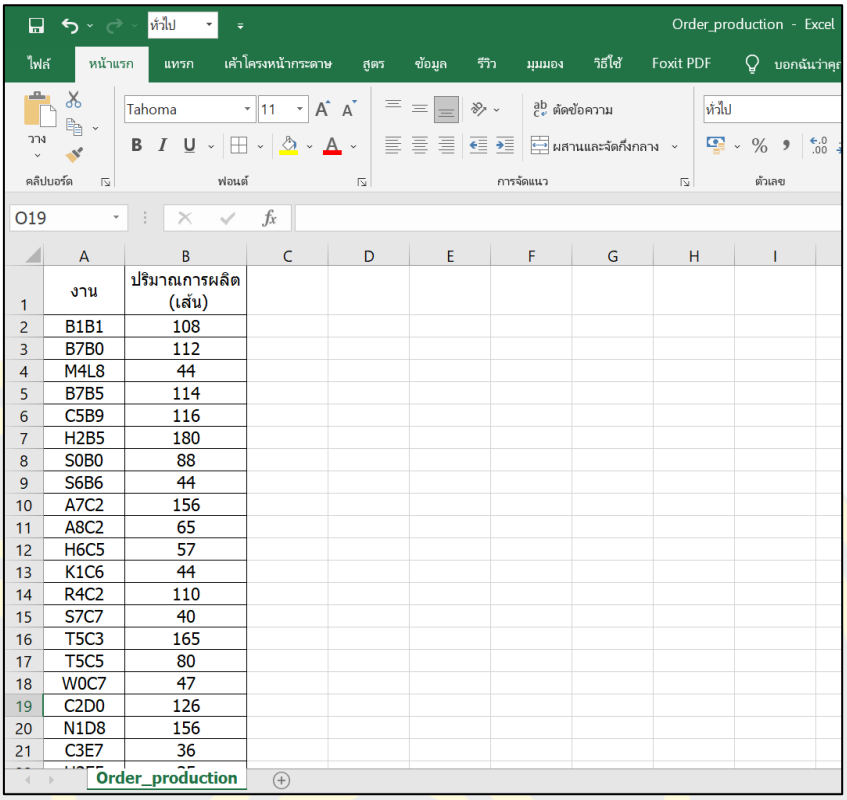
Q21 | 32.4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	From i / To j	A4A1	A6A8	G2A0	W7A9	B1B1	B3B3	B7B0	B7B5	C5B9	H2B5	L6B9
2	A4A1	-	7.7	45	42.8	38.1	34.6	38.1	34.6	38.1	34.6	45
3	A6A8	7.7	-	45	42.8	38.1	34.6	38.1	34.6	38.1	34.6	45
4	G2A0	45	45	-	18	45	45	41.5	45	41.5	45	42.8
5	W7A9	42.8	42.8	18	-	42.8	42.8	39.3	42.8	39.3	42.8	40.4
6	B1B1	38.1	38.1	45	42.8	-	21.8	21.8	21.8	31.2	38.1	45
7	B3B3	34.6	34.6	45	42.8	21.8	-	11.1	18.3	34.7	38.1	45
8	B7B0	38.1	38.1	41.5	39.3	21.8	11.1	-	21.8	31.2	38.1	45
9	B7B5	34.6	34.6	45	42.8	21.8	18.3	21.8	-	34.7	38.1	45
10	C5B9	38.1	38.1	41.5	39.3	31.2	34.7	31.2	34.7	-	38.1	45
11	H2B5	34.6	34.6	45	42.8	38.1	38.1	38.1	38.1	38.1	-	45
12	L6B9	45	45	42.8	40.4	45	45	45	45	45	45	-
13	R0B4	39.3	39.3	45	42.8	39.2	39.3	42.8	35.6	39.2	42.8	45
14	S0B0	39.2	39.2	45	42.8	39.4	39.4	39.4	32.2	39.4	39.2	45
15	S2B7	42.8	42.8	45	42.8	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	42.8	45
16	S3B4	42.8	42.8	45	42.8	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	42.8	45
17	S4B9	42.8	42.8	45	42.8	39.4	35.8	35.8	39.4	39.4	42.8	45
18	S6B2	42.8	42.8	45	42.8	39.4	39.4	39.4	39.4	39.4	42.8	45
19	S6B6	39.3	39.3	45	42.8	35.8	35.9	39.4	35.9	35.8	42.8	45
20	T5B8	41.5	41.5	42.8	40.4	45	45	45	45	45	27.4	34.8
21	U5B6	40.4	40.4	45	42.8	37	33.5	33.5	37	37	40.4	45
22	V7B4	39.3	39.3	45	42.8	39.4	32.4	35.8	35.9	39.4	42.8	45

MC_SetupTime

ภาพที่ 11 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับเวลามาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรของงาน

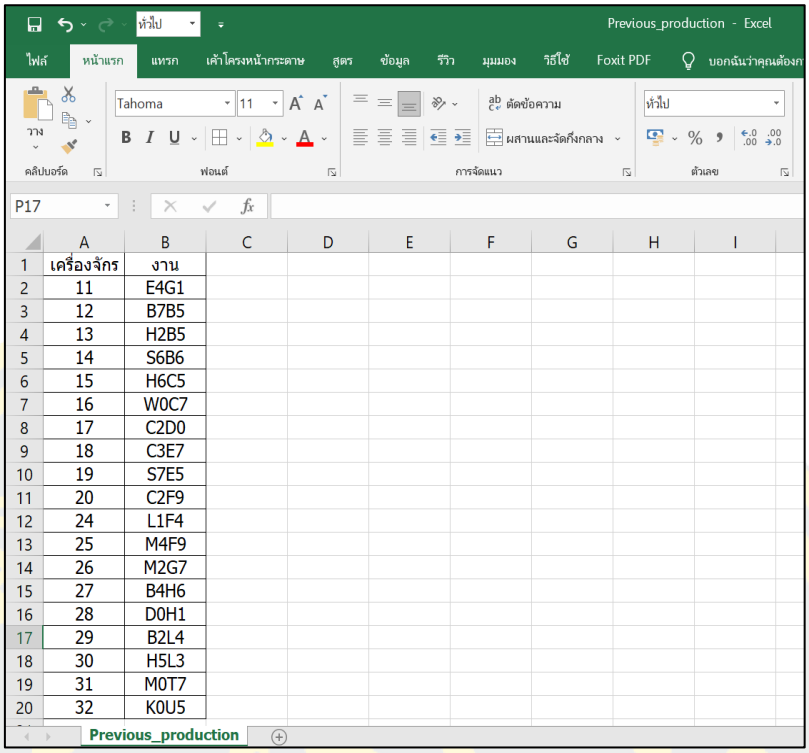
3. ไฟล์ Order_production ที่แสดงข้อมูลเกี่ยวข้องกับคำสั่งปริมาณการผลิตของงานแต่ละรุ่นที่มีหน่วยเป็นเส้น (ชิ้น) ดังภาพที่ 12



	งาน	ปริมาณการผลิต (เส้น)
2	B1B1	108
3	B7B0	112
4	M4L8	44
5	B7B5	114
6	C5B9	116
7	H2B5	180
8	S0B0	88
9	S6B6	44
10	A7C2	156
11	A8C2	65
12	H6C5	57
13	K1C6	44
14	R4C2	110
15	S7C7	40
16	T5C3	165
17	T5C5	80
18	W0C7	47
19	C2D0	126
20	N1D8	156
21	C3E7	36

ภาพที่ 12 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับคำสั่งผลิตของงานแต่ละรุ่น

4. ไฟล์ Previous_production ที่แสดงข้อมูลเกี่ยวข้องกับรุ่นของงานก่อนหน้าที่อยู่ภายในเครื่องจักรก่อนที่จะดำเนินการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง เนื่องจากก่อนที่จะดำเนินการจัดตารางการผลิตในแต่ละครั้ง ต้องไม่ลืมว่าเครื่องจักรมีการดำเนินการผลิตมาก่อนแล้ว จึงต้องมีการใช้เวลาในการ ตั้งค่าเครื่องจักรเมื่อตารางการผลิตรอบใหม่มีงานเริ่มต้นไม่ตรงกับงานสุดท้ายของตารางการผลิตเดิม ดังภาพที่ 13

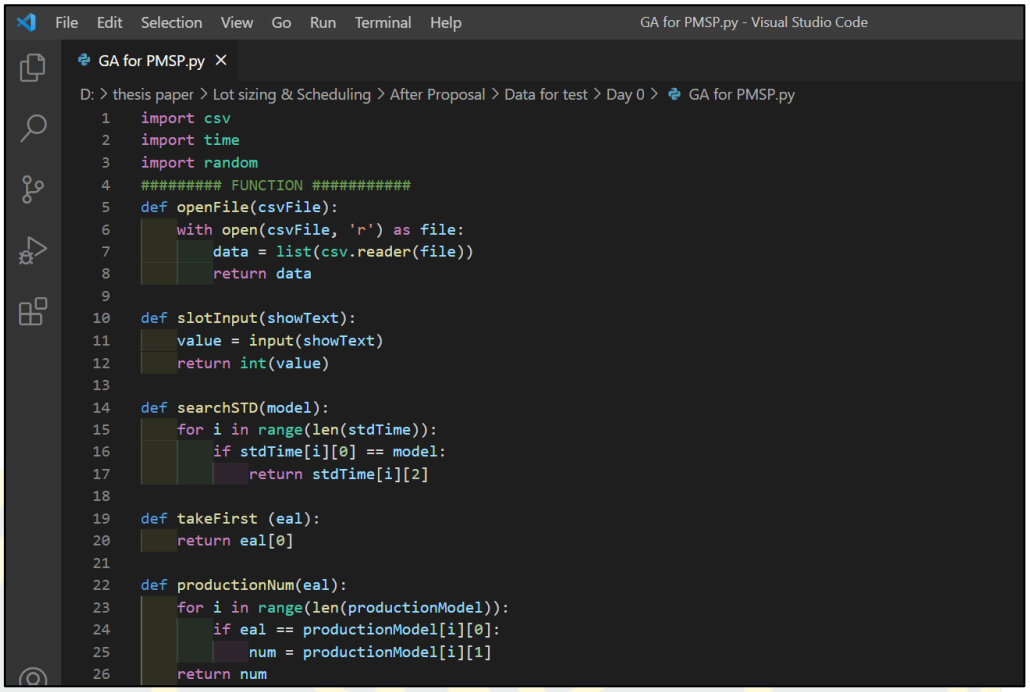


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	เครื่องจักร	งาน							
2	11	E4G1							
3	12	B7B5							
4	13	H2B5							
5	14	S6B6							
6	15	H6C5							
7	16	W0C7							
8	17	C2D0							
9	18	C3E7							
10	19	S7E5							
11	20	C2F9							
12	24	L1F4							
13	25	M4F9							
14	26	M2G7							
15	27	B4H6							
16	28	D0H1							
17	29	B2L4							
18	30	H5L3							
19	31	M0T7							
20	32	K0U5							

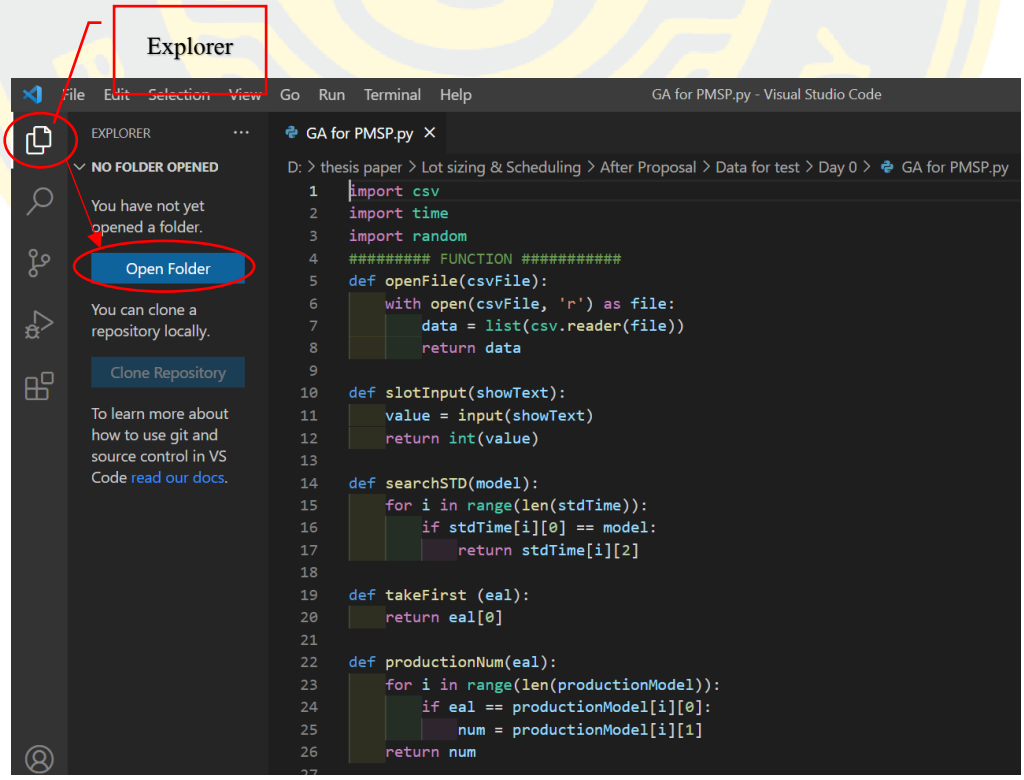
ภาพที่ 13 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลนำเข้าเกี่ยวกับรุ่นของงานก่อนหน้าที่อยู่ในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

ซึ่งโปรแกรม Visual Studio Code ที่ใช้ค้นหาตารางการผลิต รวมถึงคำนวณต้นทุนการผลิตที่เกิดจากอัตราค่าแรงของพนักงานและอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการผลิต ดังภาพที่ 14 โดยในการค้นหาผลลัพธ์หรือการใช้งานโปรแกรมการจัดตารางการผลิตนั้น มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

