วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.
UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

ฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิตในอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรขนาน

Heuristics for Scheduling Problem in Industries including Parallel Machines

เชฎฐา ชำนาญหล่อ[1] จันจิรา คงชื่นใจ[1]* ธนพันธ์ คงทอง[1] กาญจนา บุญชู[1]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

Chettha Chamnanlor[1] Janjira Kongchuenjai[1]* Thanapan Kongtong[1] Kanchana Boonchu[1]

[1] Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Sriracha, Chonburi 20230

*Corresponding author.

E-mail: janjira_k@eng.src.ku.ac.th; Telephone: 09 0972 0881.

วันที่รับบทความ 31 สิงหาคม 2561; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 1 10 ตุลาคม 2561; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 2 29 ตุลาคม 2561;วันที่ตอบรับบทความ 24 พฤศจิกายน 2561

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งเน้นศึกษาการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจัดตารางการผลิตของกรณีศึกษา 3 กรณี ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน อุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ และอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ ซึ่งวิธีการที่นำมาใช้ในการจัดตารางการผลิตสำหรับทุกกรณีศึกษามีทั้งหมด 6 อัลกอริทึม ประกอบด้วย 4 อัลกอริทึมที่ได้จากการปรับปรุงอัลกอริทึมที่มีอยู่เดิม ได้แก่ SPT-BL SPT-UL EDD-BL EDD-UL และ 2 อัลกอริทึมที่ได้ออกแบบขึ้นใหม่ ได้แก่ LBL และ LUL จากการดำเนินการทดลองเชิงคำนวณ พบว่า อัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจานและอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบคือ อัลกอริทึม LUL ส่วนอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ คือ อัลกอริทึม SPT-UL EDD-UL และ LUL

คำสำคัญ

ฮิวริสติกส์ เครื่องจักรขนาน การจัดตารางการผลิต

Abstract

This paper focuses on studying an application of the heuristics algorithms. They have developed for parallel machines scheduling in various industries. Three case studies including dishwashing, raw rubber sheet, and sea freight industries have conducted to results comparison. The algorithm used in the production scheduling for all case studies are 6 algorithms, consisting of 4 algorithms derived from the existing algorithms, namely SPT-BL, SPT- UL, EDD-BL, EDD-UL and 2 new algorithms, LBL and LUL. From experimental computing, it founds that the algorithm suitable for the dishwashing industry and raw rubber sheet industry is the LUL algorithm. The algorithm that is suitable for the sea freight industry is the algorithms namely SPT-UL, EDD-UL and LUL

Keywords

heuristics, parallel machines, production scheduling

1. บทนำ

การวางแผนการผลิตและการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต เริ่มต้นดำเนินการโดยการพยากรณ์ความต้องการของตลาดจากข้อมูลในอดีต และทำการวางแผนการผลิตรวม (aggregate production planning) เพื่อประมาณการใช้ทรัพยากรทั้งหมดสำหรับการผลิต โดยทำการวางแผนการผลิตหลัก (master production scheduling) เพื่อกำหนดช่วงเวลาและจำนวนผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดที่จะผลิต และทำการวางแผนความต้องการวัตถุดิบ (material requirement planning) เพื่อกำหนดความพอเพียงของวัตถุดิบสำหรับกระบวนการผลิตให้มีความสอดคล้องและสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตามแผนที่วางไว้ อย่างไรก็ดี การควบคุมการผลิตให้เป็นไปตามแผนดังกล่าว ต้องอาศัยตารางการผลิต (production schedule) ที่มีความเหมาะสมเพื่อจัดสรรลำดับงานให้แก่ทรัพยากร ซึ่งการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนาน (parallel machine scheduling) ถือเป็นปัญหาที่สำคัญและพบบ่อยในอุตสาหกรรมทั่วไป

การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตที่มีการจัดวางเครื่องจักรแบบขนาน กล่าวคืองานแต่ละงานสามารถถูกจัดสรรให้แก่เครื่องจักรเครื่องใดก็ได้ โดยแต่ละเครื่องอาจมีประสิทธิภาพในการทำงานเท่ากัน (identical machine) หรือไม่เท่ากัน (non-identical machine) ก็ได้ ดังนั้นลำดับงานที่ถูกจัดสรรให้แก่เครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีผลต่อค่าชี้วัด (criteria) ที่มาจากความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์ต่อการจัดตารางการผลิต ตัวอย่างเช่น เวลาปิดงานของระบบ (makespan) เวลาการไหลของงาน (flow time) ซึ่งสะท้อนให้เห็นในด้านประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต หรือเวลาสายของงาน (lateness) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงจำนวนงานที่ล่าช้า โดยผลที่ได้จากค่าชี้วัดแต่ละตัวนั้น อาจมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการจัดสรรงานในแต่ละกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาปิดงานของระบบนั้น ถือว่ามีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการไหลของกระบวนการผลิต ยกตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการผลิตสินค้าอุปโภคที่มีการจัดสถานีงาน (workstations) แบบขนานในบางขั้นตอนการผลิต โดยงาน (job) จะสามารถเข้าไปยังสถานีงานใดก็ได้ ซึ่งการจัดลำดับของงานให้แก่แต่ละสถานีงานนั้นมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เช่นเดียวกันกับอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบที่มีการใช้ตู้อบ (ovens) หลายตู้สำหรับการอบแผ่นยางจำนวนมาก ซึ่งสามารถจัดแผ่นยางแต่ละชนิดเข้าสู่ตู้อบใดก็ได้ การจัดสรรลำดับของการอบแผ่นยางแต่ละชนิดให้แก่ตู้อบแต่ละตู้จะส่งผลให้จำนวนแผ่นยางที่อบได้เฉลี่ยในหนึ่งวันแตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังมีอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือที่มีการใช้เครนหน้าท่า (quay cranes) ยกตู้สินค้าเพื่อขนตู้สินค้าไปวางบนเรือที่มาจอดรอรับสินค้า โดยเรือแต่ละลำใช้เวลาในการเข้าจอด (berthing) ที่แตกต่างกันสำหรับแต่ละท่าเทียบ และยังต้องใช้เวลาจอดรอเพื่อบรรทุกสินค้าด้วยระยะเวลาที่ขึ้นอยู่กับจำนวนตู้สินค้าและการทำงานของเครนหน้าท่าอีกด้วย ดังนั้นเวลาทั้งหมดในการจอดเรือที่ท่าเทียบที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อต้นทุนการให้บริการ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าการบริหารจัดการลำดับการผลิตมีผลต่อต้นทุนในการผลิตในอุตสาหกรรมนั้น ๆ ไม่ว่าจะเป็นผลที่ทำให้มีเวลาปิดงานของระบบที่น้อยที่สุดซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ผลผลิตเพิ่มขึ้น ต้นทุนต่อหน่วยลดลง หรือมีผลที่ทำให้มีเวลาล่าช้าที่น้อยลงซึ่งจะส่งผลให้จำนวนงานที่ล่าช้าน้อยลง ทำให้ต้นทุนเกี่ยวกับค่าปรับของจำนวนงานที่ล่าช้าลดน้อยลงไปด้วย ดังนั้นแนวคิดทางฮิวริสติกส์อัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตที่มีเครื่องจักรแบบขนานที่เหมาะสมจึงได้รับความสนใจในการศึกษาและพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการตัดสินใจวางแผนการผลิตอย่างเต็มประสิทธิภาพ

บทความนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน และทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดตารางการผลิตในกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี คือ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน

อุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ และอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือการนำอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสมโดยให้ผลลัพธ์ของการจัดตารางการผลิตที่ดีและมีประสิทธิภาพสูงสุดในแต่ละกรณีศึกษา งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 บทนำ ส่วนที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม ส่วนที่ 3 การศึกษาสภาพปัจจุบันของกรณีศึกษา ส่วนที่ 4 การกำหนดวิธีการแก้ปัญหา ส่วนที่ 5 ผลการทดลอง และส่วนที่ 6 สรุปผลการทดลอง

2. การทบทวนวรรณกรรม

การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นวิธีการที่ทำให้ได้ผลของตัวชี้วัดที่ดี เช่น งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เทคนิคในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมอุปโภค [1] และการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานที่มีประสิทธิภาพเหมือนกัน (identical parallel machines) เมื่อสามารถทำการแทรกงานได้ [2] ซึ่งเป็นการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการแก้ปัญหา

