

DATA SIMULATION TO ANALYZE PRODUCTION SEQUENCING PATTERNS: CASE STUDY OF A METAL FABRICATION MANUFACTURING

Attapol WONGKASIKIT¹ and Sunisa RIMCHAROEN^{2*}

1 Faculty of Informatics, Burapha University, Thailand; 64910136@go.buu.ac.th

2 Faculty of Informatics, Burapha University, Thailand; rsunisa@buu.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 29 September 2023

Revised: 11 October 2023

Published: 27 October 2023

ABSTRACT

This paper introduces a data simulation method to enhance production scheduling in a welding and metal fabrication factory. Effective scheduling is crucial for on-time deliveries and customer satisfaction, but the factory lacks tools for aligning schedules with committed shift dates. The factory produces nine product models with varying production times across 22 workstations. Our research aims to find the optimal scheduling strategy to minimize overall production time. We use data simulation to explore different scheduling patterns and identify the most efficient one. In one month of testing, our method reduced production time by 5,688 minutes, representing an 8.5% improvement over current scheduling methods. This research highlights the benefits of data simulation techniques in scheduling for the production processes of welding and metal fabrication factory, enhancing operational efficiency and the ability to meet customer delivery requirements.

Keywords: Flow Shop, Makespan, Production Scheduling

CITATION INFORMATION: Wongkasikit, A. & Rimcharoen, S. (2023). Data Simulation to Analyze Production Sequencing Patterns: Case Study of a Metal Fabrication Manufacturing. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 1(10), 23

การจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการผลิต: กรณีศึกษา โรงงานเชื่อมและประกอบโลหะ

อรรถพล ว่องกลกิจ¹ และ สุนิสา ริมเจริญ²

1 คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา; 64910136@go.buu.ac.th

2 คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา; rsunisa@buu.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการผลิตสำหรับโรงงานเชื่อมและประกอบโลหะ ปัญหาการจัดลำดับการผลิตในโรงงานแห่งนี้มีปัญหาที่ส่งผลต่อเวลาการผลิตชิ้นงานซึ่งอาจกระทบต่อการดำเนินงานให้เสร็จทันกับวันส่งมอบชิ้นงานให้กับลูกค้า ปัจจุบันทางโรงงานที่ผู้วิจัยใช้เป็นกรณีศึกษาไม่มีเครื่องมือที่จะเข้ามาช่วยตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิตให้สอดคล้องกับวันส่งมอบ โรงงานแห่งนี้ผลิตชิ้นงานอยู่ 9 รุ่น ซึ่งมีระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนไปตามสถานีงานต่างๆ โดยมีสถานีงานทั้งหมดจำนวน 22 สถานี โดยชิ้นงานทั้ง 9 รุ่นจะมีลำดับกระบวนการผลิตและเวลาที่ใช้ในการผลิตบนสถานีงานที่ไม่เท่ากัน วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อค้นหาการจัดรูปแบบลำดับการผลิตที่ให้เวลาผลิตรวมที่น้อยที่สุดของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของชุดการผลิตที่มีการผสมกันของชิ้นงาน (Mixed Model Production) เพื่อนำรูปแบบที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ไปเป็นแนวทางในการจัดวางลำดับการผลิตโดยใช้วิธีการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบที่เป็นไปได้ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการจัดลำดับการผลิตที่โรงงานใช้อยู่เดิมในระยะเวลา 1 เดือน พบว่า วิธีที่นำเสนอสามารถหารูปแบบการจัดลำดับการผลิตที่ใช้เวลาการผลิตลดลง 5,688 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การประหยัดเวลาลงได้ 8.5 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการจัดลำดับการผลิตแบบเดิม งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประโยชน์จากเทคนิคการจำลองข้อมูลในการจัดลำดับในสำหรับกระบวนการผลิตของโรงงานเชื่อมและประกอบโลหะ ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินการและการส่งมอบงานให้ลูกค้า

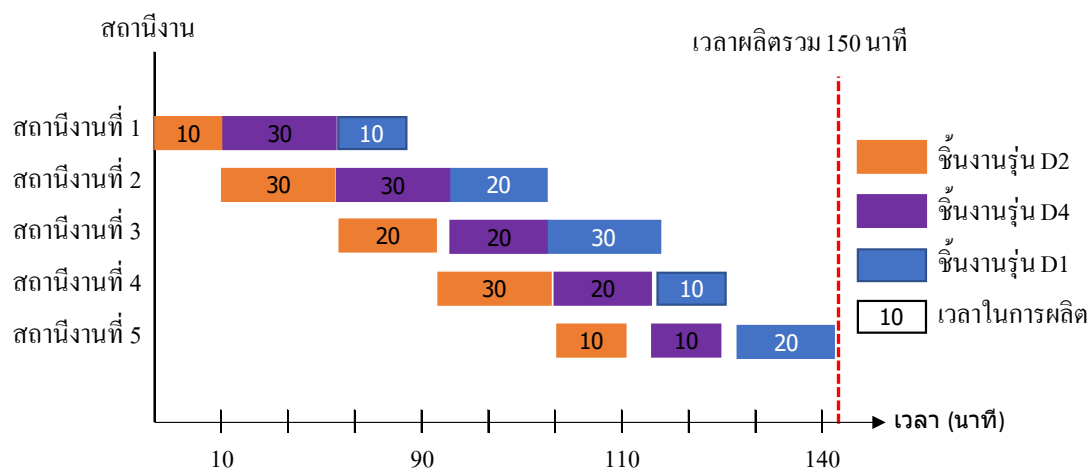
คำสำคัญ: การผลิตแบบไหลเลื่อน, เวลาผลิตรวม, การจัดรูปแบบลำดับการผลิต