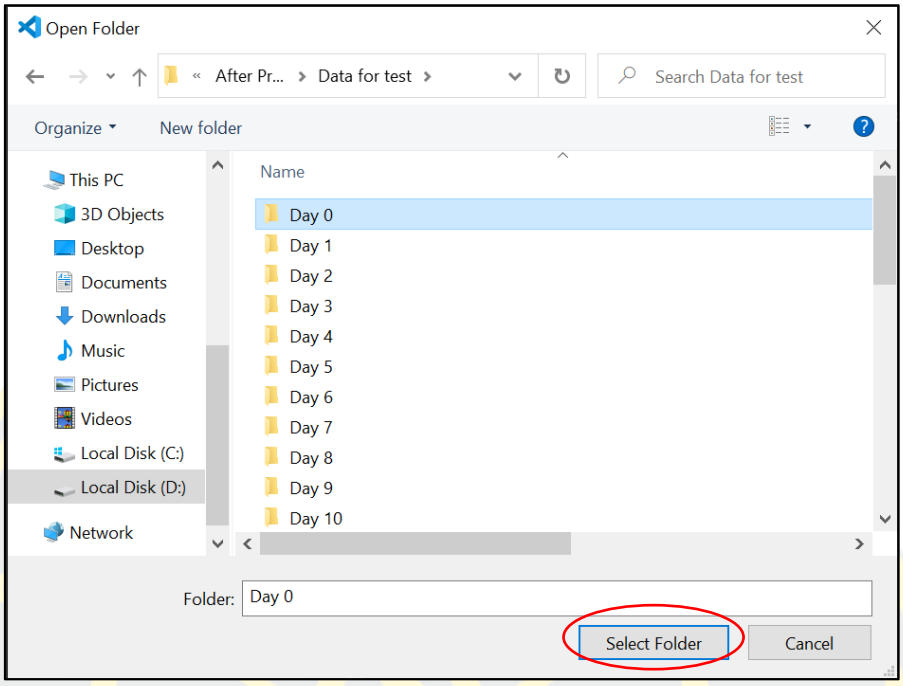
ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกที่เมนู Explorer จากนั้นทำการเลือกเมนู Open Folder ดังภาพที่ 15 เพื่อทำการเลือก Folder ที่ทำการเก็บข้อมูลของไฟล์นำเข้า เมื่อได้ Folder ที่ต้องการแล้วทำการ Select Folder ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 14 ตัวอย่างโปรแกรม Visual Studio Code



ภาพที่ 15 ขั้นตอนการเลือก Folder ของไฟล์นำเข้า



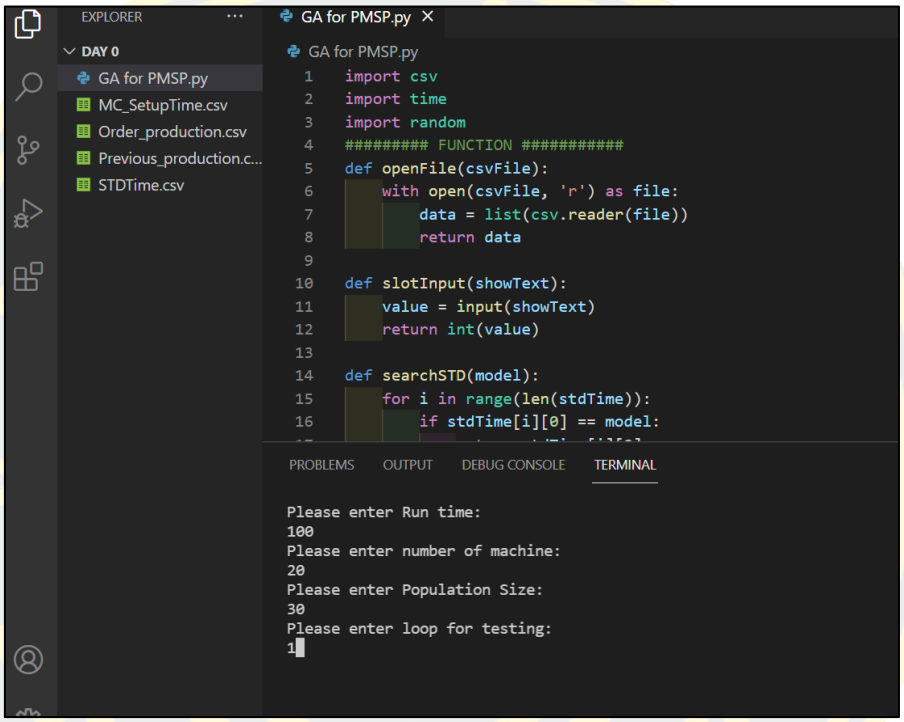
ภาพที่ 16 การเลือก Folder ของไฟล์นำเข้า

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเลือกเมนู เพื่อทำการ Run โปรแกรมการค้นหาตารางการผลิต ดังภาพที่ 17

ภาพที่ 17 การเลือกเมนู Run โปรแกรมการค้นหาตารางการผลิต

ขั้นตอนที่ 3 ทำการใส่ข้อมูลตัวเลขนำเข้าที่ต้องการโดยมีข้อมูลดังนี้ 1. ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบหรือประมวลผลลัพธ์หน่วยเป็นวินาที (Run time) 2. จำนวนเครื่องจักรที่พร้อมใช้งาน 3. จำนวนขนาดของประชากร (Population size) 4. จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบ ตามข้อมูลใน

ส่วนของ Run time โดยเมื่อใส่ข้อมูลในแต่ละส่วนเสร็จแล้วทำการกดปุ่ม Enter จากนั้นโปรแกรมจะทำการเริ่มค้นหาตารางการผลิต ดังภาพที่ 18 แสดงตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลในด้านระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ 100 วินาที, 20 เครื่องจักร, ขนาดของประชากรเท่ากับ 30 และทำการค้นหาคำตอบ 1 รอบ



ภาพที่ 18 ตัวอย่างการนำเข้าข้อมูลตัวเลข

ขั้นตอนที่ 4 หลังจากนั้นโปรแกรมจะดำเนินการค้นหาผลลัพธ์ตารางการผลิตตามระยะเวลาที่กำหนด โดยจะมีการแสดงผลลัพธ์ในด้านต้นทุนรวมของการผลิตทุกครั้งที่มีการพบผลลัพธ์ที่ดีขึ้น และเวลาในการค้นหาผลลัพธ์นั้น ไปจนกระทั่งครบเวลาในการค้นหาผลลัพธ์ที่ได้มีการกำหนดไว้ แล้วโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตที่ดีที่สุดที่ได้จากตารางการผลิตที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของการค้นหาตารางการผลิต ดังภาพที่ 19 และ 20 โดยในภาพที่ 19 แสดงตัวอย่างการผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตจากการค้นหาตารางการผลิต ที่มีการนำเข้าข้อมูลในด้านระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ 100 วินาที, 20 เครื่องจักร, ขนาดของประชากรเท่ากับ 30 และทำการค้นหาคำตอบ 1 รอบ และ ภาพที่ 20 แสดงตัวอย่างตารางการผลิตที่ให้ผลลัพธ์ด้านต้นทุนดีที่สุด ซึ่งมีการแสดงลำดับงานที่ทำการผลิตของแต่ละเครื่องจักร เวลาการผลิตรวมของแต่

ละเครื่องจักร รวมถึงเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม และจำนวนชั่วโมงการทำงานรวมของตารางการผลิต

```
Please enter Run time:
100
Please enter number of machine:
20
Please enter Population Size:
30
Please enter loop for testing:
1
##==##  1  ##==##
initGEN SUCCESS!
1st ----> 46786.38002658352        2nd ----> 46903.53553901763
+++++++++ Generation: " 0 "++++++ Cost: " 46580.98447830287 " +++++++ running Time: " 0.4737362861633301 "
+++++++++ Generation: " 10 "++++++ Cost: " 46454.8699636201 " +++++++ running Time: " 2.0549581050872803 "
+++++++++ Generation: " 30 "++++++ Cost: " 46429.28158048517 " +++++++ running Time: " 5.054260492324829 "
+++++++++ Generation: " 400 "++++++ Cost: " 46428.85203928147 " +++++++ running Time: " 62.106689453125 "
+++++++++ Generation: " 520 "++++++ Cost: " 46418.78850250898 " +++++++ running Time: " 81.06650853157043 "
+++++++++ Generation: " 644 "++++++ Cost: " 46418.78850250898 " +++++++ running Time: " 100 "
Finished iterating in: 100 runTime
```

ภาพที่ 19 ตัวอย่างผลลัพธ์ด้านต้นทุนการผลิต

```
--- The Best Process ---
M1-->['B1B1', 'B7B0', 'M4L8']  | total = 1074.76
M2-->['B7B5', 'C5B9']  | total = 863.8399999999999
M3-->['H2B5', 'S0B0']  | total = 1041.0
M4-->['S6B6', 'A7C2', 'A8C2']  | total = 1061.88
M5-->['H6C5', 'K1C6', 'R4C2', 'S7C7']  | total = 1018.22
M6-->['W0C7', 'T5C3', 'T5C5']  | total = 1092.92
M7-->['C2D0', 'N1D8']  | total = 1033.56
M8-->['H2E5', 'J5E6', 'S1E4', 'C3E7', 'S0E2']  | total = 975.4900000000001
M9-->['S7E5', 'S1E9']  | total = 918.48
M10-->['A5F5', 'C4F0', 'C2F9']  | total = 1087.43
M11-->['F2F0', 'M3F0']  | total = 1177.36
M12-->['M4F9', 'T1F0']  | total = 1084.5900000000001
M13-->['E4G1', 'E7G4', 'C3G0', 'E5G9', 'T5F1']  | total = 1174.1599999999999
M14-->['B1H8', 'E7G8']  | total = 822.8600000000001
M15-->['B8H9', 'C1H1', 'B4H6']  | total = 1039.61
M16-->['B2L4', 'G2J3', 'D0H1']  | total = 1108.86
M17-->['H2L2', 'F2L3', 'F7L9']  | total = 1016.9000000000001
M18-->['M0T7', 'H5L3', 'W3L8']  | total = 1030.08
---- setUpTime -----
setUpTime  totalTime = 1294.4 min.
---- OverTime ----
OverTime  totalTime = 11.0 hr.
```

ภาพที่ 20 ตัวอย่างผลลัพธ์ตารางการผลิต

การกำหนดขนาดประชากรและระยะเวลาประมวลผลลัพธ์ที่เหมาะสม

การทดลองเพื่อกำหนดขนาดประชากรและเวลาประมวลผลลัพธ์ที่เหมาะสม ซึ่งการกำหนดขนาดของประชากรปริมาณที่น้อยจะส่งผลให้การดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นถัดไปได้มาก แต่ผลลัพธ์ของคำตอบจะอยู่ในช่วงบริเวณที่ไม่กว้างนัก จึงทำให้ถ้ามีการกำหนดขนาดของประชากรในปริมาณที่มากย่อมดีกว่าเพราะจะทำให้ผลลัพธ์ของคำตอบจะอยู่ในช่วงบริเวณที่กว้างมากขึ้น แต่ก็จะส่งผลให้การดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรมไปยังรุ่นถัดไปได้น้อยใน

การค้นหาตารางการผลิตในระยะเวลาที่จำกัด ทำให้ต้องทำการทดลองเพื่อไม่ให้มีขนาดประชากรที่มากเกินไป ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองค้นหาขนาดของประชากรที่เหมาะสม รวมถึงในด้านระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วย เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตเป็นปัจจัยที่สำคัญในการจัดตารางการผลิตในสถานการณ์จริง จึงจะต้องมีการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการหยุดค้นหาคำตอบและต้องมั่นใจว่าคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้เมื่อหยุดประมวลผลลัพธ์นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีแล้ว ผู้วิจัยจึงทำการทดลองจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 5 ปัญหา โดยมีรายละเอียดดังนี้ปัญหาที่ 1 มีจำนวนงาน 60 งาน ร่วมกับจำนวนเครื่องจักร 20 เครื่อง, ปัญหาที่ 2 มีจำนวนงาน 70 งาน ร่วมกับจำนวนเครื่องจักร 25 เครื่อง, ปัญหาที่ 3 มีจำนวนงาน 80 งาน ร่วมกับจำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง, ปัญหาที่ 4 มีจำนวนงาน 90 งาน ร่วมกับจำนวนเครื่องจักร 30 เครื่อง และปัญหาที่ 5 มีจำนวนงาน 90 งาน ร่วมกับจำนวนเครื่องจักร 32 เครื่อง โดยการทดลองสำหรับ 1 ปัญหามีการแบ่งระดับของขนาดประชากร (Population size: PZ) ออกเป็น 4 ระดับ คือ 20, 30, 40 และ 50 ซึ่งในขนาดประชากรเท่ากับ 20 เป็นขนาดประชากรที่งานวิจัยของ (อมรพงศ์ สงวนสินธุ์ และ จักรวาล คุณะดิลก, 2557) ได้ทำการเลือกใช้ และผู้วิจัยจึงทำการเพิ่มระดับขนาดของประชากรในการทดลองเพื่อให้ผลลัพธ์ได้มีช่วงบริเวณคำตอบที่มากขึ้น โดยทำการทดลองระดับละ 10 ครั้ง เวลาประมวลผลลัพธ์ (Run time) ครั้งละ 10 นาที รวมมีการทดลองทั้งสิ้น 200 การทดลอง หรือ 2000 นาที ซึ่งได้ผลลัพธ์ในด้านของค่าเฉลี่ยของต้นทุนในการผลิตที่มีหน่วยเป็นบาท และในด้านระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุดหรือระยะเวลาการค้นหาคำตอบสูงสุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของคำตอบ ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ผลการทดลองหาค่าของขนาดประชากรและเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด

ปัญหา	จำนวนงาน	จำนวนเครื่องจักร	ขนาดประชากร	ค่าเฉลี่ยต้นทุน (บาท)	เวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด (วินาที)
1	60	20	20	51,067	537
			30	51,050	409
			40	51,033	538
			50	51,048	459
2	70	25	20	59,877	473
			30	59,883	455
			40	59,826	486
			50	59,860	517
3	80	30	20	69,158	537
			30	69,081	541
			40	68,715	485
			50	68,981	564
4	90	30	20	73,368	567
			30	73,349	562
			40	73,369	537
			50	73,350	552
5	90	32	20	77,836	570
			30	77,822	549
			40	77,819	487
			50	77,764	532

