การจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

ปัญจรัศม์ แพทย์โท

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

ปัญจรัศม์ แพทย์โท

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

MATHEMATICAL MODELING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM: A CASE STUDY OF AUTOMOTIVE PART FACTORY

PANJARAT PHAETTHO

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER OF SCIENCE
IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
FACULTY OF LOGISTICS
BURAPHA UNIVERSITY
2021

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ ปัญจรัศม์ แพทย์โท ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....

(ดร.เสาวนิตย์ เลขวัต)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

.....ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ณกร อินทร์พยุง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล)

.....กรรมการ

(ดร.เสาวนิตย์ เลขวัต)

.....คณบดีคณะโลจิสติกส์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพา

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.นุจรี ไชยมงคล)

วันที่ 9 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2564

62920300: สาขาวิชา: การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน; วท.ม. (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน)
คำสำคัญ: เวลาในการผลิตสินค้า, ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร, การจัดลำดับการผลิต

ปัญจรัศม์ แพทย์โท : การจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ : กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์. (MATHEMATICAL MODELING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM:A CASE STUDY OF AUTOMOTIVE PART FACTORY) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: เสาวนิตย์ เลขวัต ปี พ.ศ. 2564.

งานวิจัยนี้ได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการวางแผนการผลิต โดยเฉพาะการจัดลำดับการผลิตประจำวันของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันการจัดลำดับการผลิตจะดำเนินการโดยอาศัยความชำนาญของพนักงาน ซึ่งก่อให้เกิดระยะเวลารอคอยในกระบวนการมากเนื่องจากการวางแผนการผลิตใช้เวลานาน และในบางครั้งก็ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการจัดลำดับการผลิต ทำให้เกิดความเสียหายและส่งผลกระทบต่อการจัดส่งสินค้า ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจัดลำดับงาน (Job shop scheduling problem) ไปใช้เพื่อช่วยตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิต โดยใช้ Solver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ใน Microsoft Excel เพื่อทำการเขียนโปรแกรมโดยนำเอาข้อมูลต่าง ๆ เช่น ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักร (machine capacity) และข้อจำกัดต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ (constraints) เป็นต้น มาทำการวิเคราะห์เพื่อให้สามารถทำการวางแผนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและใช้เวลาให้การทำงานต่ำที่สุด ซึ่งผลการศึกษาโดยการเปรียบเทียบวิธีการจัดลำดับงานในปัจจุบันด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีการจัดลำดับงานด้วยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสามารถลดเวลาในการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 ได้ 73.99 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 11.32 สามารถลดเวลาในการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 ได้ 21.72 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 2.83

62920300: MAJOR: LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT; M.Sc. (LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)
KEYWORDS: CYCLE TIME, OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS, JOB SHOP SCHEDULING

PANJARAT PHAETTHO : MATHEMATICAL MODELING FOR JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM:A CASE STUDY OF AUTOMOTIVE PART FACTORY. ADVISORY COMMITTEE: SAOWANIT LEKHAVAT, 2021.

This paper addresses a workforce planning problem of production especially daily production scheduling of automotive part manufacturing. Currently, daily production scheduling is prepared by scheduler's experience which causes long waiting time and error. This error is impacted delivery goods to customer. This research uses the optimization modeling to help the scheduler preparing daily production schedule by using open solver software in excel sheet to program. The importance input data e.g. machine capacity, product constrain for analyzing to get high efficiency of production scheduling by shorten processing time. The results show that a reduction of working time was decreased 73.99 hrs. or 3 days (11.32%) in May 2021 and the working time can be decreased 21.72 hrs. or 1 day (2.83%) in July 2021

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษางานนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์และลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.เสาวนิตย์ เลขวัต อาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนช่วยแนะนำแก้ไขในข้อผิดพลาดและให้ความเอาใจใส่คอยติดตาม สอบถามด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ผรณกษม อิทรทัต ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำเกี่ยวกับการเขียนแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ และช่วยให้งานนิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ณกร อินทร์พยุง ประธานกรรมการสอบงานนิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เร้าธนชลกุล กรรมการสอบงานนิพนธ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้งานนิพนธ์มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำข้อมูลในการทำนิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ นิสิตปริญญาโทสาขาการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานรุ่น 17/ 1 ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาตลอดการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณเป็นพิเศษสำหรับหัวหน้างานและเพื่อนร่วมงานที่บริษัทที่ให้ความสนับสนุน ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาและคอยให้กำลังใจตลอดการทำนิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานสำหรับการวางแผนการผลิตและสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานต่อไป

ปัญจรัศม์ แพทย์โท

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 2

ขอบเขตของการวิจัย 2

นิยามศัพท์เฉพาะ 3

บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา 4

กระบวนการวางแผนและควบคุมการผลิต 4

การกำหนดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling) 5

การผลิตแบบตามงาน (Job shop) 6

วัตถุประสงค์และตัววัดสมรรถนะ 7

โปรแกรมมิ่งเชิงจำนวนเต็ม 9

แบบจำลอง Job shop scheduling 11

แผนภูมิแกนต์ 17

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 24
กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 25
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 26
รูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น 26
การใช้ Solver 29
บทที่ 4 ผลการวิจัย 37
ปัญหาและวิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน 37
ข้อมูลและสภาพทั่วไปของโรงงาน 37
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 42
กรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 84
สรุปผลการวิจัย 84
อภิปรายผล 87
ข้อเสนอแนะ 87
บรรณานุกรม 88
ประวัติย่อของผู้วิจัย 91

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 เงื่อนไขของเวลาในการทำงาน 5 ชิ้นงาน 11
ตารางที่ 2 เวลาการทำงานของแต่ละชิ้นงาน (Process time) 16
ตารางที่ 3 ตัวอย่างการวางแผนการผลิตรายสัปดาห์ 39
ตารางที่ 4 ตัวอย่างแผนการผลิตรายสัปดาห์ (เป็นจำนวนครั้งในการชุบ) 39
ตารางที่ 5 ตัวอย่างการวางแผนการใช้เครื่องจักร (หน่วยวันต่อสัปดาห์) 40
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความต้องการของลูกค้าในปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ. 2564 41
ตารางที่ 7 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิต 44
ตารางที่ 8 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 46
ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 48
ตารางที่ 10 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 49
ตารางที่ 11 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 51
ตารางที่ 12 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 52
ตารางที่ 13 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 54
ตารางที่ 14 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 55
ตารางที่ 15 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 57
ตารางที่ 16 ตารางแสดงเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการของแต่ละเครื่องจักร 58
ตารางที่ 17 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) 58
ตารางที่ 18 สรุปผลลัพธ์จากการ Solve 63

ตารางที่ 19 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 65
ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564.....65
ตารางที่ 21 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิต.....67
ตารางที่ 22 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4.....68
ตารางที่ 23 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 70
ตารางที่ 24 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4.....71
ตารางที่ 25 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 73
ตารางที่ 26 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 74
ตารางที่ 27 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 76
ตารางที่ 28 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 77
ตารางที่ 29 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 79
ตารางที่ 30 การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....80
ตารางที่ 31 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6 82
ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564.....82
ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564.....84
ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564.....86

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ระบบการผลิตแบบตามงาน 6
ภาพที่ 2 แผนภูมิ Gantt 17
ภาพที่ 3 แผนภูมิแกนต์แสดงตารางสำหรับ 2 เครื่องจักรและ 3 งานโดยที่งานอยู่ในแกนตั้ง 18
ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 24
ภาพที่ 5 กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 25
ภาพที่ 6 แท็บ Data ในเอกเซล 29
ภาพที่ 7 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameter 29
ภาพที่ 8 ไดอะล็อกบ็อกซ์สำหรับการเพิ่มเงื่อนไข 30
ภาพที่ 9 การไหลของกระบวนการการผลิต 38
ภาพที่ 10 เปรียบความต้องการของลูกค้าในปี พ.ศ.2563 และ พ.ศ.2564 42
ภาพที่ 11 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 1 47
ภาพที่ 12 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 2 50
ภาพที่ 13 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 3 53
ภาพที่ 14 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 4 56
ภาพที่ 15 ตารางเมตริกซ์ 62
ภาพที่ 16 กำหนดค่าลงใน Solver 62
ภาพที่ 17 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 64

ภาพที่ 18 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 1 69

ภาพที่ 19 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 2 72

ภาพที่ 20 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 3 75

ภาพที่ 21 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 4 78

ภาพที่ 22 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....81

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 ได้ส่งผลกระทบอย่างรวดเร็วและรุนแรงต่อเศรษฐกิจทั่วโลก โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิต เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านการนำเข้าวัตถุดิบและส่งออกสินค้าซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่มีผลกระทบต่อการผลิต เนื่องจากไม่มีวัตถุดิบในการผลิตสินค้า อีกทั้งในด้านของการจัดส่งสินค้าไปขายยังต่างประเทศก็ยังเกิดผลกระทบเป็นอย่างมากเนื่องจากบางประเทศมีการปิดประเทศ (Lockdown) โดยไม่ให้มีการดำเนินกิจการหรือกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อหรือแพร่ระบาดของโควิด 19 จึงทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถส่งมอบสินค้าไปยังลูกค้าที่ยังมีความต้องการได้

ในภาคอุตสาหกรรมยานยนต์ก็เป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์โควิด 19 เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตรถยนต์มีจำนวนหลายรายการ และมีซัพพลายเออร์อีกจำนวนมากที่ต้องทำการผลิตและชิ้นส่วนต่าง ๆ เพื่อทำการประกอบรถยนต์ที่ได้รับผลกระทบทั้งห่วงโซ่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด 19 จึงทำให้บางบริษัทชั้นนำระดับโลกที่มีเครือข่ายบริษัทตามภูมิภาคต่าง ๆ ได้ทำการกระจายความต้องการของลูกค้าไปยังบริษัทลูกเพื่อให้ทำการผลิตสินค้าชนิดเดียวกันเพื่อส่งให้กับลูกค้าให้ได้ตามความต้องการ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากบริษัทในเครือมีผลกระทบอย่างมากมาย เช่น กำลังการผลิตของโรงงานที่ต้องการเพิ่มขึ้น ความต้องการวัตถุดิบจากซัพพลายเออร์มีปริมาณเพิ่มขึ้นรวมถึงค่าจัดส่งสินค้าและการสั่งซื้อวัตถุดิบมากขึ้น เนื่องจากการขนส่งจำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบจากการขนส่งทางเรือเป็นการขนส่งทางอากาศ เป็นต้น

ความท้าทายในการบริหารจัดการในการรองรับปริมาณการผลิตที่มากขึ้น ทางบริษัทจะต้องเริ่มพิจารณาจากปริมาณการผลิตและความสามารถหรือกำลังในการผลิตสินค้า เพื่อจะได้ทำการจัดเตรียมในด้านของทรัพยากรที่ต้องการ เช่น จำนวนพนักงานที่ต้องการเพิ่มขึ้น จำนวนวัตถุดิบที่ต้องการมากขึ้น เป็นต้น ซึ่งการวางแผนการผลิตเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในการนำมาซึ่งการวางแผนในการสั่งซื้อวัตถุดิบรวมถึงการวางแผนเพื่อจะเพิ่มพนักงาน ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำเอากรณีตัวอย่างของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งมาทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการวางแผนการผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการวางแผนหรือการจัดตารางการผลิตเป็นกระบวนการที่ทำโดยใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนการผลิตเท่านั้น จึงทำให้การวางแผนหรือการจัดตาราง

การผลิตอาจยังไม่เหมาะสมซึ่งอาจส่งผลกระทบกับค่าใช้จ่ายในการทำโอทีที่มากเกินไป และไม่มีการจัดสมดุลของเครื่องจักรจึงอาจทำให้เครื่องจักรบางเครื่องถูกใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ มีการหยุดรอ เนื่องจากการจัดลำดับงานไม่เหมาะสม

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองเชิงเส้นมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนและจัดลำดับการผลิต โดยจะใช้เทคนิควิธีคิดแบบการวางแผนแบบตามงาน (Job shop scheduling) มาปรับใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยจะใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล (Microsoft excel) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถช่วยในการคำนวณหรือวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก โดยมีฟังก์ชันโซลเวอร์ (Solver) ซึ่งเป็นโปรแกรมสนับสนุนเพื่อวิเคราะห์หาคำตอบและผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการวางแผนและจัดลำดับการผลิต
2. เพื่อให้การวางแผนและการจัดลำดับการผลิตมีประสิทธิภาพในการจัดการการวางแผนทรัพยากรโดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. สามารถนำแบบจำลองที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้ได้จริงในการวางแผนและจัดลำดับการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ
2. สามารถวางแผนการบริหารจัดการทรัพยากรและต้นทุนในการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการวางแผนและจัดลำดับการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง โดยการศึกษาจะเลือกศึกษาจากกระบวนการผลิตเพียง 2 กระบวนการเท่านั้นคือ การชุบเคลือบผิวผลิตภัณฑ์และการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง โดยนำข้อมูลความต้องการสินค้าตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 และข้อมูลแผนการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 มาทำการวิเคราะห์และใช้ในการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาวิธีการวางแผนและการจัดลำดับการผลิตที่ดีที่สุดและทำให้การจัดการทรัพยากรและต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเหมาะสมที่สุด

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Job shop scheduling หมายถึง การจัดลำดับของการใช้ทรัพยากรหรือเครื่องจักรที่มีอยู่ในการทำชิ้นงานต่าง ๆ ที่กำหนดให้ ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขทางด้านเวลาเป็นปัจจัยสำคัญ

2. Cycle time หมายถึงเวลาในการผลิตสินค้าต่อ 1 หน่วย ซึ่งมีหน่วยเวลาเป็นวินาที

3. Overall Equipment Effectiveness (OEE) หมายถึงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต

บทที่ 2
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการการวางแผนการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาปรับปรุงกระบวนการการวางแผนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยผู้วิจัยได้แบ่งการดำเนินการศึกษาค้นคว้าออกเป็นหัวข้อดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

กระบวนการวางแผนและควบคุมการผลิต

ในการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการผลิต ซึ่งจะส่งผลต่อวัตถุประสงค์โดยรวม ผู้บริหารจะต้องค้นหาคำตอบจากคำถามที่เป็นต้นเหตุพื้นฐานของความมีประสิทธิภาพหรือไม่มีประสิทธิภาพ 2 ประการ ดังต่อไปนี้

1. เราควรทำอะไรต่อไป ซึ่งประกอบไปด้วยคำถามย่อย ๆ 3 คำถามดังนี้ คือ จะผลิตอะไร จำนวนเท่าไหร่ และเมื่อไหร่

2. เรามีขีดความสามารถที่จะทำมันได้หรือไม่ (มีกำลังการผลิตเพียงพอหรือไม่) คำถามทั้งสองเกี่ยวกับลำดับความสำคัญและกำลังการผลิต (Priorities and Capacities) ลำดับความสำคัญ (Priorities) จะเกี่ยวข้องกับความหมายที่ว่า เมื่อไหร่จำเป็นต้องใช้ชิ้นส่วนนี้หรือผลิตภัณฑ์นี้ วันที่ต้องการนี้ ก็จะกลายเป็นวันกำหนดส่งที่จะถูกใช้ในการจัดลำดับให้กับใบสั่งงานแต่ละใบ สำหรับกำลังการผลิต (Capacity) เป็นการอธิบายถึงปริมาณงานที่สามารถจะปฏิบัติได้ โดยกำลังการผลิตนี้จะสัมพันธ์กับคนและเครื่องจักร และโดยทั่ว ๆ ไปจะจัดกำลังการผลิตในรูปของชั่วโมงการทำงานของหน่วยผลิต ดังนั้นการวางแผนและควบคุมการผลิต จึงเป็นการเน้นเรื่องการวางแผนและควบคุมลำดับความสำคัญในการทำงานและกำลังการผลิต

การวางแผนการผลิตจะต้องมาก่อนการวางแผนกำลังการผลิต ซึ่งก็คือการวางแผนลำดับความสำคัญของการทำงานและตามด้วยการวางแผนกำลังการผลิต หลังจากนั้นเป็นการควบคุมกิจกรรมการผลิตชิ้นส่วน ชิ้นส่วนประกอบและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เสร็จตามเป้าหมายและเวลาที่

วางไว้ตามแผน โดยการจัดตารางการผลิตให้กับกิจกรรมการผลิตต่าง ๆ ในแต่ละวันและในระหว่างการปฏิบัติงานเพื่อให้เป็นไปตามแผนและตารางการผลิตจะต้องทำการเฝ้าติดตามความก้าวหน้าของงาน พร้อมทั้งงานระหว่างผลิต เพื่อควบคุมช่วงเวลานำและกำลังการผลิตไปพร้อม ๆ กันด้วย เนื่องจากช่วงเวลานำและกำลังการผลิตที่ใช้ในการวางแผนจะขึ้นอยู่กับระดับของงานระหว่างผลิต ซึ่งจะต้องไม่ให้มากเกินไป

ถึงแม้ผลผลิต (Output) จากระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต จะบอกเพียงว่าจะต้องผลิตอะไร จำนวนเท่าไหร่ และเมื่อไหร่ แต่คำตอบดังกล่าวสามารถจะต้องส่งผลลัพธ์ (Outcome) ต่อการบรรลุตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ ระดับการให้บริการลูกค้าสูงสุด(การส่งมอบสินค้าตามกำหนด) การใช้ประโยชน์โรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Plant Utilization) มีความสูญเสียด้านแรงงานและเครื่องจักรต่ำ และลดการลงทุนในวัสดุคงคลังต่ำ กล่าวคือ มีการถือครองวัสดุคงคลังเท่าที่จำเป็น และวัตถุประสงค์และเป้าหมายดังกล่าวนี้ ก็จะต้องสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าที่โซ่อุปทานต้องการจะตอบสนอง

การกำหนดตารางการผลิตหลัก (Master Production Scheduling)

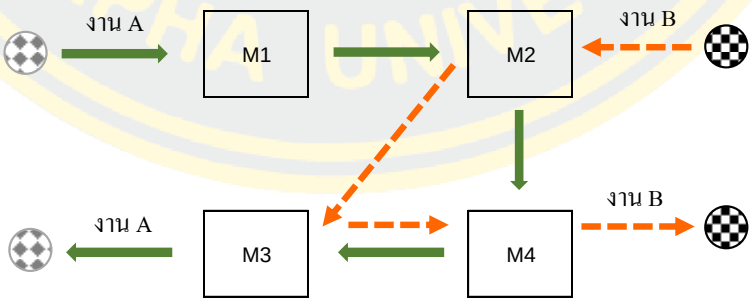
ตารางการผลิตหลักจะกำหนดจำนวนของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่จะต้องการทำการผลิตให้แล้วเสร็จตามช่วงเวลาต่าง ๆ ตารางการผลิตหลักนี้ก็จะต้องถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็นคำสั่งซื้อวัตถุดิบและชิ้นส่วนต่าง ๆ จากพ่อค้าภายนอก รวมทั้งรายละเอียดตารางการผลิตสำหรับชิ้นส่วนที่จะทำการผลิตในโรงงาน เหตุการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องได้จังหวะและสอดคล้องกับวันกำหนดส่งผลิตภัณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ในตารางการผลิตหลัก ช่วงเวลาที่ใช้ในตารางการผลิตหลัก อาจจะมีหน่วยเป็นเดือน สัปดาห์ หรือวันก็ได้ และตารางการผลิตหลักนั้นจะต้องสอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน ไม่ควรจะให้มีจำนวนของผลิตภัณฑ์มากกว่าความสามารถของโรงงานที่จะทำการผลิตได้ ซึ่งความสามารถในการผลิตของโรงงานนี้จะพิจารณาได้จากเครื่องจักรและแรงงานที่มีอยู่ (พิภพ ลลิตาภรณ์, 2556)

การจัดตาราง (Scheduling) หมายถึง การจัดทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับภารกิจ (Task) ที่กำหนดจำนวนหนึ่ง ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดให้ เพื่อที่จะทำให้องค์กรสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ที่เวลานั้นได้ การจัดตารางจะทำให้ทราบว่า เราจะต้องการใช้แต่ละทรัพยากรเมื่อใด เพื่อที่จะผลิตชิ้นงานหรือให้บริการตามที่ต้องการ และการจัดตารางจะเกิดขึ้นในขั้นตอนสุดท้ายของการวางแผนก่อนที่การผลิตจริงจะเริ่มต้นขึ้น

ทรัพยากร (Resource) หมายถึง คนงาน พนักงาน เครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ สถานที่หรือสิ่งของต่าง ๆ ที่มีอยู่เป็นจำนวนจำกัด ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการทำให้เกิดผลผลิตหรือการ

บริการที่ต้องการได้ เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากรที่ต้องใช้ร่วมกันนี้เอง จึงทำให้เกิดการแย่งชิงทรัพยากรขึ้น ดังนั้นทรัพยากรจึงต้องถูกจัดสรรอย่างเหมาะสมตามลำดับความสำคัญให้กับกิจกรรมต่าง ๆ ที่ต้องการใช้ทรัพยากรดังกล่าวที่เวลาเดียวกัน เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน โต๊ะและเก้าอี้สำหรับลูกค้านั่งรับประทานอาหาร แพทย์หรือพยาบาลในโรงพยาบาล เป็นต้น นอกจากนี้แล้วจำนวนของทรัพยากรที่มีอยู่อาจจะใช้ระบุถึงความสามารถในการสร้างผลผลิตได้อีกด้วย เช่น เครื่องจักร 1 เครื่องสามารถผลิตชิ้นงานได้ 100 ชิ้น/ ชั่วโมง ถ้าโรงงานแห่งหนึ่งซื้อเครื่องจักรชนิดเดียวกันมา 5 เครื่อง โรงงานแห่งนี้ก็จะมีความสามารถในการผลิตเท่ากับ 500 ชิ้น/ ชั่วโมง เป็นต้น

การผลิตแบบตามงาน (Job shop) ระบบนี้ประกอบด้วย m เครื่องจักร แต่ละงานจะมีเส้นทางการไหลของงานเฉพาะของตนเองตามที่ผู้วางแผนกระบวนการกำหนดให้เท่านั้น โดยมากเส้นทางการไหลของงานจะไม่ซ้ำแบบกัน และเครื่องจักรเริ่มต้นและเครื่องจักรสุดท้ายที่แต่ละงานต้องใช้ทำงานก็ไม่จำเป็นต้องเหมือนกันดังภาพที่ 1 แบบจำลองที่ง่ายที่สุดของระบบผลิตแบบตามงานคือ การที่แต่ละงานสามารถที่จะทำการดำเนินงานบนเครื่องจักรใดๆ ก็ตามที่อยู่บนเส้นทางงานของตนได้เพียงแค่หนึ่งครั้งเท่านั้น จากภาพที่ 1 จะเห็นว่า งาน A มีเส้นทางการไหลของงานผ่านเครื่องจักร M2, M3 และ M4 ตามลำดับ พบว่าเส้นทางการไหลของงานทั้งสองนี้ไม่เหมือนกัน สำหรับแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้นก็อาจจะเพิ่มเงื่อนไขว่า งานสามารถที่จะกลับมาทำซ้ำที่เครื่องจักรเดิมได้อีกหลายครั้งบนเส้นทางที่กำหนดให้ และเรียกการทำงานแบบนี้ว่า “การเวียนซ้ำ (Recirculation)”



ภาพที่ 1 ระบบการผลิตแบบตามงาน

ข้อดีของระบบผลิตแบบตามงานคือ ความยืดหยุ่น (Flexible) ของระบบ ทำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการแบบเฉพาะรายของลูกค้าได้ เครื่องจักรที่ใช้เป็นแบบอเนกประสงค์ (General Purpose) หาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพง และเนื่องจากมีผู้ใช้งานเครื่องจักรประเภทนี้

เป็นจำนวนมาก จึงทำให้การติดตั้ง การซ่อมบำรุง การหาอะไหล่ และการดัดแปลงเครื่องจักรนี้เพื่อไปใช้งานประเภทอื่นทำได้ง่าย คนงานจะมีการพัฒนาฝีมือหรือทักษะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเขาต้องทำงานตามความถนัดกับงานที่มีความหลากหลาย ทำให้เกิดความภาคภูมิใจในผลงานของตนเอง และทำให้เขารู้สึกว่าการทำงานนั้นมีความท้าทายและไม่น่าเบื่อ

ข้อเสียของระบบผลิตแบบตามงานคือ เครื่องจักรอเนกประสงค์จะมีการทำงานที่ช้ากว่าเครื่องจักรที่สร้างขึ้นมาเฉพาะงาน ทำให้มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยสูงกว่า ในทำนองเดียวกันค่าจ้างพนักงานที่มีความชำนาญที่จะใช้เครื่องจักรแบบอเนกประสงค์ได้เป็นอย่างดีก็แพงกว่า เนื่องจากระบบนี้ต้องใช้วัตถุดิบหรือชิ้นส่วนที่มีความหลากหลาย ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายด้านการจัดเก็บพัสดุคงคลังสูง การขนย้ายวัสดุระหว่างแผนกเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และแต่ละครั้งใช้เส้นทางการขนย้ายที่หลากหลาย จึงทำให้ต้องซื้ออุปกรณ์ขนย้ายวัสดุที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีราคาแพง นอกจากนั้นการบริหารจัดการระบบนี้ทำได้ยาก เนื่องจากแต่ละงานมีความต้องการที่แตกต่างกัน ทำให้ต้องมีคนทำหน้าที่ติดตามความก้าวหน้าของงานอยู่ตลอดเวลา