ข้อมูลการอ้างอิง: อรรถพล ว่องกลกิจ และ สุนิสา ริมเจริญ. (2566). การจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการผลิต: กรณีศึกษาโรงงานเชื่อมและประกอบโลหะ. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 1(10), 23

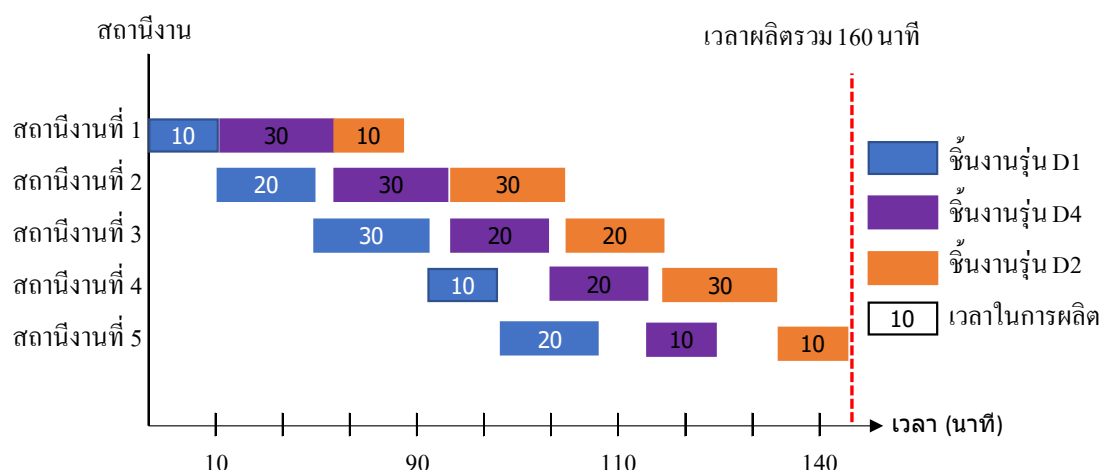
บทนำ

การจัดลำดับการผลิตถือว่าเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากกิจกรรมหนึ่ง และเป็นปัญหาท้าทายในการตัดสินใจสำหรับการบริหารจัดการในกระบวนการผลิต การบริหารจัดการเวลา ไม่ว่าจะเป็นเวลาการผลิต หรือเวลาในการขนส่งที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องมีการวางแผนที่ดีและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการวางแผนจะเป็นตัวกำหนดการใช้ทรัพยากรภายในองค์กร (คณิศร ศรีทาพัคตร์, 2564) ปัญหาการจัดลำดับการผลิตในโรงงานผลิตที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ (Model Mixed) และเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อ (Made-to-Order) มีเงื่อนไขหลายอย่างที่เป็นข้อจำกัดในการจัดลำดับตารางการผลิต อาทิเช่น ความไม่แน่นอนของคำสั่งซื้อที่จะเข้ามา การจัดเตรียมวัตถุดิบให้เพียงพอต่อการผลิตโดยระดับวัตถุดิบคงคลังต้องไม่มากเกินไปจนมีผลกระทบต่อสถานะทางการเงิน หรือน้อยเกินไปจนอาจมีความเสี่ยงการขาดแคลนวัตถุดิบในการผลิต การวางแผนกิจกรรมสำหรับเครื่องจักรแต่ละสถานีในการผลิตต้องเสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนด เพื่อส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าตามข้อกำหนด หากเกิดเหตุการณ์ที่ไม่สามารถส่งมอบสินค้าได้ตามที่กำหนดอาจมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นที่เกิดจากค่าปรับ และลูกค้าจะได้รับสินค้าที่ล่าช้าออกไป เป็นต้น ข้อจำกัดที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัจจัยที่มีผลกระทบในการจัดลำดับการผลิต เมื่อพิจารณาถึงพลวัตความไม่แน่นอนที่กล่าวมาแล้วนั้นจำเป็นต้องจะต้องปรับกลยุทธ์การจัดตารางการผลิตให้สอดคล้องกับสถานะปัจจุบันและให้เป็นไปอย่างยืดหยุ่น ปัญหาการจัดลำดับงานเป็นปัญหาประเภท NP-Hard การประยุกต์ใช้การประมาณการในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดก็เป็นแนวทางหนึ่งที่ช่วยจัดการกับปัญหา (Libing Wang, 2021; Danyu Bai, 2021) สำหรับในประเทศไทย นักวิจัยจำนวนหนึ่งก็ได้นำเสนองานวิจัยที่ศึกษาปัญหาการจัดลำดับงาน เช่น การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเวลาเสร็จสิ้นของงานในระบบที่ต่ำสุดในการซักอบรีดผ้า ภายใต้เงื่อนไขการผลิตเป็นแบบไหลเลื่อนซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนขั้นตอนการทำงาน n ขั้นตอนและจำนวนเครื่องจักร m เครื่อง โดยทำการจำลองสถานการณ์ของทุกทางเลือกที่สามารถดำเนินการได้ ซึ่งพบว่า การจัดตารางการอบซักรีดสามารถลดเวลาเสร็จสิ้นของงานในระบบร้อยละ 28.5 (นิชชีมา อนงค์จรรยา, 2558) งานวิจัยที่ใช้วิธีการสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรสำหรับการขึ้นรูปยางรถยนต์ที่มีเป้าหมายในการลดต้นทุนรวมจากค่าแรงงานและค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องจักร ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเปรียบเทียบกับตารางแผนการผลิตที่มาจากประสบการณ์ของผู้วางแผนพบว่า สามารถลดต้นทุนรวมต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 13.3 (อรดา ไชยโคตร, 2561)