จากการทดลองค้นหาตารางการผลิตหรือผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตของแต่ละปัญหาทั้งสิ้น 200 การทดลอง พบว่าการทดลองที่ขนาดประชากรเท่ากับ 20 มีค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 66,261 บาทและมีเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่ 570 วินาที การทดลองที่ขนาดประชากรเท่ากับ 30 มีค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 66,237 บาทและมีเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่ 562 วินาที การทดลองที่ขนาดประชากรเท่ากับ 40 มีค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 66,152 บาทและมีเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่ 538 วินาที การทดลองที่ขนาดประชากรเท่ากับ 50 มีค่าเฉลี่ยต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 66,201 บาทและมีเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่ 564 วินาที แสดงดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การพิจารณาเลือกค่าขนาดประชากรและเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่เหมาะสม

ขนาดประชากร	ค่าเฉลี่ยต้นทุน (บาท)	เวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด (วินาที)
20	66,261	570
30	66,237	562
40	66,152	538
50	66,201	564

จากการพิจารณาตารางที่ 16 เห็นว่าที่ขนาดประชากรในระดับที่ 20 ให้ผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดประชากรในระดับอื่น ๆ และผลลัพธ์จะดีขึ้นตามระดับขนาดประชากรที่เพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงระดับของขนาดประชากรที่ 40 แต่ในระดับขนาดประชากรที่ 50 ผลลัพธ์ด้านต้นทุนมีการเพิ่มขึ้นมากกว่าขนาดประชากร 40 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 เพราะเมื่อทำการทดลองครบแล้วพบว่าได้ผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตดีที่สุด และมีเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด 538 วินาที ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระยะเวลาประมวลลัพธ์สูงสุดที่ 550 วินาที ที่ใช้ในการทดสอบผลลัพธ์หรือในการค้นหาตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานจากวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

การทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

การทดสอบการจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดเล็กจำนวน 5 ปัญหา ที่มีลักษณะของปัญหาใกล้เคียงกัน ซึ่งสำหรับปัญหาขนาดเล็กนั้นจะต้องใช้เพื่อทำการทดสอบผลลัพธ์สำหรับการจัดตารางการผลิตที่เป็นงานในกลุ่มที่ 1 และ 2 จากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) ที่มีการแบ่งกลุ่มของงานออกเป็น 3 กลุ่ม โดยงานกลุ่มที่ 1 คือ รุ่นของงานที่มีคำสั่งการผลิตยางในปริมาณที่มากกว่า 220 เส้นหรืองานที่ต้องใช้เครื่องจักรเดียวตลอดทั้งวัน และกลุ่มที่ 2 คือ ยางที่มีขนาดขอบยาง 24 นิ้ว โดยรายละเอียดของการทดสอบมีในเรื่องของจำนวนงาน 6 - 16 งาน และเครื่องจักร 2 - 5 เครื่อง ซึ่งใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 พบว่า มี 4 ปัญหาที่ สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimal solution) ได้โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์ 0.79 - 3.76 วินาที และมี 1 ปัญหาที่ไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมได้ โดยมีผลลัพธ์ที่มีค่าที่แตกต่างจากผลลัพธ์ที่เหมาะสมเพียงร้อยละ 1.08 โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์น้อยกว่า

35 วินาที ดังตารางที่ 17 ซึ่งในทุกปัญหาทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่อ้างอิงงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) ซึ่งในส่วนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่สร้างขึ้นด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมอีกด้วย เพราะเนื่องจากการตรวจสอบผลลัพธ์ในด้านของต้นทุนการผลิตในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ทำการอ้างอิงซึ่งมีคำตอบที่ตรงกันในปัญหาที่ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimal solution) นั่นหมายความว่าโปรแกรมการจัดตารางการผลิตที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นนั้นมีความถูกต้องและสามารถนำไปใช้งานได้ในสถานการณ์จริง

ตารางที่ 17 ผลการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

ขนาดปัญหา	จำนวนปัญหา	ผลการทดสอบ
6 งาน 2 เครื่องจักร	4	ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมทุกปัญหาและใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า 4 วินาที
16 งาน 5 เครื่องจักร	1	ได้ผลลัพธ์ที่ต่างจากผลลัพธ์ที่เหมาะสม 1.08 % และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า 35 วินาที

การทดสอบสำหรับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

การจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม เพื่อให้มีต้นทุนรวมจากการดำเนินการผลิตมีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสมและสามารถในไปใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยการใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการผลิตที่มีรายละเอียดในด้านคำสั่งผลิตของงานต่อวันประมาณ 71 - 86 รุ่นต่อวันสำหรับเครื่องจักรขนานทั้งหมด 32 เครื่อง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเสนอวิธีการจัดตารางการผลิต 2 วิธี คือ วิธีที่ 1 คือ ในตอนเริ่มต้นผู้วิจัยได้ทำการจัดตารางการผลิตโดยมีการแบ่งกลุ่มงานในคำสั่งผลิตต่อวันออกเป็น 3 กลุ่ม เช่นเดียวกับงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) ที่มีงานกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มของงานที่ใช้เครื่องจักรเดียวทั้งวัน กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มของงานที่มีขนาดของขอบยาง 24 นิ้ว เพราะเนื่องจากป้องกันการเกิดการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ระยะเวลายาวนานโดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรอยู่ที่ประมาณ 800 - 1,400 นาที เมื่อทำการเปลี่ยนงานที่มีขนาดของขอบยางต่างกันจึงต้องมีการแบ่งกลุ่มสำหรับยางขนาด 24 นิ้วโดยเฉพาะโดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับที่สามารถใช้เครื่องจักรสำหรับงานกลุ่มที่ 2 จำนวน 3 เครื่อง และงานที่เหลือจากคำสั่งผลิตที่ไม่ได้อยู่ในงานกลุ่มที่ 1 และ 2 จะถูกจัดอยู่ในงานกลุ่มที่ 3 โดยเริ่มจากทำการจัดตารางการผลิตใน

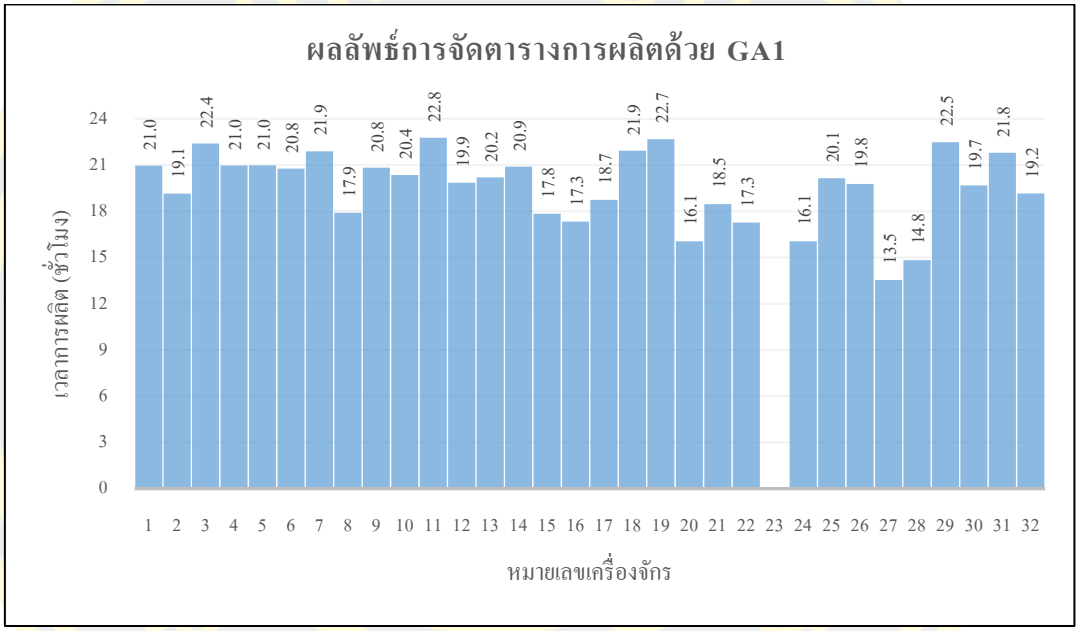
กลุ่มที่ 1 และ 2 ก่อนจากนั้นจึงทำการจัดตารางการผลิตในกลุ่มที่ 3 ส่วน วิธีที่ 2 คือการจัดตารางการผลิตจะทำการแบ่งกลุ่มของงานจากคำสั่งผลิตออกเป็น 5 กลุ่ม โดย กลุ่มที่ 1 และ 2 คือ กลุ่มของงานที่ใช้เครื่องจักรเดียวทั้งวันหรือรุ่นของงานที่มีคำสั่งผลิตต่อวันในปริมาณที่มาก และกลุ่มของงานที่มีขนาดของขอบยางเท่ากับ 24 นิ้ว เช่นเดียวกับวิธีการที่ 1 แต่กลุ่มที่ 3 - 5 คือ กลุ่มของงานที่แบ่งออกตามขนาดของขอบยางที่เหลือ นั่นคือ กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มของงานที่มีขนาดของขอบยาง 19 นิ้ว กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มของงานที่มีขนาดของขอบยาง 20 นิ้ว กลุ่มที่ 5 คือ กลุ่มของงานที่มีขนาดของขอบยาง 22 นิ้ว ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าการแบ่งกลุ่มที่ 3 - 5 นี้ เพื่อป้องกันการเกิดการตั้งค่าเครื่องจักรที่ใช้ระยะเวลายาวนาน โดยส่วนใหญ่จะใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรอยู่ที่ประมาณ 300 - 500 นาที เมื่อทำการเปลี่ยนงานที่มีขนาดของขอบยางต่างกัน อีกทั้งการแบ่งกลุ่มตามขนาดของขอบยางนี้ยังช่วยให้ขนาดของปัญหาดังกล่าวนั้นลดลงอีกด้วย ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การแบ่งกลุ่มงานของคำสั่งผลิตยางรถยนต์

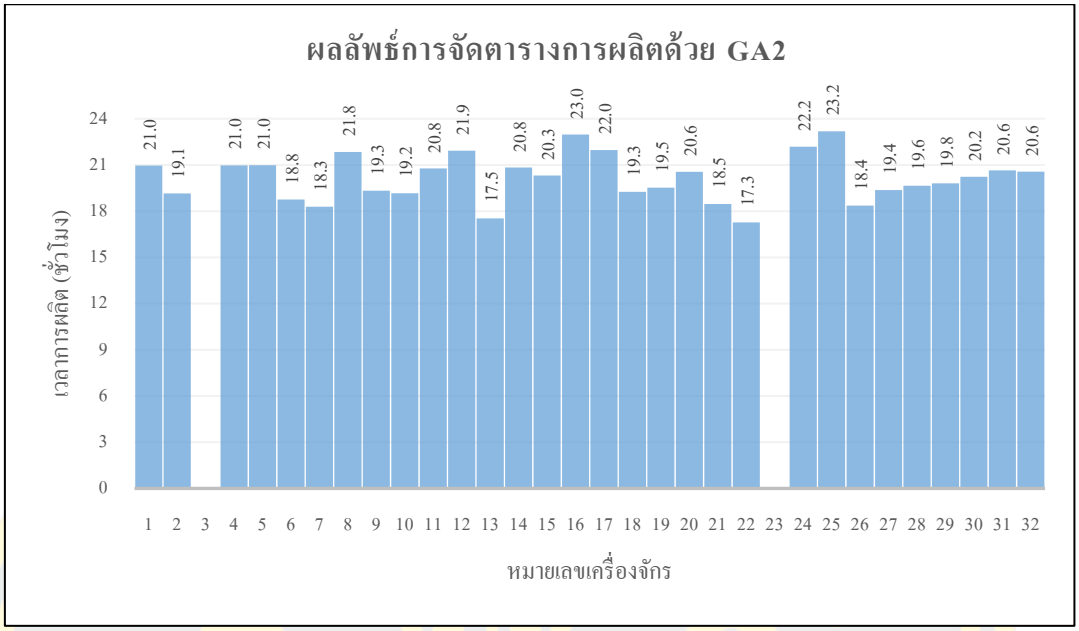
กลุ่มงาน	วิธีการที่ 1 (GA1)	วิธีการที่ 2 (GA2)
1	กลุ่มงานที่ใช้เครื่องจักรเดียวตลอดวัน	กลุ่มงานที่ใช้เครื่องจักรเดียวตลอดวัน
2	งานที่มีขอบยางขนาด 24 นิ้ว สามารถผลิตบนเครื่องจักร 3 เครื่อง	งานที่มีขอบยางขนาด 24 นิ้วสามารถผลิตบนเครื่องจักร 3 เครื่อง
3	งานที่เหลือจากคำสั่งผลิตที่ไม่ใช่กลุ่มที่ 1, 2 สามารถผลิตบนเครื่องจักรใดก็ได้ (งานอิสระ)	งานที่มีขอบยางขนาด 19 นิ้ว
4	-	งานที่มีขอบยางขนาด 20 นิ้ว
5	-	งานที่มีขอบยางขนาด 22 นิ้ว

การหาผลลัพธ์ในการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในวิธีการที่ 1 จะทำการจัดตารางการผลิตในงานกลุ่มที่ 1 และ 2 ก่อนแล้วจากนั้นจึงทำการจัดตารางการผลิตในงานกลุ่มที่ 3 ที่มีรายละเอียดสำหรับจัดตารางการผลิตในด้านของปริมาณงานประมาณ 61 - 73 งาน ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร 24 - 25 เครื่อง ส่วนในวิธีการที่ 2 ทำการจัดตารางการผลิตโดยเริ่มจากกลุ่มที่ 1 และ 2 เช่นเดียวกัน จากนั้นจึงทำการจัดตารางการผลิตในงานกลุ่มที่ 3 - 5 ตามลำดับ โดยงานกลุ่มที่ 3 นั่นคืองานที่มีขนาดของขอบยางเท่ากับ 19 นิ้ว โดยมีรายละเอียดของปริมาณงานประมาณ 4 - 7

งาน ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร 1 - 3 เครื่อง งานกลุ่มที่ 4 นั่นคืองานที่มีขนาดของขอบยางเท่ากับ 20 นิ้ว โดยมีรายละเอียดของปริมาณงานประมาณ 5 - 14 งาน ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร 2 - 4 เครื่อง งานกลุ่มที่ 5 นั่นคืองานที่มีขนาดของขอบยางเท่ากับ 22 นิ้ว โดยมีรายละเอียดของปริมาณงานประมาณ 47 - 56 งาน ที่ทำการผลิตบนเครื่องจักร 16 - 19 เครื่อง ตัวอย่างผลลัพธ์การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการที่ 1 และ 2 ดังภาพที่ 21 และ 22 ที่แสดงถึงเวลาที่ใช้ในการดำเนินการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง



ภาพที่ 21 เวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA1 ในปัญหาที่ 7



ภาพที่ 22 เวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA2 ในปัญหาที่ 7

ผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยการเปรียบเทียบทางด้านต้นทุนการผลิตระหว่างการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการที่ 1 (GA1) ที่มีการแบ่งกลุ่มงานออกเป็น 3 กลุ่ม และ วิธีการที่ 2 (GA2) ที่มีการแบ่งกลุ่มของงานออกเป็น 5 กลุ่ม โดยมีรายละเอียดของปัญหาในเรื่องของจำนวนงาน 71 - 86 งานต่อวัน และสามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้ 32 เครื่อง ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 และระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 550 วินาที สำหรับการทดสอบในการจัดตารางการผลิตสำหรับปัญหาจริงของโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 10 ปัญหา (10 วัน) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธี GA1 และ GA2

วันที่	จำนวนงาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)		เปรียบเทียบต้นทุนระหว่าง
		GA1	GA2	GA1 - GA2 (ลดลง)
1	80	78,028	77,487	541
2	82	76,390	75,926	464
3	81	77,046	76,122	923
4	77	77,650	75,998	1,651
5	77	78,102	77,572	530
6	86	77,860	77,275	586
7	77	77,754	75,770	1,985
8	76	77,062	75,495	1,567
9	73	73,265	73,241	24
10	71	72,147	71,296	851
เฉลี่ยต่อวัน		76,530	75,618	912
ร้อยละการลดลง				1.19

จากตารางที่ 19 พบว่า การจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมจำนวน 10 วัน ที่มีการเปรียบเทียบในด้านต้นทุนการผลิต เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอทั้ง 2 วิธีนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน โดยวิธีการที่ 1 (GA1) ที่มีการแบ่งกลุ่มของงานเป็น 3 กลุ่ม มีผลลัพธ์ในส่วนของต้นทุนในการดำเนินการผลิตเฉลี่ย 76,530 บาทต่อวัน และวิธีการที่ 2 (GA2) ที่มีการแบ่งกลุ่มของงานเป็น 5 กลุ่มดังที่กล่าวข้างต้นนั้น มีผลลัพธ์ในส่วนของต้นทุนในการดำเนินการผลิตเฉลี่ย 75,618 บาทต่อวัน ซึ่งวิธีการที่ 2 สามารถจัดตารางการผลิตที่ทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าต่ำกว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ประมาณ 912 บาทต่อวัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการที่ 2 (GA2) ในการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขในด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรและใช้วิธีการดังกล่าวในการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการอื่น ๆ ที่ได้จากงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง ซึ่งผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ในการทดสอบกับปัญหาจริงของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 วัน หรือ 1 เดือน โดยมีรายละเอียดของปัญหาในเรื่องของจำนวนงาน 71 - 86 งานต่อวัน และสามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้ 32 เครื่อง ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 และระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 550 วินาทีเช่นเดียวกัน ได้ผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)	จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)	เวลาตั้งเครื่องจักร (นาที)	การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)
1	80	77,487	31	1,581	11
2	82	75,926	30	1,980	13
3	81	76,122	30	1,956	14
4	77	75,998	30	1,765	13
5	77	77,572	31	1,716	11
6	86	77,275	31	1,655	9
7	77	75,770	30	1,958	10
8	76	75,495	30	1,813	8
9	73	73,241	29	1,893	14
10	71	71,296	28	1,592	15
11	71	71,568	28	1,833	15
12	73	75,386	30	1,905	13
13	74	75,220	30	1,575	12
14	74	74,015	29	1,941	14
15	73	76,864	30	2,011	18
16	71	75,728	29	2,077	25
17	71	75,958	30	1,814	13
18	71	74,003	29	1,764	15
19	71	76,551	30	2,174	15
20	72	76,511	30	2,103	17
21	71	72,603	28	1,736	21
22	71	72,922	28	2,166	22
23	73	73,266	29	1,895	12
24	74	72,539	29	1,760	7
25	78	72,376	28	2,173	21
26	80	73,062	29	2,179	11
27	78	73,313	29	1,943	11
28	81	75,449	30	2,028	12
29	80	73,981	29	1,941	17
30	75	72,563	28	1,834	24
รวม		2,240,060	-	56,762	433
เฉลี่ยต่อวัน		74,668.7	29.4	1,892.1	14.4

จากตารางที่ 20 การทดสอบผลลัพธ์ในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 ปัญหา (30 วัน) หรือเป็นการจัดตารางการผลิตตามคำสั่งผลิตในระยะเวลา 1 เดือน เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม มีผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตที่เกิดจากค่าแรงของพนักงานควบคุมเครื่องจักรและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการผลิตรวม 2,240,060 บาทต่อเดือนหรือคิดเป็นต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 74,668.7 บาทต่อวัน ส่วนในด้านของจำนวนเครื่องจักรที่ใช้เฉลี่ยต่อวันคือ 29.4 เครื่อง ซึ่งในด้านของเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรพบว่ามีการใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 56,762 นาทีต่อเดือน หรือ 1,892.1 นาทีต่อวัน และมีจำนวนชั่วโมงในการทำงานล่วงเวลารวมทั้งสิ้น 433 ชั่วโมง หรือคิดเป็นการทำงานล่วงเวลาเฉลี่ย 14.4 ชั่วโมงต่อวัน

การทดสอบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิต

การทดสอบประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบเครื่องจักรขนาน (Parallel machines scheduling problems) ที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร (Sequence - dependent setup times) ในงานวิจัยนี้ที่มีการนำข้อมูลในการจัดตารางการผลิตไม่ว่าจะเป็นคำสั่งผลิตต่อวัน เวลามาตรฐานของงานแต่ละรุ่น เวลามาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรเมื่อมีการเปลี่ยนงาน ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร รวมถึงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนในการผลิต เช่น อัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้ อัตราค่าแรงของพนักงานในการทำงานช่วงเวลาปกติและการทำงานช่วงล่วงเวลา อีกทั้งในเรื่องของผลลัพธ์ในการจัดตารางการผลิตมาจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) ในการจัดทำตารางการผลิตรายวัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการผลิตสำหรับการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ กับวิธีการต่าง ๆ คือ วิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนในการจัดตารางการผลิต วิธีฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป (Shortest setup time: SST) และวิธีที่ใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมในการจัดตารางการผลิต (Mixed integer linear programming: MILP)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตระหว่างวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนการผลิตโดยผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีนี้อ้างอิงจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 21 แสดงผลลัพธ์ในด้านของต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้

ในแต่ละวัน ตารางที่ 22 แสดงผลลัพธ์ในเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละวัน

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีที่ใช้ประสบการณ์ผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)			จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)		
		ประสบการณ์ผู้วางแผน	GA	แตกต่าง	ประสบการณ์ ผู้วางแผน	GA	แตกต่าง
1	80	82,549	77,487	-5,062	32	31	-1
2	82	83,795	75,926	-7,869	32	30	-2
3	81	83,454	76,122	-7,332	32	30	-2
4	77	85,422	75,998	-9,424	32	30	-2
5	77	83,276	77,572	-5,704	32	31	-1
6	86	83,251	77,275	-5,976	32	31	-1
7	77	83,340	75,770	-7,570	32	30	-2
8	76	83,660	75,495	-8,165	32	30	-2
9	73	81,391	73,241	-8,150	32	29	-3
10	71	80,728	71,296	-9,432	32	28	-4
11	71	81,620	71,568	-10,052	32	28	-4
12	73	82,095	75,386	-6,709	32	30	-2
13	74	82,682	75,220	-7,462	32	30	-2
14	74	83,746	74,015	-9,731	32	29	-3
15	73	84,279	76,864	-7,415	32	30	-2
16	71	83,208	75,728	-7,480	32	29	-3
17	71	83,569	75,958	-7,611	32	30	-2
18	71	82,249	74,003	-8,246	32	29	-3
19	71	83,304	76,551	-6,753	32	30	-2
20	72	82,483	76,511	-5,972	32	30	-2
21	71	82,031	72,603	-9,428	32	28	-4
22	71	82,016	72,922	-9,094	32	28	-4
23	73	81,909	73,266	-8,643	32	29	-3
24	74	82,041	72,539	-9,502	32	29	-3
25	78	81,422	72,376	-9,046	32	28	-4
26	80	81,571	73,062	-8,509	32	29	-3
27	78	81,934	73,313	-8,621	32	29	-3
28	81	82,834	75,449	-7,385	32	30	-2
29	80	82,894	73,981	-8,913	32	29	-3
30	75	82,111	72,563	-9,548	32	28	-4
รวม		2,480,863	2,240,060	-240,803			
เฉลี่ยต่อวัน		82,695.5	74,668.7	-8,027.8	32	29.4	-2.6

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีที่ใช้ประสบการณ์ผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	เวลาตั้งเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
		ประสบการณ์ผู้วางแผน	GA	แตกต่าง	ประสบการณ์ผู้วางแผน	GA	แตกต่าง
1	80	1,545	1,581	36	6	11	5
2	82	1,693	1,980	287	17	13	-4
3	81	1,572	1,956	384	13	14	1
4	77	2,579	1,765	-814	22	13	-9
5	77	1,672	1,716	44	10	11	1
6	86	1,623	1,655	32	10	9	-1
7	77	1,491	1,958	467	11	10	-1
8	76	1,448	1,813	365	13	8	-5
9	73	1,503	1,893	390	5	14	9
10	71	1,251	1,592	341	3	15	12
11	71	1,333	1,833	500	7	15	8
12	73	1,335	1,905	570	8	13	5
13	74	1,268	1,575	307	12	12	0
14	74	1,525	1,941	416	17	14	-3
15	73	1,505	2,011	506	18	18	0
16	71	1,462	2,077	615	12	25	13
17	71	1,411	1,814	403	14	13	-1
18	71	1,310	1,764	454	7	15	8
19	71	1,815	2,174	359	11	15	4
20	72	1,411	2,103	692	7	17	10
21	71	1,473	1,736	263	7	21	14
22	71	1,361	2,166	805	8	22	14
23	73	1,439	1,895	456	7	12	5
24	74	1,448	1,760	312	8	7	-1
25	78	1,467	2,173	706	7	21	14
26	80	1,505	2,179	674	6	11	5
27	78	1,516	1,943	427	6	11	5
28	81	1,518	2,028	510	12	12	0
29	80	1,493	1,941	448	14	17	3
30	75	1,337	1,834	497	12	24	12
รวม		45,311	56,762	11,451	310	433	123
เฉลี่ยต่อวัน		1,510.3	1,892.1	381.8	10.3	14.4	4.1

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตในสำหรับเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าเครื่องจักร โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตด้านจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต ด้านเวลาที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักร และด้านจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา ระหว่างวิธีที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนกับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม จากตารางที่ 21 และ 22 พบว่าวิธีที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนในการจัดตารางการผลิตจะมีต้นทุนที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพตารางการผลิตรวมเท่ากับ 2,480,863 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรเฉลี่ย 32 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 45,311 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 310 ชั่วโมงต่อเดือน ในขณะที่การจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA นั้นมีต้นทุนการผลิตรวม 2,240,060 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรที่ใช้เฉลี่ย 29.4 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 56,762 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 433 ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีที่ใช้พนักงาน 240,803 บาทต่อเดือน และมีการใช้เครื่องจักรที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ย 2.6 เครื่องต่อวัน แต่วิธี GA นั้นจะมีเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรสูงกว่าวิธีที่ใช้พนักงาน 11,451 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลาที่สูงกว่าวิธีที่ใช้พนักงาน 123 ชั่วโมงต่อเดือน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตระหว่างวิธีการฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป (SST) วิธีนี้เป็นการดำเนินการจัดลำดับงานโดยพิจารณาจากเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจากงาน *i* ไปงาน *j* งานใดที่มีเวลาปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ทำก่อน โดยผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีนี้อ้างอิงจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 23 แสดงผลลัพธ์ในด้านของต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละวัน และในตารางที่ 24 แสดงผลลัพธ์ในเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละวัน

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)			จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)		
		SST	GA	แตกต่าง	SST	GA	แตกต่าง
1	80	79,853	77,487	-2,366	31	31	0
2	82	79,691	75,926	-3,765	31	30	-1
3	81	79,936	76,122	-3,814	31	30	-1
4	77	80,118	75,998	-4,120	31	30	-1
5	77	80,098	77,572	-2,526	31	31	0
6	86	82,599	77,275	-5,324	32	31	-1
7	77	80,053	75,770	-4,283	31	30	-1
8	76	81,913	75,495	-6,418	32	30	-2
9	73	76,695	73,241	-3,454	30	29	-1
10	71	76,670	71,296	-5,374	30	28	-2
11	71	76,648	71,568	-5,080	30	28	-2
12	73	77,093	75,386	-1,707	30	30	0
13	74	79,263	75,220	-4,043	31	30	-1
14	74	81,434	74,015	-7,419	32	29	-3
15	73	79,783	76,864	-2,919	31	30	-1
16	71	79,600	75,728	-3,872	31	29	-2
17	71	82,164	75,958	-6,206	32	30	-2
18	71	79,375	74,003	-5,372	31	29	-2
19	71	81,848	76,551	-5,297	32	30	-2
20	72	81,470	76,511	-4,959	32	30	-2
21	71	80,972	72,603	-8,369	32	28	-4
22	71	78,955	72,922	-6,033	31	28	-3
23	73	78,994	73,266	-5,728	31	29	-2
24	74	79,205	72,539	-6,666	31	29	-2
25	78	76,662	72,376	-4,286	30	28	-2
26	80	79,032	73,062	-5,970	31	29	-2
27	78	81,220	73,313	-7,907	32	29	-3
28	81	81,488	75,449	-6,039	32	30	-2
29	80	79,247	73,981	-5,266	31	29	-2
30	75	76,579	72,563	-4,016	30	28	-2
รวม		2,388,656	2,240,060	-148,596			
เฉลี่ยต่อวัน		79,621.9	74,668.7	-4,953.2	31.1	29.4	-1.7