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาฮิวริสติกส์อัลกอริทึม ยังคงเป็นหนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมในการมุ่งเน้นศึกษาสำหรับการจัดตารางการผลิต เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านขนาดปัญหา (problem scale) ของการหาคำตอบด้วยการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ เช่น งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานแบบหลายจุดประสงค์ [3] หรือการจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรแบบขนานโดยมีเวลาเตรียมการผลิตเป็นแบบไม่อิสระ [4] และการศึกษาเกี่ยวกับฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร [5] เป็นต้น มากกว่านั้น ยังมีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ซอฟแวร์เข้ามาช่วยในการประยุกต์วิธีการต่าง ๆ สำหรับแก้ปัญหาจริงในระดับอุตสาหกรรม เช่น งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยตัดสินใจวางแผนการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานที่มีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน [6] อีกด้วย การจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรที่ทำงานแบบคู่ขนานได้มีการนำเจนเนติกอัลกอริทึมซึ่งเป็นอัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์ปัญญาประดิษฐ์ มาประยุกต์ใช้ช่วยสนับสนุนให้การจัดตารางการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต [7] การจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูขนาน ใช้วิธีการถอดรหัสสตริงคำตอบและการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์ ได้แก่ จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ความไม่สมดุลของภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่สัมพันธ์ของขั้นงานน้อยที่สุด [8]

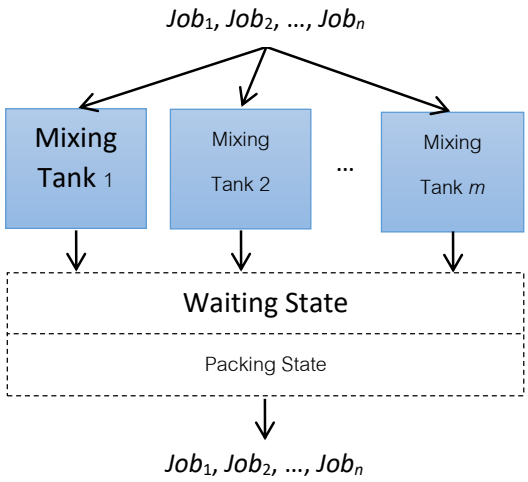
จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานเป็นเรื่องที่สำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยในปัจจุบันมีผู้ศึกษาและคิดค้นวิธีการแก้ปัญหาในรูปแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละวิธีการที่คิดค้นขึ้นให้ผลที่เหมาะสมกับปัญหาเฉพาะรูปแบบ จึงทำให้การแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานยังกลายเป็นหนึ่งในปัญหาที่ถูกนำมาศึกษาและวิจัยอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

3. การศึกษาสภาพปัจจุบันของกรณีศึกษา

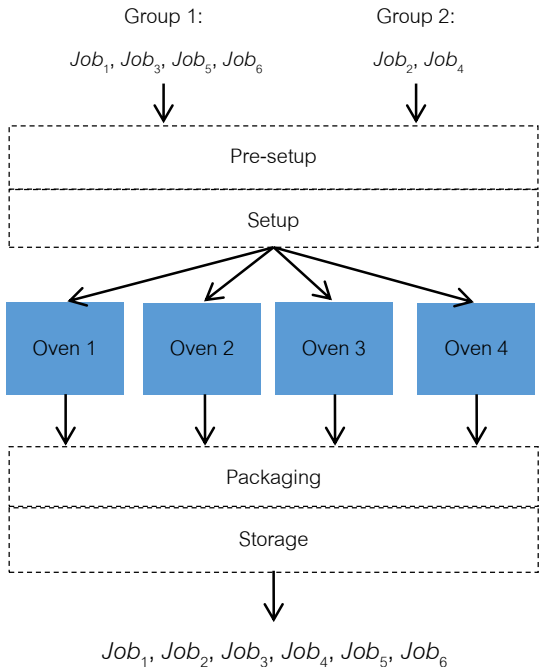
การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานในบทความนี้ มุ่งเน้นการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยมีการศึกษาลักษณะของระบบการผลิตในปัจจุบันของทั้ง 3 กรณีศึกษา ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน อุตสาหกรรมการอบยางพาราแผ่น และอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน

กระบวนการผลิตน้ำยาล้างจานในอุตสาหกรรมอุปโภคที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ ระบบการผลิตที่มี



รูปที่ 1 ระบบเครื่องจักรขนานในกระบวนการผลิตน้ำยาล้างจาน (ที่มา: จันจิรา คงชื่นใจ และคณะ 2559)