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยพบความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองข้อมูลเพื่อจัดตารางการผลิตของโรงงานที่ต้องการความยืดหยุ่น ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการจัดลำดับการผลิต โดยใช้โรงงานเชื่อมและประกอบโลหะแห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษา ซึ่งปัจจุบันโรงงานผลิตแห่งนี้ประสบปัญหาไม่มีเครื่องมือที่จะเข้ามาช่วยตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิตให้สอดคล้องกับวันส่งมอบ โดยที่ผ่านมาการจัดลำดับงานมักจะใช้ประสบการณ์มาใช้ในการจัดลำดับงานซึ่งส่งผลให้ขาดความแม่นยำในการวางแผนลำดับงาน โดยโรงงานแห่งนี้ใช้แผนภูมิแกนต์ (Gantt Chart) แสดงการทำงานบนสถานีงานตามลำดับขั้นตอนเพื่อแสดงเวลาผลิตรวม ดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 เวลาผลิตรวม 150 นาทีของการเรียงลำดับของชิ้นงานรุ่น D2->D4->D1



ภาพที่ 2 เวลาผลิตรวม 160 นาทีของการเรียงลำดับของชิ้นงานรุ่น D1->D4->D2

ภาพที่ 1 และภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงเวลาผลิตรวมของชิ้นงาน 3 รุ่นที่เรียงต่อกันตามลำดับ โดยชิ้นงานแต่ละรุ่นจะมีกระบวนการผลิตที่ผ่านสถานีงานตั้งแต่สถานีงานแรกจนถึงสถานีงานสุดท้าย ซึ่งแต่ละกระบวนการผลิตของชิ้นงานแต่ละรุ่นที่ผ่านแต่ละสถานีงานใช้เวลาในการผลิตที่ไม่เท่ากัน ซึ่งหากพิจารณาภาพที่ 1 และภาพที่ 2 จะพบว่า มีการนำเอารุ่นของชิ้นงาน 3 รุ่น คือ D1, D2 และ D4 มาจัดวางลำดับการผลิตที่แตกต่างกัน โดยภาพที่ 1 เรียงลำดับจากชิ้นงานรุ่น D2, D4 และ D1 เวลาผลิตรวมของการผสมกันของชิ้นงานทั้ง 3 รุ่นนี้จะเท่ากับ 150 นาที ในขณะที่ภาพที่ 2 มีการเรียงลำดับชิ้นงานรุ่น D1, D4 และ D2 เวลาผลิตรวมจะเท่ากับ 160 นาที จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เหตุการณ์ถึงแม้จะใช้ชิ้นงานชุดเดียวกันในการผลิตแต่ผลลัพธ์เวลาผลิตรวมที่ได้ไม่เท่ากัน ดังนั้นการจัดวางลำดับการผลิตจึงมีผลอย่างมากต่อเวลาผลิตรวมซึ่งอาจกระทบต่อการทำงานให้เสร็จทันกับวันส่งมอบชิ้นงานให้กับลูกค้า โดยเป้าหมายสำคัญในการจัดลำดับการงานคือจะต้องยังคงสามารถรักษาการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าตามวันที่ตกลงกันได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการวางแผนการผลิตมาสร้างแบบจำลองเหตุการณ์การจัดลำดับงานเพื่อหารูปแบบในการผลิตที่ใช้เวลารวมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้สอดคล้องกับวันส่งมอบชิ้นงาน