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	เวลาตั้งเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
		SST	GA	แตกต่าง	SST	GA	แตกต่าง
1	80	1,507	1,581	74	0	11	11
2	82	1,594	1,980	386	0	13	13
3	81	1,896	1,956	60	0	14	14
4	77	1,944	1,765	-179	0	13	13
5	77	1,900	1,716	-184	0	11	11
6	86	2,727	1,655	-1,072	0	9	9
7	77	1,758	1,958	200	0	10	10
8	76	1,421	1,813	392	0	8	8
9	73	1,411	1,893	482	0	14	14
10	71	1,420	1,592	172	0	15	15
11	71	1,225	1,833	608	0	15	15
12	73	1,395	1,905	510	0	13	13
13	74	1,350	1,575	225	0	12	12
14	74	1,443	1,941	498	0	14	14
15	73	1,320	2,011	691	0	18	18
16	71	1,422	2,077	655	0	25	25
17	71	2,157	1,814	-343	0	13	13
18	71	1,383	1,764	381	0	15	15
19	71	1,612	2,174	562	1	15	14
20	72	1,278	2,103	825	0	17	17
21	71	1,266	1,736	470	0	21	21
22	71	1,346	2,166	820	0	22	22
23	73	1,444	1,895	451	0	12	12
24	74	1,798	1,760	-38	0	7	7
25	78	1,527	2,173	646	0	21	21
26	80	1,906	2,179	273	0	11	11
27	78	1,653	1,943	290	0	11	11
28	81	1,927	2,028	101	0	12	12
29	80	1,824	1,941	117	0	17	17
30	75	1,400	1,834	434	0	24	24
รวม		48,252	56,762	8,510	1	433	432
เฉลี่ยต่อวัน		1,608.5	1,892.1	283.6	0.0	14.4	14.4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตในสำหรับเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าเครื่องจักร ระหว่างวิธีฮิวริสติก SST กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม จากตารางที่ 23 และ 24 พบว่าวิธีฮิวริสติก SST ในการจัดตารางการผลิตจะมีต้นทุนที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพตารางการผลิตรวมเท่ากับ 2,388,656 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรเฉลี่ย 31.1 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 48,252 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 1 ชั่วโมงต่อเดือน ในขณะที่การจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA นั้นมีต้นทุนการผลิตรวม 2,240,060 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรที่ใช้เฉลี่ย 29.4 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 56,762 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 433 ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีฮิวริสติก SST 148,596 บาทต่อเดือน และมีการใช้เครื่องจักรที่ต่ำกว่าโดยเฉลี่ย 1.7 เครื่องต่อวัน แต่วิธี GA นั้นจะมีเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรสูงกว่าวิธีฮิวริสติก SST 8,510 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลาที่สูงกว่าวิธีฮิวริสติก SST 432 ชั่วโมงต่อเดือน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพตารางการผลิตระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตระหว่างวิธีการที่เป็นแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) วิธีนี้เป็นการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งทำให้ได้ผลลัพธ์หรือตารางการผลิตที่มีคุณภาพ โดยผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีนี้อ้างอิงจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ซึ่งผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 25 แสดงผลลัพธ์ในด้านของต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในแต่ละวัน และในตารางที่ 26 แสดงผลลัพธ์ในเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละวัน

ตารางที่ 25 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านต้นทุนการผลิตและจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	ต้นทุนการผลิต (บาท)			จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (เครื่อง)		
		MILP	GA	แตกต่าง	MILP	GA	แตกต่าง
1	80	74,510	77,487	2,977	29	31	2
2	82	72,358	75,926	3,568	29	30	1
3	81	72,662	76,122	3,460	29	30	1
4	77	74,406	75,998	1,592	30	30	0
5	77	73,100	77,572	4,472	28	31	3
6	86	73,051	77,275	4,224	29	31	2
7	77	72,732	75,770	3,038	30	30	0
8	76	75,162	75,495	333	30	30	0
9	73	68,158	73,241	5,083	27	29	2
10	71	69,665	71,296	1,631	28	28	0
11	71	68,382	71,568	3,186	26	28	2
12	73	70,884	75,386	4,502	28	30	2
13	74	71,954	75,220	3,266	29	30	1
14	74	72,411	74,015	1,604	29	29	0
15	73	74,091	76,864	2,773	30	30	0
16	71	71,881	75,728	3,847	30	29	-1
17	71	73,228	75,958	2,730	29	30	1
18	71	71,090	74,003	2,913	27	29	2
19	71	73,898	76,551	2,653	30	30	0
20	72	74,673	76,511	1,838	30	30	0
21	71	72,094	72,603	509	29	28	-1
22	71	70,332	72,922	2,590	28	28	0
23	73	71,328	73,266	1,938	29	29	0
24	74	69,759	72,539	2,780	28	29	1
25	78	69,298	72,376	3,078	28	28	0
26	80	69,481	73,062	3,581	28	29	1
27	78	69,461	73,313	3,852	28	29	1
28	81	70,705	75,449	4,744	28	30	2
29	80	71,407	73,981	2,574	29	29	0
30	75	69,856	72,563	2,707	29	28	-1
รวม		2,152,015	2,240,060	88,045			
เฉลี่ยต่อวัน		71,733.9	74,668.7	2,935.8	28.7	29.4	0.7

ตารางที่ 26 ผลการทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิตด้านเวลาตั้งค่าเครื่องจักรและจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

ปัญหา	จำนวนงาน	เวลาตั้งเครื่องจักร (นาที)			การทำงานล่วงเวลา (ชั่วโมง)		
		MILP	GA	แตกต่าง	MILP	GA	แตกต่าง
1	80	1,503	1,581	78	2	11	9
2	82	1,574	1,980	406	2	13	11
3	81	1,538	1,956	418	4	14	10
4	77	1,530	1,765	235	2	13	11
5	77	1,559	1,716	157	2	11	9
6	86	1,468	1,655	187	6	9	3
7	77	1,640	1,958	318	4	10	6
8	76	1,897	1,813	-84	5	8	3
9	73	1,395	1,893	498	6	14	8
10	71	1,298	1,592	294	4	15	11
11	71	1,651	1,833	182	20	15	-5
12	73	1,704	1,905	201	8	13	5
13	74	1,370	1,575	205	2	12	10
14	74	1,474	1,941	467	4	14	10
15	73	1,370	2,011	641	0	18	18
16	71	1,003	2,077	1,074	1	25	24
17	71	1,894	1,814	-80	6	13	7
18	71	1,329	1,764	435	9	15	6
19	71	1,221	2,174	953	1	15	14
20	72	1,251	2,103	852	7	17	10
21	71	1,533	1,736	203	4	21	17
22	71	1,390	2,166	776	6	22	16
23	73	1,315	1,895	580	0	12	12
24	74	1,369	1,760	391	2	7	5
25	78	1,470	2,173	703	1	21	20
26	80	1,524	2,179	655	1	11	10
27	78	1,507	1,943	436	0	11	11
28	81	1,473	2,028	555	7	12	5
29	80	1,411	1,941	530	0	17	17
30	75	1,602	1,834	232	5	24	19
รวม		44,263	56,762	12,499	121	433	312
เฉลี่ยต่อวัน		1,475.4	1,892.1	416.7	4.0	14.4	10.4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการจัดตารางการผลิตในสำหรับเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าเครื่องจักร ระหว่างวิธีการ MILP กับวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม จากตารางที่ 24 และ 25 พบว่าวิธีการ MILP ในการจัดตารางการผลิตจะมีต้นทุนที่เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพตารางการผลิตรวมเท่ากับ 2,152,015 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรเฉลี่ย 28.7 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 44,263 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 121 ชั่วโมงต่อเดือน ในขณะที่การจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA นั้นมีต้นทุนการผลิตรวม 2,240,060 บาทต่อเดือน ใช้จำนวนเครื่องจักรที่ใช้เฉลี่ย 29.4 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรรวม 56,762 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลา 433 ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA มีผลลัพธ์ที่มีค่าสูงกว่าวิธีการ MILP ในทุกด้าน โดยมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า 88,045 บาทต่อเดือน มีการใช้เครื่องจักรที่สูงกว่าโดยเฉลี่ย 0.7 เครื่องต่อวัน มีเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรสูงกว่า 12,499 นาทีต่อเดือน และมีการทำงานล่วงเวลาที่สูงกว่า 312 ชั่วโมงต่อเดือน

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนการผลิตระหว่างวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมกับวิธีการจัดตารางการผลิตของงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยการทดสอบจัดตารางการผลิตกับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 วันหรือ 1 เดือน จากการทดสอบผลลัพธ์ด้านต้นทุนการผลิตที่เป็นตัวชี้วัดของตาราง การผลิตที่เกิดจากค่าแรงของพนักงานควบคุมเครื่องจักรและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตของแต่ละวิธีการในหัวข้อก่อนหน้า ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ในโครงสร้างของต้นทุนการผลิตที่เกิดจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับจำนวนเครื่องจักรที่ใช้งาน เวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร และจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา โดยพบว่าปัจจัยด้านจำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานต่อวัน จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตมากที่สุดเพราะเนื่องจากข้อมูลการผลิตของโรงงานกรณีศึกษานั้น ถ้ามีการใช้งานเครื่องจักรเครื่องใดในการผลิตแล้ว ไม่ว่าจะมีการผลิตงานบนเครื่องจักรนั้นมากน้อยเพียงใดก็จะต้องมีพนักงานควบคุมเครื่องจักรตลอดทั้งวันทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงของพนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรนั้นทั้งวัน แต่ในปัจจัยในเรื่องของเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร และจำนวนชั่วโมงการทำงานล่วงเวลา จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตรวมน้อยกว่าเพราะต้นทุนจะแปรผันตามการใช้งานจริง โดยแสดงผลการสรุปทางด้านต้นทุนในการผลิตของวิธีการที่นำเสนอ กับวิธีการของงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง (ประสบการณ์พนักงาน, SST, MILP) ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพด้านต้นทุนการผลิต

วิธีการ	ต้นทุนการผลิตรวม (บาทต่อเดือน)	ค่าเฉลี่ยต้นทุน (บาทต่อวัน)	เปรียบเทียบกับวิธี GA (บาทต่อวัน)
ประสบการณ์พนักงาน	2,480,863	82,695.5	ลดลง 8,027.8
SST	2,388,656	79,621.9	ลดลง 4,953.2
MILP	2,152,015	71,733.9	เพิ่มขึ้น 2,935.8
GA	2,240,060	74,668.7	

จากตารางที่ 27 พบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ที่เป็นวิธีการเมตาฮิวริสติก สามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนโดยเฉลี่ย 8,027.8 บาทต่อวันหรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 9.7 และต่ำกว่าวิธีการ ฮิวริสติก SST โดยเฉลี่ย 4,953.2 บาทต่อวันหรือคิดเป็นการลดลงร้อยละ 6.2 แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการ MILP เห็นว่า วิธี GA มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าโดยเฉลี่ย 2,935.8 บาทต่อวันหรือคิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 จากผลลัพธ์ดังกล่าวผู้วิจัยจึงทำการคำนวณคุณภาพของผลลัพธ์ของวิธี GA เมื่อมีเปรียบเทียบกับขอบเขตล่าง ซึ่งจากงานวิจัยที่ทำการอ้างอิงใช้วิธีการ MILP มีคุณภาพของผลลัพธ์ที่ต่างจากขอบเขตล่าง (Lower bound) ร้อยละ 6.3 ดังนั้นทำให้การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม มีคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างจากขอบเขตล่างร้อยละ 10.4

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินงานวิจัยในวิธีการที่นำเสนอกับงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินงานวิจัยนี้ที่ใช้วิธีเมตาฮิวริสติก Genetic algorithm สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรของกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา ที่มีการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิต รวมถึงผลลัพธ์การจัดตารางการผลิตในวิธีที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผน วิธีการฮิวริสติก SST และวิธีการ MILP มาจากงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561) ซึ่งจากตารางที่ 1 ที่มีการแสดงถึงปัญหาในการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยที่อ้างอิง สำหรับวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตดีที่สุด (ต่ำที่สุด) ในการจัดตารางการผลิต นั่นคือวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) โดยมีด้านคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างจากขอบเขตล่าง (Lower bound: LB) อยู่ร้อยละ 6.3 ด้านระยะเวลา

ประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 1500 วินาทีหรือ 25 นาที และด้านตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ที่มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 420,000 บาท แต่งานวิจัยนี้มีคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ร้อยละ 10.4 ใช้ระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 550 วินาทีหรือ 9.17 นาที และไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้ตัวประมวลผลลัพธ์ ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพงานวิจัย

งานวิจัย	คุณภาพผลลัพธ์ (% แตกต่างจาก LB)	ระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด (วินาที)	ค่าใช้จ่ายเครื่องมือในการประมวลผลลัพธ์
ก่อนหน้า	6.3	1500	มี
ปัจจุบัน	10.4	550	ไม่มี
ผลการเปรียบเทียบ	เพิ่มขึ้น 4.1	ลดลง 950	

จากตารางที่ 28 ที่มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์งานวิจัยที่นำเสนอการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม ที่เป็นวิธีเมตาฮิวริสติก พบว่าในด้านของคุณภาพผลลัพธ์มีความแตกต่างจากขอบเขตล่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 และใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์สูงสุดลดลง 950 วินาที เมื่อเทียบกับผลลัพธ์จากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) รวมถึงวิธีการจัดตารางการผลิตที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องมือสำหรับการประมวลผลลัพธ์หรือการค้นหาคำตอบ