วัตถุประสงค์และตัววัดสมรรถนะ

เราสามารถประเมินประสิทธิภาพของตารางที่จัดขึ้นได้โดยการพิจารณาจากผลรวมของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานทั้งหมด ซึ่งผลรวมนี้จะเป็นข้อมูลแบบมิติเดียว เรียกว่า “ตัววัดสมรรถนะ (Measure of Performance)” ส่วนคำว่า “วัตถุประสงค์ (Objective)” ของการจัดตารางหมายถึงเป้าหมายของตัววัดสมรรถนะที่ผู้จัดตารางต้องการที่จะให้เกิดขึ้น เช่น การหาค่าที่มากที่สุด (Maximize) หรือการหาค่าที่น้อยที่สุด (Minimize) ของตัววัดสมรรถนะนั่นเอง ในทางปฏิบัติมีวัตถุประสงค์เป็นจำนวนมากที่มีความสำคัญต่อการจัดตาราง สามารถอธิบายได้ดังนี้

วัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิต (Throughput Related Objective) บริษัทจำนวนมากให้ความสำคัญกับปริมาณผลผลิตเป็นอย่างมาก และผู้บริหารของบริษัทส่วนมากจะวัดว่าบริษัทมีผลของการดำเนินงานในด้านนี้ดีมากน้อยเพียงใด ปริมาณผลผลิตในที่นี้อาจจะเทียบเท่าได้กับอัตราการผลิต ซึ่งโดยมากวัดได้จากเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการ เช่น เครื่องจักรที่มีความสามารถในการทำงานต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับอุปสงค์ที่ต้องการ หรือเครื่องจักรที่มีภาระงานมากที่สุด ดังนั้น การทำให้เกิดปริมาณผลผลิตมากที่สุด (Maximize Throughput) หมายถึง การทำให้เครื่องจักรที่เป็นคอขวดของกระบวนการมีปริมาณของผลผลิตมากที่สุดนั่นเอง วัตถุประสงค์เช่นนี้สามารถทำให้เกิดขึ้นได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น ผู้จัดตารางต้องพยายามให้แน่ใจว่าเครื่องจักรที่เป็นคอขวดนี้ไม่มีการเดินเปล่า ซึ่งทำได้โดยการป้อนงานให้กับแถวคอยของเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าจะมีงานอยู่ในแถวคอยหน้าเครื่องจักรนี้ตลอดเวลา หรือถ้าเครื่องจักรที่เป็นคอขวดมีการทำงานแบบเวลาปรับตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับงานก่อนหน้าแล้ว ผู้จัดตารางจะต้องจัดลำดับ

ของงานให้ผลรวมของเวลาปรับตั้งเครื่องทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด หรือนำเอาจุดตรวจสอบมาวางไว้ในลำดับก่อนหน้าเครื่องจักรคอขวด เพื่อคัดกรองชิ้นงานขาเข้าที่บกพร่องหรือเสียออกก่อนที่จะป้อนเข้าสู่เครื่องจักรคอขวด เป็นต้น ตัวอย่างของวัตถุประสงค์ด้านปริมาณผลผลิตที่สำคัญ คือ

เวลาไหลของงาน (Flow Time) หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดที่งานใช้เวลาอยู่ในระบบ เขียนแทนด้วย $F_j = C_j - r_j$ โดย C_j = เวลาที่งาน j ทำเสร็จ และ r_j = เวลาที่งาน j มีความพร้อมที่จะเริ่มงานได้ เวลาไหลของงานนี้จะเป็นตัววัดความสามารถในการตอบสนองต่อแต่ละอุปสงค์ (Demand) ของระบบ นอกจากนั้นยังสะท้อนให้เห็นถึงเวลาที่แต่ละงานต้องคอยในระบบตั้งแต่งานนั้นเข้ามาสู่ระบบจนกระทั่งออกจากระบบอีกด้วย การทำให้ค่าเวลาไหลเฉลี่ยของงาน (Average Mean Flow Time) มีค่าน้อยที่สุดจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการทำให้ค่าผลรวมของเวลาเสร็จ (Sum of Completion Time) มีค่าน้อยที่สุด เขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} C_j$ โดย n = จำนวนของงานทั้งหมด

เวลาปิดงานของระบบ (Makespan) เวลาปิดงานจะมีความสำคัญเมื่องานที่นำมาจัดตารางมีจำนวนจำกัด เขียนแทนด้วย C_{max} (หรือ M) = max (C_1, C_2, ……., C_n) หมายความถึงเวลาที่ระบบทำงานชิ้นสุดท้ายเสร็จสิ้น เวลาปิดงานมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับวัตถุประสงค์ด้านผลผลิต นั่นคือ การจัดตารางเพื่อทำให้เวลาปิดงานของระบบมีค่าน้อยที่สุด ส่งผลให้เกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องจักรที่เป็นคอขวดของระบบ

วัตถุประสงค์ด้านกำหนดส่งมอบ (Due-Date Related Objective) มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญเป็นจำนวนมากที่มีความเกี่ยวข้องกำหนดส่งมอบ ดังนี้

เวลาสาย (Lateness) เวลาสายของงานเขียนแทนด้วย $L_j = C_j - d_j$

โดย d_j = กำหนดส่งมอบของงาน j

ถ้างานใดมีค่า L_j เป็นบวก หมายความว่างานนั้นสาย (เสร็จหลังกำหนดเวลา $C_j - d_j > 0$) แต่ถ้างาน L_j เป็นลบ แสดงว่างานนั้นทำเสร็จก่อนกำหนด (เสร็จก่อนเวลา $C_j - d_j < 0$) ซึ่งเมื่อ L_j เป็นลบ เราจะได้รับประโยชน์เมื่อทำงานเสร็จเร็วกว่ากำหนดส่งมอบ และถ้างานใดมีค่า L_j เท่ากับ 0 หมายความว่างานนั้นทำเสร็จตามกำหนดส่งมอบพอดี (เสร็จตรงตามกำหนดเวลาพอดี $C_j - d_j = 0$)

เวลาสายสูงสุด (Maximum Lateness) เวลาสายสูงสุดเขียนแทนด้วย L_{max} = max (L_1, L_2,…, L_n) การทำให้เวลาสายสูงสุดมีค่าน้อยที่สุด (min L_{max}) หมายถึง การทำให้เวลาสายของงานที่แย่ที่สุด (สายมากที่สุด) ในระบบมีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

เวลาล่าช้า (Tardiness) เวลาล่าช้าของงาน j เขียนแทนด้วย T_j = max($C_j - D_j$, 0) = max(L_j,0) ข้อแตกต่างระหว่างเวลาล่าช้ากับเวลาสายคือ เวลาล่าช้าจะไม่มีทางที่จะมีค่าเป็นลบได้ อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า จะไม่มีผลประโยชน์ตอบแทน ถ้าสามารถทำงานเสร็จเร็วกว่ากำหนด (ซึ่งแตกต่างจากกรณีของเวลาสายที่จะมีผลตอบแทนให้เมื่อทำงานเสร็จเร็ว

กว่ากำหนด) แต่เมื่อใดก็ตามที่งานเสร็จช้ากว่ากำหนด เวลาล่าช้าจะมีค่าเป็นบวก นั่นคือจะต้องเสียค่าปรับนั่นเอง และวัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ก็คือ เวลาล่าช้าทั้งหมด

เวลาล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Total Weighted Tardiness) สมมติว่าแต่ละงานมีความสำคัญต่างกันในด้านของความล่าช้าที่เกิดขึ้น นั่นคือ เราจะให้น้ำหนักมากกับงานที่มีความสำคัญมาก เช่น ให้น้ำหนักมากกับงานที่สั่งซื้อโดยลูกค้าประจำ ลูกค้าที่มีจำนวนการสั่งซื้อเป็นจำนวนมาก หรือลูกค้าที่มีการสั่งซื้อเป็นมูลค่ามาก ในกรณีเช่นนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้ก็คือ เวลาล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก เขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} w_j T_j$ โดย w_j = น้ำหนักของงาน j ถ้าทำงานล่าช้า

จำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) ในบางครั้งเราต้องการวัดจำนวนของงานที่ล่าช้ามากกว่าระยะเวลาของงานที่ล่าช้า เขียนแทนด้วย $N_j = 1$ เมื่อ $C_j > d_j$ และ $N_j = 0$ ในกรณีนอกเหนือจากนั้น ในกรณีนี้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่จะนำมาใช้ก็คือ จำนวนของงานล่าช้าทั้งหมด ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} N_j$

จำนวนงานล่าช้าที่ถูกถ่วงน้ำหนัก (Weighted Number of Tardy Jobs) ในกรณีที่การล่าช้าของงานแต่ละงานมีความสำคัญไม่เท่ากัน เราอาจจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ จำนวนงานที่ล่าช้าทั้งหมดที่ถูกถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเขียนแทนด้วย $\sum_{j=1}^{n} w_j N_j$ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการวัดค่าสมรรถนะของการดำเนินงานนี้จะทำได้ง่ายมาก

โปรแกรมมิ่งเชิงจำนวนเต็ม

การหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการจัดตารางในระบบผลิตแบบตามงาน สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมมิ่งเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการแบบทั่วไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุด โปรแกรมมิ่งเชิงจำนวนเต็มนี้สามารถใช้ได้กับตัววัดสมรรถนะที่หลากหลาย แต่ทว่าจะต้องใช้การคำนวณอย่างมหาศาลในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

สมการที่สร้างขึ้นจะให้คำตอบเป็นตัวแปรตัดสินใจ ที่จะระบุถึงลำดับของการดำเนินงานที่อยู่ในตาราง สมมติว่า x_{jk} เป็นเวลาเสร็จงานของงาน i บนเครื่องจักร k ดังนั้น x_{jk} จะเป็นตัวแปรตัดสินใจและค่าของ x_{jk} จะเป็นตัวกำหนดตารางที่สร้างขึ้นมา ในการแสดงถึงข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังของงาน สมมติว่า การดำเนินงาน j ของงาน i ต้องใช้เครื่องจักร k และดำเนินงาน j – 1 ของงาน i ต้องใช้เครื่องจักร h แล้ว เพื่อทำให้ x_{jk} เป็นไปได้จริง เราจะต้องมีเงื่อนไขคือ

$$x_{jk} - t_{ijk} \geq x_{ih} \text{ โดยที่ } 1 \leq j \leq m,\ 1 \leq i \leq n \qquad (1)$$

โดยที่สำหรับการดำเนินงานแรก (j = 1) จะมีข้อจำกัดคือ

$$x_{jk} - t_{ijk} \geq 0 \text{ โดยที่ } 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

นอกจากนั้นยังจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อจำกัดที่เกิดจากจำนวนที่มีค่ามาก (H) เข้ามาร่วมด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีสองการดำเนินงานใดที่ทำพร้อมกันบนเครื่องจักรเดียวกัน สมมติว่างาน i นำหน้างาน p บนเครื่องจักร k หมายความว่า การดำเนินงาน (i, j, k) จะต้องเสร็จก่อนการดำเนินงาน (p, q, k) จะเริ่มต้น ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีเงื่อนไขคือ

$$x_{pk} - t_{pqk} \geq x_{ik} \quad (3)$$

ในทางตรงกันข้าม ถ้างาน p นำหน้างาน i บนเครื่องจักร k แล้ว จำเป็นจะต้องมีเงื่อนไข คือ

$$x_{ik} - t_{ilk} \geq x_{pk} \quad (4)$$

เงื่อนไขทั้งสองนี้เรียกว่า ข้อจำกัดในทางตรงข้าม (Disjunctive Constraint) เนื่องจากจะมีเพียงหนึ่งเงื่อนไขเท่านั้นที่เป็นจริง และเพื่อที่จะทำให้เราสามารถนำเอาข้อจำกัดเหล่านี้มาใช้ในสมการได้ เรากำหนดให้ตัวแปรบ่งชี้ (Indicator Variable) y_{ipk} มีค่าดังนี้

$y_{ipk} = 1$ ถ้างาน i นำหน้างาน p บนเครื่องจักร k

$= 0$ ถ้างาน p นำหน้างาน i บนเครื่องจักร k

ดังนั้น เราสามารถเขียนข้อจำกัดเป็นสมการได้ดังนี้

$$x_{pk} - x_{jk} + H(1-y_{ipk}) \geq t_{pqk} \quad (5)$$

$$x_{jk} - x_{pk} + Hy_{ipk} \geq t_{ijk} \quad (6)$$

โดย H เป็นตัวเลขบวกที่มีค่าใหญ่มาก สำหรับกรณีที่ตัววัดสมรรถภาพของตารางคือค่าเฉลี่ยของเวลาไหลของงาน เราสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\min \sum_{i=1}^{n} X_i k_i \quad (7)$$

โดยที่ $x_{ik} - t_{iqk} \geq x_{ih}$ สำหรับ (i, j-1, h) << (i, j, k)

$x_{pk} - x_{ik} + H(1-y_{ipk}) \geq t_{pqk}$ เมื่อ $1 \leq i, p \leq n, 1 \leq k \leq m$

$x_{ik} - x_{pk} + Hy_{ipk} \geq t_{ijk}$ เมื่อ $1 \leq i, p \leq n, 1 \leq k \leq m$

$x_{ik} \geq 0$, $y_{ipk} = 0$ หรือ 1

โดยที่ k_1 หมายถึง เครื่องจักรที่ทำการดำเนินงานสุดท้ายของงาน i เราพบว่ามีข้อจำกัดที่เกิดจาก $x_{ik} - t_{ijk} \geq x_{ih}$ หรือ $x_{ik} - t_{ilk} \geq 0$ เป็นจำนวน mn, $x_{pk} - x_{ik} + H(1- y_{ipk}) \geq t_{pqk}$ หรือ $x_{jk} - x_{pk} + Hy_{ipk} \geq t_{ijk}$ เป็นจำนวน mn(n-1) หรือเท่ากับ mn^2, x_{ik} เท่ากับ mn, และ y_{ipk} เท่ากับ mn(n-1)/ 2 แต่เนื่องจากเราไม่จำเป็นต้องกำหนด y_{pik} ถ้า y_{ipk} อยู่ในสมการด้วย ดังนั้นจำนวนของตัวแปรทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ mn(n + 1)/ 2 (ปารเมศ ชุติมา, 2555)

แบบจำลอง Job shop scheduling

ณกร อินทร์พยุง (2548) กล่าวว่าแบบจำลอง Job shop scheduling เป็นการจัดลำดับ (schedule หรือ Sequence) ของการใช้ทรัพยากรหรือเครื่องจักรที่มีอยู่ในการทำชิ้นงาน (Job) ต่าง ๆ ที่กำหนดให้ ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขทางด้านเวลาเป็นปัจจัยสำคัญ โดยทั่วไปเงื่อนไขของการตัดสินใจในด้านเวลาในการทำงานของเครื่องจักร (Machine) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติของเครื่องจักร (Process time) ซึ่งเรากำหนดให้ p_j เป็นเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติการของชิ้นงาน j
2. เวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ (Released time) ซึ่งเรากำหนดให้ r_j เป็นเวลาที่เครื่องจักรสามารถเริ่มงาน j ได้
3. เวลาที่ครบกำหนดในการปฏิบัติการของงานใด ๆ (Due time) ซึ่งเรากำหนดให้ d_j เป็นเวลาสิ้นสุดการทำงานของงาน j

ตารางที่ 1 เงื่อนไขของเวลาในการทำงาน 5 ชิ้นงาน

	Job j				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
Process time (p_j)	5	10	20	15	25
Released time (r_j)	-10	-5	5	10	10
Due time (d_j)	30	20	35	15	-5

จากตารางที่ 1 เราต้องการหาลำดับที่ดีที่สุดในการทำงานของงานแต่ละชิ้น (Optimal sequence) โดยทั้งนี้มีเงื่อนไขเพิ่มเติมว่าเครื่องจักรสามารถทำชิ้นงานได้ไม่เกิน 1 ชิ้น ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น

เมื่อเครื่องจักรเริ่มทำงานชิ้นใดแล้ว จะต้องทำงานชิ้นนั้นให้เสร็จสมบูรณ์ก่อนที่จะเริ่มทำงานชิ้นอื่นต่อไปได้ หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เราไม่อนุญาตให้เครื่องจักรหยุดระหว่างการทำงานชิ้นหนึ่งเพื่อไปทำงานอีกชิ้นหนึ่ง (เราเรียกการที่เครื่องจักรหยุดระหว่างการทำงานว่า Preemption)

เรากำหนดให้ตัวแปรการตัดสินใจในแบบจำลองมีค่าแบบต่อเนื่อง (Continuous value) เพื่อใช้แทนเวลาเริ่มต้น (Start time) และเวลาสิ้นสุดการทำงาน (Completion time) ของงานชิ้นใด ๆ

x_j = เวลาเริ่มต้นที่เครื่องจักรเริ่มต้นการทำงานชิ้นงาน j

เรากำหนดเงื่อนไขเพื่อต้องการให้เครื่องจักรเริ่มทำงานแต่ละชิ้นหลังจากเวลาปัจจุบัน (ณ เวลา = 0) และหลังจาก Released time (r_j) ของงานชิ้นนั้น นั่นคือ

$$x_j \geq \max \{0, r_j\} \; ; j = 1, 2, 3, \ldots, 5$$

เวลาเริ่มต้นเร็วที่เร็วที่สุด (Earliest start) ในการทำงานแต่ละชิ้น ในอีกทางหนึ่งเราอาจเขียนได้คือ

(เวลาเริ่มต้น) + (เวลาในการทำงาน) = (เวลาที่สิ้นสุด) (8)

การเขียนเงื่อนไขการขัดแย้งในการทำงานและตัวแปรแบบไม่เชื่อมโยง

สำหรับคู่ระหว่างชิ้นงาน j และ j’ ใดๆ ที่อาจจะเกิดความขัดแย้งในขั้นตอนการทำงาน เราสามารถเขียนเงื่อนไขเพื่อป้องกันความขัดแย้งที่อาจเกิดขึ้นโดย

(เวลาเริ่มต้นการทำงาน j) + (เวลาในการทำงาน j) $\leq$ (เวลาเริ่มต้นการทำงาน j’) (9)

หรือ

(เวลาเริ่มต้นการทำงาน j’) + (เวลาในการทำงาน j’) $\leq$ (เวลาเริ่มต้นการทำงาน j) (10)

ในทางปฏิบัติเราไม่นิยมเขียนเงื่อนไขข้างบนให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพราะด้วยความซับซ้อนของเงื่อนไขดังกล่าวทำให้เราไม่สามารถใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ (Mathematical programming) มาใช้ในการแก้ปัญหาได้โดยง่ายหรืออย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีนี้เราอาจจะใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ชั้นสูงบางประเภท เช่น ภาษาเงื่อนไขทางตรรกศาสตร์ (Constraint logic programming) หรือใช้ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ซึ่งมาใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม เราสามารถเขียนเงื่อนไขเพื่อป้องกันความขัดแย้งในการทำงานของแต่ละชิ้นงานให้อยู่ในรูปสมการทางคณิศาสตร์ได้โดยการเพิ่มตัวแปรแบบไบนารีเข้ามาอยู่ในรูป Disjunctive constrain pairs

กำหนดให้

$Y_{jj'}$ = 1 ถ้าการทำงานชิ้น j เกิดขึ้นก่อนการทำงานชิ้น j'

= 0 ถ้าการทำงานชิ้น j' เกิดขึ้นก่อนการทำงานชิ้น j

ภายใต้เงื่อนไข (Disjunctive constrain pair)

$$x_j + p_j \leq x_j + M(1 - y_{jj'}) \quad \text{สมการเงื่อนไขที่ 1} \tag{11}$$

$$x_{j'} + p_{j'} \leq x_j + My_{jj'} \quad \text{สมการเงื่อนไขที่ 2} \tag{12}$$

โดย M (อ่านว่า บิ๊กเอ็ม) เป็นค่าคงที่ใดๆ มีค่ามากและจำนวนเต็มบวก เช่น M = 1000 เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น เราพิจารณาชิ้นงานที่ 2 (j = 2) และ ชิ้นงานที่ 3 (j = 3) ในตารางที่ 1 เราสามารถเขียน Disjunction constrain pair ได้คือ (กำหนดให้ M = 1000)

$$x_2 + 10 \leq x_3 + 1000(1-y_{23}) \tag{13}$$

$$x_3 + 20 \leq x_2 + 1000y_{23} \tag{14}$$

จากสมการข้างบน ถ้าเรากำหนดให้เครื่องจักรทำงานชิ้นที่ 2 ก่อนงานชิ้นที่ 3 (นั่นคือค่า y_{23} = 1) จากตารางที่ 1 เครื่องจักรสามารถเริ่มทำงานชิ้นที่ 2 ได้ตั้งแต่เวลา -5 (ณ เวลาปัจจุบันมีค่า = 0) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง x_2 สามารถมีค่าใดๆก็ได้ที่มากกว่าหรือเท่าศูนย์

สมมุติว่าในขั้นตอนคำนวณหาคำตอบเราได้ค่า x_2 = 0 (เครื่องจักรเริ่มทำงานชิ้นที่ 2 ที่เวลา 0) เราจะได้

$0 + 10 \leq 10$ ($x_2 = 0$ ซึ่งไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขที่ 1)

ดังนั้นเราจะได้เวลาเริ่มต้นการทำงานที่เร็วที่สุด (Earliest time) ของงานชิ้น 3 เท่ากับ 10 (นั่นคือ $x_3 = 10$) แทนค่า x_2 และ x_3 ลงเงื่อนไขที่ 2 จะได้

$10 + 20 \leq 0 + (1000 \times 1)$ (เงื่อนไขที่ 2 ไม่มีความขัดแย้ง)

เราสามารถใช้สมการ Disjunctive constrain pair ในการป้องกันการขัดแย้งเมื่อเครื่องจักรทำงานชิ้นที่ 3 ก่อน งานชิ้นที่ 2 ($y_{23} = 0$) ด้วยเช่นกัน

Due time

ในแบบจำลอง Job shop scheduling เราสามารถกำหนดเงื่อนไขของเวลาที่เสร็จสิ้นในการทำงานของชิ้นงานแต่ละชิ้น (Due time) โดยเขียนอยู่ในรูปสมการ

$$x_j + p_j \leq d_j \qquad (15)$$

อย่างไรก็ตาม การกำหนดเงื่อนไขของเวลาที่เสร็จในการทำงานของชิ้นงานแต่ละชิ้นนั้นอาจจะทำให้แบบจำลองมีแต่ละคำตอบที่ขัดแย้งกับเงื่อนไข นั่นเพราะว่างานบางชิ้นอาจจะเลยกำหนดเวลาเสร็จสิ้นในการทำงานก่อนที่เครื่องจักรจะเริ่มทำงานชิ้นนั้น ในบางครั้งเราอาจจะยอมให้ความขัดแย้งนี้เกิดขึ้นได้ โดยพิจารณาความขัดแย้งนี้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตัวหนึ่ง โดยเรามีเป้าหมายว่าแบบจำลองจะให้คำตอบที่ดีที่สุดและมีค่าของความขัดแย้ง (Constraint violation) น้อยที่สุด

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง Job shop scheduling

ในการประเมินคุณภาพคำตอบของแบบจำลอง Job shop scheduling เราอาจจะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ในหลายรูปแบบดังนี้ (สมมุติว่าเรากำลังพิจารณาปัญหาที่ต้องการคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุด Minimization problem)

1. เวลาในการสิ้นสุดการทำงานมากที่สุด (Maximum completion time) หรือเรียกว่า Makespan กล่าวคือ เราต้องการเวลาในการสิ้นสุดให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งเขียนอยู่ในรูปสมการ

$$\text{Min max}_j \{x_j + p_j\} \quad (16)$$

2. เวลาในการไหลมากที่สุด (Maximum flow time) กล่าวคือเราต้องการหาค่าเวลาไหลมากที่สุดให้มีค่าน้อยที่สุด

$$\text{Min max}_j \{x_j + p_j - r_j\} \quad (17)$$

3. เวลาความล่าช้ามากที่สุด (Maximum lateness) กล่าวคือเราต้องการหาค่าเวลาความล่าช้ามากที่สุดให้มีค่าน้อยที่สุด

$$\text{Min max}_j \{x_j + p_j - d_j\} \quad (18)$$

4. เวลา Tardiness มากที่สุด (Maximum tardiness) กล่าวคือเราต้องการหาค่าเวลา Tardiness มากที่สุดให้มีค่าน้อยที่สุด

$$\text{Min max}_j \{\max \{0, x_j + p_j - d_j\}\} \quad (19)$$

ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 4 เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละตัวได้ซึ่งมีความหมายเดียวกัน

แบบจำลอง Job shop scheduling ในกรณีมีเครื่องจักรหลายตัว

แบบจำลอง Job shop scheduling ที่กล่าวมาข้างต้นใช้ในกรณีที่มีเครื่องจักร 1 ตัวในการทำงานหลาย ๆ ชิ้นงาน แต่ในกรณีที่มีเครื่องจักรหลาย ๆ ตัวทำงานหลาย ๆชิ้น ก็จะเพิ่มความสลับซับซ้อนในแบบจำลองการตัดสินใจมากขึ้น อย่างไรก็ตามเราสามารถใช้แนวคิดเดียวกันโดยการเพิ่มมิติของเครื่องจักรในตัวแปรการตัดสินใจ นั่นคือเรากำหนดให้

x_{jk} คือเวลาเริ่มต้นการทำงานของชิ้นงาน j โดยเครื่องจักร k

เราสามารถป้องกันความขัดแย้งในการทำงานระหว่างชิ้นงานและระหว่างเครื่องจักรด้วยกันโดยการใช้ Disjunctive constraint pair คล้ายกับในกรณีที่มีเครื่อง 1 ตัวคือ เรากำหนดให้