รูปที่ 2 ระบบเครื่องจักรขนานในกระบวนการอบยางพาราแผ่น

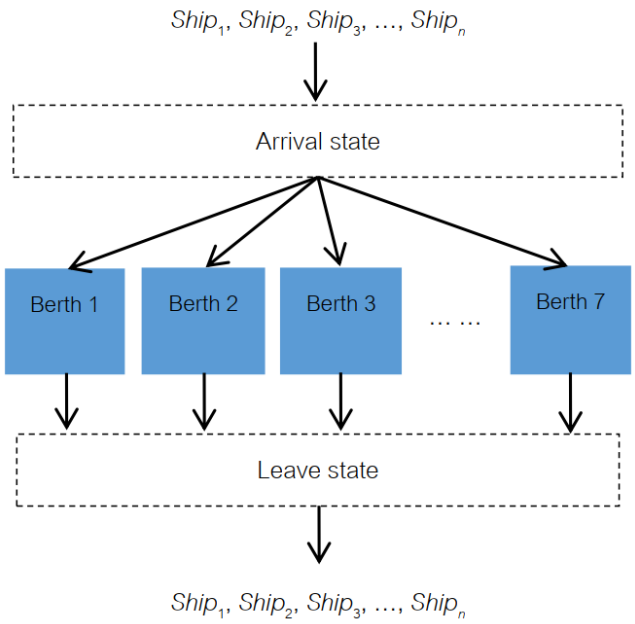
การไหลของวัตถุดิบต่อเนื่องไปตามสายการผลิต ซึ่งการผลิตน้ำยาล้างจานในปัจจุบัน มีขั้นตอนการผลิตหลัก ๆ คือ การผสมส่วนผสมสำหรับน้ำยาล้างจานให้ได้ตามสูตรของแต่ละผลิตภัณฑ์ (jobs) ในถังผสม (mixing tanks) ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนถัง (m) จำกัด ซึ่งถังผสมนี้เปรียบเสมือนเป็นเครื่องจักรที่วางขนานกันอยู่ในระบบการผลิต โดยมีเงื่อนไขในการผลิตดังต่อไปนี้ คือ (1) งานใด ๆ จะสามารถถูกผสมด้วยการใช้ถังผสมใด ๆ ก็ได้ไม่จำกัด และถังผสมแต่ละถังมีประสิทธิภาพเท่ากัน (2) สามารถทำการผสมได้หนึ่งงานต่อหนึ่งการผสม และ (3) เวลาในการล้างถังขึ้นอยู่กับลำดับของการผสม ดังนั้นเวลาล้างถังก่อนการผสม อาจแตกต่างกันเมื่อลำดับการผสมแตกต่างกัน เป็นต้น หลังจากนั้น ส่วนผสมที่เข้ากันแล้วจะถูกส่งไปตามท่อ เพื่อคอยและบรรจุใส่ซองผลิตภัณฑ์ต่อไป [1] ดังรูปที่ 1

3.2 อุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ

การอบยางพาราเป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปยางพาราแผ่น ซึ่งต้องดำเนินการภายหลังจากที่ได้ทำการผลิตแผ่นยางพาราดิบแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อไล่ความชื้นในแผ่นยางพาราดิบให้เหมาะสม เนื่องจากความชื้นในแผ่นยางพาราดิบมีผลต่อคุณภาพแผ่นยางพาราเป็นอย่างมาก โดยขั้นตอนในกระบวนการอบยางพาราแผ่น เริ่มต้นจากการนำแผ่นยางพาราดิบเกรดต่าง ๆ (jobs) ที่ยังไม่ผ่านการอบ ซึ่งสามารถจัดกลุ่มเวลาที่ใช้ในการอบ (processing time) ได้เป็น 2 กลุ่ม (groups) มาทำการคัดแยก ล้างทำความสะอาดในบ่อล้าง และนำแผ่นยางไปรีดน้ำออกด้วยเครื่องรีด ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น คือ ขั้นตอนก่อนการเตรียม (pre-setup) หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการเตรียมการอบ (setup) โดยการนำแผ่นยางพาราไปแขวนไว้บนเก๊ะ (มีลักษณะเป็นโครงเหล็กทรงสี่เหลี่ยมและมีราวไม้ไผ่ซ้อนกันหลายชั้นสำหรับแขวนตากแผ่นยางพารา) ทีละแผ่นเพื่อให้ได้ตามจำนวนที่กำหนด ต่อจากนั้นจะดำเนินการขั้นตอนของการอบ (drying process) โดยการนำเก๊ะที่แขวนยางพาราแผ่นที่ถูกเตรียมไว้ทั้งหมดเข้าตู้อบ และทำการอบไล่ความชื้น สุดท้ายเมื่ออบเสร็จจะนำเก๊ะออกจากตู้อบเพื่อเอาแผ่นยางพาราออกจากเก๊ะ นำไปทำการชั่งน้ำหนักและบรรจุใส่ถุง (packaging) และนำไปยังพื้นที่จัดเก็บ (storage) ต่อไป ดังรูปที่ 2