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลงานวิจัย

สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรด้วยวิธีเมตาฮิวริสติก ให้มีต้นทุนรวมในการดำเนินการผลิตที่เกิดจากค่าแรงพนักงานและค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการดำเนินการผลิตให้มีค่าต่ำที่สุดอย่างเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง อีกทั้งเพื่อเพิ่มทางเลือกสำหรับวิธีการที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบเครื่องจักรขนาน โดยมีเงื่อนไขเกี่ยวกับลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยจากการศึกษางานวิจัยเรื่องการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งเครื่องจักรสำหรับกระบวนการขึ้นรูปยางยนต์ (อารดา ไชยโคตร, 2561) งานวิจัยดังกล่าวได้ทำการจัดตารางการผลิตสำหรับการขึ้นรูปยางยนต์ที่มีรูปแบบของระบบการผลิตเป็นแบบเครื่องจักรขนานทั้งหมด 32 เครื่อง ในการผลิตงานประมาณ 80 รุ่นต่อวัน โดยมียางที่ต้องผลิตต่อวันรวมทั้งหมดประมาณ 7000 เส้น และมีเงื่อนไขการผลิตในเรื่องของลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งเครื่องจักร โดยงานวิจัยดังกล่าวนั้นได้มีการนำเสนอผลลัพธ์จากวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้ทำการวางแผนการผลิต วิธีการที่เป็นฮิวริสติกแบบเวลาตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดให้ผลิตเป็นลำดับถัดไป (SST) และวิธีการของการจัดตารางการผลิตในรูปแบบของการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ซึ่งยังมีปัญหาในด้านคุณภาพของผลลัพธ์ ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์ และมีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องมือสำหรับประมวลผลลัพธ์ รวมถึงได้มีการเสนอแนะให้มีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกที่ใช้เวลาในการประมวลผลได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพผลลัพธ์ที่ดี เพื่อนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับวิธี MILP และเป็นทางเลือกในการจัดตารางการผลิต

การดำเนินงานวิจัยจึงเริ่มจากการศึกษาที่มาและความสำคัญของปัญหาการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน จากนั้นทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงข้อมูลการผลิตและผลลัพธ์การจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการต่าง ๆ ของงานวิจัยที่ทำการอ้างอิง แล้วทำการออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกซึ่งในงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยที่มีการกำหนดให้ต้นทุนการผลิตเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของกระบวนการค้นหาตารางการผลิต ซึ่งมีการนำงานมาเข้ารหัสคำตอบที่เรียกว่าโครโมโซมด้วยตัวเลขแบบสุ่ม (Random key) และการดำเนินการถ่ายทอดพันธุกรรม (Genetic operation) ทำโดยการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด รวมถึง

การข้ามสายพันธุ์ที่ใช้วิธีพาราเมตริกซ์ยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ส และการกลายพันธุ์ที่มีการเปลี่ยนตัวเลขสุ่ม หลังจากที่ทำการออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตเสร็จแล้วจึงทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาไพธอน ตามวิธีการที่ได้ออกแบบไว้

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับขนาดประชากร (Population size) และระยะเวลาประมวลผลลัพธ์ที่เหมาะสม โดยทำการทดลองจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดใหญ่จำนวน 5 ปัญหา โดยการทดลองสำหรับ 1 ปัญหามีการแบ่งระดับของขนาดประชากร (PZ) ออกเป็น 4 ระดับ คือ 20, 30, 40 และ 50 ทำการทดลองระดับละ 10 ครั้ง เวลาประมวลผลลัพธ์ (Run time) ครั้งละ 10 นาที รวมมีการทดลองทั้งสิ้น 200 การทดลอง หรือ 2000 นาที จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้จึงใช้ขนาดประชากรเท่ากับ 40 และระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 550 วินาที

การทดสอบการจัดตารางการผลิตกับปัญหาขนาดเล็กจำนวน 5 ปัญหา ที่มีลักษณะของปัญหาใกล้เคียงกัน ซึ่งสำหรับปัญหาขนาดเล็กนั้นจะต้องใช้เพื่อทำการทดสอบผลลัพธ์สำหรับการจัดตารางการผลิตที่เป็นงานในกลุ่มที่ 1 และ 2 (รวมถึงกลุ่มที่ 3 และ 4 เมื่อทำการแบ่งงานออกเป็น 5 กลุ่ม) โดยรายละเอียดของการทดสอบมีในเรื่องของจำนวนงาน 6 - 16 งาน และเครื่องจักร 2 - 5 เครื่อง ซึ่งใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 พบว่า มี 4 ปัญหาที่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimal solution) โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์ไม่ถึง 4 วินาที และมี 1 ปัญหาที่ไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมได้ โดยมีผลลัพธ์ที่มีค่าที่แตกต่างจากผลลัพธ์ที่เหมาะสมร้อยละ 1.08 โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์น้อยกว่า 35 วินาที

การทดสอบสำหรับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม โดยทำการทดสอบมีรายละเอียดของปัญหาในเรื่องของจำนวนงาน 71 - 86 งานต่อวัน และสามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้ 32 เครื่อง ซึ่งใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรเท่ากับ 40 และระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด 550 วินาที ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มของงานที่ได้จากคำสั่งผลิตออกเป็น 5 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 คือกลุ่มของงานที่ใช้เครื่องจักรเดียวตลอดทั้งวัน กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มของงานที่มีขนาดขอบยางเท่ากับ 24 นิ้ว กลุ่มที่ 3 - 5 คือกลุ่มของงานมีขนาดขอบยางเท่ากับ 19, 20 และ 22 นิ้ว ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากการแบ่งกลุ่มงานของงานวิจัยของ (อารดา ไชยโคตร, 2561) ที่มีการแบ่งงานออกเป็น 3 กลุ่ม โดยมีการแบ่งงานของงานกลุ่มที่ 1 และ 2 ที่เหมือนกัน และกลุ่มที่ 3 คือ งานที่เหลือจากคำสั่งผลิต จากผลการทดสอบจำนวน 10 ปัญหา (10 วัน) ระหว่าง 2 วิธีการดังกล่าว พบว่าวิธีการที่มีการแบ่งกลุ่มของงาน 5 กลุ่มให้ผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าโดยคิดเป็นร้อยละ 1.19 จากนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการที่มีการแบ่งกลุ่มของงานออกเป็น 5 กลุ่ม นำไปทำการทดสอบผลลัพธ์กับปัญหาจริงจำนวน 30 ปัญหา (30 วันหรือ 1 เดือน) โดยการจัดตารางการผลิตจะทำการค้นหาผลลัพธ์ในแต่ละกลุ่มของงานโดยเรียงลำดับจากกลุ่มที่ 1 จนกระทั่งกลุ่มที่ 5 พบว่าการ

จัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA มีต้นทุนการผลิตรวมที่เป็นตัวชี้วัดตารางการผลิตเท่ากับ 2,240,060 บาทต่อเดือน หรือมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ย 74,668.7 บาทต่อวัน

การทดสอบประสิทธิภาพตารางการผลิต สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร ที่มีรายละเอียดของปัญหาในเรื่องของจำนวนงาน 71 - 86 งานต่อวัน และสามารถเลือกใช้เครื่องจักรได้ 32 เครื่อง โดยการทดสอบจัดตารางการผลิตกับปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาจำนวน 30 วันหรือ 1 เดือน ด้วยวิธีการ GA ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ผู้วางแผน, วิธีการฮิวริสติก SST และวิธีการ MILP ของงานวิจัยที่อ้างอิง (อารดา ไชยโคตร, 2561) โดยมีผลสรุปการทดสอบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตในวิธีการต่าง ๆ ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตแต่ละวิธีการ

ดัชนีชี้วัด	วิธีการ			
	ประสบการณ์พนักงาน	SST	MILP	GA
ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย (บาทต่อวัน)	82,695.5	79,621.9	71,733.9	74,668.7
จำนวนเครื่องจักรที่ใช้งานเฉลี่ยต่อวัน	32	31.1	28.7	29.4
เวลาตั้งค่าเครื่องจักรเฉลี่ย (นาทีต่อวัน)	1,510.3	1,608.5	1,475.4	1,892.1
จำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลาเฉลี่ยต่อวัน	10.3	0.0	4.0	14.4
ผลลัพธ์แตกต่างจากขอบเขตล่าง (เปอร์เซ็นต์)	21.1	17.0	6.3	10.4
เวลาการจัดตารางการผลิต (นาทีต่อวัน)	40	60	< 30	< 15
ค่าใช้จ่ายเครื่องมือประมวลผลลัพธ์	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่มี

จากการทดสอบเปรียบเทียบในด้านต้นทุนการผลิต พบว่าวิธี GA สามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผน 240,803 บาทต่อเดือนหรือโดยเฉลี่ย 8,027.8 บาทต่อวัน ซึ่งคิดเป็นการลดลงร้อยละ 9.7 ที่เกิดจากวิธีการ GA ใช้จำนวนเครื่องจักรที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ย 2.6 เครื่องต่อวัน แต่ยังใช้เวลาตั้งค่าเครื่องจักรมากกว่าโดยเฉลี่ย 381.8 นาทีต่อวัน จำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลาที่มากกว่าโดยเฉลี่ย 4.1 ชั่วโมงต่อวัน และเมื่อสามารถทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีการฮิวริสติก SST 148,596 บาทต่อเดือนหรือโดยเฉลี่ย 4,953.2 บาทต่อวัน ซึ่งคิดเป็นการลดลงร้อยละ 6.2 ที่เกิดจากวิธีการ GA ใช้จำนวนเครื่องจักรที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ย 1.7 เครื่องต่อวัน แต่ยังใช้เวลาตั้งค่าเครื่องจักรมากกว่าโดยเฉลี่ย 283.6 นาทีต่อวัน จำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลาที่

มากกว่าโดยเฉลี่ย 14.4 ชั่วโมงต่อวัน แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีการ MILP เห็นว่าวิธี GA มีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่า 88,045 บาทต่อเดือนหรือโดยเฉลี่ย 2,935.8 บาทต่อวัน ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 ที่เกิดจากวิธีการ GA ใช้จำนวนเครื่องจักรที่มากกว่าโดยเฉลี่ย 0.7 เครื่องต่อวัน ใช้เวลาตั้งค่าเครื่องจักรมากกว่าโดยเฉลี่ย 416.7 นาทีต่อวัน และจำนวนชั่วโมงทำงานล่วงเวลาที่มากกว่าโดยเฉลี่ย 10.4 ชั่วโมงต่อวัน แต่เมื่อเปรียบเทียบด้านเวลาในการจัดตารางการผลิต ซึ่งในวิธีที่ใช้พนักงานจะใช้เวลาการจัดตารางการผลิตประมาณ 40 นาทีต่อวัน วิธีฮิวริสติก SST จะใช้เวลาจัดตารางการผลิตประมาณ 60 นาทีต่อวัน และวิธี MILP จะใช้เวลาการจัดตารางการผลิตประมาณ 30 นาทีต่อวัน แต่ในวิธีการ GA ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการจัดตารางการผลิตประมาณ 15 นาทีต่อวัน จะเห็นว่าวิธี GA สามารถลดเวลาในการจัดตารางการผลิตได้เมื่อเปรียบเทียบกับทุกวิธีการ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกกับวิธีการ MILP ที่เป็นวิธีการที่งานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) ได้ทำการนำเสนอไว้และก่อให้เกิดผลลัพธ์ดีที่สุด ซึ่งจากบทที่ 1 ที่มีการแสดงถึงปัญหาในการจัดตารางการผลิตในงานวิจัยที่มีการอ้างอิงที่มีปัญหาด้านคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ร้อยละ 6.3 ด้านระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 1500 วินาที และด้านตัวประมวลผลลัพธ์ Gurobi ที่มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 420,000 บาท แต่จากตารางที่ 29 พบว่างานวิจัยนี้มีคุณภาพของผลลัพธ์ที่แตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ร้อยละ 10.4 ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 ใช้ระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดเท่ากับ 550 วินาที ซึ่งเป็นการลดลง 950 วินาที และไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้ตัวประมวลผลลัพธ์

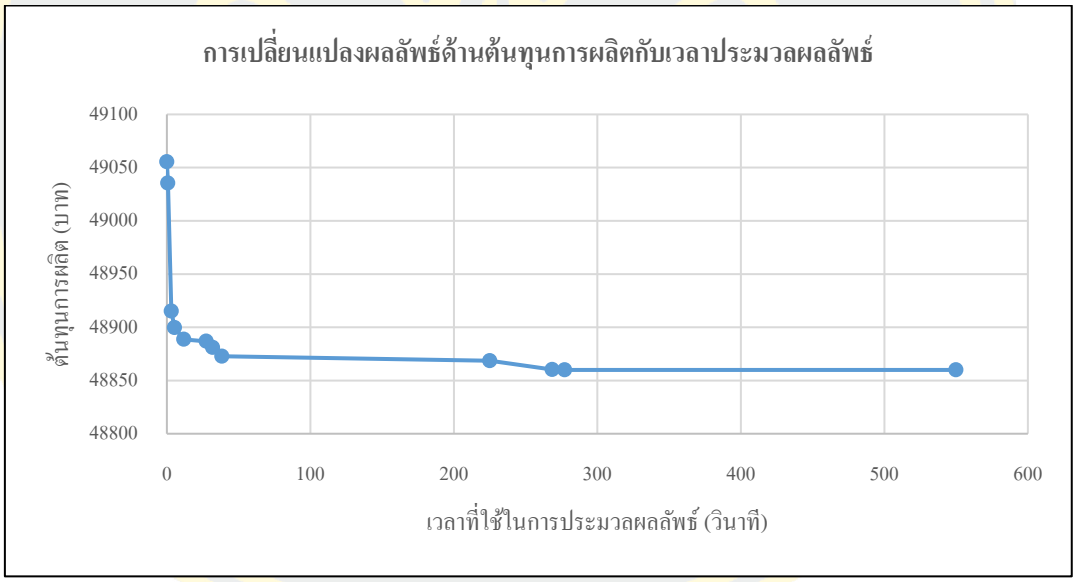
อภิปรายผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกในการแก้ไขปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานที่มีเงื่อนไขทางด้านลำดับงานมีผลต่อเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร เพราะเนื่องจากปัญหาการจัดตารางการผลิตที่ได้ข้อมูลการผลิตมาจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) เป็นปัญหาขนาดใหญ่ประเภท NP-hard ที่เมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น (จำนวนงานหรือเครื่องจักรมากขึ้น) จะใช้ระยะเวลาในการค้นหาผลลัพธ์ที่มากขึ้นในรูปแบบยกกำลัง ทำให้ไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ (Optimal solution) จึงทำให้วิธีเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีที่เหมาะสมเนื่องจากมีคุณภาพของผลลัพธ์ที่ดีและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ไม่มากนัก โดยในงานวิจัยนี้เป็นการใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวก อีกทั้งเป็นการค้นหาคำตอบครั้งละหลายคำตอบ ซึ่งทำให้ช่วงของคำตอบมีบริเวณกว้าง