การทบทวนวรรณกรรม

การจัดลำดับงานและการกำหนดเวลาเป็นรูปแบบการตัดสินใจที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตและอุตสาหกรรมบริการในสภาพแวดล้อมการแข่งขันในปัจจุบัน การจัดลำดับและกำหนดเวลาที่มีประสิทธิภาพกลายเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อความอยู่รอดในตลาด โรงงานต้องส่งมอบสินค้าตามวันเวลาที่ตกลงไว้กับลูกค้าเนื่องจากการไม่ปฏิบัติตามอาจส่งผลให้สูญเสียความมั่นใจต่อลูกค้า ดังนั้นการจัดลำดับงานที่มีประสิทธิภาพจึงจำเป็นอย่างยิ่ง Ibrahim Alharkan (2019) ดังที่กล่าวไว้ในบทความการวิจัยการจัดลำดับงานเป็นปัญหาแบบ Non-deterministic Polynomial Hard (NP-Hard) กล่าวคือเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Optimal Solution) วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดลำดับงานสามารถแบ่งวิธีการหาคำตอบออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) และวิธีที่ให้คำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดหรือที่เรียกว่าวิธีการหาคำตอบแบบประมาณ (Approximate Method) (กฤษดา พัวสกุล, สิริวิชญ์ สว่างนพ, ธีรภัทร์ อนุภาพพันธุ์ และ จิรณา จันทรสีขาว, 2562)

Libing Wang and Danyu Bai (2021) ได้ประยุกต์ใช้ Deep Reinforcement Learning เข้ามาช่วยจัดตารางการผลิตที่เป็นแบบพลวัต คือ การนำเทคนิค Deep Learning มาเป็นเครื่องมือในการหาคำตอบแบบประมาณ โดยอาศัย Agent ในการเรียนรู้สถานการณ์ของระบบที่ Agent ต้องรับรู้ จากนั้นใช้ Policy เป็นตัวกำหนดการกระทำซึ่งจะส่งผลต่อสถานการณ์เดิมไปสู่สถานการณ์ใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใกล้เคียงวิธีการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอซึ่งพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้การประมาณการในการหาคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด อาทิเช่น ณัชพล อะกะเรือน (2562) ทำการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงการจัดลำดับการผลิตและจัดตารางการผลิตเพื่อลดปัญหาการส่งมอบล่าช้า โรงงานผลิตชิ้นส่วนเลนส์กล้องถ่ายรูป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาและลดจำนวนงานที่ล่าช้าในการส่งมอบสินค้า โดยใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ Arena version 14 และเลือกใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic) และทฤษฎีข้อจำกัด (Theory of constraints scheduling) ในการหาคำตอบ ยังมี จิรศักดิ์ ซาบาง และ สวัสดิ์ ภาระราช (2559) เลือกใช้วิธีอาณานิคม (Ant Colony) ในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตที่ไม่แน่นอนโดยมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) ที่น้อยที่สุด และมีบางงานวิจัยที่กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยแบบหลายวัตถุประสงค์ก็สามารถเลือกใช้วิธีการทั้ง 2 แบบได้ ตัวอย่างเช่น สวิชญ์ เขียวธำรงสุข และ ชนะ รักษศิริ (2563) ทำการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อช่วยแก้ปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกรับส่งสินค้า เพื่อใช้อัตราการหมุนรถและการใช้ประโยชน์ของรถบรรทุกที่ดีที่สุด โดยประยุกต์ใช้วิธี Tree Searching Algorithm (TSA) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณการคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดและวิธี Integer Programming Model ซึ่งเป็นกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่อยู่ในวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด มาเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกสินค้าและการใช้ประโยชน์ของรถบรรทุกที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ปวิรัชดา พัฒน์อภิพงษ์, ปุณณมี สัจจกมล และไอลดา ตริรัตน์ตระกูล (2561) ได้เสนอความคิดเห็นเกี่ยวกับวิธีการแก้ไขปัญหการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีการประมาณการ โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) เป็นการค้นหาคำตอบที่มีตัวชี้แนะหรือมีแนวทางหรือมีการคาดเดาอย่างมีเหตุผลว่ากระบวนการค้นหาควรจะเลือกเส้นทางใดหรือสถานะใดเพื่อทำการค้นหาต่อไปให้ได้คำตอบอย่างมีประสิทธิภาพ แต่คำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกนั้นไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