$Y_{jj'k}$ = 1 ถ้าชิ้นงาน j ถูกกระทำก่อนงานชิ้น j' โดยเครื่องจักร k

= 0 ในกรณีอื่น ๆ

ภายใต้เงื่อนไข (Disjunctive constraint pair)

$$x_{jk} + p_{jk} \leq x_{jk} + M(1 - y_{jj'k}) \quad (20)$$

$$x_{j'k} + p_{j'k} \leq x_{jk} + My_{jj'k} \quad (21)$$

การแสดงคำตอบของปัญหา Job shop scheduling โดยแผนภูมิ Gantt

โดยทั่วไป ปัญหา Job shop scheduling ที่มีความสลับซับซ้อนไม่มากนัก เราอาจสามารถหาคำตอบโดยใช้แผนภูมิ Gantt (หรือแผนภาพการทำงานของเครื่องจักรที่อยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและตำแหน่ง (Time-space diagram) แผนภูมิดังกล่าวนี้ไม่ได้แสดงขั้นตอนวิธีการเลือกระยะเวลาเริ่มต้นของเครื่องจักรในการทำงานแต่ละชิ้น แต่แสดงผลลัพธ์อยู่ในรูปแผนภูมิ Makespan เวลาที่ใช้ในการรอคอย (Waiting time) และอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความเข้าใจมากขึ้น เราลองพิจารณาตัวอย่างง่าย ๆ อันหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วย

จำนวนงานทั้งหมด (Jobs) = 5 ชิ้นงาน

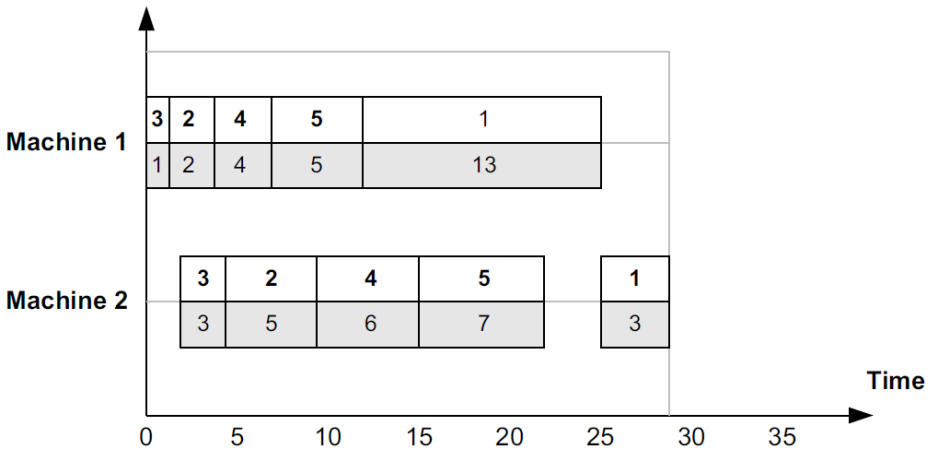
จำนวนเครื่องจักรที่ใช้ (Machines) = 2 เครื่องจักร

สมมุติว่า แต่ละชิ้นงานจะต้องถูกกระทำด้วยเครื่องจักร 1 และเครื่องจักร 2 ตามลำดับ (โดยห้ามเปลี่ยนลำดับ) ค่าระยะเวลาการทำงาน (Process time) ของแต่ละชิ้นงานโดยเครื่องจักรแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาการทำงานของแต่ละชิ้นงาน (Process time)

Job j	Machine 1	Machine 2
1	13	3
2	2	5
3	1	3
4	4	6
5	5	7

และสมมุติว่าเรากำหนดลำดับการทำงานของชิ้นงานโดยเครื่องจักรเท่ากับ {3, 2, 4, 5, 1} ดังนั้นเราสามารถเขียนแผนภูมิ Gantt ได้ดังภาพที่ 2 (กำหนดให้ p_{jk} คือเวลาในการทำงานของชิ้นงาน j โดยเครื่องจักร k)



ภาพที่ 2 แผนภูมิ Gantt

จากภาพที่ 2 เราจะได้ค่าเวลาในการสิ้นสุดในการทำงานมากที่สุด (Max completion time หรือ Makespan) เท่ากับ 28

เครื่องจักร 1 ไม่มีเวลาเสียประโยชน์ (Idle time) เลย ซึ่งทำงานตั้งแต่ชิ้นงานที่ 3 จนถึงชิ้นงานที่ 1 ต่อเนื่องกันโดยตลอดและมีเวลาเหลือว่าง 3 ชั่วโมง ก่อนถึง Makespan

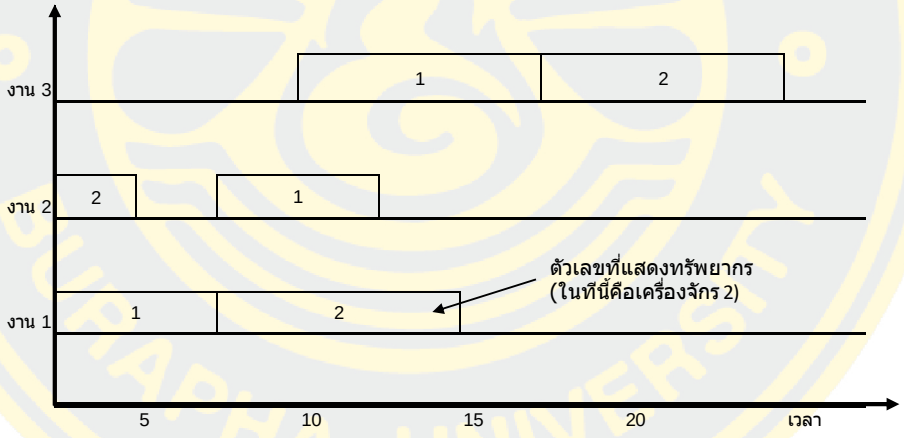
เครื่องจักรที่ 2 จะเริ่มงานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องจักร 1 ทำงานชิ้นที่ 3 (ซึ่งเป็นชิ้นแรกของเครื่องจักรชิ้นที่ 1) เสร็จแล้ว ดังนั้นเครื่องจักรเครื่องที่ 2 จะมีเวลาเสียประโยชน์ (Idle time) 1 ชั่วโมงในตอนเริ่มต้นของการทำงาน นอกจากนั้น เครื่องจักรเครื่องที่ 2 จะมีเวลาเสียประโยชน์อีก 3 ชั่วโมงหลังจากทำงานชิ้นที่ 5 เสร็จ

แผนภูมิแกนต์

แผนภูมิแกนต์เป็นหนึ่งในเครื่องมือช่วยที่ใช้งานได้ง่ายและมีประโยชน์ที่สุดในการที่จะทำให้ผู้ตัดสินใจมีความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดลำดับของงาน นอกจากนั้นยังแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นอีกด้วย รูปแบบพื้นฐานของแผนภูมิแกนต์อาจจะแสดงในลักษณะของกราฟที่จะแสดงให้เห็นถึงการจัดทรัพยากรให้กับงานภายใต้เวลาที่กำหนดให้ โดยที่

แผนภูมิแกนต์จะแสดงทรัพยากรอยู่ในแนวตั้ง (แกน Y) ซึ่งถ้าจำนวนทรัพยากรมีมากกว่า 1 ตัว ก็ให้วางทรัพยากรเรียงซ้อนกันขึ้นไปในแนวตั้ง ส่วนแกนนอน (แกน X) จะเป็นการแสดงเวลา ซึ่งสเกลของเวลาที่ใช้อาจจะอยู่ในหน่วย วินาที นาที ชั่วโมง วัน เดือน หรือปี ก็ได้ โดยให้พิจารณาจากหน่วยเวลาที่น้อยที่สุดของงานที่กำลังพิจารณาอยู่

แผนภูมิแกนต์อาจจะสร้างขึ้นในลักษณะกราฟที่แสดงให้เห็นถึงแต่ละงานที่รับการจัดสรรให้กับทรัพยากรต่าง ๆ ภายใต้เวลาที่กำหนดให้ ซึ่งแผนภูมิในลักษณะนี้จะแสดงงานเรียงซ้อนกันอยู่ในแกนตั้ง (แกน Y) ดังแสดงในภาพที่ 3 ข้อดีของแผนภูมิแกนต์รูปแบบนี้คือ ทำให้เราทราบว่าที่เวลาใดเวลาหนึ่งแต่ละงานได้รับการจัดสรรอยู่บนทรัพยากรใดเช่น ที่เวลา 10 หน่วย การดำเนินงานลำดับที่ 2 ของงานที่ 1 กำลังทำงานอยู่บนเครื่องจักร 2 นอกจากนั้นยังทำให้เราทราบถึงเวลารอคอยของแต่ละงาน รวมถึงเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของแต่ละการดำเนินงานในแต่ละงานซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการติดตามและควบคุมการดำเนินงาน



ภาพที่ 3 แผนภูมิแกนต์แสดงตารางสำหรับ 2 เครื่องจักรและ 3 งานโดยที่งานอยู่ในแกนตั้ง

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554) กล่าวว่า **ฮิวริสติก (Heuristic)** เป็นวิธีแบบอิสระที่สามารถสร้างวิธีหรือขั้นตอนใด ๆ ก็ได้ที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ซึ่งเป็นวิธีการที่ออกแบบให้ใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพชรายุทธ แซ่หลี (2557)ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง เป็นการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตขิงดองของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งประสบปัญหาการวางแผนแรงงานในการผลิต ซึ่งบริษัทต้องจ้างแรงงานที่มีทักษะและความชำนาญ จำนวนพนักงานผลิตมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของฝ่ายผลิต ทำให้ต้องจ้างผู้รับจ้างช่วง นอกจากนี้ยังเกิดความล่าช้าในการส่งมอบเนื่องจากหัวหน้าฝ่ายผลิตทำการวางแผนแรงงานโดยปราศจากเครื่องมือช่วย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตและการจ้างผู้รับจ้างช่วงเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิตขิงดอง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด Open solver ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Add-in ใน Microsoft Excel ถูกใช้ในการหาผลเฉลยเหมาะที่สุด แผนแรงงานเพื่อการผลิตที่ได้จากแบบจำลองช่วยให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่อเดือนลดลง 273,090 บาทหรือร้อยละ 8.08 เมื่อเทียบกับการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัท

ธีรวัฒย์ คำพรมมี (2562)ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุกในจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตให้กับสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุกแห่งหนึ่งในจังหวัดพิษณุโลกด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical programming model) โดยให้เกิดเวลาปิดงาน (Makespan) น้อยที่สุด ข้อมูลและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะถูกเก็บรวบรวมและนำมาสร้างเป็นข้อมูลโจทย์ปัญหาของสถานประกอบการกรณีศึกษา จากนั้นทำการพัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาดังกล่าวขึ้นมาและประยุกต์ใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็นส่วนเสริม (Add-in) ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกเซล (Microsoft excel) เข้ามาใช้ในการค้นหาตารางการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองพบว่า แบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสามารถสร้างตารางการผลิตที่เหมาะสมที่สุดได้ในทุกโจทย์ปัญหาภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ อีกทั้งคำตอบดังกล่าวยังสามารถลดการใช้งานเครื่องจักรโดยไม่จำเป็นได้ถึงร้อยละ 29 นอกจากนี้ตารางการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของสถานประกอบการกรณีศึกษาจะได้เวลาปิดงานที่น้อยที่สุดเท่ากับ 4,678.90 นาที ซึ่งดีกว่าเวลาในการปิดงานรวมที่ได้จากตารางการผลิตเดิมของสถานประกอบการกรณีศึกษาถึงร้อยละ 36.48

นมิดา ศรีผล (2560)ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตเพื่อปรับปรุงปริมาณงานล่าช้า ซึ่งปัญหาการจัดลำดับงานส่งผลต่อความสามารถในการผลิตของโรงงานโดยทั่วไป สำหรับโรงงานกรณีศึกษาก็ประสบปัญหาการจัดลำดับงานเช่นกัน ทำให้เกิดงานส่งมอบไม่ทันกำหนด ซึ่งมีผลต่อความเชื่อมั่นและความพึงพอใจของลูกค้า ทั้งนี้เนื่องจากมีการจัดลำดับงานและทรัพยากรโดยใช้การคาดเดาของผู้จัดเป็นหลัก อีกทั้งเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์มีหลากหลายทำให้มีความซับซ้อนยากในการจัดลำดับงาน ทางโรงงานไม่มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการจัดลำดับทำให้เกิดความผิดพลาดและเกิดงานล่าช้าเป็นจำนวนมากร้อยละ 36.86 ต่อเดือน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องพัฒนาเครื่องมือเพื่อช่วยในการคำนวณภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ในการจัดลำดับงาน หลักการที่ใช้สำหรับพัฒนาเริ่มจากการจัดตามกำหนดการส่งมอบ (EDD) ก่อนเพื่อให้เกิดความล่าช้าที่น้อย และใช้หลักการเวลาดำเนินการมากเข้าดำเนินการก่อน (LPT) จัดงานที่อยู่ภายในวันเดียวกันของทั้งเครื่องจักรเดียวและเครื่องจักรแบบขนานเพื่อให้เวลาการผลิตรวมน้อย หลังจากการทดลองปรับปรุงตามแนวทางดังกล่าวทำให้จำนวนงานที่เกิดความล่าช้าลดลงร้อยละ 22 เวลาการผลิตรวมลดลง 8.79 วัน ระยะเวลาล่าช้าสูงสุดลดลง 3 วัน และอรรถประโยชน์ของการใช้เครื่องจักรเพิ่มมากขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 11.5

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ (2559)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของโรงงานเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม เครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยเป็นหนึ่งในเครื่องจักรกลที่มีการส่งออกที่สูง โรงงานผลิตและประกอบกว่าร้อยละ 80 เป็นโรงงานขนาดกลางและขนาดเล็ก ซึ่งส่วนใหญ่ประสบปัญหาในเรื่องการวางแผนการผลิตและประกอบชิ้นส่วนโดยในการผลิตจะมีชิ้นส่วนบางชิ้นต้องผ่านกระบวนการบางกระบวนการก่อนถึงจะประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้ได้ การขาดการวางแผนการผลิตที่มีประสิทธิภาพจะทำให้มีบางชิ้นส่วนผลิตไม่ทัน หรือผลิตเกินความต้องการ ทำให้มีชิ้นส่วนคงค้างอยู่ในแต่ละกระบวนการเป็นผลให้เกิดต้นทุนทางด้านวัสดุคงคลัง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้มีการประยุกต์ใช้การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม ซึ่งวัตถุประสงค์หลักคือคำนึงถึงในด้านการวางแผนการผลิตและประกอบ เพื่อให้ทางโรงงานสามารถสั่งซื้อชิ้นส่วน การจัดสมดุลสายการผลิตและประกอบ ให้สอดคล้องกับเวลา และปริมาณความต้องการของลูกค้า เครื่องมือที่นำเสนอสามารถช่วยในการวางแผนและตัดสินใจของโรงงานผลิตในการวางแผนการผลิตให้มีต้นทุนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองมีต้นทุนการผลิตในส่วนของค่าใช้จ่ายรวมในการดำเนินการต่ำกว่าปัจจุบันถึงร้อยละ 14.81

สุริยะ เปียอยู่ (2561)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตโยเกิร์ต การวางแผนการผลิตโยเกิร์ตมีความซับซ้อนเนื่องจากข้อกำหนดของกระบวนการผลิตที่หลากหลายและเงื่อนไขการทำความสะอาดเครื่องจักรที่แตกต่างกันในแต่ละขั้นตอนผลิต ในปัจจุบันพนักงานมักวางแผนการผลิตด้วยมือซึ่งทำให้ใช้เวลานานและเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากต้องพิจารณาเงื่อนไขและข้อมูลจำนวนมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตโยเกิร์ต โดยประยุกต์ใช้การจัดตารางแบบถอยหลัง (Backward scheduling) และกฎการจ่ายงานแบบ Earliest due date (EDD) ในการจัดตารางการผลิต และใช้ VBA ซึ่งเป็นฟังก์ชันหนึ่งในโปรแกรม Microsoft excel สำหรับการสร้างระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิต ระบบสนับสนุนที่พัฒนาถูกนำไปทดลองใช้งานจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแผนการผลิตและความสะดวกในการใช้งานระบบ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถลดระยะเวลาการสร้างแผนการผลิตลงได้ถึงร้อยละ 90 โดยที่แผนการผลิตที่ได้ยังคงเป็นไปตามเงื่อนไขของการผลิตโยเกิร์ต สามารถระบุเวลาในการทำความสะอาดเครื่องจักรได้ทุกตัว และพนักงานสามารถสร้างแผนการทำความสะอาดที่สอดคล้องกับแผนการผลิตได้

Saeed Osman Mojahid (2021)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาด้วยโมเดลการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาและการจัดสรรงานในการ changeover ซึ่งปัญหานี้จะเกี่ยวกับจำนวนพนักงานในการทำ changeover ซึ่งมีทักษะที่แตกต่างกันและชุดของงาน changeover ที่ขึ้นอยู่กับลำดับบนเครื่องจักรหลายสายการผลิต โดยที่การดำเนินการแต่ละงานต้องใช้ประเภทและจำนวนคนงานโดยเฉพาะ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรและการจัดตารางเวลา ผู้วิจัยได้ทำการระบุการลำดับความสำคัญ 3 ข้อที่นำมาแสดงเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดและเพิ่มจำนวนพนักงาน ทางผู้วิจัยได้ใช้เครื่องจักร 10 เครื่องในการพิจารณาตารางเวลาและจัดสรร 34 งานให้กับพนักงาน 4 คน โดยได้ผลลัพธ์ของการแก้ปัญหานี้ทำให้เห็นความแปลกใหม่ในการค้นหาทรัพยากรที่มีข้อจำกัดที่เหมาะสมที่สุด และมีการกำหนดเวลาสำหรับงาน changeover ที่ขึ้นอยู่กับลำดับโดยการใช้เวลาน้อยที่สุดในการ changeover และเพิ่มการใช้ประโยชน์ของคนงานโดยเฉลี่ยให้สูงสุด และผลลัพธ์ที่สำคัญคือเวลาในการเปลี่ยนแปลงที่มีประสิทธิผลและการใช้ประโยชน์ของคนงาน

Bülbül and Kaminsky (2012)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาวิธีการทั่วไปเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางงาน โดยแบบจำลองนี้มีการนำหัวข้อสำคัญในการพิจารณา เช่น การลดต้นทุน holding cost และการปรับเปลี่ยนตารางเวลา ซึ่งแนวทางนี้สามารถใช้ได้กับทุกงาน ปัญหาการจัดตารางงานกับเวลาเสร็จสิ้นการดำเนินการ, ค่าใช้จ่ายและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใด ๆ ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งสามารถแสดงได้เป็นโปรแกรมเชิงเส้น มีการนำแนวทางการสลายตัว

เพื่อแก้ปัญหา ปัญหาเครื่องเดียวถูกกำหนดโดยใช้ตัวแปรคู่จากโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด ในการศึกษานี้ทางผู้วิจัยได้เน้นไปที่การศึกษาปัญหาเกี่ยวกับตัวกลางต้นทุนการถือครองและวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย และแสดงให้เห็นว่าแนวทางของเราทำงานได้ดีกับปัญหาซึ่งเราสามารถกำหนดวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุด และสามารถแข่งขันได้ด้วยการวิเคราะห์พฤติกรรมทั่วไปที่มีอยู่น้อยกว่าซึ่งออกแบบมาสำหรับเฉพาะปัญหาและวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการถือครองต้นทุนกลายเป็นส่วนสำคัญของต้นทุนรวม

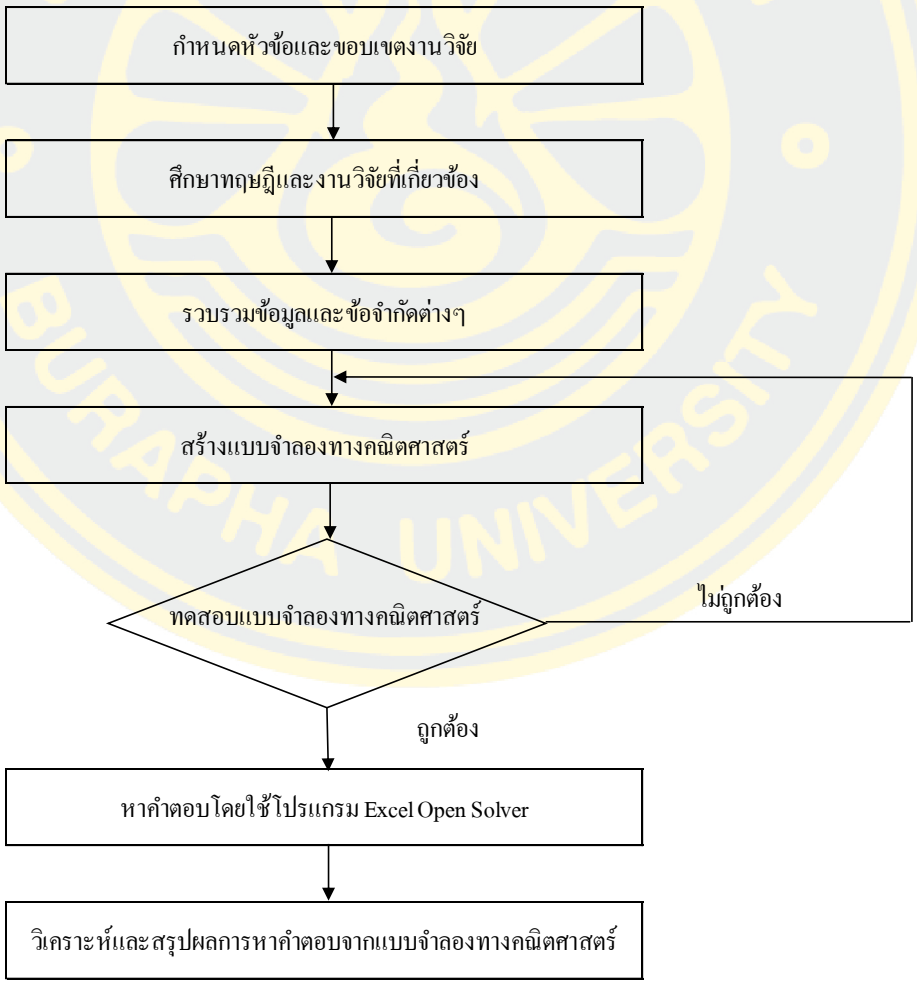
Fattahi, Jolai, and Arkat (2009) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางงาน งานที่ยืดหยุ่นด้วยแนวทางใหม่ซึ่งซ้อนทับกันในการดำเนินงาน ในหลาย ๆ งานความต้องการของลูกค้าสามารถปล่อยออกมาได้มากกว่าหนึ่งความต้องการสำหรับแต่ละงาน โดยที่ความต้องการกำหนดปริมาณของแต่ละงานที่ลูกค้ากำหนด การพิจารณาความต้องการมากกว่าหนึ่งงานสำหรับแต่ละงานเป็นข้อสันนิษฐานใหม่ในความยืดหยุ่นของปัญหาการจัดตารางงาน ทางผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางใหม่ซึ่งมีชื่อว่าการซ้อนทับกันในการดำเนินงาน วิธีการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (MILP) ถูกนำเสนอเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมที่เสนอ ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพสำหรับปัญหาการจัดตารางงานที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีการทำงานซ้ำซ้อนกันในเวลาอันสั้น การคำนวณผลลัพธ์จะตรวจสอบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของอัลกอริทึมที่เสนอ นอกจากนี้ผลการคำนวณยังแสดงให้เห็นว่าแนวทางที่ทับซ้อนกันสามารถปรับปรุงมาตรการการใช้เครื่องจักรและเครื่องจักรได้ อัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถใช้งานได้ง่ายในสภาพโรงงานจริงและสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

Meng, Zhang, Ren, Zhang, and Lv (2020) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาการจัดตารางงานแบบยืดหยุ่น (DFJSP) ด้วยการใช้เวลาเสร็จสิ้นสูงสุด (ช่วงเวลาที่กำหนด) ให้น้อยที่สุด ทางผู้วิจัยได้เสนอโมเดลการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (MILP) 4 รูปแบบและโมเดลการเขียนโปรแกรมแบบจำกัด (CP) ซึ่งแบบจำลอง MILP มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาขนาดเล็ก และได้เสนอแบบจำลองการเขียนโปรแกรมข้อจำกัด (CP) ที่มีประสิทธิภาพโดยขึ้นอยู่กับตัวแปรการตัดสินใจตามช่วงเวลา ทำการทดลองเชิงตัวเลขเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง MILP และแบบจำลอง CP ที่เสนอผลปรากฏว่ารูปแบบ MILP และแบบจำลอง CP สามารถได้รับผลลัพธ์เหมือนกันเสมอ ในขณะที่อัลกอริทึม meta-heuristic ไม่สามารถรับรองโซลูชันเดียวกันได้ จากผลการเปรียบเทียบโมเดล CP มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่มีอยู่ทั้งหมดในแง่ของคุณภาพของคำตอบและประสิทธิภาพ