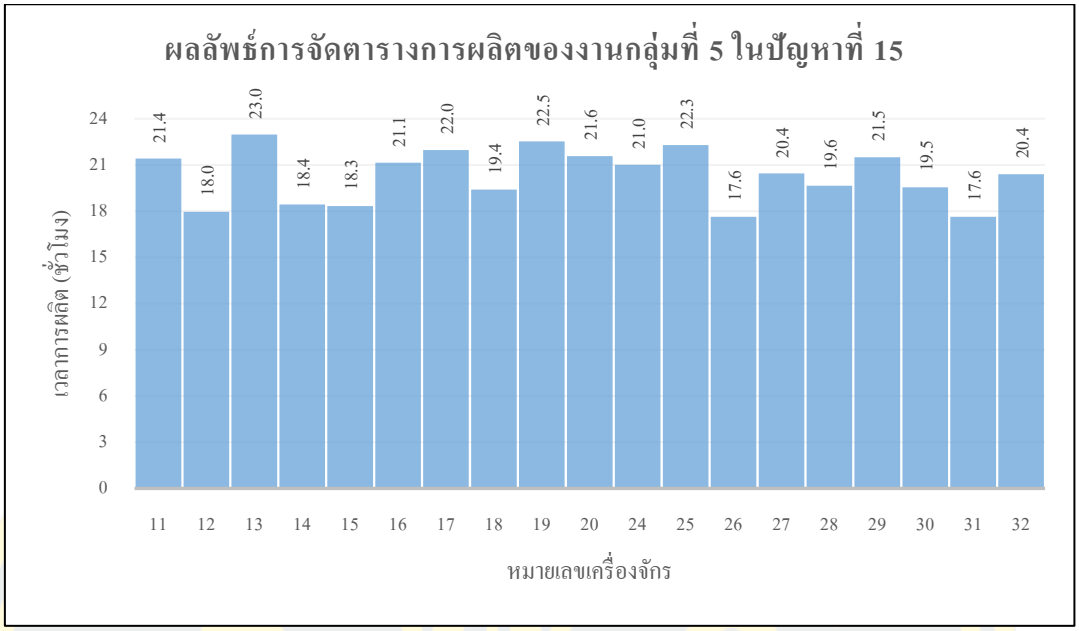
การออกแบบวิธีการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในงานวิจัยนี้เป็นการเข้ารหัสด้วยวิธีการสุ่ม (Random key) โดยการใส่งานลงเครื่องจักรตั้งแต่งานแรกจนกระทั่งงานสุดท้ายโดยเรียงลำดับหมายเลขของเครื่องจักร เนื่องจากมีเงื่อนไขการผลิตว่าในเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีเวลาการผลิตสูงสุด ที่ไม่สามารถใช้เวลาเกินได้ในความเป็นจริง ผู้วิจัยจึงไม่สามารถปล่อยให้มีการเข้ารหัสด้วยวิธีการสุ่มแบบอิสระได้ เพราะจะทำให้การสร้างประชากรเริ่มต้นเป็นไปได้ยากและใช้ระยะเวลานาน อีกทั้งในด้านของค่าพารามิเตอร์ที่ต้องมีความเหมาะสมในแต่ละปัญหาทำให้ไม่สามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ที่อ้างอิงจากงานวิจัย (อมรพงศ์ สงวนสินธุ์ และจักรวาล คุณะดิลก, 2557) ได้ทั้งหมด จึงทำให้ต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวกับขนาดประชากรและระยะเวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุด รวมถึงมีการแบ่งกลุ่มของงานที่แตกต่างจากงานวิจัย (อารดา ไชยโคตร, 2561) เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดเวลาตั้งค่าเครื่องจักรที่มากเกินความจำเป็น อีกทั้งยังเป็นการลดขนาดของปัญหาการจัดตารางการผลิตลง

ประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตในเครื่องจักรขนานด้วยวิธี GA โดยการทดสอบสำหรับปัญหาขนาดเล็กที่ปัญหาส่วนใหญ่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดได้ภายในระยะเวลาไม่ถึง 4 วินาที แต่ก็ยังมีปัญหาที่ไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดโดยแตกต่างจากขอบเขตล่างไม่มากนัก (ร้อยละ 1.08) ที่ใช้เวลาประมวลผลลัพธ์ไม่ถึง 35 วินาที และจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตในปัญหาจริงของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธี GA กับวิธีที่ใช้พนักงาน วิธีฮิวริสติก SST และวิธี MILP ซึ่งพบว่าในแต่ละวิธีมีความสามารถและจุดเด่นในการจัดตารางการผลิตที่แตกต่างกัน สำหรับวิธีการที่ใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนนั้นจะมีจุดเด่นในเรื่องการใช้งานของเครื่องจักรที่เห็นว่าโดยส่วนใหญ่การจัดตารางการผลิตแต่ละครั้งจะใช้งานเครื่องจักรครบทุกเครื่องจึงส่งผลให้มีต้นทุนการผลิตที่สูง สำหรับวิธีการฮิวริสติก SST มีจุดเด่นในเรื่องการทำงานช่วงล่วงเวลาเพราะวิธีนี้มีความพยายามไม่ให้เกิดการทำงานในช่วงล่วงเวลาเกิดขึ้นจึงส่งผลให้มีการใช้เครื่องจักรต่อครั้งในปริมาณที่มากและมีต้นทุนการผลิตที่สูงเช่นกัน สำหรับวิธีการ MILP เป็นวิธีที่การที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด (Exact method) ทำให้มีคุณภาพของผลลัพธ์ดีที่สุดหรือต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ส่วนวิธี GA เป็นวิธีเมตาฮิวริสติกที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบประมาณ (Approximation method) ส่งผลให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับวิธีที่ใช้ประสบการณ์ของพนักงาน และวิธีการฮิวริสติกทั่วไป แต่ไม่สามารถทำได้ดีกว่าวิธี MILP แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพงานวิจัย ถึงแม้การจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA มีคุณภาพของผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าวิธี MILP แต่ยังไงก็ตามจุดเด่นของวิธี GA คือการใช้ระยะเวลาประมวลผลลัพธ์ที่รวดเร็วกว่าค่อนข้างมาก อีกทั้งยังไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้เครื่องมือประมวลผลลัพธ์เมื่อเทียบกับวิธี MILP ที่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้

ดังนั้นสรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถออกแบบการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาตั้งค่าด้วยวิธีเมตาฮิวริสติกได้ และสามารถคำนวณต้นทุนการผลิตให้มีค่าที่ต่ำอย่างเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้จริง อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มทางเลือกสำหรับวิธีการที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตตามวัตถุประสงค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในส่วนของระยะเวลาการประมวลผลลัพธ์ที่งานวิจัยนี้ใช้เวลาประมวลผลลัพธ์สูงสุดที่ 550 วินาที ซึ่งในภาพที่ 23 และภาพที่ 24 แสดงการค้นหาผลลัพธ์ในส่วนของงานกลุ่มที่ 5 ที่เป็นกลุ่มของงานที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของปัญหาที่ 15 (วันที่ 15) จากภาพที่ 23 เห็นว่าแท้จริงแล้วการเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ในด้านต้นทุนการผลิตจะมีความเปลี่ยนแปลงมากในช่วง 1 นาทีแรก (ช่วงเวลาประมาณ 0 - 60 วินาที) ของการค้นหาคำตอบ จากนั้นผลลัพธ์จะมีความเปลี่ยนแปลงหรือมีการพัฒนาค่อนข้างน้อย และในบางครั้งไม่มีการพัฒนาผลลัพธ์เกิดขึ้น



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงผลลัพธ์ในการค้นหาผลลัพธ์ตามระยะเวลาของวิธี GA



ภาพที่ 24 ความสมดุลของงานในแต่ละเครื่องจักรของวิธี GA

จากภาพที่ 24 เห็นว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธี GA นั้น ผลลัพธ์การจัดตารางการที่ได้ยังมีความสมดุลของงานในการดำเนินการผลิตในแต่ละเครื่องจักรที่เกิดขึ้นอยู่ไม่มากนัก ทำให้เห็นว่าในส่วนของระยะเวลาประมวลผลลัพธ์ที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตนั้นอาจลดลงได้ค่อนข้างมาก โดยอาจเป็นการใช้วิธี GA ในการค้นหาคำตอบเบื้องต้นก่อนภายใน 1 นาที จากนั้นอาจนำวิธีการอื่นมาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการผลิตร่วมกับวิธี GA เพื่อช่วยในการจัดสมดุลของงานในแต่ละเครื่องจักรที่ส่งผลให้คุณภาพของผลลัพธ์นั้นดีขึ้นกว่าในปัจจุบัน ซึ่งเป็นแนวทางการปรับปรุงในด้านของระยะเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตรวมถึงแก้ไขปัญหาในส่วนดังกล่าว โดยผู้วิจัยจะทำการเสนอแนะในส่วนนี้เพื่อพัฒนางานวิจัยต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนางานวิจัยต่อในส่วนของปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานด้วยวิธีการของเมตาฮิวริสติกวิธีอื่น หรือทำการประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีการอื่นในการจัดตารางการผลิต เพื่อพัฒนาในส่วนของคุณภาพของผลลัพธ์ รวมถึงเพื่อการพัฒนาในด้านเวลาที่ใช้ในการจัดตารางการผลิตเพื่อเป็นทางเลือกในการจัดตารางการผลิตต่อไป

บรรณานุกรม

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2556). การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 1*(2), 35-50.

กรมโรงงานอุสาหกรรม. (2563). *สถิติจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในปี 2552-2562*. https://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=spss63

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

ณรงค์ศักดิ์ บุญประเสริฐ และ เชฎฐา ชำนาญหล่อ. (2561). การจัดสมดุลสายการประกอบในการผลิตรถกึ่งพ่วงโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองได้. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 6*(2), 1-9.

ณัฐพล แสนคำ. (2563, 30 มีนาคม). *วิธีการใช้งาน Visual Studio Code*. สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์. http://cs.bru.ac.th/สอนวิธีการใช้-visual-studio-code-2/

ทวีพร ขำดี. (2554). *การจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรขนานแบบหลายจุดประสงค์*. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]. ThaiLIS Digital Collection.

ธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (2559). *วิธีการจัดลำดับและการจัดตารางการผลิต* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สายธุรกิจโรงพิมพ์ บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด.

ปริญญา กวีกิจบัณฑิต และ อรจิตร แจ่มแสง. (2554). *การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรมในการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรม*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

พันธวณิช. (2563, 11 กันยายน). *วิธีการลดต้นทุนบริษัทอย่างมีประสิทธิภาพ*. https://www.pantavanij.com/cost-reduction-technique/

รัชฎาภรณ์ ศรีวิชัย และ มณเฑียร รัตนศิริวงศ์วุฒิ. (2561). การพัฒนาระบบบริหารจัดการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการบริหารความเสี่ยงร่วมกับเมตาฮิวริสติกแบบการค้นหาต้องห้าม. ใน *รายงานการประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 14* (น. 522-527). มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วริษา วิสิทธิพานิช. (2558). การหาค่าเวลาการทำงานทั้งหมดที่ต่ำที่สุดในปัญหาการจัดตารางการผลิตตามสั่งแบบยืดหยุ่น โดยการปรับแต่งวิธีวิวัฒนาการผลต่าง. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 3*(1), 40-50.

วิจิตรา กิจชัยนุกูล และ วิชัย รุ่งเรืองอนันต์. (2556). อัลกอริธึมเชิงพันธุกรรมสำหรับแบบจำลองการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง ในโรงงานตู้ปาเป้าอิเล็คทรอนิกส์. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน , 1*(1), 25-40.

สุชาติ คุ้มมะณี. (2561). *เชี่ยวชาญการเขียนโปรแกรมด้วยไพธอน*. https://drive.google.com/file/d/1_xvEhRquLeZJbLLKrK1e5liJdb_HDEBH

สุวิมล คำแสน, อธิวัฒน์ บุญมี และอัมภิกา บุญมี. (2561). การวางแผนเส้นทางการเยี่ยมชมจุดท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลา โดยประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม: กรณีศึกษาเมืองจำลอง จังหวัดชลบุรี. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 6*(1), 1-12.

อมรพงศ์ สงวนสินธุ์ และ จักรวาล คุณะดิลก. (2557). วิธีฮิวริสติกสำหรับลดค่าความแปรปรวนของภาระงาน ในการจัดสมดุลสายงานการประกอบรูปทรงตัวยู. *วารสารการวิจัยดำเนินงาน, 2(2)*, 11-21.

อมรรัตน์ วัดเล็ก. (2557). *การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการวางแผนการผลิต*. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]. ThaiLIS Digital Collection.

อารดา ไชยโคตร. (2561). *การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์*. [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา]. ThaiLIS Digital Collection.

Ali Allahverdi. (2015). The third comprehensive survey on scheduling problems with setuptimes/costs. *European Journal of Operational Research*, *246*, 345-378. doi:10.1016/j.ejor.2015.04.004

Balin, S. (2011). Non-identical parallel machine scheduling using genetic algorithm. *Expert Systems with Application, 38*, 6814-6821. doi:10.1016.j.eswa.2010.12.064

Fred Glover & Gary A. Kochenberger. (2003). *HANDBOOK OF METAHEURISTICS*. Kluwer Academic.