3.3 อุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ

อุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือเป็นช่องทางหนึ่งในการขนส่งที่ใช้มากที่สุด เนื่องจากสามารถใช้ในการขนส่งสินค้าได้ครั้งละมาก ๆ และใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งในกรณีศึกษานี้ได้ทำการสำรวจและศึกษาข้อมูลการขนส่งสินค้าที่บรรจุในตู้สินค้า (containers) ของท่าเรือ (container terminal port) แห่งหนึ่งซึ่งตั้งอยู่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีการบริหารจัดการกิจรรมการขนถ่ายสินค้าที่ประกอบด้วยท่าบริการกลุ่มที่ 1 (TG 1) ซึ่งมีท่าเทียบเรือสินค้า (berth) ทั้งหมด 4 ท่า และท่าบริการกลุ่มที่ 2 (TG 2) ซึ่งมีท่าเทียบเรือสินค้า (berth) ทั้งหมด 3 ท่า ดังนั้น ท่าเรือกรณีศึกษาจะมีท่าเทียบเรือที่พร้อมสำหรับการเทียบท่าของเรือสินค้า (ship) ทั้งหมด 7 ท่า โดยแต่ละท่าเทียบจะมีเครนหน้าท่า (quay crane) ที่ใช้สำหรับขนลำเลียงตู้สินค้า 2 ตัวต่อท่าเทียบ (berth) ซึ่งมีกระบวนการที่เรือสินค้าจะต้องดำเนินการเพื่อให้เกิดการขนถ่ายสินค้าที่ท่าเทียบจนแล้วเสร็จ ดังนี้ เมื่อเรือบรรทุกสินค้ามาถึงตรงบริเวณที่ให้จอดคอย เรือสินค้าดังกล่าวจะอยู่ในสถานะมาถึง (arrival state) ซึ่งจะต้องเดินทางตามร่องน้ำเข้ามาเทียบที่ท่าเรือโดยมีเรือนำทาง และเมื่อเรือบรรทุกสินค้าเทียบท่าเรียบร้อยแล้ว จะทำการขนตู้สินค้าทั้งขาเข้าและขาออกโดยใช้เครนหน้าท่าช่วยในการขนครบตามจำนวนที่กำหนด จากนั้น จะมีการนำเรือออกจากท่าเทียบเมื่อดำเนินการขนถ่ายเสร็จสิ้น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบเครื่องจักรขนานในการขนส่งสินค้าทางเรือ

4. การกำหนดวิธีการแก้ปัญหา

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของแต่ละกรณีศึกษา ทำให้ทราบว่า การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานเป็นการจัดลำดับงานเพื่อให้ได้ค่าวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันไปในแต่ละกรณีศึกษา โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาวิธีการที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในทั้ง 3 กรณีศึกษา ดังนั้น ฮิวริสติกส์อัลกอริทึมทั้ง 6 อัลกอริทึมจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยการปรับปรุงอัลกอริทึมที่มีอยู่เดิมและการออกแบบอัลกอริทึมใหม่ ได้แก่ (1) วิธีเวลาในการผลิตน้อยที่สุดและสมดุลเครื่องจักร (SPT-BL) (2) วิธีเวลาในการผลิตน้อยที่สุดและไม่สมดุลเครื่องจักร (SPT-UL) (3) วิธีกำหนดการส่งมอบเร็วที่สุดและสมดุลเครื่องจักร (EDD-BL) (4) วิธีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดและไม่สมดุลเครื่องจักร (EDD-UL) (5) วิธีการมองไปข้างหน้าและสมดุลเครื่องจักร (LBL) และ (6) วิธีการมองไปข้างหน้าและไม่สมดุลเครื่องจักร (LUL)

ในการจัดตารางการผลิตทั้ง 3 กรณีศึกษา ขั้นตอนงานย่อยถือว่ามีความสำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของแต่ละอัลกอริทึมเป็นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเรียงเวลาในการผลิตของแต่ละงานจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด

กำหนดให้เซต P คือเซตที่เก็บค่าเวลาในการผลิตของแต่ละงานที่ยังไม่ได้จัดเรียงและเซต S คือเซตที่เก็บค่าเวลาในการผลิตของแต่ละงานที่จัดเรียงจากน้อยที่สุดไปมากที่สุดแล้ว