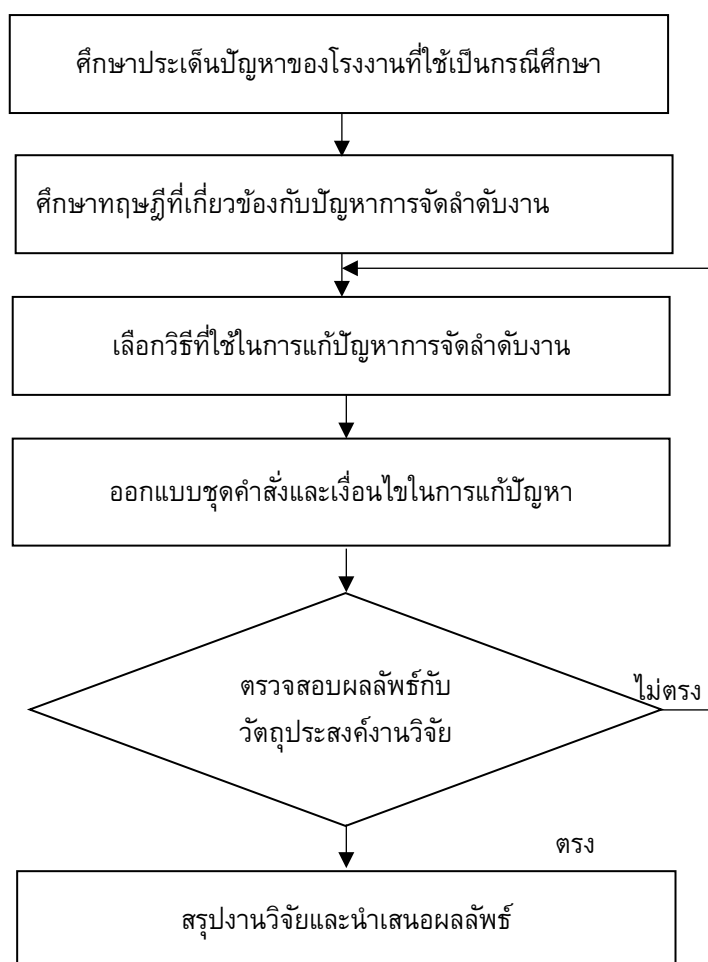
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในการจำลองข้อมูลเพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดลำดับการผลิต มีเป้าหมายเพื่อหารูปแบบการวางลำดับงานในการผลิตที่มีการใช้เวลารวมในการผลิตต่ำที่สุด (Minimize Makespan)

ขั้นตอนกระบวนการทำวิจัยทั้งหมดตั้งแต่กระบวนการเริ่มต้นศึกษาปัญหาของโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาจนถึงสรุปผลงานวิจัยและนำเสนอผลลัพธ์ แสดงดังภาพที่ 3 โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกจำนวนรุ่นของชิ้นงานทั้ง 9 รุ่นที่ทำการผลิตในปัจจุบัน คือ D1 D2 D3 D4 D5 D6 D7 D8 และ D9

- 2) นำชิ้นงานทั้ง 9 รุ่น มาเรียงต่อกันเป็นชุดการผลิต โดยแต่ละชุดการผลิตจะทำการเลือกชิ้นงานผสมกัน 6 ชิ้น ด้วยวิธีเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) โดยให้ถือลำดับหรือตำแหน่งก่อนหลังเป็นสำคัญ ตามสมการ n^k โดยที่ $n = 9$ และ $k = 6$ สาเหตุที่เลือกชิ้นงานผสมกัน 6 ชิ้น มาจากการกำลังการผลิต (Capacity) ของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษานี้สามารถผลิตชิ้นงานได้วันละ 6 ชิ้น ดังนั้น ความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่มีการผสมกันตามสมการของวิธีเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับ 531,441 ชุดการผลิต
- 3) เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละรุ่นบนสถานีงานแต่ละสถานี (แสดงดังตารางที่ 1) โดยเวลาที่ใช้ในการผลิตของชิ้นงานแต่ละรุ่นจะใช้เวลามาตรฐานที่ถูกจัดทำขึ้นโดยเรียกว่าเส้นทางการผลิต (Production Routing)
- 4) นำชุดข้อมูลที่ได้จากการผสมกันของชิ้นงานที่ได้จากวิธีเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) มาคำนวณเวลาที่ใช้ในการผลิต โดยเริ่มจากเวลาจากสถานีงานแรกของชิ้นงานแรกจนถึงสถานีงานสุดท้ายของชิ้นงานสุดท้าย ด้วยการออกแบบชุดคำสั่งเพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการสร้างรูปแบบการลำดับงานและคำนวณผลลัพธ์เวลารวมที่ใช้ในการผลิตด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method)
- 5) ผลลัพธ์ที่ได้เกิดจากการคำนวณของชุดคำสั่งในคอมพิวเตอร์จะถูกนำไปเก็บในรูปแบบของไฟล์ csv เพื่อนำไปใช้เป็นรูปแบบการจัดลำดับการผลิตในครั้งต่อไปดังตัวอย่างในตารางที่ 2 ที่แสดงตัวอย่างเวลารวมของที่ชิ้นงานที่เรียงลำดับกันในทุกความเป็นไปได้ ที่มีการผสมกันของชิ้นงานจำนวน 6 ชิ้น



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1 เวลาที่ชั้นงานแต่ละรุ่นทำงานบนสถานีงาน