Frihat, Hadj-Alouane, and Sadfi (2021) ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางการผลิตจริงที่พบโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมฟอกหนัง ปัญหานี้จะรวมการจัดตารางเวลาของพนักงานและการจัดตารางการผลิต ปัญหาการจัดเวลางานของพนักงานจะกล่าวถึงทักษะในการทำงานภายใต้ข้อจำกัด การจัดตารางการผลิตเป็นปัญหาที่มีเวลาล่าช้าและเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักรซึ่งขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในด้านความพร้อมของเครื่องจักร ในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดค่าแรงงานให้ต่ำที่สุดในขณะที่มีเวลาการผลิตมากที่สุดและมีข้อจำกัดในการส่งงานล่าช้ามากที่สุด มีการเสนอโมเดลที่แตกต่างกันสองแบบโดยใช้ แบบจำลองเชิงเส้นแบบผสม(MILP) และการเขียนโปรแกรมข้อจำกัด (CP) การทดลองเชิงตัวเลขจะดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพ ผลปรากฏว่าแบบจำลอง CP ช้ากว่าแบบรูปแบบ MILP ในแง่ของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับอินสแตนซ์ขนาดใหญ่แต่มีประสิทธิภาพมากกว่าในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ ดังนั้นการจัดหาคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้สำหรับโมเดล MILP โดยใช้แบบจำลอง CP จึงเป็นแนวทางแบบผสมผสานที่มีแนวโน้มในการลดเวลาคำนวณ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ เป็นสร้างแบบจำลองทางคณิศาสตร์เพื่อช่วยในการวางแผนและจัดตารางการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทไส้กรองท่อไอเสียรถยนต์ เพื่อให้การวางแผนและจัดลำดับการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากปัจจุบันกระบวนการนี้จะใช้ประสบการณ์ของผู้ทำงานในการวางแผนและการจัดตารางการผลิตซึ่งอาจทำให้ใช้เวลาในการผลิตนานเกินไป ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการ 5 กระบวนการดังต่อไปนี้

ภาพที่ 5 กระบวนการในการตัดสินใจโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1. การกำหนดปัญหา

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากหากไม่สามารถระบุปัญหาได้อย่างถูกต้องแล้ว การแก้ปัญหาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ย่อมทำไม่ได้ เนื่องจากจะไม่ทราบว่าคำตอบที่ได้จากแบบจำลองนั้นจะช่วยแก้ปัญหาเรื่องใด อย่างไร

2. การแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เนื่องจากเราต้องการที่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นสิ่งที่จะช่วยในการคิดคำนวณ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปลงปัญหาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยจะต้องแบ่งแยกให้ชัดเจนว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามคืออะไร มีความสัมพันธ์กันอย่างไรซึ่งถ้าหากเราแปลงปัญหาเหล่านี้ได้ผิดพลาดแล้ว แบบจำลองที่สร้างขึ้นก็จะให้ผลลัพธ์ที่ผิดพลาดตามไปด้วย

3. การวิเคราะห์แบบจำลอง

เป็นขั้นตอนในการใช้แบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น เพื่อค้นหาคำตอบที่ต้องการ ขั้นตอนนี้บางครั้งอาจจะต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อทำการทดลองหาคำตอบ หนทางในการหาแนวทางที่จะให้คำตอบที่ดีที่สุดในกรณีที่คำตอบมีได้หลายค่า

4. การทดสอบผลลัพธ์

เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเช่นกัน แต่บางทีผู้ใช้แบบจำลองอาจละเลย เพราะอาจจะคิดไปเองว่าผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีความถูกต้อง ในบางครั้งเราอาจพบว่าคำตอบที่ได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองเป็นคำตอบที่มีความผิดปกติหรือเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่นหากเราทำการคำนวณเวลาออกมาแล้วได้ค่าที่ติดลบหรือคำนวณจำนวนคนได้ค่าที่ติดลบเราก็จะทราบทันทีว่าแบบจำลองนั้นมีความผิดพลาด แต่หลายครั้งคำตอบที่ได้อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ เช่นคำนวณค่าเวลาหรือจำนวนคนออกมาเป็นค่าบวกในกรณีนี้เราจะทราบได้อย่างไรว่าคำตอบที่ได้นั้น

มีความถูกต้อง สิ่งที่ผู้ที่จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการตัดสินใจสมควรที่จะต้องทำก็คือต้องทดสอบระบบที่สร้างขึ้นกับสิ่งที่ทราบคำตอบอยู่แล้ว เช่นหากเราทราบอยู่แล้วว่าคำตอบของปัญหาในเรื่องนี้คืออะไร เราก็อาจจะนำเอาแบบจำลองนี้ไปทดสอบว่าได้ค่าที่ถูกต้องหรือไม่

5. การนำผลลัพธ์ที่ได้เพื่อการตัดสินใจ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายคือการนำเอาผลที่ได้จากแบบจำลองไปช่วยในการตัดสินใจ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนั้นเป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งที่จะช่วยในการตัดสินใจ การตัดสินใจขั้นสุดท้ายยังอยู่กับผู้บริหาร เช่นหากเราใช้แบบจำลองคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการทำกำไรของสินค้าใหม่อย่างหนึ่งและพบว่าความน่าจะเป็นที่จะได้กำไรอยู่ที่ร้อยละ 80 ตัวเลขนี้ก็จะมีส่วนที่จะช่วยให้ผู้บริหารมีข้อมูลในการตัดสินใจที่จะทำการลงทุนในสินค้าใหม่นี้หรือยุติโครงการดังกล่าว เป็นต้น (นภดล ร่มโพธิ์, 2554)

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) คือแบบจำลองของปัญหาที่อยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น การสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นเป็นการแปลงข้อมูลของปัญหาที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของการบรรยายให้กลายมาอยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์เชิงเส้น เพื่อประโยชน์หลายด้าน นอกเหนือจากประโยชน์ด้านความชัดเจนในการตีความแล้ว ปัญหาทั้งหมดที่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นถูกพิสูจน์แล้วว่าสามารถหาผลเฉลยที่เหมาะที่สุด (Optimal Solution) ได้ด้วยซอฟต์แวร์ที่ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันภายในเวลาที่สมเหตุสมผลถ้าปัญหามีขนาดไม่ใหญ่มาก

รูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model; LP Model) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มี 3 องค์ประกอบดังนี้

1. แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นต้องมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น (Linear Equality) ซึ่งจะต้องมีการกำหนดว่าแบบจำลองต้องการค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เป็นค่าสูงสุด (Maximization) หรือค่าต่ำสุด (Minimization)

2. เงื่อนไขบังคับ (Constraint) แต่ละข้อที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นนั้น จะอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น (Linear Equality) หรือ อสมการเชิงเส้น (Linear Inequality)

3. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือ ตัวแปรที่ต้องการหาค่าเพื่อใช้เป็นผลเฉลย (Solution) ให้กับปัญหาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นใด ๆ จะต้องมีค่าเป็นเลขจำนวนจริง (Real Numbers)

สามารถจำแนกปัญหาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ได้แก่ ปัญหาการหาค่าสูงสุด (Maximization Problem) ซึ่งก็คือปัญหาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นที่ต้องการค่าสูงสุดให้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimization Problem) ซึ่งคือปัญหาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นที่ต้องการค่าต่ำสุดให้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ดี เราสามารถแปลงรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นที่แตกต่างกันให้กลายมาอยู่ในรูปแบบเดียวกันได้ โดยรูปแบบหลักที่นิยมใช้มีอยู่ 2 รูปแบบ ดังนี้

1. รูปแบบมาตรฐาน ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะการที่จะใช้วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ในการแก้ปัญหาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นใด ๆ นักวิเคราะห์จะต้องทำการแปลงแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นนั้นให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานเสียก่อน ลักษณะของแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นที่อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน เป็นดังต่อไปนี้

1.1. มีเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบ (Nonnegativity Constraints) สำหรับตัวแปรทุกตัว

1.2. นอกเหนือจากเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบแล้ว เงื่อนไขบังคับข้ออื่น ๆ จะต้องอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น (Linear Equality) นั่นคือ ต้องใช้เครื่องหมาย “=” และจะต้องมีค่าคงที่ด้านขวามือ (Right-Hand-Side Constraint; RHS Constant) ที่มีค่าไม่เป็นลบ

2. รูปแบบบัญญัติ (Canonical Form; Canonical Format) จะถูกใช้ในการอธิบายปัญหาควบคู่ (Duality Problem) ซึ่งมีลักษณะดังนี้

2.1. มีเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบ (Nonnegativity Constraints) สำหรับตัวแปรทุกตัว

2.2. ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องเป็นการหาค่าสูงสุด (Maximization)

2.3. นอกเหนือจากเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบแล้ว เงื่อนไขบังคับข้ออื่น ๆ ต้องอยู่ในรูปของอสมการเชิงเส้น Linear Inequality) โดยมีเครื่องหมายที่ใช้เป็น “$\leq$”

แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นใด ๆ สามารถแปลงให้อยู่ในรูปแบบบัญญัติได้ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

1. ถ้าแบบจำลองเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุด (Minimization Problem) ให้คูณ -1 ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ แล้วทำการแทนที่คำว่า “Min” ที่แสดงไว้หน้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยคำว่า “Max”

2. ถ้าแบบจำลองมีเงื่อนไขบังคับข้อใดที่ใช้เครื่องหมาย “$\geq$” ให้ทำการคูณ -1 ให้กับทั้งด้านซ้ายมือและค่าคงที่ด้านขวามือของเงื่อนไขบังคับข้อนั้น ๆ แล้วทำการแทนที่เครื่องหมาย “$\geq$” ในเงื่อนไขบังคับข้อนั้น ๆ ด้วยเครื่องหมาย “$\leq$”

3. ถ้าแบบจำลองมีเงื่อนไขบังคับใดที่ใช้เครื่องหมาย “=” (นั่นคือ เงื่อนไขบังคับข้อนั้นอยู่ในรูป ax = b) ให้ทำการแทนที่เงื่อนไขบังคับข้อดังกล่าว ด้วยเงื่อนไขบังคับจำนวน 2 ข้อ ได้แก่ $ax \leq b$ และ $-ax \leq -b$

4. ถ้าแบบจำลองตัวแปรตัดสินใจ x ใด ๆ ซึ่งมีเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบ ให้ดำเนินการแทนที่ตัวแปรตัดสินใจ x ตัวนั้น ๆ ด้วย $x^+ - x^-$ ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับทั้งหมด โดยกำหนดให้ x^+ และ x^- ต้องมีเงื่อนไขบังคับความไม่เป็นค่าลบและกำหนดว่า $x = x^+ - x^-$

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ระบุตัวแปนตัดสินใจ (Decision Variables)

2. ระบุเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ทั้งหมดของปัญหาในรูปของสมการเชิงเส้น หรืออสมการเชิงเส้น ซึ่งเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรตัดสินใจ

3. ระบุวัตถุประสงค์ (Objective) ของปัญหาในรูปของฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรตัดสินใจ โดยต้องกำหนดว่าต้องการให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าที่สูงที่สุด หรือเป็นค่าที่ต่ำที่สุด

4. นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 3 มาเขียนเป็นแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้น (พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, 2560)

ลิเนียร์โปรแกรมมิ่งตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming)

ความแตกต่างระหว่างลิเนียร์โปรแกรมมิ่งทั่วไป (Linear Programming) กับลิเนียร์โปรแกรมมิ่งที่มีเงื่อนไขบังคับให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นเลขจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) มีอยู่ประการเดียว คือ มีเงื่อนไขบังคับเพิ่มขึ้นที่บังคับให้ตัวแปรตัดสินใจหนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่งตัวต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม

ลิเนียร์โปรแกรมมิ่งตัวแปรเป็นเลขจำนวนไบนารี (Binary Linear Programming)

แบบจำลองลิเนียร์โปรแกรมมิ่งที่ตัวแปรเป็นเลขไบนารีอาจถือได้ว่าเป็นกรณีเฉพาะของแบบจำลองลิเนียร์โปรแกรมมิ่งที่ตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มที่ไม่เป็นศูนย์ก็เป็นหนึ่ง (0, 1) ซึ่งผลลัพธ์ที่ต้องการคือ “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เท่านั้น

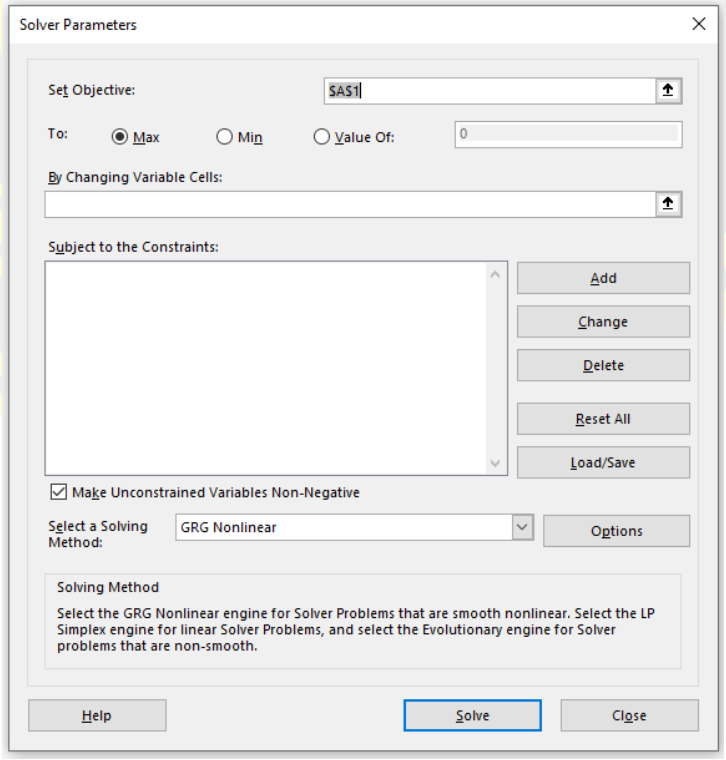
การใช้ Solver

Slover เป็นโปรแกรมย่อย (add-in) หนึ่งของโปรแกรมเอกเซล มีไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหาประเภทต้องการคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Solver สามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้แต่ไม่เสมอไป เพราะบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ทีดีที่สุดภายในขอบเขตหนึ่ง หรือบางครั้งอาจให้เพียงผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเท่าที่หาได้ภายในเวลาที่กำหนด

การเรียกใช้ Solver

เมื่อจะใช้ Solver ให้คลิกที่แท็บ Data และคลิก Solver แสดงตามภาพที่ 6 จะได้ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameter ตามภาพที่ 7

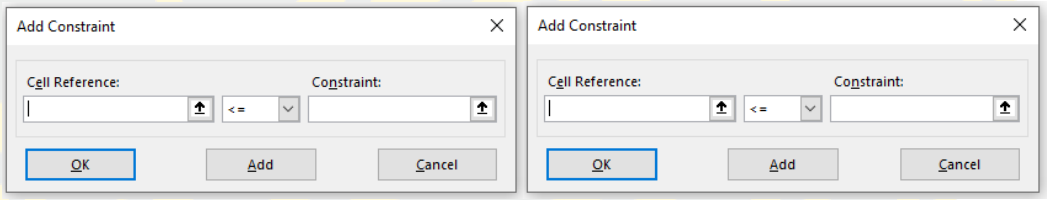
ภาพที่ 6 แท็บ Data ในเอกเซล



ภาพที่ 7 ไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameter

ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Parameters ตามภาพที่ 7 มีรายการหลักที่ต้องการให้ข้อมูลดังนี้

1. **Set Objective**: ใส่ตำแหน่งเซลล์ที่เป็นอยู่ของค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีได้เซลล์เดียว
2. **To**: เลือก Max เมื่อต้องการให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่ามาก/ สูงที่สุด หรือเลือก Min เมื่อต้องการให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อย/ ต่ำที่สุด หรือหากต้องการให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นเท่ากับค่าใดค่าหนึ่ง ให้ใส่ค่านั้นลงในช่องว่างด้านขวาของ Value of:
3. **By Changing Variable Cells**: ใส่ตำแหน่งเซลล์ที่เป็นค่าตัวแปรตัดสินใจ ปกติแล้วมักมีหลายเซลล์ อาจอยู่ต่อเนื่องกันไปหรือไม่ต่อเนื่องกัน
4. **Subject to the Constraints**: ช่องด้านซ้ายว่าง ๆ เป็นที่ใส่เงื่อนไขบังคับ มักมีหลายข้อ แต่เขียนรวมกันเป็นกลุ่มได้ หรือเขียนรวมกันเป็นกลุ่มได้หลายชุด ส่วนด้านขวามีรายการให้เลือก เช่น คลิก Add เมื่อต้องการเพิ่มเงื่อนไขบังคับลงในช่องด้านซ้ายจะได้ไดอะล็อกบ็อกซ์ Add Constraints ตามภาพที่ 8 ด้านซ้าย เงื่อนไขบังคับมีได้ต่างกัน 6 แบบด้วยกันคือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ (<=), มากกว่าหรือเท่ากับ (>=), เท่ากับ (=), เลขจำนวนเต็ม (int/ integer), ศูนย์หรือหนึ่ง (bin/ binary) และตัวเลขจำนวนเต็มไม่ซ้ำกัน เริ่มตั้งแต่ 1 เรียงกันไป (dif/ AllDifferent)



ภาพที่ 8 ไดอะล็อกบ็อกซ์สำหรับการเพิ่มเงื่อนไข

5. **Make Unconstrainted Variable Non-Negative**: โดยค่าดีฟอลต์ออปชั่นนี้จะถูกเลือก (มีเครื่องหมายถูกข้างหน้า) เพื่อมิให้ตัวแปรที่ไม่ถูกบังคับภายใต้เงื่อนไขบังคับมีค่าเป็นลบ เสมือนมีเงื่อนไขบังคับเท่ากับหรือมากกว่าศูนย์ (>=0)
6. **Selecting a Solving Method**: เลือกใช้วิธีแก้ปัญหามี 3 วิธีคือ

6.1. Simplex ใช้แก้ปัญหาที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับทั้งหมดเป็นลิเนียร์ฟังก์ชัน

6.2. GRG Nonlinear ใช้แก้ปัญหาที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขบังคับบางข้อเป็นนอนลิเนียร์ ฟังก์ชันที่ค่าเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปและต่อเนื่อง

6.3. Evolutionary ใช้แก้ปัญหาที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าไม่ต่อเนื่อง

ความหมายจากไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Result

หลังจากค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้ว Solver จะแจ้งผลการค้นหาด้วยไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Results พร้อมข้อความสั้น ๆ แจ้งถึงสถานการณ์ต่าง ๆ กันดังนี้

1. ข้อความที่บอกว่า Solver พบผลลัพธ์แล้ว

1.1. Solver found a solution. All constraints and optimality conditions are satisfied. มีความหมายว่า Solver พบผลลัพธ์หนึ่งที่ดีกว่าผลลัพธ์อื่น ๆ ทั้งหมด หรือเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายใต้สภาวการณ์นั้น ๆ ความหมายที่แน่นอนขึ้นอยู่กับว่าปัญหาที่ให้ Solver หาคำตอบนั้นมีลักษณะเป็นปัญหาแบบลิเนียร์หรือปัญหาแบบนอนลิเนียร์ที่ต่อเนื่องและค่าเปลี่ยนแปลงทีละน้อย หรือเป็นปัญหาลิเนียร์ที่ต้องการผลลัพธ์เป็นจำนวนเต็ม ข้อความนี้จะไม่ปรากฏในกรณีที่ใช้วิธีแก้ปัญหาแบบ Evolutionary

1.2. Solver has converged to the current solution. All constraints are satisfied. ความหมายคือ Solver พบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดหลายชุดที่ต่างสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับ ผลลัพธ์เหล่านั้นให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใกล้เคียงกันมาก แต่ไม่มีผลลัพธ์ใดเลยที่เป็นไปตามข้อกำหนดการทดสอบว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแท้จริงได้ทุกประการ ความหมายที่แน่นอนขึ้นอยู่กับว่าปัญหานั้นเป็นแบบนอนลิเนียร์ที่ต่อเนื่องและค่าเปลี่ยนแปลงทีละน้อยที่ใช้วิธี GRG หรือว่าปัญหานั้นค่าไม่เปลี่ยนแปลงทีละน้อยที่ใช้วิธี Evolutionary ในการแก้ปัญหา ข้อความนี้จะไม่ปรากฏในกรณีที่ใช้วิธี Simplex ในการแก้ปัญหา

1.3. Solver cannot improve the current solution. All constraints are satisfied. ข้อความนี้บอกว่า Solver พบผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับแล้ว แต่ไม่สามารถปรับปรุงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้ดีขึ้นอีกได้ ความหมายที่ชัดเจนขึ้นอยู่กับว่าปัญหานั้นเป็นนอนลิเนียร์ที่ต่อเนื่องและค่าเปลี่ยนแปลงทีละน้อยที่ใช้วิธี GRG หรือปัญหานั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่องและค่าได้เปลี่ยนแปลงทีละน้อยที่ใช้วิธี Evolutionary ในการแก้ปัญหา

1.4. Solver found an integer solution within tolerance. All constrain are satisfied. หากเป็นกรณีปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจที่ต้องเป็นจำนวนเต็มและมีตัวแปรตัดสินใจที่ไม่จำเป็นต้องเป็นจำนวนเต็มอยู่ด้วยกัน Mixed – Integer Programming Problem) หรือปัญหาใด ๆ ที่มีเงื่อนไขบังคับเป็นจำนวนเต็มโดยในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Option ใช้ค่า Integer Optimality % ที่ไม่ใช่ 0 แสดงว่า Solver พบผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด (รวมทั้งเงื่อนไขจำนวนเต็มด้วย) ที่ความแตกต่างโดยเปรียบเทียบระหว่างค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากผลลัพธ์นั้นกับค่าที่ดีที่สุดที่แท้จริงไม่เกินกว่า Integer Optimality ที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองอาจจะเป็นผลลัพธ์ที่เป็นจำนวนเต็มที่ดีที่สุดจริง อย่างไรก็ตาม Solver มิได้ใช้เวลาที่ยังเหลืออยู่ตรวจสอบ

ปัญหาย่อยที่เป็นไปได้ที่ยังเหลืออยู่ทั้งหมดเพื่อที่จะยืนยันว่าผลลัพธ์นั้นเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแล้วจริง หากเป็นกรณีที่ Solver ตรวจสอบปัญหาย่อยที่เป็นไปได้ที่ยังเหลืออยู่ทั้งหมดแล้ว (อาจเกิดขึ้นได้แม้ว่าแบบจำลองไม่ได้กำหนดค่า Integer Optimality ไว้ที่ศูนย์) Solver จะแสดงข้อความ "Solver found a solution. All constraints are satisfied."