กำหนดให้ INDEX เป็นเซตที่เก็บค่าดัชนีของงานที่จัดตามเซต S

1) $x = k$ เมื่อ k คือดัชนีของงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยที่สุด (t_k) ในเซต P ล่าสุด

2) กำหนด P_x เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต S และกำหนดให้ x เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต INDEX

3) ลบ P_x ออกจากเซต P

4) ทำซ้ำ 1) ถึง 3) จนกว่าเซต P จะเป็นเซตว่าง

5) สรุปการคำนวณจะได้เซต S

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกำหนดส่งมอบจากเร็วที่สุดไปช้าที่สุด

กำหนดให้เซต F คือเซตที่เก็บค่ากำหนดส่งมอบของแต่ละงานที่ยังไม่ได้จัดเรียงและเซต S คือเซตที่เก็บค่ากำหนดส่งมอบของแต่ละงานที่จัดเรียงจากเร็วที่สุดไปมากที่สุดแล้ว

กำหนดให้ INDEX เป็นเซตที่เก็บค่าลำดับงานที่จัดตามเซต S

1) $x=k$ เมื่อ k คือดัชนีของงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุด (d_k) ในเซต F ล่าสุด

2) กำหนด F_x เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต S และกำหนดให้ x เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต INDEX

3) ลบ F_x ออกจากเซต F

4) ทำซ้ำ 1) ถึง 3) จนกว่าเซต F จะเป็นเซตว่าง

5) สรุปการคำนวณจะได้เซต S

ขั้นตอนที่ 3 จัดสรรเวลาในการผลิตของแต่ละงานให้แก่เครื่องจักรแต่ละเครื่องแบบสมดุล

กำหนดเซต M_j เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยที่ $j=1,2,3,...,m$

กำหนด n_i เป็นสมาชิกของเซต N_j

กำหนด m คือรอบในการผลิตโดยที่ $m=1,2,3,...,W$

$(W=W_1+W_2+W_3+W_4+W_5+W_6)$

กำหนดให้ SETUP เป็นเซตที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงาน

กำหนดให้ $setup_{i,q}$ เป็นสมาชิกของเซต SETUP ที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน i ไปงาน q โดยที่ $i=1,2,3,...,n$ และ $q=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ POSITION เป็นเซตที่เก็บชื่องานที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องทำไปแล้ว

กำหนดให้ $position_j$ เป็นสมาชิกของเซต POSITION ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j=1,2,3,...,m$

กำหนดให้ $index_p$ เป็นสมาชิกของเซต INDEX ตัวที่ p โดยที่ $p=1,2,3,...,n$

1) $p=1$

2) หาผลรวมของสมาชิกทั้งหมดของเซต M_j แต่ละเซต

3) กำหนดค่าผลรวมของสมาชิกทั้งหมดของทุกเซต M_j เป็นสมาชิกของเซต T_m

4) $r=u$ เมื่อ u คือดัชนีบ่งบอกลำดับของสมาชิกในเซต T_m ที่มีค่าน้อยที่สุด (หากสมาชิกในเซต T_m มีค่าน้อยที่สุดมีมากกว่าหนึ่งตัวแล้ว $r=u$ เมื่อ u คือดัชนีบ่งบอกลำดับของสมาชิกในเซต T_m ที่มีค่าน้อยที่สุด โดยให้พิจารณาเลือกดัชนีบ่งบอกลำดับที่มีค่าน้อยที่สุดก่อน)

5) $t=index_p$ (ในกรณีที่เป็นงานแรกที่ทำบนเครื่องจักรที่ j แล้ว $position_r=index_p$)

6) กำหนด n_t และ $set_{position_{r,t}}$ เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M_r แล้ว $position_{r=t}$

7) ลบ n_t ออกจากเซต n_t

8) ทำซ้ำ 2) ถึง 7) จนกว่าเซต n_t จะเป็นเซตว่าง

9) $p=p+1$ แล้วกลับไปทำ 2) ถึง 8) ใหม่อีกครั้งจนกว่า $p>n$

10) สรุปการคำนวณจะได้เซต M_j ทุกเซต

ขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม SPT-BL ส่วนขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม EDD-BL