ลำดับ	สถานี งาน	ชั้นงาน รุ่น D1	ชั้นงาน รุ่น D2	ชั้นงาน รุ่น D3	ชั้นงาน รุ่น D4	ชั้นงาน รุ่น D5	ชั้นงาน รุ่น D6	ชั้นงาน รุ่น D7	ชั้นงาน รุ่น D8	ชั้นงาน รุ่น D9
1	1060	0	0	57	0	0	57	0	0	0
2	1070	120	120	0	0	0	0	0	0	0
3	1080	0	0	0	120	120	0	0	0	0
4	1090	110	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1091	0	110	0	0	0	0	0	0	0
6	1099	60	60	60	0	0	60	0	0	0
7	1110	0	0	0	0	0	0	0	44	30
8	1120	0	0	0	57	57	0	0	0	0
9	1129	0	0	0	60	60	0	0	0	0
10	1131	0	0	0	0	0	0	101	85	85
11	1132	0	0	0	0	0	0	115	115	115
12	1130	0	0	0	0	0	0	60	60	60
13	1140	210	210	210	217	217	210	246	311	311
14	1149	60	60	60	60	60	60	60	0	0
15	1150	240	240	240	240	240	240	331	202	202
16	1159	52	52	52	52	52	52	52	112	90
17	1160	235	235	235	235	235	235	246	310	310
18	1169	120	120	120	120	120	120	120	120	120
19	1182	93	93	93	93	93	93	57	83	83
20	1183	57	57	57	57	57	57	125	125	90
21	1184	42	42	42	42	42	42	52	75	75
22	1189	81	81	81	81	81	81	97	89	90

ตารางที่ 2 ตัวอย่างผลลัพธ์เวลารวมที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่มีการผสมกันของชั้นงานทั้ง 9 รุ่น

ลำดับ	ความเป็นไปได้ของการผสมกันของชั้นงาน	เวลาผลิตรวม (นาที)
1	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1'	2680
2	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2'	2680
3	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3'	2812
4	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D4'	2812
5	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D5'	2812
6	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D6'	2711
7	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D7'	2840
8	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D8'	2876
9	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D9'	2820
10	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D1'	2680
11	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D2'	2680

ลำดับ	ความเป็นไปได้ของการผสมกันของชิ้นงาน	เวลาผลิตรวม (นาที)
12	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D3'	2812
13	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D4'	2812
14	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D5'	2812
15	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D6'	2711
16	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D7'	2840
17	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D8'	2876
18	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D2', 'Model_D9'	2820
19	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D1'	2772
20	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D2'	2772
21	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D3'	2909
22	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D4'	2909
23	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D5'	2909
24	'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D1', 'Model_D3', 'Model_D6'	2803
.....		
59049	'Model_D1', 'Model_D9', 'Model_D9', 'Model_D9', 'Model_D9', 'Model_D9'	3100

ผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ผลลัพธ์จากการคำนวณเวลารวมที่ใช้ในการผลิตของทุกชุดการผลิตแล้ว ผู้วิจัยนำชุดการผลิตที่มีรูปแบบการเรียงลำดับการผลิตต่างๆ มาเปรียบเทียบกับตารางกำหนดการส่งมอบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการจัดรูปแบบการผลิตแบบใหม่ที่สามารถลดเวลารวมที่ชิ้นงานอยู่ในระบบได้มากน้อยเพียงใด

ตารางที่ 3 นำเสนอผลการเปรียบเทียบการจัดลำดับการผลิตแบบเดิมกับรูปแบบที่นำเสนอ พบว่า การจัดลำดับการผลิตแบบใหม่ด้วยวิธีการที่นำเสนอ สามารถลดเวลาในการผลิตได้ 5,688 นาที โดยมีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่สามารถลดเวลาการผลิตลงจากวิธีการเดิม คือ 8.5 เปอร์เซ็นต์

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับการจัดลำดับการผลิตแบบเดิมที่แสดงในตารางที่ 3 ลำดับที่ 5 พบว่า เวลาผลิตรวมด้วยวิธีแบบเดิมไม่มีความแตกต่างกับเวลาที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่นำเสนอซึ่งเป็นการวางแผนการผลิตที่ใช้เวลาน้อยที่สุด แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากระยะเวลาการจัดตารางการผลิตใน 1 เดือนที่นำมาทดสอบแล้วนั้นส่วนใหญ่การจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าโดยสามารถนำเสนอการจัดลำดับการผลิตด้วยรูปแบบใหม่ที่ใช้เวลาน้อยกว่าการรูปแบบเดิมถึง 19 วันโดยเฉพาะอย่างยิ่งผลการเปรียบเทียบในลำดับที่ 20 สามารถใช้เวลาลดลง 536 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ลดลงเยอะสุด นั่นหมายโรงงานสามารถปรับปรุงวิธีการจัดลำดับการผลิตให้ดีกว่าเดิมได้ด้วยวิธีที่ได้นำเสนอนี้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการจัดลำดับการผลิตแบบเดิมกับรูปแบบใหม่