1.5. Solver converged in probability to a global solution. เมื่อใช้ GRG Nonlinear Solving Method และในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options เลือกที่เช็คบอกซ์ Use Multistart ให้มีเครื่องหมาย ✓ ข้อความนี้จะปรากฏเมื่อ Solver ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในขอบเขตหนึ่ง ๆ ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (หรืออาจทั้งหมด) แล้ว โดยผลลัพธ์ที่แบบจำลองแจ้งว่าเป็นผลลัพธ์ที่สุดนั้นเป็นผลลัพธ์ดีที่สุดในขอบเขตหนึ่ง ๆ ของขอบเขตทั้งหมดและเป็นไปได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของปัญหานั้นแล้วจริง

2. ข้อความที่ปรากฏเมื่อกด ESC หรือเมื่อถึงกรอบจำกัดในการค้นหาผลลัพธ์

2.1. Solver stopped at user's request. เมื่อกด ESC เพื่อให้ Solver หยุดการค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Solver จะแสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solution และหากคลิกที่ Stop จะทำให้ Solver ยุติการค้นหา

2.2. Stop chosen when the maximum time limit was reached. ข้อความนี้จะปรากฏในกรณี ดังนี้

2.2.1. Solver ใช้เวลาคำนวณไปถึงเวลา (หน่วยเป็นวินาที) สูงสุดที่ระบุไว้ในช่อง Maximum Time ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options แล้ว

2.2.2. คลิกที่ Stop เมื่อ Solver แสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solution ในกรณีแรก ค่าในช่อง Maximum Time นี้แก้ไขให้เพิ่มขึ้นได้ หรือแม้แต่จะว่างไว้ (การว่างไว้หมายถึงไม่มีขอบเขตจำกัด) หรือในกรณีที่สองให้คลิกที่ Continue แทนที่จะคลิกที่ Stop ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solution นอกจากนี้อาจจะพิจารณาด้วยว่าควรปรับขนาดตัวเลขในแบบจำลองหรือเพิ่มเงื่อนไขบังคับหรือไม่ เพราะอาจลดเวลารวมในการค้นหาผลลัพธ์ลงได้

2.3. Stop chosen when the maximum iteration limit was reached. ข้อความนี้จะปรากฏเมื่อ

2.3.1. Solver คำนวณซ้ำไปมาเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจนครบรอบสูงสุดหรือมีจำนวนผลลัพธ์ทดลองครบตามที่กำหนดที่ Iterations ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options แล้ว

2.3.2. คลิกที่ Stop เมื่อ Solver แสดงไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solutionเมื่อพบข้อความนี้อาจเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ในช่อง Iteration ให้สูงขึ้น หรือคลิกที่ Continue (แทนที่จะคลิก Stop) ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solution ทั้งนี้การปรับขนาดของแบบจำลองหรือเพิ่มเงื่อนไขบังคับอาจทำให้ลดจำนวนรอบที่ต้องใช้ในการคำนวณลงได้

2.4. Stop chosen when the maximum number of feasible solutions was reached. กรณีที่ใช้ Evolutionary Solving Method ข้อความนี้จะปรากฏเมื่อ

2.4.1. Solver พบผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ครบตามจำนวนที่ระบุในอ็อปชัน Maximum Feasible Solution ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options แล้ว

2.4.2. คลิกที่ Stop ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Show Trial Solution เมื่อพบข้อความนี้อาจปรับค่าอ็อปชัน Maximum Feasible Solution ให้สูงขึ้น หรือ คลิกที่ Continue เพื่อต่อกระบวนการค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดออกไปอีก

ในกรณีที่แก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขบังคับให้เป็นจำนวนเต็มด้วย Simplex LP หรือ GRG Nonlinear Solving Method ข้อความนี้จะปรากฏเมื่อ

1. Solver พบผลลัพธ์ที่เป็นจำนวนเต็มที่เป็นไปได้ครบตามจำนวนที่ระบุในอ็อปชัน Maximum Feasible Solution ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options แล้ว

2. คลิกที่ Stop ในไดอะล็อกบ็อซ์ Show Trial Solution ทำนองเดียวกัน

เมื่อพบข้อความนี้อาจปรับค่าที่อ็อปชัน Maximum Feasible Solution ให้สูงขึ้น หรือคลิกที่ Continue เพื่อต่อกระบวนการค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดออกไปอีก แต่ควรพิจารณาด้วยว่าการวางรูปปัญหานั้นถูกต้องแล้วหรือไม่ หรือสามารถใส่เงื่อนไขบังคับเพิ่มขึ้นอีกได้หรือไม่เพื่อวางรูปปัญหาให้กระชับมากขึ้น

2.5. Stop chosen when the maximum number of feasible subproblem was reached. ในกรณีที่ใช้ Evolutionary Solving Method ข้อความนี้จะปรากฏขึ้นเมื่อ

2.5.1. Solver ได้ค้นหาคำตอบจากจำนวนปัญหาย่อยทั้งหมดที่กำหนดไว้ที่ออปชั่น Maximum Subproblems ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Options แล้ว

2.5.2. คลิกที่ Stop ในไดอะล็อกบ็อก Show Trial Solution เมื่อพบข้อความดังกล่าวอาจเพิ่มค่าอ็อปชัน Maximum Subproblems หรือคลิกที่ Continue เพื่อเข้าสู่กระบวนการค้นหาผลลัพธ์ต่อไป หากใช้ Simplex LP หรือ GRG Nonlinear Solving Method ในปัญหาที่มีเงื่อนไขบังคับให้ค่าตัวแปรตัดสินใจเป็นจำนวนเต็ม เมื่อข้อความนี้ปรากฏนอกจากการเพิ่มค่าอ็อปชัน Maximum Subproblems หรือคลิกที่ Continue เพื่อเข้าสู่กระบวนการค้นหาผลลัพธ์ต่อไป

ควรตรวจสอบด้วยว่าการวางรูปปัญหานั้นถูกต้องหรือไม่ และสามารถเพิ่มเงื่อนไขบังคับเข้าไปเพื่อให้ปัญหานั้นมีขอบเขตที่แคบลงหรือไม่

3. ข้อความที่ปรากฏเมื่อ Solver พบปัญหาในเงื่อนไขบังคับ

ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ Solver หาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดนั้น มักมีข้อผิดพลาดอยู่เสมอ เมื่อเกิดขึ้น Solver จะแจ้งเป็นข้อความให้ทราบ ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากแบบจำลองนั้นไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ (Infeasibility) เนื่องจากผลลัพธ์หนึ่ง ๆ จะเป็นผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ต่อเมื่อสอดคล้องเป็นไปตามเงื่อนไขบังคับทั้งหมด หรือปัญหานั้นไม่มีขอบเขต (Unboundedness) กล่าวคือค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปได้เรื่อย ๆ โดยไม่มีขีดจำกัด

3.1. All variables must have both upper and lower bounds ข้อความนี้ปรากฏเมื่อแก้ปัญหาด้วยวิธี Evolutionary หรือใช้ Multistart Method โดยที่หน้าเช็คบอกซ์ Required Bounds on Variables มีเครื่องหมายถูก (ดีฟอลต์) แต่ในแบบจำลองมิได้กำหนดขอบเขตด้านค่าต่ำและด้านค่าสูงของตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดของปัญหา

3.2. Variable bounds conflict in binary or alldifferent constraints ข้อความนี้เกิดขึ้นในกรณีที่ปัญหามีเงื่อนไขบังคับให้ตัวแปรตัดสินใจตัวหนึ่ง (หรือมากกว่าหนึ่ง) เป็นทั้งตัวแปรไบนารีหรือเป็นตัวแปรจำนวนเต็มที่ไม่ซ้ำกัน และมีทั้งเงื่อนไขบังคับ <= หรือเงื่อนไข >= กับใช้ตัวแปรเดียวกันนั้น (ขัดแย้งกับข้อกำหนดหรือนิยาม “ไบนารี” หรือนิยาม “จำนวนเต็มที่ไม่ซ้ำกัน”) หรือเกิดขึ้นในกรณีที่ตัวแปรตัดสินใจตัวเดียวกันปรากฏอยู่ในเงื่อนไขบังคับให้เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ซ้ำกันมากกว่าหนึ่งเงื่อนไข ทั้งนี้เพราะตัวแปรไบนารีนั้นมีขอบเขตล่างอยู่ที่ 0 มีขอบเขตบนอยู่ที่ 1 ส่วนตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่ซ้ำกันนั้นมีขอบเขตล่างอยู่ที่ 0 และมีขอบเขตบนอยู่ที่ N เมื่อ N เป็นจำนวนตัวแปรทั้งหมดในกลุ่ม เมื่อ Solver แจ้งข้อความนี้ให้ตรวจสอบว่าเงื่อนไขบังคับไบนารีและเงื่อนไขบังคับจำนวนเต็มที่ไม่ซ้ำกันนั้นถูกต้องแล้วหรือไม่ หรือหากเงื่อนไขบังคับ <= หรือ >= เป็นต้นเหตุของความขัดแย้งให้เอาเงื่อนไขนั้นออกแล้วให้ Solver หาผลลัพธ์อีกครั้งหนึ่ง

3.3. Lower and upper bounds on variable allow no feasible solution ข้อความนี้ปรากฏในกรณีที่กำหนดขอบเขตด้านต่ำและขอบเขตด้านสูงให้กับตัวแปรตัดสินใจ แต่ขอบเขตด้านต่ำสูงกว่าขอบเขตด้านสูง ทำให้ไม่มีผลลัพธ์ที่เป็นไปได้ Solver จะพบข้อเท็จจริงนี้ก่อนเริ่มกระบวนการค้นหาผลลัพธ์และแจ้งข้อความนี้แทนที่จะแจ้งว่า “Solver could not find a feasible solution” เพื่อช่วยให้หาต้นเหตุของปัญหาได้เร็วขึ้น

4. ข้อความที่ปรากฏเมื่อ Solver พบปัญหาในขณะพยายามค้นหาผลลัพธ์

4.1. The Objective Cell values do not converge ข้อความนี้แสดงเมื่อ Solver สามารถเพิ่ม (เมื่อพยายามหาค่าสูงสุด) หรือลด (เมื่อพยายามหาค่าต่ำสุด) ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้อย่างไม่มีขีดจำกัดโดยที่ยังสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับทั้งหมด เช่น ในปัญหาที่ต้องการค่าต่ำสุด ถ้าไม่มีเงื่อนไขบังคับไว้ ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์อาจมีค่าเป็นค่าลบซึ่งลดต่ำลงไปได้เรื่อย ๆ อย่างไม่มีที่สิ้นสุด การคลิกให้มีเครื่องหมาย ✓ ที่หน้า Make Unconstrained Variables Non-negative ทำให้แน่ใจว่าตัวแปรตัดสินใจทุกตัวที่มิได้ระบุค่าที่เป็นไปได้ต่ำสุดไว้จะไม่มีค่าลบ

4.2. Solver could not find feasible solution ข้อความนี้ปรากฏเมื่อ Solver ไม่พบว่ามีค่าของตัวแปรตัดสินใจที่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับทั้งหมดได้พร้อมกัน

- กรณีที่ใช้วิธี Simplex และแบบจำลองไม่มีปัญหาเกี่ยวกับขนาดตัวเลขที่แตกต่างกันมาก ข้อความนี้บอกว่า Solver แน่ใจว่าปัญหานั้นไม่มีคำตอบที่เป็นไปได้

- กรณีที่แก้ปัญหาด้วยวิธี GRG แสดงว่า (วิธีที่เริ่มการค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยเริ่มต้นจากค่าของตัวแปรค่าหนึ่ง) ไม่พบผลลัพธ์ที่เป็นไปได้แม้เพียงผลลัพธ์เดียว แต่อาจมีผลลัพธ์ที่เป็นไปไอยู่ห่างจากค่าตั้งต้นนั้นที่ Solver อาจค้นหาพบ หากการค้นหาเริ่มต้นจากค่าของตัวแปรอื่น

- กรณีที่ใช้วิธี Evolutionary ข้อความนี้แสดงว่าวิธีการคิดหาคำตอบแบบ Evolutionary นั้นไม่สามารถให้คำตอบที่เป็นไปได้ อาจจะหาได้สักคำตอบหนึ่งถ้าเริ่มการค้นหาผลลัพธ์ด้วยค่าเริ่มต้นอื่น และ/ หรือปรับค่าต่าง ๆ ในไดอะล็อกบ็อกซ์ Solver Option

4.3. The linearity conditions required by this LP Solver are not satisfied ข้อความนี้พบเมื่อเลือกใช้ Simplex ในการแก้ปัญหา แต่ Solver ทดสอบแล้วเห็นว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขบังคับไม่เป็นลิเนียร์ฟังก์ชัน เมื่อพบกรณีเช่นนี้ให้ดูจากรายงานแสดงความเป็นลิเนียร์ (Linearity Report) ว่าฟังก์ชันหรือตัวแปรตัวใดในแบบจำลองที่ไม่เป็นลิเนียร์ แล้วตรวจสอบสูตรของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขบังคับที่ไม่เป็นลิเนียร์หรือที่ไม่เป็นฟังก์ชันต่อเนื่อง หรือตรวจดูที่เครื่องหมายคูณหรือหารของตัวแปรตัดสินใจเหล่านั้น

4.4. Solver encountered an error value in the objective cell or a constraint cell ข้อความนี้ปรากฏในกรณีที่ Solver คำนวณโดยใช้ค่าตัวแปรตัดสินใจชุดใหม่แล้วพบความผิดพลาดในเซลล์ฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเซลล์หนึ่งเซลล์ใดของเงื่อนไขบังคับ ความผิดพลาดแสดงออกด้วยสัญลักษณ์ #VALUE!, #NUM!, #DIV/ 0! หรือ #NAME? เมื่อพบความผิดพลาดเหล่านี้การตรวจสอบแบบจำลองมักจะบอกถึงจุดที่เป็นปัญหา เช่น หากใส่สูตรไว้ที่ด้านขวามือของเงื่อนไขจำกัด ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นที่สูตรหนึ่งสูตรใดในนั้นมากกว่าที่จะเกิดขึ้นที่เซลล์ใดเซลล์หนึ่ง

ด้วยเหตุผลนี้และเหตุผลอื่น ๆ ทำให้ด้านขวามือของเงื่อนไขบังคับควรเป็นค่าคงที่หรือเป็นเซลล์ที่ใส่ค่าคงที่เท่านั้น

4.5. The problem is too large for Solver to handle ข้อความนี้ปรากฏเมื่อ Solver เห็นว่าแบบจำลองนั้นใหญ่เกินกว่าจะใช้วิธีหาผลลัพธ์ที่เลือก ทั้งนี้ทุกวิธีที่ Solver ใช้ในการแก้ปัญหาไม่ว่าจะเป็นวิธี Simplex, GRG หรือวิธี Evolutionary จำกัดจำนวนตัวแปรตัดสินใจไว้ที่ 200 ตัว (นอกเหนือจากเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตจำกัดบนและขอบเขตจำกัดล่าง) นอกจากนี้วิธี GRG และวิธี Evolutionary ยังจำกัดจำนวนเงื่อนไขบังคับไว้ที่ 100 เงื่อนไขอีกด้วย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการวางแผนการผลิตของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์แห่งหนึ่ง เพื่อทำการหาแนวทางในการปรับปรุงวิธีการวางแผนการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเอาแนวคิดการจัดลำดับการผลิต (Job shop Scheduling) มาปรับใช้ โดยการเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ ความต้องการของลูกค้า, ปริมาณงานในการวางแผนการผลิต, ปริมาณเครื่องจักร, ข้อมูลเกี่ยวกับเวลาในการผลิต นำเอามาสร้างแบบจำลองเพื่อช่วยในการหาคำตอบในเรื่องของเวลาการทำงานที่สั้นที่สุด (Makespan) และอีกทั้งยังช่วยในการจัดลำดับของงาน (Scheduling) ที่ต้องการผลิตอีกด้วย ซึ่งในบทนี้ ทางผู้วิจัยได้แบ่งหัวข้อตามขั้นตอนดังนี้

4.1 ปัญหาและวิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3 กรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

4.3.1 กระบวนการการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน

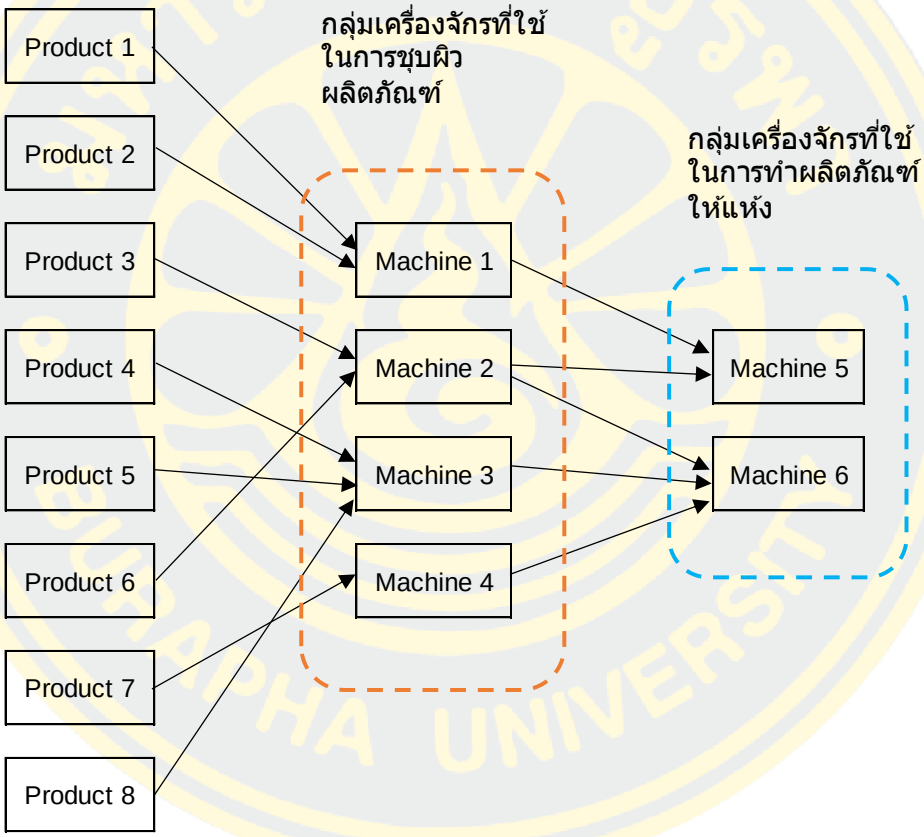
4.3.2 การปรับปรุงการจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.1 ปัญหาและวิธีการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน

ข้อมูลและสภาพทั่วไปของโรงงาน

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ที่ได้นำมาเป็นกรณีศึกษา เป็นโรงงานเกี่ยวกับการผลิตไส้กรองท่อไอเสียรถยนต์และมอเตอร์ไซค์ โดยโรงงานตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด จังหวัดระยอง เวลาการทำงานปกติคือวันจันทร์ – วันศุกร์ โดยแบ่งการผลิตออกเป็น 3 กะ รวม 24 ชั่วโมง กระบวนการผลิตจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ การเตรียมน้ำยาเคมี, การชุบเคลือบผิวผลิตภัณฑ์, การทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งการศึกษานี้จะทำการศึกษาการวางแผนการผลิตเพียง 2 กระบวนการคือ การชุบเคลือบผิวผลิตภัณฑ์และการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง ดังภาพที่ 9 โดยรูปแบบการผลิตจะเป็นการผลิตแบบ Make to stock เนื่องจากปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้ามีจำนวนมาก และมีระยะเวลาการผลิตที่ค่อนข้างนาน ทางโรงงานจึงจำเป็นต้องมีสินค้าคงคลังเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันเวลา โดยการวางแผนการผลิตจะเริ่มจากผู้วางแผน (Production planner) ได้รับตวามต้องการของลูกค้า

จากแผนกขาย (Sale) หลังจากนั้นได้ทำการตรวจสอบปริมาณสินค้าคงคลังที่มีอยู่ว่ามีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ เพื่อนำมาวางแผนในการผลิต ซึ่งการวางแผนการผลิตจะมี 3 แบบ คือ วางแผนการผลิตรายสัปดาห์, วางแผนการผลิตรายเดือน และวางแผนการผลิตรายปี การวางแผนการผลิตนอกจากจะเป็นการวางแผนเพื่อทำการผลิตสินค้าแล้ว ยังเป็นการวางแผนเพื่อนำไปสั่งซื้อวัตถุดิบ (Raw material) ล่วงหน้า และแผนการผลิตระยะยาวนั้นยังเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนทรัพยากร เช่น กำลังคนและเครื่องจักร เป็นต้น



ภาพที่ 9 การไหลของกระบวนการการผลิต

ปัจจุบันการวางแผนการผลิตและการจัดลำดับการผลิตนั้น ได้จัดทำขึ้นโดยใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนการผลิตโดยใช้โปรแกรมเอกเซล (Excel) ซึ่งแผนการผลิตรายเดือนจะถูกวางแผนโดยการคำนึงถึงสินค้าคงคลังที่ควรจะมีล่วงหน้าความต้องการของลูกค้าปริมาณ 1 เดือน หลังจากที่ได้แผนการผลิตแบบรายเดือนแล้ว ทางผู้วางแผนจะนำแผนที่วางไว้มาจัดลำดับในการผลิตเป็นรายสัปดาห์ ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 โดยคำนึงถึงกำลังการผลิตของแต่ละเครื่องจักรดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการวางแผนการผลิตรายสัปดาห์

Product no.	Coats	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk5	Total
Customer 1	1.0	15,000	14,000	7,000	0	0	36,000
Customer 2	2.5	0	0	11,000	0	0	11,000
Customer 3	2.0	4,000	5,000	0	0	0	9,000
Customer 4	1.5	5,800	3,000	900	4,300	0	14,000
Customer 5	2.5	0	0	0	2,400	0	2,400
Customer 6	3.0	0	2,000	3,500	0	0	5,500
Customer 7	1.5	6,000	6,000	6,000	5,000	0	23,000
Customer 8	2.0	0	0	3,000	0	7,000	10,000

ตารางที่ 4 ตัวอย่างแผนการผลิตรายสัปดาห์ (เป็นจำนวนครั้งในการชุบ)

Product no.	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk5
Customer 1	15,000	14,000	7,000	0	0
Customer 2	0	0	27,500	0	0
Customer 3	8,000	10,000	0	0	0
Customer 4	8,700	4,500	1,350	6,450	0
Customer 5	0	0	0	6,000	0
Customer 6	0	6,000	10,500	0	0
Customer 7	9,000	9,000	9,000	7,500	0
Customer 8	0	0	6,000	0	14,000

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการวางแผนการใช้เครื่องจักร (หน่วยวันต่อสัปดาห์)

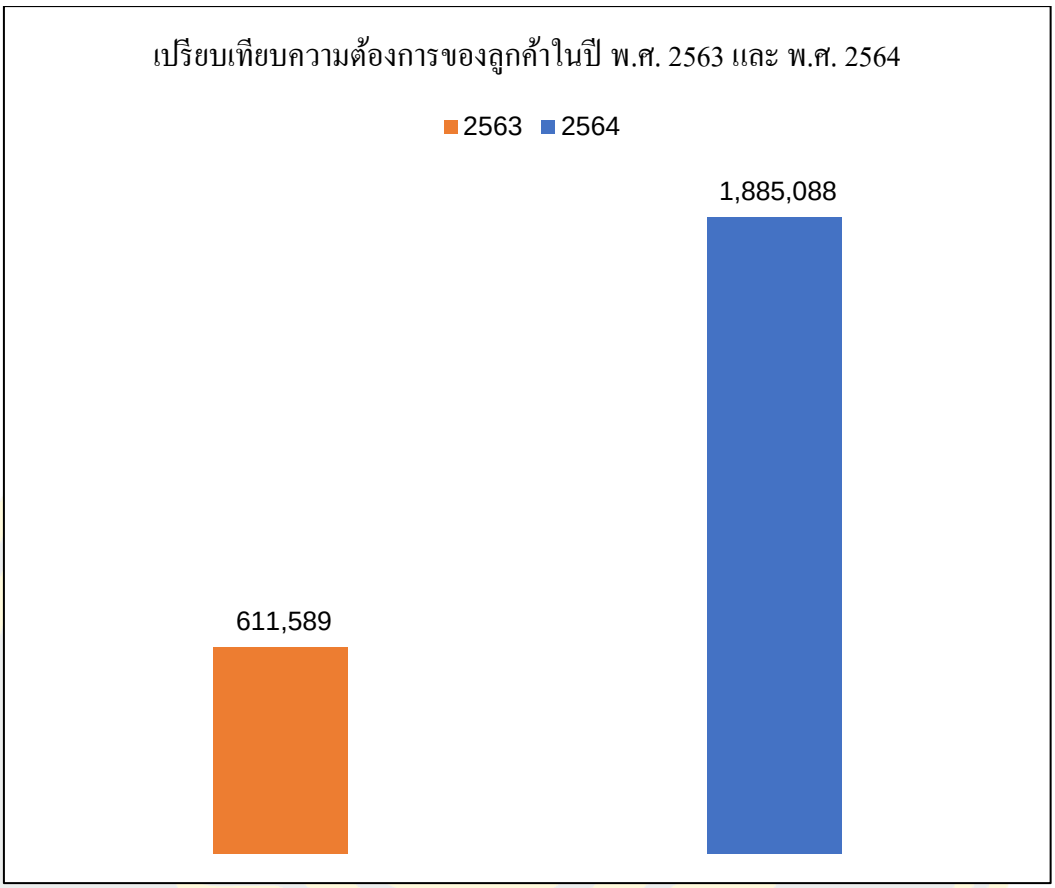
Machine no.	Wk1	Wk2	Wk3	Wk4	Wk5
M1	3.6	3.4	4.3	0.0	0.0
M2	2.6	5.0	3.0	0.0	0.0
M3	3.5	1.8	3.0	4.8	**5.6**
M4	2.9	2.9	2.9	2.4	0.0
M5	4.9	5.0	4.3	0.0	0.0
M6	4.9	5.0	**6.0**	**6.0**	2.3

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าการวางแผนโดยการใช้ประสบการณ์ของผู้วางแผนนั้นอาจทำให้การวางแผนมีความไม่สอดคล้อง โดยจะเห็นได้จากเครื่องจักรที่ 3 จะต้องการทำโอทีในสัปดาห์ที่ 5 ในขณะที่สัปดาห์ที่ 1-4 เครื่องจักรยังทำงานไม่ครบ 5 วัน และเครื่องจักรที่ 6 ต้องการทำโอทีในสัปดาห์ที่ 3 และสัปดาห์ที่ 4 แต่ในสัปดาห์ที่ 5 ยังทำงานไม่ครบ 5 วัน

ข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้าในปีพ.ศ. 2564 มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 308 เมื่อเทียบกับยอดขายในปีพ.ศ. 2563 ดังตารางที่ 6 และภาพที่ 10 จึงทำให้การวางแผนการผลิตทำได้ยากมากขึ้นเนื่องจากทางโรงงานยังมีเครื่องจักรปริมาณเท่าเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการทำงานล่วงเวลามากเกินกว่าความจำเป็นเนื่องจากการวางแผนการผลิตไม่เหมาะสม

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบความต้องการของลูกค้าในปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ. 2564

เดือน	พ.ศ. 2563	พ.ศ. 2564
มกราคม	63,902	106,991
กุมภาพันธ์	71,922	134,837
มีนาคม	67,521	155,554
เมษายน	40,754	143,859
พฤษภาคม	9,289	175,781
มิถุนายน	29,873	129,746
กรกฎาคม	23,707	165,078
สิงหาคม	37,997	175,357
กันยายน	49,002	177,164
ตุลาคม	58,048	169,036
พฤษจิกายน	66,688	181,074
ธันวาคม	92,886	170,610
ยอดรวม (ชิ้น)	611,589	1,885,088



ภาพที่ 10 เปรียบความต้องการของลูกค้าในปี พ.ศ.2563 และ พ.ศ.2564

4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่าความต้องการของลูกค้าในปีพ.ศ.2564 ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในปริมาณมาก การวางแผนการผลิตภายใต้ระยะเวลาเท่าเดิม โดยมีจำนวนเครื่องจักรเท่าเดิม จึงเป็นความท้าทายของผู้วางแผนการผลิตในการที่จะต้องวางแผนให้ได้จำนวนสินค้าตามที่ลูกค้าต้องการและส่งมอบได้ทันเวลา ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาช่วยในการวางแผนการผลิตในแบบ Job shop scheduling โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดตัวแปรรับเข้า (Input data หรือ Parameter) ดังนี้

x_j คือเวลาเริ่มต้นที่เครื่องจักรเริ่มต้นทำงานชิ้นงาน j (ชั่วโมง)