ขั้นตอนที่ 4 จัดสรรขอบเขตเวลางานที่สามารถผลิตได้ให้แก่เครื่องจักรแต่ละเครื่อง

กำหนดให้ $C_{\max(\text{SPT}-\text{BL or EDD}-\text{BL})}$ เป็นเวลาปิดงานของระบบจากการคำนวณด้วยอัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตเครื่องจักรขนานด้วยวิธีเวลาการผลิตน้อยที่สุดหรือด้วยวิธีกำหนดการส่งมอบเร็วที่สุดและสมดุลงานให้แก่เครื่องจักร

กำหนดให้เซต L เป็นเซตที่บรรจุขอบเขตเวลางานที่สามารถผลิตได้ของเครื่องจักรทุกเครื่อง

กำหนดให้ l_j เป็นสมาชิกของเซต L ที่เก็บค่าขอบเขตเวลางานที่สามารถผลิตได้ของเครื่องจักรที่ j โดยที่ $j=1,2,...,m$

1) คำนวณค่า $C_{\max(\text{SPT}-\text{BL})}$ ด้วยวิธีในอัลกอริทึม SPT-BL หรือ EDD-BL
2) $l_j = C_{\max(\text{SPT}-\text{BL or EDD}-\text{BL})}$ กำหนดให้ l_j เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต L
3) ทำซ้ำ 2) จนกระทั่งเซต L มีจำนวนสมาชิกเท่ากับ m
4) สรุปจะได้เซต L ที่มีสมาชิกคือขอบเขตเวลาที่ต้องผลิตของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง

ขั้นตอนที่ 5 จัดสรรเวลาการผลิตของแต่ละงานให้กับเครื่องจักรแต่เครื่องตามลำดับที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 หรือขั้นตอนที่ 2 แบบไม่สมดุลงานให้กับเครื่องจักร

กำหนดให้เซต M_j เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยที่ $j=1,2,3,...,m$

กำหนดให้ SUM เป็นเซตที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรทุกเครื่อง

กำหนดให้ sum_j เป็นสมาชิกของเซต SUM ที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรที่ j โดยที่ $j=1,2,3,...,m$

กำหนดให้ $index_p$ เป็นสมาชิกของเซต INDEX ตัวที่ p โดยที่ $p=1,2,3,...,\text{n}$

กำหนดให้ n_t เป็นสมาชิกของเซต N_t โดยที่ t คือลำดับงาน

กำหนดให้ SETUP เป็นเซตที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน

กำหนดให้ $setup_{i,q}$ เป็นสมาชิกของเซต SETUP ที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน i ไปงาน q โดยที่ $i=1,2,3,...,n$ และ $q=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ POSITION เป็นเซตที่เก็บชื่องานที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องทำไปแล้ว

กำหนดให้ $position_j$ เป็นสมาชิกของเซต POSITION ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j=1,2,3,...,m$

1) $p=1$ และ $j=1$
2) หาผลรวมสมาชิกของเซต M_j
3) sum_j เท่ากับผลรวมสามาชิกของเซต M_j
4) ตรวจสอบว่า sum_j มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ l_j หรือไม่
5) ถ้าเงื่อนไขใน (4) เป็นจริงแล้ว $t=index_p$ (ในกรณีที่เป็นงานแรกที่ทำบนเครื่องจักรที่ j แล้ว $position_j = index_p$) จากนั้นทำการกำหนด n_t และ $set_{position_{j,t}}$ เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M_j และ $position_{j=t}$ แล้วลบ n_t ออกจากเซต N_t ถ้าเงื่อนไงใน (4) เป็นเท็จให้กำหนด sum_j เป็นสมาชิกของเซต SUM ลำดับที่ j แล้ว $j=j+1$ แล้วกลับไปเริ่ม (2) ใหม่อีกครั้ง
6) ตรวจสอบว่า N_t เป็นเซตว่างหรือไม่ ถ้า N_t เป็นเซตว่างแล้ว $p=p+1$
7) ทำซ้ำ 2) ถึง 6) จนกว่า p จะมากกว่า n
8) สรุปจะได้เซต M_j และเซต SUM

ขั้นตอนที่ 1 4 และ 5 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม SPT-UL ส่วนขั้นตอนที่ 2

4 และ 5 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม EDD-UL

ขั้นตอนที่ 6 จัดเรียงลำดับการทำงานจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุด

กำหนดให้ n คือจำนวนงานทั้งหมดที่ต้องทำ

กำหนดให้ m คือจำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่มี

กำหนดให้ SETUP เป็นเซตที่เก็บค่าเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เกิดจากการเปลี่ยนลำดับงาน