Iima, H. (2005). Genetic Algorithm Approach to multiobjective rescheduling on parallel machines. *IFAC Proceedings Volumes, 16*, 139-144. doi:10.3182/20050703-6-CZ-1902.01507

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแผนการผลิตในปัญหาที่ 7 (วันที่ 7)

ตารางภาคผนวก ก - 1 ตัวอย่างแผนการผลิตในปัญหาที่ 7 (วันที่ 7)

หมายเลขเครื่องจักร	ลำดับงานที่	งาน	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
1	1	A8C2	22	279
2	1	N1D8	22	268
3		-		
4	1	G6D4	22	299
5	1	K8V4	20	255
6	1	A7S7	19	44
	2	K1R2	19	122
	3	T8U2	19	46
7	1	P0S1	19	48
	2	B8R8	19	57
	3	J3R5	19	52
	4	F2R4	19	52
8	1	U4W3	20	52
	2	K8X5	20	44
	3	K4W2	20	150
9	1	K0V4	20	47
	2	K8V4	20	114
	3	J7W8	20	53
10	1	U2V8	20	204
11	1	A6A8	22	48
	2	B7B5	22	114
	3	B3B3	22	116

ตารางภาคผนวก ก - 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	ลำดับงานที่	งาน	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
12	1	B7B0	22	52
	2	S2B7	22	98
	3	H2B5	22	116
13	1	S6B2	22	39
	2	T5C5	22	174
14	1	A6C3	22	100
	2	A8C2	22	51
	3	N4C8	22	116
15	1	R4C2	22	110
	2	T5C3	22	106
	3	S6E3	22	42
16	1	U0C3	22	212
	2	U5B6	22	98
17	1	V0C5	22	100
	2	W0C7	22	47
	3	C2D0	22	114
18	1	L4D9	22	88
	2	G0E5	22	94
	3	G6D4	22	49
19	1	M8E4	22	102
	2	J6E7	22	88
	3	S0E2	22	44
20	1	S1E9	22	204
	2	G8F6	22	36

ตารางภาคผนวก ก - 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	ลำดับงานที่	งาน	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
21	1	T5Y0	24	72
	2	K4Y8	24	30
	3	K6Y4	24	80
22	1	U8Y0	24	92
	2	W5Y6	24	40
	3	R3Y2	24	30
23		-		
24	1	S4E7	22	92
	2	A4F2	22	112
	3	P5L9	22	46
25	1	G7F9	22	86
	2	C2F9	22	96
	3	F2F0	22	80
26	1	T8F7	22	35
	2	M3F0	22	80
	3	A2G4	22	84
27	1	E7G4	22	200
	2	C7G9	22	40
28	1	B0H4	22	100
	2	M2G7	22	141
29	1	B1H8	22	102
	2	B2H9	22	102
	3	H8L0	22	45

ตารางภาคผนวก ก - 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	ลำดับงานที่	งาน	ขนาด	คำสั่งผลิต (เส้น)
30	1	B6H3	22	39
	2	B4H6	22	165
	3	M4L8	22	44
31	1	C1H1	22	150
	2	E0H6	22	88
32	1	T0H8	22	40
	2	P5H0	22	45
	3	G5H3	22	40
	4	H3L9	22	43
	5	C3L8	22	42

ภาคผนวก ข

ข้อมูลนำเข้าสำหรับการจัดตารางการผลิต

ตารางภาคผนวก ข - 1 ข้อมูลการจัดตารางการผลิต

ชื่อ	ความหมาย
*S*TDTime (Excel file)	เวลามาตรฐานการผลิตของงานมีหน่วยนาที/เส้น (แสดงตัวอย่างในบทที่ 4)
MC_SetupTime (Excel file)	เวลามาตรฐานการตั้งค่าเครื่องจักรมีหน่วยนาที/ครั้ง (แสดงตัวอย่างในบทที่ 4)
T_{max}	เวลาการผลิตสูงสุดในแต่ละเครื่องจักร 1,213.65 นาที
NT	เวลาการทำงานในช่วงเวลาปกติ 1,057.65 นาที
E	อัตราค่าไฟฟ้าที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักร 0.61 บาท/นาที
L	หมายถึงอัตราค่าแรงของพนักงานในช่วงเวลาปกติ 1,862.68 บาท/เครื่อง/21ชั่วโมง
L_o	หมายถึงอัตราค่าแรงของพนักงานในช่วงล่วงเวลา 133.05 บาท/ชั่วโมง

#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 ข - 1 ข้อมูลนำเข้าในส่วนของงานและคำสั่งซื้อ (อารดา ไชยโคตร, 2561) หมายเหตุ P.code คือชื่อรุ่นของงานที่ต้องจัดตารางการผลิต, Order คือปริมาณคำสั่งผลิตของแต่ละงาน (เส้น)

#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 ข - 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	B7B5	114	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 ข - 1 (ต่อ)

หมายเลขเครื่องจักร	งานตั้งต้นในแต่ละวัน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		T5C3	T5C3	T5C3	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2
2		N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8
3		U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	U0C3	U5B6	V0C5	V0C5	V0C5	V0C5	V0C5	V0C5	V0C5
4		C2D0	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4
5		U2V8	U2V8	U2V8	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4
6		B6R2	P2S3	B6R2	P2S3	F2R4	A7S7	T8U2	B8R8	K1R2	F2R4	A0S4	F2R4	T5T6	H3S3
7		F2R4	A3U4	K1R2	A3U4	K1R2	P2S3	F2R4	A7S7	T8U2	A0S4	A7S7	A0S4	K1R2	E2S9
8		K4W2	J7W8	S4V2	K0V4	K8X5	U4W3	K4W2	U4W3	U2V8	U4W3	K8X5	U4W3	D0W9	S8X2
9		B8W0	K4W2	K8X5	K0U5	K4W2	K0V4	J7W8	K8V4	K4W2	S8X2	S8X2	S8X2	K8X5	K8V4
10		K0V4	K8V4	K0U5	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8	U2V8
11		A6A8	W7A9	B7B0	A6A8	B7B0	A6A8	B3B3	A6A8	B3B3	A6A8	E0C2	B7B0	B3B3	A4A1
12		B7B5	B7B0	H2B5	B7B5	H2B5	B7B5	H2B5	B7B0	H2B5	A6C3	B7B5	H2B5	B7B5	H2B5
13		S2B7	H2B5	V7B4	S2B7	R0B4	S2B7	T5C5	V1C0	K1C6	N4C8	A8C2	A6C3	A7C2	T5B8
14		N4C8	A6C3	A4C4	A6C3	U5B6	A6C3	N4C8	A6C3	R4C2	T5C3	N4C8	E0C2	A8C2	E0C2
15		T5C5	N4C8	R4C2	N4C8	A8C2	R4C2	S6E3	R4C2	T5C5	V0C5	R4C2	T5C3	K1C6	R4C2
16		C2D0	T5C5	T5C3	T5C5	T5C3	T5C5	U5B6	V0C5	W0C7	C2D0	V0C5	T5C5	T5C3	V1C0
17		G6D4	W0C7	C2D0	U0C3	W0C7	V0C5	C2D0	W0C7	C2D0	L4D9	G6D4	V1C0	W0C7	G6D4
18		L4D9	G0E5	G0E5	L4D9	G0E5	L4D9	G6D4	L4D9	G0E5	J6E7	K3E1	L4D9	G6D4	J6E7
19		M8E4	S0E2	J6E7	M8E4	S6E3	M8E4	S0E2	A4F2	F2F0	S1E9	S6E3	S1E9	K3E1	S4E7
20		S1E9	S6E3	S1E9	S6E3	G8F6	S6E3	G8F6	S1E9	S6E3	S4E7	A4F2	S6E3	S1E9	A5F5
21		U8Y0	R3Y2	K4Y8	T5Y0	U8Y0	T5Y0	K6Y4	R3Y2	K6Y4	R3Y2	K4Y8	K6Y4	W5Y6	T5Y0
22		K4Y8	T5Y0	U8Y0	U8Y0	U8Y0	U8Y0	R3Y2	T5Y0	W5Y6	W5Y6	W5Y6	W5Y6	W5Y6	W5Y6
23					R3Y2	K6Y4	R3Y2	U8Y0	U8Y0	U8Y0	T5Y0	U8Y0	U8Y0	K4Y8	R3Y2
24		F4F6	F4F6	A4F2	F4F6	A4F2	F2F0	A4F2	F2F0	A4F2	C2F9	F2F0	A4F2	A5F5	C2F9
25		M5F7	G7F9	M3F0	G7F9	M3F0	G7F9	F2F0	C2F9	G7F9	T8F7	C7G9	F2F0	G8F6	M3F0
26		M8F8	C6G9	M8F8	C7G9	H6G0	T8F7	A2G4	G7F9	A2G4	E7G4	G3J6	M3F0	A2G4	C0G2
27		H6G0	E7G4	H6G0	E7G4	M2G7	C7G9	C7G9	E7G4	M2G7	B0H4	T0H8	G3J6	E7G4	L8H5
28		B0H4	M1G5	B0H4	B1H8	B0H4	B1H8	M2G7	B0H4	B1H8	E3H0	P5H0	B0H4	M2G7	B1H8
29		B4H6	B4H6	B2H9	B4H6	B6H3	B4H6	H8L0	B2H9	B6H3	H8L0	B6H3	M4L8	B2H9	D3T2
30		G5H3	C1H1	B6H3	L0H9	E0H6	C1H1	M4L8	B4H6	E0H6	C1H1	E0H6	P5H0	B6H3	H3L9
31		G1J5	T0H8	C3L8	M4L8	C3L8	T0H8	E0H6	C1H1	P5H0	P5L9	P5L9	E3H0	C1H1	W5L5
32		M4L8	P4L7	P5L9	P5L9	P5L9	P5L9	C3L8	T0H8	H8L0	H8L0	H8L0	W5L5	T0H8	T0H8

ภาพภาคผนวก ข - 2 ข้อมูลนำเข้าในส่วนของเครื่องจักรและงานตั้งต้นของแต่ละเครื่องจักร

หมายเลขเครื่องจักร	งานตั้งต้นในแต่ละวัน														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2	A8C2
2	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	N1D8	H2B5	H2B5
3	V0C5	V0C5	V0C5	V0C5	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9	C5B9
4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4	G6D4
5	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4	K8V4
6	A7S7	K1R2	H3S3	K1R2	H3S3	K1R2	H3S3	K1R2	H3S3	K1R2	A3U4	P2S3	V5S2	K1R2	A3U4
7	V5S2	E2S9	V5S2	C2S2	V5S2	C2S2	V5S2	C2S2	L1S6	C2S2	L1S6	K1R2	L1S6	E8S0	P2S3
8	M0T7	W1V1	S2V7	L1U8	U2V8	S2V7	S2V7	G6Y3	W1V1	F6U4	S2V7	H0W5	S2V7	L6X0	S2V7
9	S2V7	K8V4	F6U4	K8V4	P3Y4	G0Y9	G6Y3	K8V4	K0U5	U2V8	L1U8	L1U8	F6U4	S2V7	L6X0
10	U2V8	U2V8	U2V8	W1V1	G0Y9	U2V8	F6U4	P3Y4	G2Y8	W1V1	E0W4	U2V8	K8V4	U2V8	K8V4
11	B7B0	B3B3	B7B0	B3B3	B7B0	B3B3	B7B0	B3B3	B7B0	B1B1	B7B0	E4G1	B7B0	B1B1	C5B9
12	C5B9	B7B5	C5B9	B7B5	H2B5	B7B5	C5B9	B7B5	C5B9	B7B5	C5B9	B7B5	C5B9	B7B5	B7B0
13	A6C3	H2B5	T5B8	A6C3	T5B8	A7C2	S3B4	L6B9	H2B5	L6B9	S3B4	H2B5	S0B0	A7C2	S0B0
14	A7C2	T5B8	A8C2	E0C2	T5C3	F2L3	T5B8	S3B4	A8C2	S3B4	A8C2	S6B6	A8C2	S7C7	A7C2
15	E0C2	A7C2	E0C2	A5F5	T5C5	W0C7	R4C2	T5C3	R4C2	K1C6	R4C2	H6C5	K1C6	W0C7	S7C7
16	R4C2	N4C8	R4C2	W0C7	H2E5	C2D0	W0C7	C2D0	W0C7	T5C3	C2D0	W0C7	T5C3	C2D0	T5C5
17	T5C5	H2E5	W0C7	C2D0	A5F5	S0E2	C2D0	S0E2	N1D8	C2D0	H2E5	C2D0	N1D8	C3E7	H2L2
18	L4D9	S0E2	K3E1	S0E2	C2F9	A5F5	M4L8	A5F5	S6E3	S0E2	S1E9	C3E7	C3E7	S1E4	M8E4
19	S1E9	C2F9	S1E9	K4J7	S0E2	C2F9	A5F5	C2F9	A5F5	S7E5	A5F5	S7E5	S1E9	S7E5	S7E5
20	C2F9	A5F5	L8H5	F2F0	K4J7	F2F0	C4F0	G7F9	C4F0	C2F9	L1F4	C2F9	A5F5	C2F9	A5F5
21	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2	T5Y0	R3Y2
22	K6Y4	U8Y0	K4Y8	U8Y0	K6Y4	U8Y0	K4Y8	U8Y0	K4Y8	U8Y0	K6Y4	U8Y0	K6Y4	U8Y0	K6Y4
23	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2	R3Y2
24	G5H3	M3F0	G7F9	M3F0	G7F9	M3F0	G7F9	T1F0	G7F9	M3F0	T1F0	L1F4	M3F0	F4F6	M3F0
25	F2F0	A2G4	M3F0	A2G4	T1F0	A2G4	T1F0	H0G7	T5F1	M4F9	E7G8	M4F9	T1F0	M4F9	E4G1
26	G8F6	M2G7	E7G4	G5H3	M0T7	H0G7	C3G0	B1H8	C7G9	T5F1	B4H6	M2G7	T5F1	E7G4	E5G9
27	E7G4	B1H8	M2G7	B0H4	H0G7	B1H8	M2G7	C1H1	M2G7	E7G8	E0H6	B4H6	E7G8	B1H8	C1H1
28	M2G7	M0T7	B1H8	C6H6	G5H3	B2H9	C1H1	G3J6	C1H1	B4H6	G2J3	D0H1	B4H6	D0H1	S5H5
29	G3J6	C1H1	K4J7	H3L9	B6H3	D0H1	E0H6	M0T7	G2J3	T0H8	F7L9	B2L4	G2J3	B2L4	F3L4
30	B4H6	L8H5	H3L9	G3J6	C1H1	G5H3	F2L3	F2L3	B2L4	F7L9	M0T7	H5L3	F2L3	H2L2	F7L9
31	C1H1	H5L1	G5H3	M0T7	L1U8	K4J7	K4J7	K4J7	M0T7	W3L8	W3L8	M0T7	W3L8	M0T7	M0T7
32	D3T2	D3T2	H5L1	H5L1	H5L1	H5L1	H5L1	K0U5	L1U8	F0W3	G2Y8	K0U5	P3Y4	G8Y5	F6U4

ภาพภาคผนวก ข - 2 (ต่อ)