P_j คือเวลาปฏิบัติงานของชิ้นงาน j (ชั่วโมง)

กำหนดตัวแปนตัดสินใจ (Decision Variables) ดังนี้

x_{jk} คือเวลาเริ่มต้นทำงานชิ้นงาน j ที่เครื่องจักร k

$y_{jj'k}$ คือการเลือกลำดับงานของชิ้นงาน j หรือ j' ที่ทำงานที่เครื่องจักร k

2. กำหนดสมการเป้าหมาย (Objective Function) โดยต้องการเวลาในการสิ้นสุดการทำงานให้มีค่าน้อยที่สุด จึงเขียนสมการเป้าหมายได้ ดังนี้

$$\text{Min max}_j \{x_j + p_j\} \quad (1)$$

3. กำหนดข้อจำกัด (Constraints) โดยพิจารณาข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนี้

3.1 ข้อจำกัดในด้านการลำดับงาน โดยกำหนดให้

$$x_j + p_j \leq x_{j'} + M(1-y_{jj'}) \quad (2)$$

$$x_{j'} + p_{j'} \leq x_j + My_{jj'} \quad (3)$$

โดยที่ M เป็นค่าคงที่ ที่มีค่ามากและเป็นจำนวนเต็มบวกในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่า M = 100000 และกำหนดให้

$y_{jj'k}$ = 1 ถ้างาน j นำหน้างาน j' บนเครื่องจักร k

= 0 ถ้างาน j' นำหน้างาน j บนเครื่องจักร k

3.2 ข้อจำกัดในด้านของเวลาเริ่มงานของแต่ละ Job ในแต่ละเครื่องจักร k

$$x_{jk} + p_{jk} \leq x_{jk'} \quad (4)$$

โดยกำหนดให้

x_{jk} คือ เวลาเริ่มงานของ Job j ที่ทำงานบนเครื่องจักร k

p_{jk} คือ เวลาในการผลิตของ Job j บนเครื่องจักร k

$x_{jk'}$ คือ เวลาเริ่มงานของ Job j บนเครื่องจักรถัดไปคือ k'

4.3 กรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

4.3.1 กระบวนการการวางแผนการผลิตในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลการวางแผนการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 มาใช้ในการศึกษานี้ โดยการศึกษานี้จะเป็นการศึกษากระบวนการผลิต 2 กระบวนการคือ การชุบเคลือบผิวผลิตภัณฑ์และการทำผลิตภัณฑ์ให้แห้งด้วยอุณหภูมิสูง เจ้าหน้าที่วางแผนการผลิตจะนำเอาข้อมูล

ความต้องการของลูกค้า (Demand forecast) มาทำการจัดลำดับการผลิต โดยการจัดลำดับการผลิตทำโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผนการผลิตหรือเรียกว่าวิธีฮิวริสติก (Heuristic) ซึ่งข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตจะมีรายละเอียดดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิต

				Process :1			Process :2		
Product no.	**Demand (Pcs.)**	**Coat**	**Production Plan (Coats)**	**CT/Coat (Sec)**	**Process time (Hrs)**	**M/C**	**CT/Cal (Sec)**	**Process time (Hrs)**	**M/C**
Customer 1	40,000	1.0	40,000	15	231.48	M1	15	231.48	M5
Customer 2	20,000	2.5	50,000	6	115.74	M1	6	115.74	M5
Customer 3	14,000	2.0	28,000	20	216.05	M2	10	108.02	M5
Customer 4	6,500	1.5	9,750	25	94.04	M3	25	94.04	M6
Customer 5	2,000	2.5	5,000	23	44.37	M3	23	44.37	M6
Customer 6	4,700	3.0	14,100	18	97.92	M2	18	97.92	M6
Customer 7	28,000	1.5	42,000	20	324.07	M4	10	162.04	M6
Customer 8	6,700	2.0	13,400	25	129.24	M3	10	51.70	M6

จากตารางที่ 7 เราจะได้ข้อมูลปริมาณที่ต้องการในการผลิต, เวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ในการผลิตของแต่ละเครื่องจักร ซึ่งในการคำนวณเวลาในการผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องคิดจากเวลาในการผลิต (Cycle time) ต่อการชุบ 1 ครั้ง หน่วยเป็นวินาที และคิดจากประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness : OEE) ที่ร้อยละ 72 โดย process time จะสามารถคิดได้จาก (cycle time x production plan)/ OEE

ผู้วางแผนการผลิตจะนำเอาข้อมูลต่าง ๆ มาจัดตารางการผลิต สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีฮิวริสติก 4 รูปแบบดังนี้

1. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 กำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตในแต่ละเครื่องจักรของ M1 – M4 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการผลิต (processing time) ที่น้อยที่สุดก่อนดังนี้

1.1.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 2 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

1.1.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 6 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer3 ตามลำดับ

1.1.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามลำดับ

1.1.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น

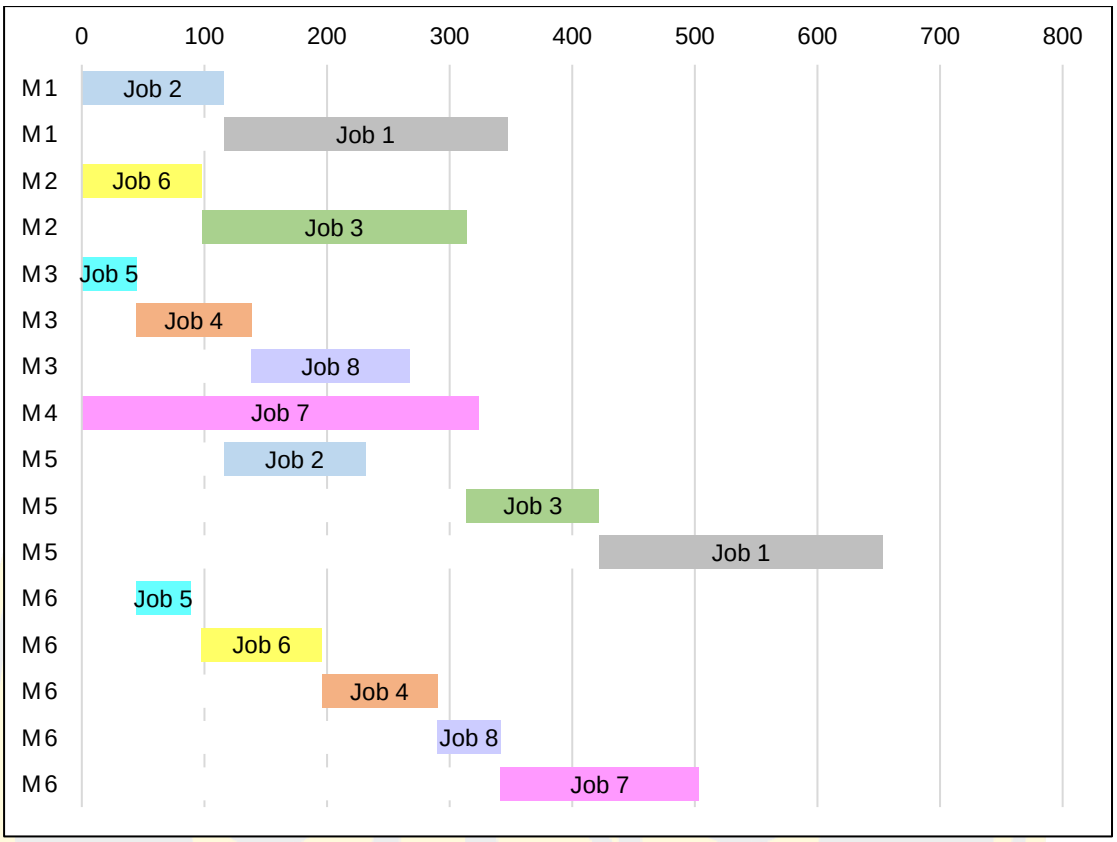
1.2 ทำการจัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อนในกระบวนการที่ 1 ดังนี้

1.2.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 3 และผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

1.2.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามลำดับซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 8 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 11

ตารางที่ 8 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs.)
Customer 2	M1	0.00	115.74	115.74
Customer 1	M1	115.74	231.48	347.22
Customer 6	M2	0.00	97.92	97.92
Customer 3	M2	97.92	216.05	313.97
Customer 5	M3	0.00	44.37	44.37
Customer 4	M3	44.37	94.04	138.41
Customer 8	M3	138.41	129.24	267.65
Customer 7	M4	0.00	324.07	324.07
Customer 2	M5	115.74	115.74	231.48
Customer 3	M5	313.97	108.02	421.99
Customer 1	M5	421.99	231.48	653.47
Customer 5	M6	44.37	44.37	88.73
Customer 6	M6	97.92	97.92	195.83
Customer 4	M6	195.83	94.04	289.87
Customer 8	M6	289.87	51.70	341.57
Customer 7	M6	341.57	162.04	503.61



ภาพที่ 11 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 1

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 จะใช้เวลาในการผลิตรวม 653.47 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 88.73

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 195.83

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 231.48

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 289.87

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 341.57

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 421.99

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 503.61

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 653.47

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	347.22	480	72%	0	0
M2	313.97	480	65%	0	0
M3	267.65	480	56%	0	0
M4	324.07	480	68%	0	0
M5	653.47	480	136%	173.47	7
M6	503.61	480	105%	23.61	1

จากตารางที่ 9 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ทำให้เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 173.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 7 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที 23.61 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน

2. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 กำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตในแต่ละเครื่องจักรของ M1 – M4 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการผลิต (processing time) ที่มากที่สุดก่อนดังนี้

2.1.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

2.1.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามลำดับ

2.1.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

2.1.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น

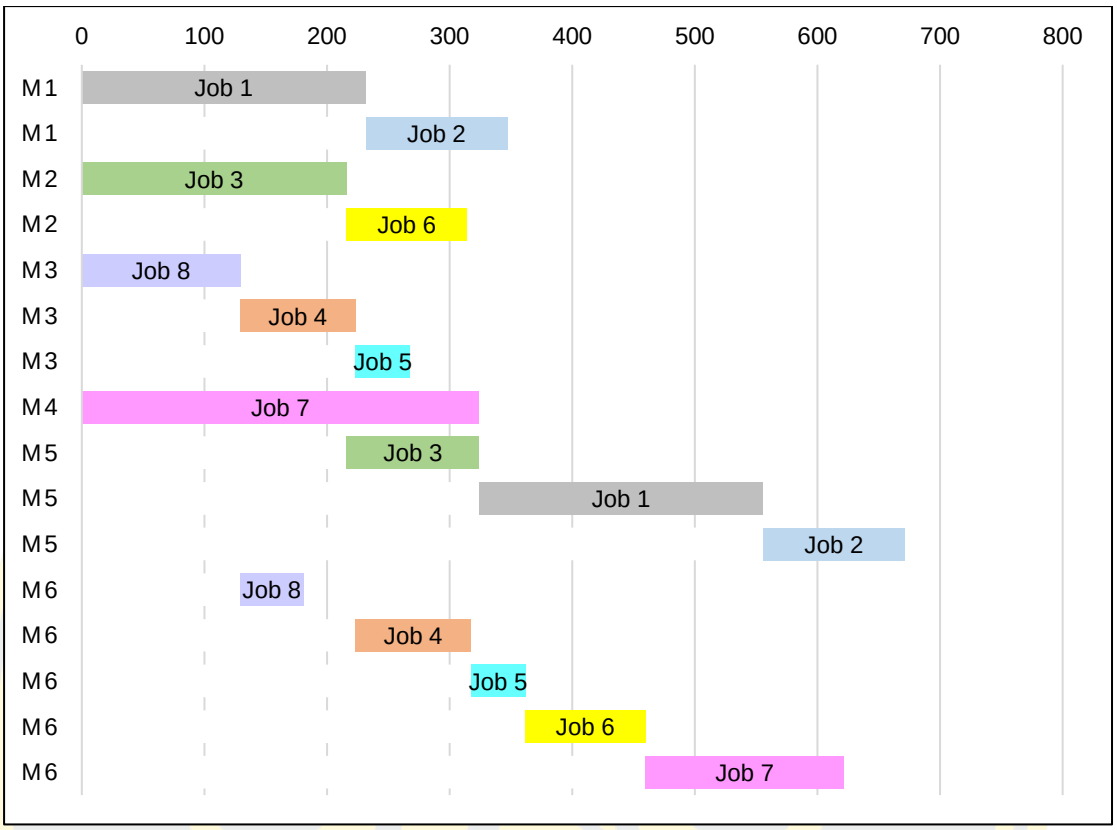
2.2 ทำการจัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อนในกระบวนการที่ 1 ดังนี้

2.2.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 และผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

2.2.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 และผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามลำดับซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 10 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 12

ตารางที่ 10 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 1	M1	0.00	231.48	231.48
Customer 2	M1	231.48	115.74	347.22
Customer 3	M2	0.00	216.05	216.05
Customer 6	M2	216.05	97.92	313.97
Customer 8	M3	0.00	129.24	129.24
Customer 4	M3	129.24	94.04	223.28
Customer 5	M3	223.28	44.37	267.65
Customer 7	M4	0.00	324.07	324.07
Customer 3	M5	216.05	108.02	324.07
Customer 1	M5	324.07	231.48	555.56
Customer 2	M5	555.56	115.74	671.30
Customer 8	M6	129.24	51.70	180.94
Customer 4	M6	223.28	94.04	317.32
Customer 5	M6	317.32	44.37	361.69
Customer 6	M6	361.69	97.92	459.61
Customer 7	M6	459.61	162.04	621.64



ภาพที่ 12 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 2

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 จะใช้เวลาในการผลิตรวม 671.30 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 180.94

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 317.32

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 324.07

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 361.69

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 459.61

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 555.56

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 621.64

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 671.30

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	347.22	480	72%	0	0
M2	313.97	480	65%	0	0
M3	267.65	480	56%	0	0
M4	324.07	480	68%	0	0
M5	671.30	480	140%	191.30	8
M6	621.64	480	130%	141.64	6

จากตารางที่ 11 การจัดลำดับการผลิตโดยการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ทำให้เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 191.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 8 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที 141.64 ชั่วโมงหรือประมาณ 6 วัน

3. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 กำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตที่เครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการผลิต (processing time) ที่น้อยที่สุดก่อนดังนี้

3.1.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 และผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

3.1.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 และผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามลำดับ

3.2 ทำการจัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 – M4 ตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ที่เครื่องจักร M5 และ M6 ดังนี้

3.2.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 2 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

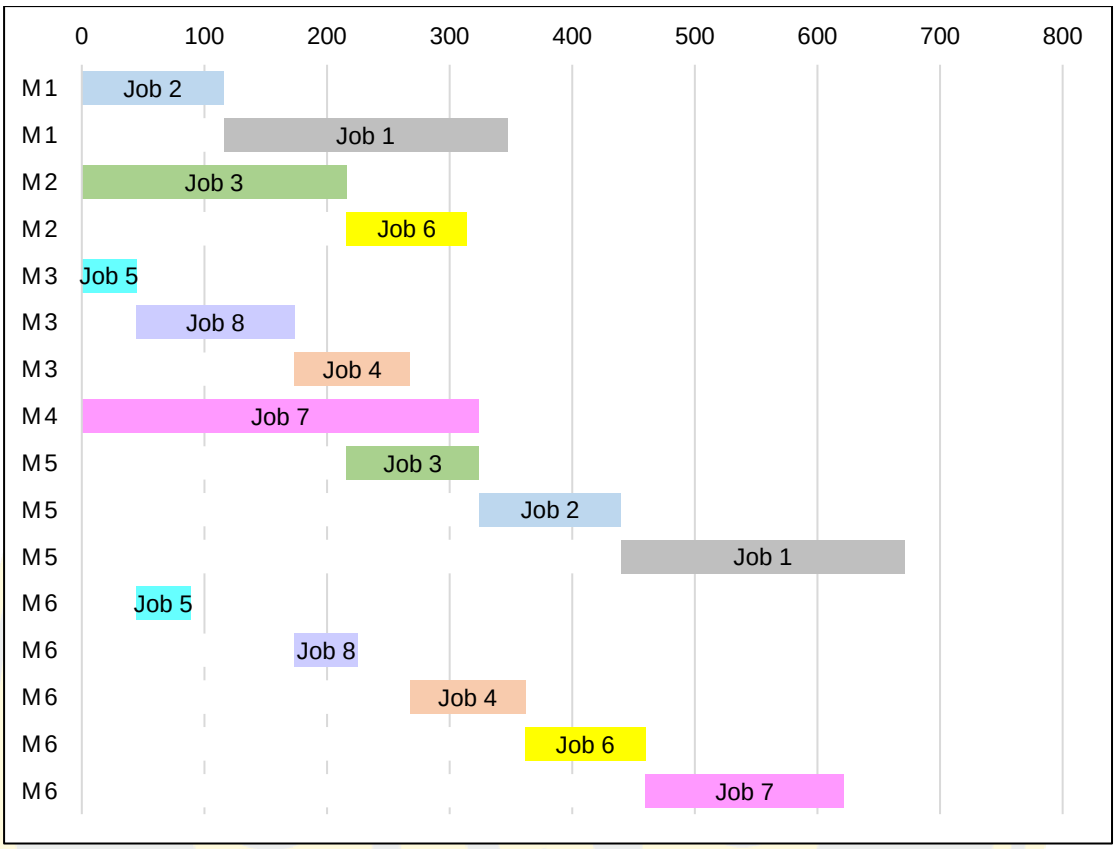
3.2.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามลำดับ

3.2.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามลำดับ

3.2.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้นซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 12 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 13

ตารางที่ 12 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 2	M1	0.00	115.74	115.74
Customer 1	M1	115.74	231.48	347.22
Customer 3	M2	0.00	216.05	216.05
Customer 6	M2	216.05	97.92	313.97
Customer 5	M3	0.00	44.37	44.37
Customer 8	M3	44.37	129.24	173.61
Customer 4	M3	173.61	94.04	267.65
Customer 7	M4	0.00	324.07	324.07
Customer 3	M5	216.05	108.02	324.07
Customer 2	M5	324.07	115.74	439.81
Customer 1	M5	439.81	231.48	671.30
Customer 5	M6	44.37	44.37	88.73
Customer 8	M6	173.61	51.70	225.31
Customer 4	M6	267.65	94.04	361.69
Customer 6	M6	361.69	97.92	459.61
Customer 7	M6	459.61	162.04	621.64



ภาพที่ 13 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 3

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 จะใช้เวลาในการผลิตรวม 671.30 ชั่วโมง โดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 88.73

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 225.31

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 324.07

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 361.69

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 439.81

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 459.61

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 621.64

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 671.30

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	347.22	480	72%	0	0
M2	313.97	480	65%	0	0
M3	267.65	480	56%	0	0
M4	324.07	480	68%	0	0
M5	671.30	480	140%	191.30	8
M6	621.64	480	130%	141.64	6

จากตารางที่ 13 การจัดลำดับการผลิตโดยการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ทำให้เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 191.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 8 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที 141.64 ชั่วโมงหรือประมาณ 6 วัน

4. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 กำหนดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตที่เครื่องจักร M5 และ M6 โดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาในการผลิต (processing time) ที่มากที่สุดก่อนดังนี้

4.1.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 และผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามลำดับ

4.1.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

4.2 ทำการจัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 – M4 ตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ที่เครื่องจักร M5 และ M6 ดังนี้

4.2.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

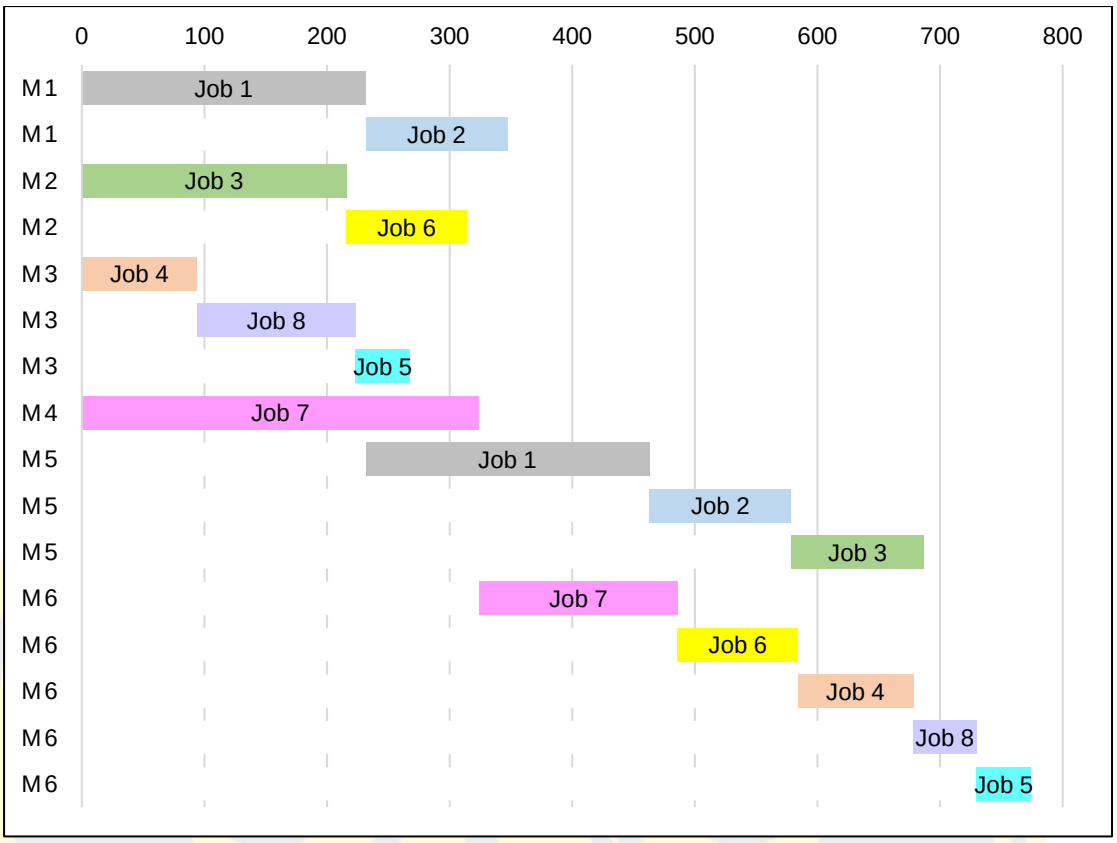
4.2.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามลำดับ

4.2.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

4.2.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้นซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 14 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 14

ตารางที่ 14 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 1	M1	0.00	231.48	231.48
Customer 2	M1	231.48	115.74	347.22
Customer 3	M2	0.00	216.05	216.05
Customer 6	M2	216.05	97.92	313.97
Customer 4	M3	0.00	94.04	94.04
Customer 8	M3	94.04	129.24	223.28
Customer 5	M3	223.28	44.37	267.65
Customer 7	M4	0.00	324.07	324.07
Customer 1	M5	231.48	231.48	462.96
Customer 2	M5	462.96	115.74	578.70
Customer 3	M5	578.70	108.02	686.73
Customer 7	M6	324.07	162.04	486.11
Customer 6	M6	486.11	97.92	584.03
Customer 4	M6	584.03	94.04	678.07
Customer 8	M6	678.07	51.70	729.76
Customer 5	M6	729.76	44.37	774.13



ภาพที่ 14 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 4

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 จะใช้เวลาในการผลิตรวม 774.13 ชั่วโมง โดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 462.96

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 486.11

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 578.70

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 584.03

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 678.07

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 686.73

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 729.76

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 774.13

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	347.22	480	72%	0	0
M2	313.97	480	65%	0	0
M3	267.65	480	56%	0	0
M4	324.07	480	68%	0	0
M5	686.73	480	143%	206.73	9
M6	774.13	480	161%	294.13	12

จากตารางที่ 15 การจัดลำดับการผลิตโดยการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ทำให้เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 206.73 ชั่วโมงหรือประมาณ 9 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที 294.13 ชั่วโมงหรือประมาณ 12 วันโดย % of utilization สามารถคิดได้จาก (Processing time/ Working time) x 100

4.3.2 การปรับปรุงการจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3.2.1 กำหนดตัวแปรรับเข้า (Input data หรือ Parameter) ดังนี้

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทางผู้วิจัยได้นำเครื่องมือ Solver ซึ่งเป็น Add in ในโปรแกรมเอกเซล (Excel) โดยกำหนดเวลาในการปฏิบัติงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ต่อเครื่องจักร (p_j) และกำหนดลำดับงานของแต่ผลิตภัณฑ์ โดยจะมีทั้งหมด 2 กระบวนการ (Process) ต่อ 1 ผลิตภัณฑ์ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ตารางแสดงเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการของแต่ละเครื่องจักร

Product no.	Process	Processing Time p_j (Hrs)	Machine Code
1	1	231.48	M1
1	2	231.48	M5
2	1	115.74	M1
2	2	115.74	M5
3	1	216.05	M2
3	2	108.02	M5
4	1	94.04	M3
4	2	94.04	M6
5	1	44.37	M3
5	2	44.37	M6
6	1	97.92	M2
6	2	97.92	M6
7	1	324.07	M4
7	2	162.04	M6
8	1	129.24	M3
8	2	51.70	M6

4.3.2.2 กำหนดตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ตัวแปรตัดสินใจ	ความหมายของตัวแปรตัดสินใจ
X_{11}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M1
X_{15}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M5
X_{21}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M1
X_{25}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 2 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M5
X_{32}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 3 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M2
X_{43}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3

ตารางที่ 17 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) (ต่อ)