ลำดับ	การจัดลำดับแบบเดิม	วันส่งมอบ	เวลาผลิตรวม (นาท)	การจัดลำดับ โดยใช้วิธีการที่นำเสนอ	เวลาผลิตรวม (นาท)	เวลาที่ลดลง (นาท)
1	D7 D7 D8 D1 D7 D7 D8	4-Jan-22	3464	D7 D8 D7 D8 D7 D7 D1	3284	180
2	D1 D5 D5 D9 D2 D4 D1	5-Jan-22	3271	D5 D4 D1 D5 D9 D2 D1	3065	206
3	D3 D7 D7 D8 D6 D1 D2	6-Jan-22	3083	D3 D6 D2 D7 D8 D7 D1	2906	177
4	D3 D7 D7 D8 D6 D1 D2	7-Jan-22	3083	D3 D6 D2 D7 D8 D7 D1	2906	177
5	D4 D4 D4 D8 D8 D9 D1	10-Jan-22	3215	D4 D4 D8 D4 D9 D8 D1	3215	0
6	D2 D9 D8 D5 D5 D7 D3	11-Jan-22	3397	D3 D5 D9 D5 D7 D8 D2	3024	373
7	D9 D8 D1 D2 D7 D7 D3	12-Jan-22	3387	D3 D1 D7 D9 D8 D7 D2	2968	419
8	D9 D7 D2 D2 D5 D1 D5	13-Jan-22	3343	D5 D5 D2 D9 D1 D7 D2	2974	369
9	D8 D4 D3 D1 D9 D4 D3	14-Jan-22	3560	D3 D9 D4 D4 D3 D8 D1	3115	445
10	D2 D1 D6 D9 D4 D5 D2	17-Jan-22	3184	D4 D5 D2 D1 D6 D9 D2	2963	221
11	D1 D3 D3 D9 D7 D6 D8	18-Jan-22	3354	D3 D3 D6 D7 D9 D8 D1	2930	424
12	D8 D9 D9 D1 D6 D6 D4	19-Jan-22	3329	D6 D4 D6 D9 D8 D9 D1	3044	285
13	D4 D7 D7 D8 D8 D2 D2	20-Jan-22	3278	D4 D2 D7 D8 D8 D7 D2	3109	169
14	D1 D1 D3 D3 D3 D7 D5	21-Jan-22	3349	D3 D3 D3 D5 D7 D1 D1	2976	373
15	D8 D7 D5 D2 D4 D5 D8	24-Jan-22	3598	D5 D8 D4 D5 D8 D7 D2	3151	447
16	D6 D7 D9 D2 D6 D4 D1	25-Jan-22	3073	D6 D4 D9 D7 D1 D6 D2	2905	168
17	D8 D5 D9 D7 D8 D5 D4	26-Jan-22	3544	D5 D5 D9 D8 D8 D4 D7	3284	260
18	D3 D1 D7 D7 D1 D6 D6	27-Jan-22	2936	D6 D6 D3 D1 D7 D7 D1	2851	85
19	D9 D2 D1 D9 D3 D5 D8 D2	28-Jan-22	3595	D3 D5 D1 D2 D9 D8 D9 D2	3221	374
20	D2 D7 D4 D3 D5 D6 D4	31-Jan-22	3512	D3 D4 D4 D5 D7 D6 D2	2976	536

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ถึงแม้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่ได้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดลำดับการผลิตแบบเดิม จะสามารถลดเวลาลงได้ 8.5 เปอร์เซ็นต์ตาม แต่ด้วยโรงงานกรณีศึกษานี้มีลักษณะการผลิตแบบไหลเลื่อนซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่มีลักษณะการทำงานเรียงต่อกันแบบอนุกรม แต่ละงาน i จะมีเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอนการผลิต j เป็นการดำเนินงาน n งาน ทำขั้นตอน m ขั้นตอน โดยผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) ซึ่งเป็นการวนลูปเพื่อหาเวลาผลิตรวมที่น้อยที่สุดเพื่อนำมาใช้ในการจัดลำดับงานใหม่ ซึ่งพบว่า ระหว่างทำการวนลูปเพื่อหาผลลัพธ์ตามการสับเปลี่ยนลำดับ (Permutation) ใช้เวลานานมาก ซึ่งสอดคล้องกับ จิระศักดิ์ ชาบง และ สวัสดิ์ ภาะราช (2559) ได้ให้ความเห็นว่าการจัดลำดับงานที่มี n งาน ทำขั้นตอน m ขั้นตอน จัดอยู่ในปัญหาเอ็นพีแบบยาก (Non-Polynomial-Hard, NP-Hard) ซึ่งเมื่องาน (n) มีขนาดที่เพิ่มขึ้น การหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) อาจไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ด้วยเวลาที่มี ดังนั้นในอนาคตหากโรงงานแห่งนี้มีการขยายจำนวนสถานงานหรือมีจำนวนชิ้นงานที่เพิ่มขึ้น วิธีที่ได้นำเสนออาจไม่สามารถนำมาเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตให้กับโรงงานแห่งนี้ได้ ดังนั้นข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตให้กับโรงงานแห่งนี้ในกรณีที่มีการเพิ่มจำนวนชิ้นของสถานงานหรือชิ้นงาน ให้พิจารณาวิธีการหาคำตอบแบบประมาณ (Approximation Method) วิธีนี้จะช่วยลดระยะเวลาในการประมวลผลลัพธ์ที่มีจำนวนงานที่จะต้องทำการผลิตหรือจำนวนสถานงานที่มากขึ้นซึ่งวิธีการหาคำตอบแบบประมาณนี้คำตอบหรือผลลัพธ์ที่ได้จะใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ วิธีฮิวริสติก (Heuristic) จะเป็นเทคนิควิธีการหาคำตอบแบบประมาณวิธีหนึ่งซึ่งมีค่าใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้ระยะเวลาในการคำนวณหรือประมวลผลลัพธ์ไม่นาน แต่วิธีนี้จะมีข้อจำกัดในการใช้ คือ จะเป็นวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาเฉพาะกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้นจึงไม่สามารถนำไปใช้กับปัญหากลุ่มอื่นได้ ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้โดยทั่วไป ได้แก่ กฎการจ่ายงาน (Dispatching rule)