ตัวแปรตัดสินใจ	ความหมายของตัวแปรตัดสินใจ
X_{46}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
X_{53}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3
X_{56}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
X_{62}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 6 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M2
X_{66}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 6 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
X_{74}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 7 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M4
X_{76}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 7 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
X_{83}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3
X_{86}	เวลาเริ่มงานของผลิตภัณฑ์ที่ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{121}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M1
Y_{362}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 3 และ 6 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M2
Y_{453}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 และ 5 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3
Y_{483}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3
Y_{583}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M3
Y_{125}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 2 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M5
Y_{135}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 1 และ 3 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M5
Y_{235}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 2 และ 3 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M5
Y_{456}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 และ 5 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{466}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 และ 6 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{476}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 และ 7 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{486}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 4 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{566}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 และ 6 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{576}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 และ 7 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{586}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 5 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{676}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 6 และ 7 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{686}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 6 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6
Y_{786}	ลำดับการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่ 7 และ 8 ที่ทำงานบนเครื่องจักร M6

4.3.2.3 กำหนดสมการเป้าหมาย (Objective Function)

Min max $\{(X_{15} + 231.48), (X_{25} + 115.74), (X_{35} + 108.02), (X_{46} + 94.04), (X_{56} + 44.37), (X_{66} + 97.92), (X_{76} + 162.04), (X_{86} + 51.70)\}$

4.3.2.4 กำหนดข้อจำกัด (Constraints)

4.3.2.4.1 กำหนดข้อจำกัดในด้านของเวลาเริ่มงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ผลิตภัณฑ์ที่ 1 : $X_{11} + 231.48 \leq X_{15}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 2 : $X_{21} + 115.74 \leq X_{25}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 3 : $X_{32} + 216.05 \leq X_{35}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 4 : $X_{43} + 94.04 \leq X_{46}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 5 : $X_{53} + 44.37 \leq X_{56}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 6 : $X_{62} + 97.92 \leq X_{66}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 7 : $X_{74} + 324.07 \leq X_{76}$

ผลิตภัณฑ์ที่ 8 : $X_{83} + 129.24 \leq X_{86}$

4.3.2.4.2 กำหนดข้อข้อจำกัดในด้านการลำดับงาน ดังนี้

ผู้วิจัยได้กำหนดค่า M = 100000

เครื่องจักร M1 : $X_{11} + 231.48 \leq X_{21} + 100000(1-Y_{121})$

$X_{21} + 115.74 \leq X_{11} + 100000Y_{121}$

เครื่องจักร M2 : $X_{32} + 216.05 \leq X_{62} + 100000(1-Y_{362})$

$X_{62} + 97.92 \leq X_{32} + 100000Y_{362}$

เครื่องจักร M3 : $X_{43} + 94.04 \leq X_{53} + 100000(1-Y_{453})$

$X_{53} + 44.37 \leq X_{43} + 100000Y_{453}$

$X_{43} + 94.04 \leq X_{83} + 100000(1-Y_{483})$

$X_{83} + 129.24 \leq X_{43} + 100000Y_{483}$

$X_{53} + 44.37 \leq X_{83} + 100000(1-Y_{583})$

$X_{83} + 129.24 \leq X_{53} + 100000Y_{583}$

เครื่องจักร M5 : $X_{15} + 231.48 \leq X_{25} + 100000(1-Y_{125})$

$X_{25} + 115.74 \leq X_{15} + 100000Y_{125}$

$X_{15} + 231.48 \leq X_{35} + 100000(1-Y_{135})$

$X_{35} + 108.02 \leq X_{15} + 100000Y_{135}$

$X_{25} + 115.74 \leq X_{35} + 100000(1-Y_{235})$

$X_{35} + 108.02 \leq X_{25} + 100000Y_{235}$

เครื่องจักร M6 : $X_{46} + 94.04 \leq X_{56} + 100000(1-Y_{456})$

$X_{56} + 44.37 \leq X_{46} + 100000Y_{456}$

$X_{46} + 94.04 \leq X_{66} + 100000(1-Y_{466})$

$X_{66} + 97.92 \leq X_{46} + 100000Y_{466}$

$X_{46} + 94.04 \leq X_{76} + 100000(1-Y_{476})$

$X_{76} + 162.04 \leq X_{46} + 100000Y_{476}$

$X_{46} + 94.04 \leq X_{86} + 100000(1-Y_{486})$

$X_{86} + 51.70 \leq X_{46} + 100000Y_{486}$

$X_{56} + 44.37 \leq X_{66} + 100000(1-Y_{566})$

$X_{66} + 97.92 \leq X_{56} + 100000Y_{566}$

$X_{56} + 44.37 \leq X_{76} + 100000(1-Y_{576})$

$X_{76} + 162.04 \leq X_{56} + 100000Y_{576}$

$X_{56} + 44.37 \leq X_{86} + 100000(1-Y_{586})$

$X_{86} + 51.70 \leq X_{56} + 100000Y_{586}$

$X_{66} + 97.92 \leq X_{76} + 100000(1-Y_{676})$

$X_{76} + 162.04 \leq X_{66} + 100000Y_{676}$

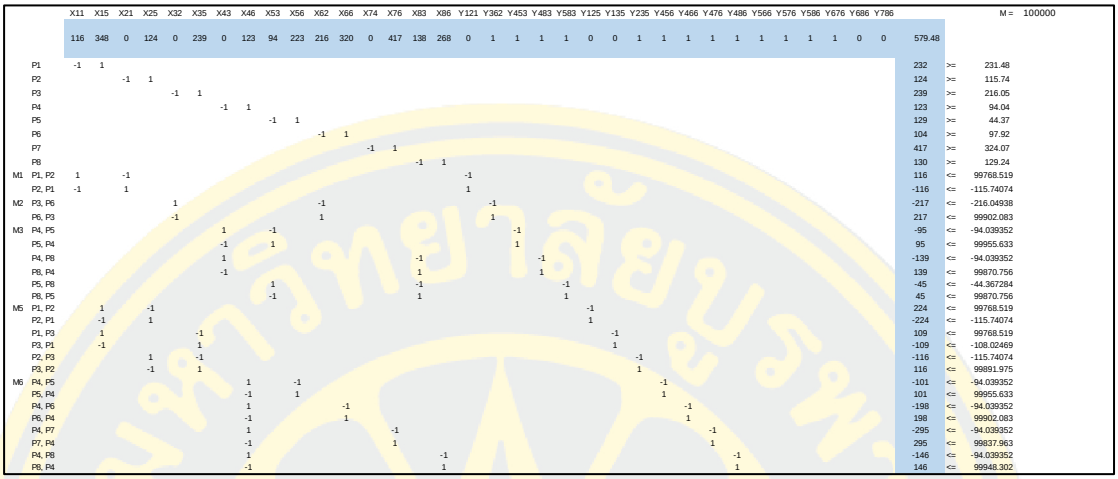
$X_{66} + 97.92 \leq X_{86} + 100000(1-Y_{686})$

$X_{86} + 51.70 \leq X_{66} + 100000Y_{686}$

$X_{76} + 162.04 \leq X_{86} + 100000(1-Y_{786})$

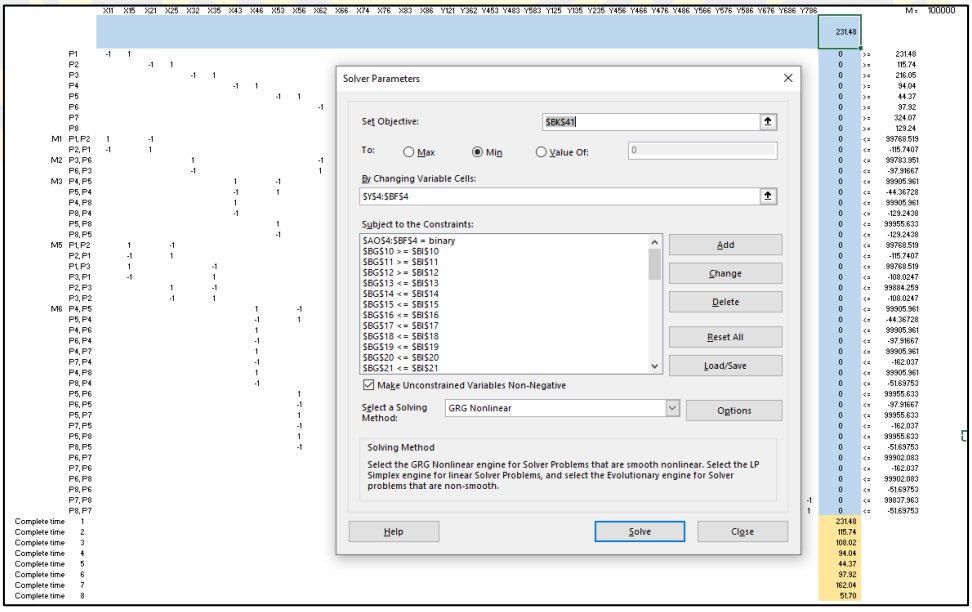
$X_{86} + 51.70 \leq X_{76} + 100000Y_{786}$

4.3.2.5 สร้างตารางเมตริกซ์เพื่อหาคำตอบโดย Solver ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ตารางเมตริกซ์

4.3.2.6 กำหนดค่าต่าง ๆ ลงใน Solver โดยเลือก Solving method เป็น GRG Nonlinear แล้วกด Solve เพื่อทำการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 16



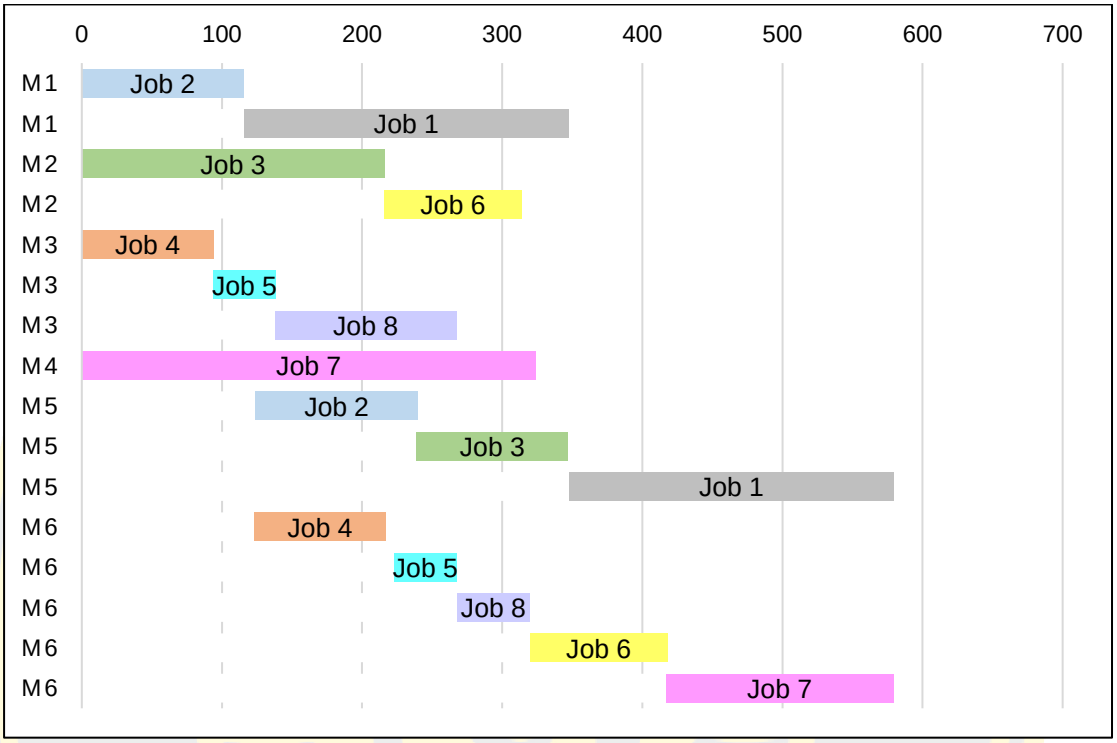
ภาพที่ 16 กำหนดค่าลงใน Solver

4.3.2.7 สามารถสรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการ Solve หาคำตอบได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 สรุปผลลัพธ์จากการ Solve

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs.)
Customer 2	M1	0.00	115.74	115.74
Customer 1	M1	116.00	231.48	347.48
Customer 3	M2	0.00	216.05	216.05
Customer 6	M2	216.00	97.92	313.92
Customer 4	M3	0.00	94.04	94.04
Customer 5	M3	94.00	44.37	138.37
Customer 8	M3	138.00	129.24	267.24
Customer 7	M4	0.00	324.07	324.07
Customer 2	M5	124.00	115.74	239.74
Customer 3	M5	239.00	108.02	347.02
Customer 1	M5	348.00	231.48	579.48
Customer 4	M6	123.00	94.04	217.04
Customer 5	M6	223.00	44.37	267.37
Customer 8	M6	268.00	51.70	319.70
Customer 6	M6	320.00	97.92	417.92
Customer 7	M6	417.00	162.04	579.04

4.3.2.8 นำผลลัพธ์ที่ได้จากการ Solve มาเขียนเป็น Gantt chart ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 17 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตรวม 579.48 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 217.04

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 239.74

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 267.37

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 319.70

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 347.02

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 417.92

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 579.04

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 579.48

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	347.48	480	72%	0	0
M2	313.92	480	65%	0	0
M3	267.24	480	56%	0	0
M4	324.07	480	68%	0	0
M5	579.48	480	121%	99.48	4
M6	579.04	480	121%	99.04	4

จากตารางที่ 19 การจัดลำดับการผลิตโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 99.48 ชั่วโมงหรือประมาณ 4 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที 99.04 ชั่วโมงหรือประมาณ 4 วัน

4.3.2.9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระบวนการวางแผนการผลิตแบบฮิวริสติกที่ใช้ในปัจจุบันเทียบกับผลลัพธ์จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2564

	Processing time (Hrs)				
Machine	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	LP
M1	347.22	347.22	347.22	347.22	347.48
M2	313.97	313.97	313.97	313.97	313.92
M3	267.65	267.65	267.65	267.65	267.24
M4	324.07	324.07	324.07	324.07	324.07
M5	653.47	671.30	671.30	686.73	579.48
M6	503.61	621.64	621.64	774.13	579.04
Total processing time (Hrs) :	653.47	671.30	671.30	774.13	**579.48**

จากตารางที่ 20 เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตของเดือน พฤษภาคม พ.ศ2564 โดยการนำผลลัพธ์ในการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) 4 รูปแบบ และการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1 (Type 1) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 653.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 2 (Type 2) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 3 (Type 3) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน

รูปแบบที่ 4 (Type 4) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 774.13 ชั่วโมงหรือประมาณ 33 วัน

รูปแบบที่ 5 (LP) : การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 579.48 ชั่วโมงหรือประมาณ 25 วัน ซึ่งเป็นการจัดลำดับการผลิตที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์ในการจัดตารางการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 แล้ว ทางผู้วิจัยจึงนำข้อมูลแผนการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 ดังตารางที่ 21 มาจัดลำดับการผลิตโดยใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) 4 รูปแบบและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิต

ตารางที่ 21 ข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการผลิต

				Process :1			Process :2		
Product no.	**Demand (Pcs.)**	**Coat**	**Production Plan (Coats)**	**CT/Coat (Sec)**	**Process time (Hrs)**	**M/C**	**CT/Cal (Sec)**	**Process time (Hrs)**	**M/C**
Customer 1	30,000	1.0	30,000	15	173.61	M1	15	173.61	M5
Customer 2	10,156	2.5	25,390	6	58.77	M1	6	58.77	M5
Customer 3	9,000	2.0	18,000	20	138.89	M2	10	69.44	M5
Customer 4	18,296	1.5	27,444	25	264.70	M3	25	264.70	M6
Customer 5	2,369	2.5	5,923	23	52.55	M3	23	52.55	M6
Customer 6	5,489	3.0	16,467	18	114.35	M2	18	114.35	M6
Customer 7	23,400	1.5	35,100	20	270.83	M4	10	135.42	M6
Customer 8	9,570	2.0	19,140	25	184.61	M3	10	73.84	M6

โดยผู้วิจัยจะเริ่มการจัดลำดับการผลิตดังนี้

1. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ดังนี้

1.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 2 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

1.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 6 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามลำดับ

1.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามลำดับ

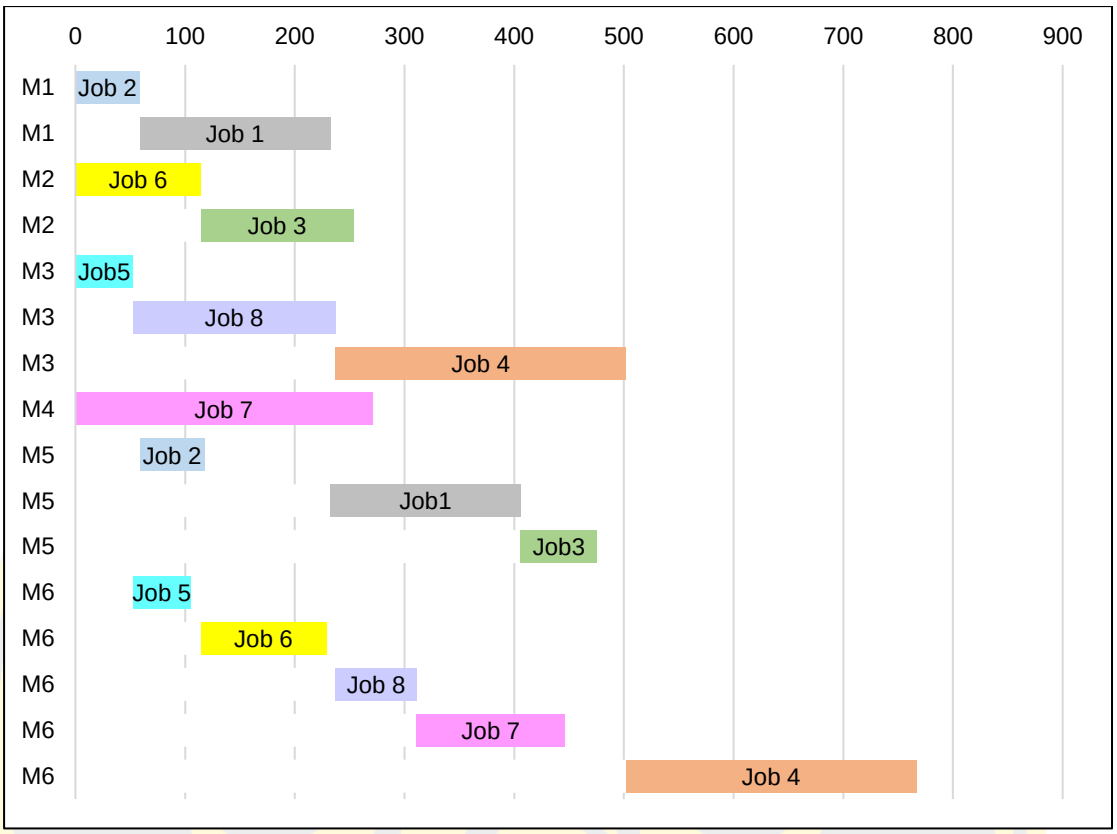
1.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น

1.5 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 และผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามลำดับ

1.6 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 7 และผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามลำดับซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 22 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 18

ตารางที่ 22 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 2	M1	0.00	58.77	58.77
Customer 1	M1	58.77	173.61	232.38
Customer 6	M2	0.00	114.35	114.35
Customer 3	M2	114.35	138.89	253.24
Customer 5	M3	0.00	52.55	52.55
Customer 8	M3	52.55	184.61	237.16
Customer 4	M3	237.16	264.70	501.86
Customer 7	M4	0.00	270.83	270.83
Customer 2	M5	58.77	58.77	117.55
Customer 1	M5	232.38	173.61	406.00
Customer 3	M5	406.00	69.44	475.44
Customer 5	M6	52.55	52.55	105.11
Customer 6	M6	114.35	114.35	228.71
Customer 8	M6	237.16	73.84	311.00
Customer 7	M6	311.00	135.42	446.42
Customer 4	M6	501.86	264.70	766.56



ภาพที่ 18 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 1

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 105.11

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 117.55

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 228.71

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 311.00

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 406.00

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 446.42

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 475.44

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 766.56

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	232.38	480	48%	0	0
M2	253.24	480	53%	0	0
M3	501.86	480	105%	21.86	1
M4	501.86	480	105%	21.86	1
M5	475.44	480	99%	0	0
M6	766.56	480	160%	286.56	12

จากตารางที่ 23 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ทำให้เครื่องจักร M3 ต้องทำโอที 21.86 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน, เครื่องจักร M4 ต้องทำโอที 21.86 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที่ 286.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 12 วัน

2. จัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ดังนี้

2.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

2.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามลำดับ

2.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

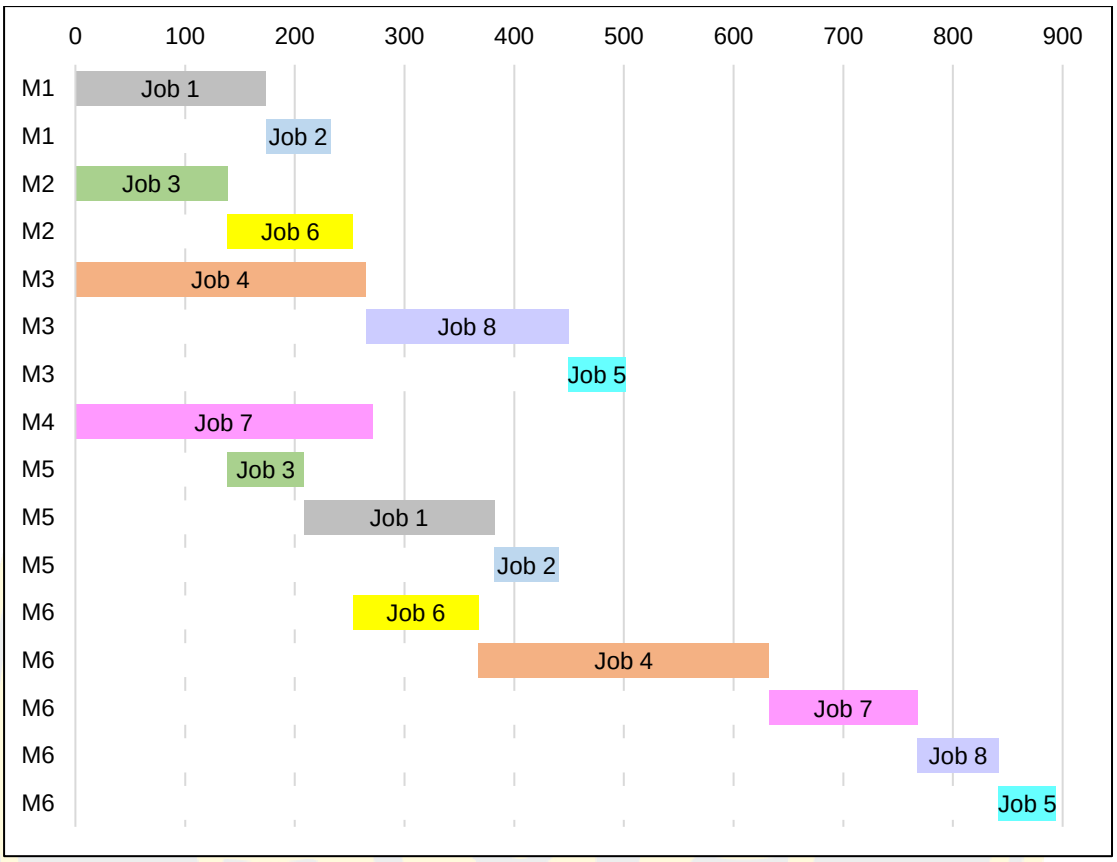
2.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น

2.5 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 และผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

2.6 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยจะพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จก่อน โดยจะเรียงจากผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 24 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 18

ตารางที่ 24 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 1	M1	0.00	173.61	173.61
Customer 2	M1	173.61	58.77	232.38
Customer 3	M2	0.00	138.89	138.89
Customer 6	M2	138.89	114.35	253.24
Customer 4	M3	0.00	264.70	264.70
Customer 8	M3	264.70	184.61	449.31
Customer 5	M3	449.31	52.55	501.86
Customer 7	M4	0.00	270.83	270.83
Customer 3	M5	138.89	69.44	208.33
Customer 1	M5	208.33	173.61	381.94
Customer 2	M5	381.94	58.77	440.72
Customer 6	M6	253.24	114.35	367.60
Customer 4	M6	367.60	264.70	632.30
Customer 7	M6	632.30	135.42	767.71
Customer 8	M6	767.71	73.84	841.56
Customer 5	M6	841.56	52.55	894.11



ภาพที่ 19 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 2

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมง โดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 208.33

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 367.60

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 381.94

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 440.72

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 632.30

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 767.71

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 841.56

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 894.11

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	232.38	480	48%	0	0
M2	253.24	480	53%	0	0
M3	501.86	480	105%	21.86	1
M4	270.83	480	56%	0	0
M5	440.72	480	92%	0	0
M6	894.11	480	186%	414.11	17

จากตารางที่ 25 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ทำให้เครื่องจักร M3 ต้องทำโอที 21.86 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน, และเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที่ 414.11 ชั่วโมงหรือประมาณ 17 วัน

3. การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ดังนี้

3.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 3 และผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับ

3.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 7 และผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามลำดับ

3.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 2 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามลำดับซึ่งจะพิจารณาจากการจัดลำดับการผลิตที่เครื่อง M5 และ M6