เป็นต้น วิธีเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) จัดอยู่ในกลุ่มของวิธีการหาคำตอบแบบประมาณการเช่นกัน แต่เป็นวิธีในการหาคำตอบที่ได้รับความนิยมมากกว่าวิธีการของฮีริสติก เนื่องจากวิธีนี้สามารถทำการประยุกต์วิธีการทำหรือขั้นตอนการทำที่ซับซ้อนกว่าวิธีฮีริสติกเพื่อพัฒนาคุณภาพของคำตอบหรือทำให้มีวิธีการหาคำตอบในแต่ละปัญหานั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ภายใต้ข้อจำกัดซึ่งเหมาะกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่ต้องการค้นหาคำตอบภายใต้เวลาที่จำกัด วิธีนี้จะทำการวนซ้ำในการหาคำตอบจนกระทั่งหยุดค้นหาเมื่อถึงเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนด (Criteria) อย่างไรก็ดี คำตอบที่ได้จากวิธีฮีริสติกนั้นไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ดังที่ ปวีรัชิตา พัฒน่อภิมพงษ์, ปุณณมี สัจจกมล และ ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล (2561) ได้ให้ความเห็น

เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา พัวสกุล, สิริวิชญ์ สว่างนพ, ชีรภัทร์ อนุภาพพันธุ์ และ จิรณา จันทรัสชาว. (2562). การออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตขนมไทย. *บทความนำเสนอในการประชุมนำเสนอผลงานวิชาการมหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 14(2), 24-34
- คณิศร ศรีทาพักตร์. (2564). เมตาฮีริสติกสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์. *งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยบูรพา
- จีระศักดิ์ ช่างบาง และ สวัสดิ์ ภาะราช. (2559). การประยุกต์ใช้วิธีอาณัติกรรมกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 6(2), 18-33.
- ณัชพล อะกะเรือน. (2562). การจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตเพื่อลดปัญหาส่งมอบล่าช้าโรงงานผลิตชิ้นส่วนเลนส์กล้องถ่ายรูป. *ค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ธารทิพย์ อินทร์ผิว. (2552). การจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตโดยมีผลรวมของเวลาล่าช้าของงานและเวลาที่งานเสร็จก่อนกำหนดเป็นตัวชี้วัด กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติก. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- นิชชีมา อนุวงศ์จรรยา. (2558). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนยืดหยุ่น. *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปวีรัชิตา พัฒน่อภิมพงษ์, ปุณณมี สัจจกมล และ ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล. (2561). การจัดตารางการผลิตโดยใช้วิธีฮีริสติกแบบผสม กรณีศึกษาโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 25(1), 226-233.
- ปัญจรัตน์ แพทย์โท และ เสาวนิตย์ เลขวัต. (2564). การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดลำดับงาน: กรณีศึกษาโรงงานชิ้นส่วนรถยนต์. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์*, 9(2), 82-92
- สวิญญ์ เรียรธารังสุข และ ชนะรักษ์ศิริ. (2563). การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางรถบรรทุกเพื่อใช้อัตราการหมุนรถและการใช้ประโยชน์ของรถที่ดีที่สุด. *บทความนำเสนอในการประชุมนำเสนอผลงานวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ครั้งที่ 4 ประจำปี 2563*
- อารดา ไชยโคตร. (2561). การจัดตารางการผลิตเครื่องจักรแบบขนานที่ลำดับงานมีผลต่อเวลาการตั้งเครื่องจักรในกระบวนการขึ้นรูปยางรถยนต์. *งานนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยบูรพา
- Alharkan, I. M. (2019). *Algorithms for Sequencing and Scheduling*. Retrieved from http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4129/Algorithms_for_Sequencing_and_Scheduling.pdf
- Bai, D., Bai, X., Yang, J., Zhang, X., Ren, T., Xie, C., & Liu, B. (2021). Minimization of Maximum Lateness in a Flowshop Learning Effect Scheduling with Release Dates. *Computers & Industrial Engineering*, 158, 107309.

Wang, L., Hu, X., Wang, Y., Xu, S., Ma, S., Yang, K., & Wang, W. (2021). Dynamic Job-Shop Scheduling in Smart Manufacturing using Deep Reinforcement Learning. *Computer Networks*, 190, 107969.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Copyright: © 2023 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).