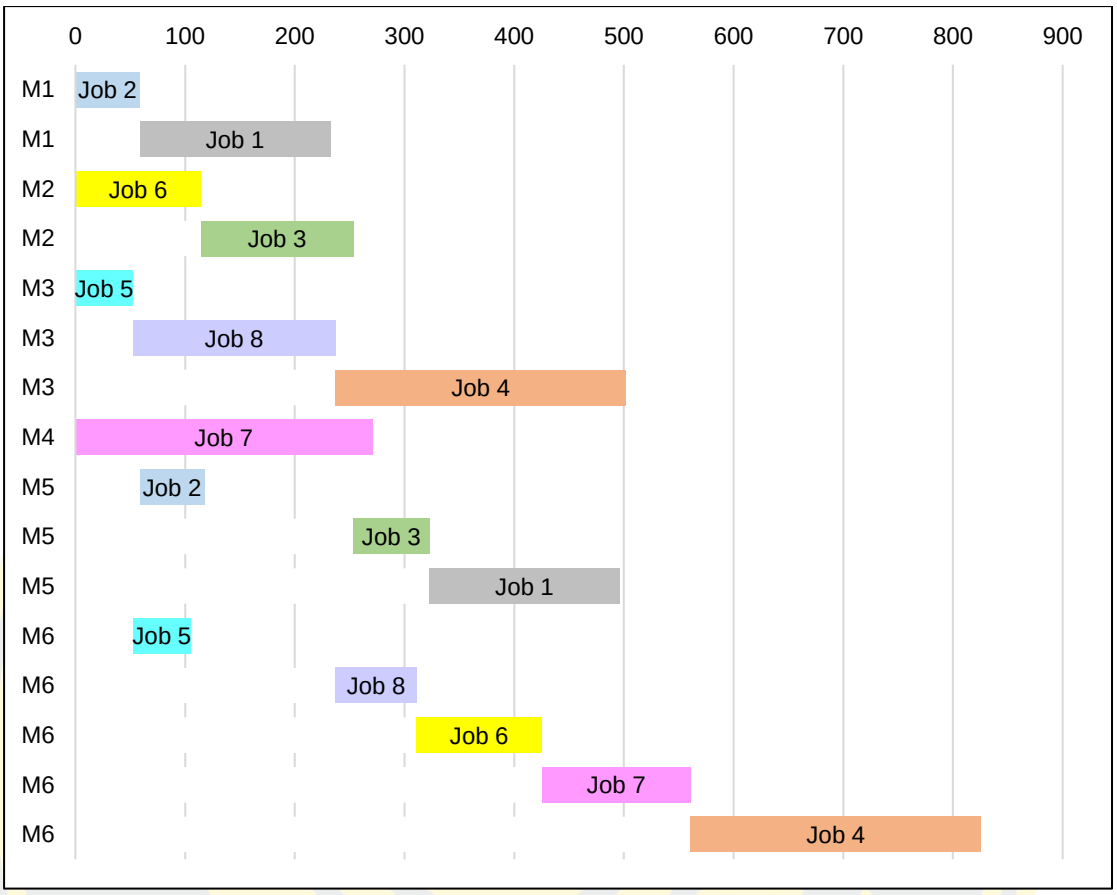
3.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 6 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 3 ตามลำดับ

3.5 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามลำดับ

3.6 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 24 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 20

ตารางที่ 26 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 2	M1	0.00	58.77	58.77
Customer 1	M1	58.77	173.61	232.38
Customer 6	M2	0.00	114.35	114.35
Customer 3	M2	114.35	138.89	253.24
Customer 5	M3	0.00	52.55	52.55
Customer 8	M3	52.55	184.61	237.16
Customer 4	M3	237.16	264.70	501.86
Customer 7	M4	0.00	270.83	270.83
Customer 2	M5	58.77	58.77	117.55
Customer 3	M5	253.24	69.44	322.69
Customer 1	M5	322.69	173.61	496.30
Customer 5	M6	52.55	52.55	105.11
Customer 8	M6	237.16	73.84	311.00
Customer 6	M6	311.00	114.35	425.36
Customer 7	M6	425.36	135.42	560.77
Customer 4	M6	560.77	264.70	825.47



ภาพที่ 20 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 3

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 105.11

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 117.55

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 311.00

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 322.69

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 425.36

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 496.30

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 560.77

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 825.47

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	232.38	480	48%	0	0
M2	253.24	480	53%	0	0
M3	501.86	480	105%	21.86	1
M4	270.83	480	56%	0	0
M5	496.30	480	103%	16.30	1
M6	825.47	480	172%	345.47	14

จากตารางที่ 25 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 – M6 ทำให้เครื่องจักร M3 ต้องทำโอที 21.86 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน, และเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที่ 345.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 14 วัน

4. การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ดังนี้

4.1 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M5 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 3 และผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับ

4.2 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M6 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 7 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

4.3 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M1 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 1 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 2 ตามลำดับซึ่งจะพิจารณาจากการจัดลำดับการผลิตที่เครื่อง M5 และ M6

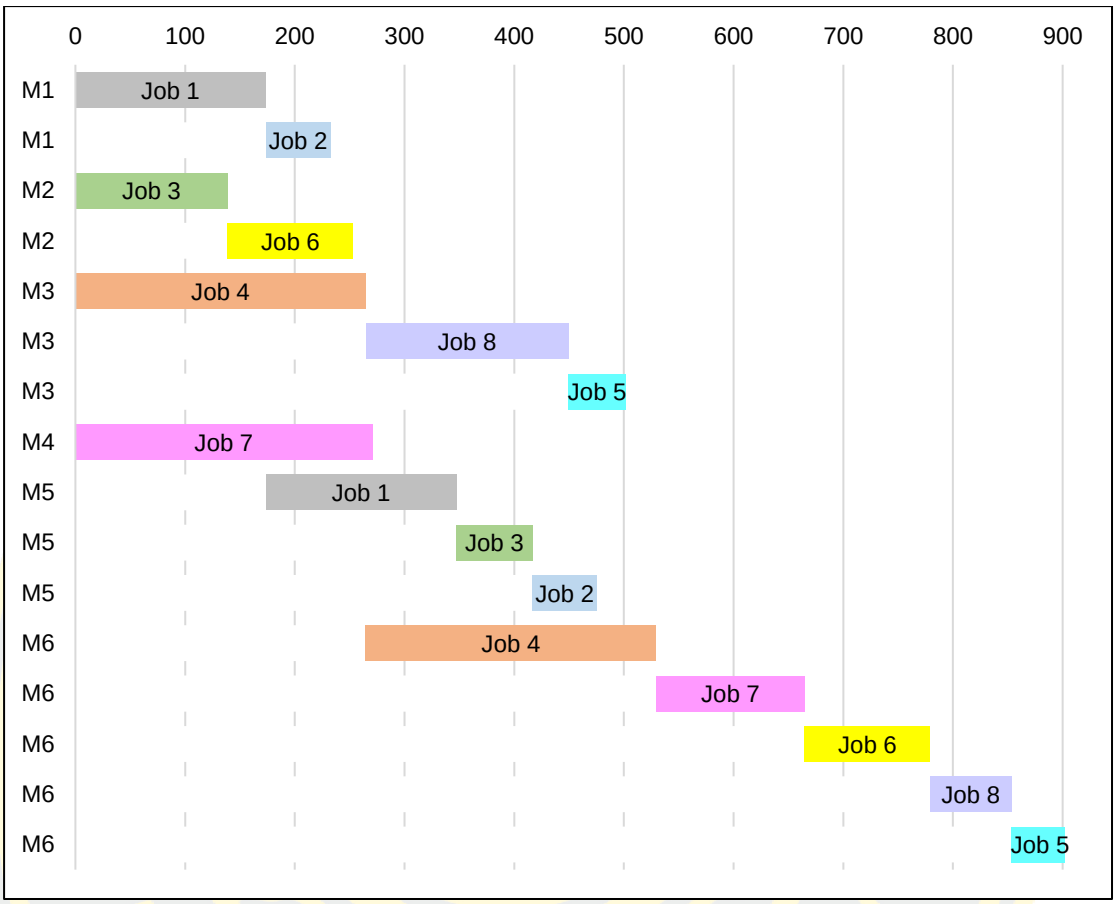
4.4 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M2 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 3 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 6 ตามลำดับ

4.5 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M3 โดยเรียงลำดับจากผลิตภัณฑ์ customer 4 ตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 8 และตามด้วยผลิตภัณฑ์ customer 5 ตามลำดับ

4.6 จัดลำดับการผลิตของเครื่องจักร M4 โดยจะมีเพียงผลิตภัณฑ์ customer 7 เท่านั้น ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 28 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 21

ตารางที่ 28 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 1	M1	0.00	173.61	173.61
Customer 2	M1	173.61	58.77	232.38
Customer 3	M2	0.00	138.89	138.89
Customer 6	M2	138.89	114.35	253.24
Customer 4	M3	0.00	264.70	264.70
Customer 8	M3	264.70	184.61	449.31
Customer 5	M3	449.31	52.55	501.86
Customer 7	M4	0.00	270.83	270.83
Customer 1	M5	173.61	173.61	347.22
Customer 3	M5	347.22	69.44	416.67
Customer 2	M5	416.67	58.77	475.44
Customer 4	M6	264.70	264.70	529.40
Customer 7	M6	529.40	135.42	664.81
Customer 6	M6	664.81	114.35	779.17
Customer 8	M6	779.17	73.84	853.01
Customer 5	M6	853.01	52.55	905.56



ภาพที่ 21 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานแบบที่ 4

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 347.22

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 416.67

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 475.44

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 529.40

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 664.81

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 779.17

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 853.01

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 905.56

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

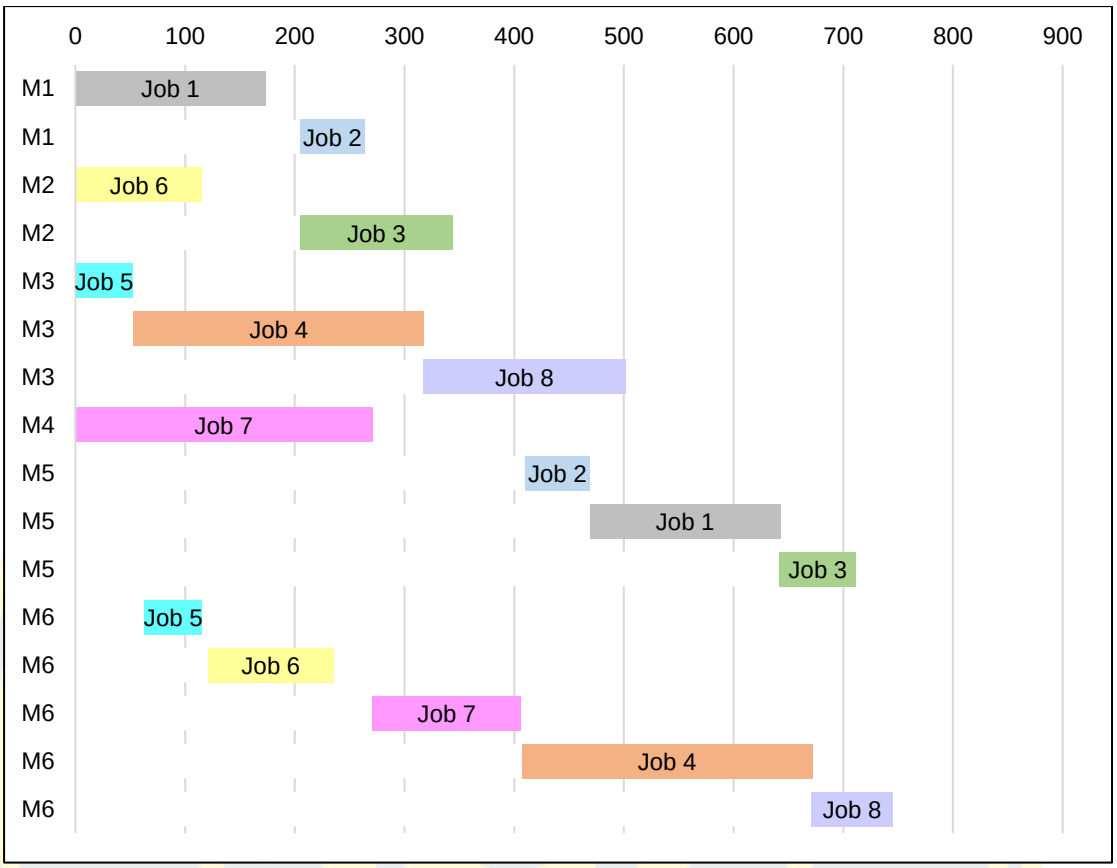
Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	232.38	480	48%	0	0
M2	253.24	480	53%	0	0
M3	501.86	480	105%	21.86	1
M4	270.83	480	56%	0	0
M5	475.44	480	99%	0	0
M6	905.56	480	189%	425.56	18

จากตารางที่ 29 การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 – M6 ทำให้เครื่องจักร M3 ต้องทำโอที 21.86 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที่ 425.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 18 วัน

5. การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์จากการจัดลำดับการผลิตได้ดังตารางที่ 30 และสามารถเขียนเป็น Gantt Chart ได้ดังภาพที่ 22

ตารางที่ 30 การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Product no.	Machine	Start time (Hrs)	Processing time (Hrs)	Finish time (Hrs)
Customer 1	M1	0.00	173.61	173.61
Customer 2	M1	205.00	58.77	263.77
Customer 6	M2	1.00	114.35	115.35
Customer 3	M2	205.00	138.89	343.89
Customer 5	M3	0.00	52.55	52.55
Customer 4	M3	53.00	264.70	317.70
Customer 8	M3	317.00	184.61	501.61
Customer 7	M4	0.00	270.83	270.83
Customer 2	M5	410.00	58.77	468.77
Customer 1	M5	469.00	173.61	642.61
Customer 3	M5	642.00	69.44	711.44
Customer 5	M6	63.00	52.55	115.55
Customer 6	M6	121.00	114.35	235.35
Customer 7	M6	271.00	135.42	406.42
Customer 4	M6	407.00	264.70	671.70
Customer 8	M6	671.00	73.84	744.84



ภาพที่ 22 Gantt Chart แสดงความสัมพันธ์ของลำดับงานในแต่ละเครื่องจักรของการจัดลำดับงานโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลจากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 774.84 ชั่วโมงโดยสามารถเรียงลำดับงานที่ผลิตเสร็จได้ดังนี้

Customer 5 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 115.55

Customer 6 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 235.35

Customer 7 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 406.42

Customer 2 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 468.77

Customer 1 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 642.61

Customer 4 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 671.70

Customer 3 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 711.44

Customer 8 ผลิตเสร็จในชั่วโมงที่ 744.84

สามารถแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิตได้ดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 เวลาที่ใช้ในการผลิตของเครื่องจักร M1 – M6

Machine	Processing time (Hrs)	Working time (Hrs)	% Utilization	OT (Hrs)	OT (Days)
M1	263.77	480	55%	0	0
M2	343.89	480	72%	0	0
M3	501.61	480	105%	21.61	1
M4	270.83	480	56%	0	0
M5	711.44	480	148%	231.44	10
M6	744.84	480	155%	264.84	11

จากตารางที่ 31 การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้เครื่องจักร M3 ต้องทำโอที 21.61 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน, เครื่องจักร M5 ต้องทำโอที 231.44 ชั่วโมงหรือประมาณ 10 วันและเครื่องจักร M6 ต้องทำโอที่ 264.84 ชั่วโมงหรือประมาณ 11 วัน

ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตสูงสุดของแต่ละรูปแบบในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ได้ดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564

	Processing time (Hrs)				
Machine	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	LP
M1	232.38	232.38	232.38	232.38	263.77
M2	253.24	253.24	253.24	253.24	343.89
M3	501.86	501.86	501.86	501.86	501.61
M4	270.83	270.83	270.83	270.83	270.83
M5	475.44	440.72	496.30	475.44	711.44
M6	766.56	894.11	825.47	905.56	744.84
Total processing time (Hrs) :	766.56	894.11	825.47	905.56	**744.84**

จากตารางที่ 32 เป็นการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตของเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 โดยการนำผลลัพธ์ในการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) 4 รูปแบบและการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

รูปแบบที่ 1 (Type 1) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 32 วัน

รูปแบบที่ 2 (Type 2) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 894.11 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

รูปแบบที่ 3 (Type 3) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 825.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 35 วัน

รูปแบบที่ 4 (Type 4) : การจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 905.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

รูปแบบที่ 5 (LP) : การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 744.84 ชั่วโมงหรือประมาณ 31 วัน ซึ่งเป็นการจัดลำดับการผลิตที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและวิจัยเรื่องการจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้เทคนิคการวางแผนการจัดลำดับงาน (Job shop scheduling) โดยใช้การวางแผนและการจัดลำดับการผลิตของสินค้า 8 อย่าง โดยแบ่งกระบวนการผลิตเป็น 2 ขั้นตอน ใช้เครื่องจักร 6 เครื่อง โดยใช้เวลาในการผลิตต่อหน่วย (Cycle time) ที่เท่ากัน ระหว่างการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic) 4 รูปแบบและการจัดลำดับการผลิตโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical modeling) ซึ่งการศึกษาจะแบ่งออกเป็น การจัดลำดับการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564 และการจัดลำดับการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ผลจากการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้

1. การจัดตารางการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2564 โดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตสูงสุดในแต่ละรูปแบบ โดยจะสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 33

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2564

	Processing time (Hrs)				
Machine	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	LP
M1	347.22	347.22	347.22	347.22	347.48
M2	313.97	313.97	313.97	313.97	313.92
M3	267.65	267.65	267.65	267.65	267.24
M4	324.07	324.07	324.07	324.07	324.07
M5	653.47	671.30	671.30	686.73	579.48
M6	503.61	621.64	621.64	774.13	579.04
Total processing time (Hrs) :	653.47	671.30	671.30	774.13	**579.48**

จากตารางที่ 33 จะสามารถสรุปวิธีการจัดตารางการผลิตโดยเรียงจากวิธีที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุดได้ดังนี้

- การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 579.48 ชั่วโมงหรือประมาณ 25 วัน
- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 1 (Type 1) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 653.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน
- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 2 (Type 2) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน
- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 3 (Type 3) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 671.30 ชั่วโมงหรือประมาณ 28 วัน
- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 4 (Type 4) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 774.13 ชั่วโมงหรือประมาณ 33 วัน

จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดเวลาในการผลิตเมื่อเทียบกับวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันได้ 73.99 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 11.32

2. การจัดตารางการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 โดยการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตสูงสุดในแต่ละรูปแบบ โดยจะสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 34

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564

	Processing time (Hrs)				
Machine	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	LP
M1	232.38	232.38	232.38	232.38	263.77
M2	253.24	253.24	253.24	253.24	343.89
M3	501.86	501.86	501.86	501.86	501.61
M4	270.83	270.83	270.83	270.83	270.83
M5	475.44	440.72	496.30	475.44	711.44
M6	766.56	894.11	825.47	905.56	744.84
Total processing time (Hrs) :	766.56	894.11	825.47	905.56	**744.84**

จากตารางที่ 34 จะสามารถสรุปวิธีการจัดตารางการผลิตโดยเรียงจากวิธีที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุดได้ดังนี้

- การจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 744.84 ชั่วโมงหรือประมาณ 32 วัน

- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 1 (Type 1) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในปัจจุบันใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 766.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 32 วัน

- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 2 (Type 2) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M1 – M4 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 894.11 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 3 (Type 3) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time น้อยที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 825.47 ชั่วโมงหรือประมาณ 35 วัน

- การจัดลำดับการผลิตรูปแบบที่ 4 (Type 4) เป็นการจัดลำดับการผลิตโดยเริ่มจากผลิตภัณฑ์ที่มี processing time มากที่สุดสำหรับเครื่องจักร M5 และ M6 ซึ่งใช้เวลาในการผลิตสูงสุด 905.56 ชั่วโมงหรือประมาณ 38 วัน

จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดลำดับการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถลดเวลาในการผลิตเมื่อเทียบกับวิธีการจัดตารางการผลิตในปัจจุบันได้ 21.72 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน

หรือคิดเป็นร้อยละ 2.83 นอกจากนั้นเรายังสามารถนำข้องมูลแผนการผลิตไปวางแผนการดำเนินงานในอนาคตได้อีกด้วยเพราะจะเห็นได้ว่าปริมาณการผลิตในเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2564 มีมากกว่ากำลังการผลิต ดังนั้นทางบริษัทกรณีศึกษาจึงสามารถนำข้อมูลนี้ไปจัดเตรียมทรัพยากร เช่น การเพิ่มพนักงาน การเพิ่มเครื่องจักร เพื่อมาทำการรองรับปริมาณการผลิตที่มากขึ้น เป็นต้น

อภิปรายผล

การศึกษาและวิจัยเรื่องการจัดตารางการผลิตโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ เพื่อให้การวางแผนและจัดตารางการผลิตมีประสิทธิภาพในการจัดการการวางแผนทรัพยากรโดยใช้ต้นทุนที่เหมาะสม โดยนำเทคนิคการจัดตารางการผลิต (Job Shop Scheduling) ซึ่งทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าการวางแผนและการจัดตารางการผลิตที่ดีจะส่งผลให้สามารถช่วยลดเวลาในการผลิต รวมถึงช่วยลดต้นทุนในการผลิตลงได้ด้วย ซึ่งจะเห็นได้จากเมื่อนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวางแผนและการจัดลำดับในการผลิตทำให้สามารถลดเวลาการทำงานในเดือน พฤษภาคม พ.ศ.2564 ได้ 73.99 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 วัน และสามารถลดเวลาการทำงานในเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2564 ได้ 21.72 ชั่วโมงหรือประมาณ 1 วัน เมื่อเทียบจากวิธีการจัดตารางการผลิตปัจจุบัน

งานวิจัยนี้ยังพบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ เช่น เพชรายุทธ แซ่หลี (2557) ได้ศึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนแรงงานสำหรับการผลิตขิงดอง เพื่อให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุดโดยการใช้ Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel ในการเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายโดยรวมลงได้ 273,090 บาท หรือร้อยละ 8.08 เมื่อเทียบกับการดำเนินการที่ผ่านมาของบริษัท เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการนำแบบจำลอง job shop scheduling ที่มีอยู่แล้วไปใช้งาน ซึ่งมีข้อสมมติต่าง ๆ ในแบบจำลอง ในอนาคตถ้างานมีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น อาจพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น มีการกำหนด due date ในการจัดส่งสินค้าที่แน่นอน และมีการนำเอาเวลา setup time เข้ามาเกี่ยวข้องในกรณีที่เครื่องจักรต้องผลิตสินค้าที่มีความหลากหลาย

2. ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่ มีตัวแปรตัดสินใจหลายตัว และมีการนำข้อมูลจำนวนมาก อาจพัฒนาวิธี heuristics ที่มีความสามารถในการหาคำตอบได้ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด

บรรณานุกรม

ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ. (2559). การวางแผนการผลิตที่เหมาะสมของโรงงานเครื่องจักรกลการเกษตรเพื่อการผลิตอ้อยโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 26*(2), 209-221. doi:10.14416/j.kmutnb.2015.08.003

ณกร อินทร์พยุง. (2548). *การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

ธีรวัฒย์ คำพรมมี. (2562). การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ กรณีศึกษาสถานประกอบการผลิตชิ้นส่วนรถบรรทุกในจังหวัดพิษณุโลก. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 1*(3), 47-66.

นภดล ร่มโพธิ์. (2554). การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจทางธุรกิจ. *วารสารบริหารธุรกิจ, 34*(130).

นมิดา ศรีผล. (2560). *การจัดตารางการผลิตเพื่อปรับปรุงปริมาณงานล่าช้า : กรณีศึกษา*. วิทยานิพนธ์สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ปารเมศ ชุติมา. (2555). *เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิภพ ลลิตาภรณ์. (2556). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์. (2560). *กำหนดการเชิงเส้น Linear Programming*. กรุงเทพฯ: แดเน็กซ์อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น.

เพชรายุทธ แซ่หลี. (2557). *แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมสำหรับการวางแผนแรงงานในการผลิตขิงดอง*. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร, *9*.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). *วิธีการเมตาฮิวริสติก เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์*. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

สุริยะ เปียอยู่. (2561). การออกแบบระบบสนับสนุนการวางแผนการผลิตโยเกิร์ต. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 25*(3), 1-11.

Bülbül, K., & Kaminsky, P. (2012). *A linear programming-based method for job shop scheduling*. *Journal of Scheduling, 16*(2), 161-183. doi:10.1007/s10951-012-0270-4

Fattahi, P., Jolai, F., & Arkat, J. (2009). *Flexible job shop scheduling with overlapping in operations*. *Applied Mathematical Modelling, 33*(7), 3076-3087. doi:10.1016/j.apm.2008.10.029

Frihat, M., Hadj-Alouane, A. b., & Sadfi, C. (2021). *Optimization of the Integrated Problem of Employee Timetabling and Job Shop Scheduling*. *Computers & Operations Research*. doi:10.1016/j.cor.2021.105332

Meng, L., Zhang, C., Ren, Y., Zhang, B., & Lv, C. (2020). *Mixed-integer linear programming and constraint programming formulations for solving distributed flexible job shop scheduling problem*. *Computers & Industrial Engineering, 142*. doi:10.1016/j.cie.2020.106347

Saeed Osman Mojahid. (2021). *A computational optimization method for scheduling resource-constraint sequence-dependent changeovers on multi-machine production lines*. *Expert Systems with Applications, 168*. doi:10.1016/j.eswa.2020.114265