กำหนดให้ INDEX คือเซตที่เก็บค่าลำดับการทำงานจากเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุด

กำหนดให้ p เป็นดัชนีบ่งบอกลำดับในเซต INDEX

กำหนดให้ $setup_{k,i}$ เป็นสมาชิกของเซต SETUP ที่เก็บค่าเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน k ไปงาน i โดยที่ $k=1,2,3,...,n$ และ $i=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ Before เก็บค่างานที่ทำอยู่ก่อนหน้าของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุดในเซต SETUP

กำหนดให้ After เก็บค่างานที่จะทำตามหลังของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุดในเซต SETUP

1) $p=1$
2) $x=k$ $y=i$ เมื่อ k และ i คือดัชนีบ่งบอกลำดับของเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรที่น้อยที่สุดในเซต SETUP ที่ไม่ใช่ศูนย์
3) Before = x และ After = y แล้วตัด $setup_{k,i}$ ออกจากเซต SETUP
4) ตรวจสอบว่า Before มีอยู่ในเซต INDEX แล้วหรือไม่ ถ้าไม่มีอยู่ให้กำหนด Before เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต INDEX
5) ตรวจสอบว่า After มีอยู่ในเซต INDEX แล้วหรือไม่ ถ้าไม่มีอยู่ให้กำหนด After เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต INDEX
6) $p=p+1$
7) ทำซ้ำ 2) ถึง 6) จนกระทั่ง p มีค่ามากกว่า n
8) สรุปจะได้เซต INDEX

ขั้นตอนที่ 7 จัดเรียงกำหนดการส่งมอบให้มีลำดับเหมือนกับเซต INDEX พร้อมทั้งหาสัดส่วนความสำคัญของกำหนดการส่งมอบของแต่ละงาน

กำหนดให้ $index_p$ เป็นสมาชิกของเซต INDEX ตัวที่ p โดยที่ $p=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ DUEDATE เป็นเซตที่มีสมาชิกคือกำหนดการส่งมอบของทุกงานที่ยังไม่เรียงลำดับตามเซต INDEX

กำหนดให้ $duedate_t$ เป็นสมาชิกของเซต DUEDATE ตัวที่ t โดยที่ $t=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ FINISH เป็นเซตที่มีสมาชิกคือกำหนดการส่งมอบของทุกงานที่เรียงลำดับตามเซต INDEX แล้ว

กำหนดให้ $finish_p$ เป็นสมาชิกของเซต FINISH ตัวที่ p โดยที่ $p=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ RATIODUDATE เป็นเซตที่มีสมาชิกคือสัดส่วนความสำคัญของกำหนดการส่งมอบของแต่ละงาน

กำหนดให้ $ratiodudate_p$ เป็นสมาชิกของเซต RATIODUEDATE ตัวที่ p โดยที่ $p=1,2,3,...,n$

กำหนดให้ Sum of Duedate คือค่าผลรวมของสมาชิกในเซต DUEDATE

1) $p=1$
2) $t=index_p$
3) $finish_p=duedate_t$ และ $ratioduedate_p=duedate_t/Sum\,of\,Duedate$
4) ลบ $duedate_t$ ออกจากเซต DUEDATE แล้ว $p=p+1$
5) ทำซ้ำ 2) ถึง 4) จนกว่า DUEDATE จะเป็นเซตว่าง
6) สรุปได้เซต FINISH และเซต RATIODUDATE

ขั้นตอนที่ 8 จัดสรรเวลาการผลิตของแต่ละงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องตามลำดับงานที่จัดไว้แบบสมดุล

กำหนดให้เซต เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ใช้เพียงตรวจสอบคะแนนที่ได้จากเซต SCORE โดยที่ $j = 1,2,3,...,\mathrm{m}$

กำหนดให้เซต M/C_j เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ใช้ในการจัดสรรเวลาการผลิตให้จริง โดยที่ $j = 1,2,3,...,\mathrm{m}$

กำหนดให้ SUM เป็นเซตที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรทุกเครื่อง

กำหนดให้ sum_j เป็นสมาชิกของเซต SUM ที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรที่ j โดยที่ $j = 1,2,3,...,\mathrm{m}$

กำหนดให้ $index_p$ เป็นสมาชิกของเซต INDEX ตัวที่ p โดยที่ $p = 1,2,3,...,\mathrm{n}$

กำหนดให้ n_t เป็นสมาชิกของเซต N_t โดยที่ t คือลำดับงาน

กำหนดให้ SETUP เป็นเซตที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน

กำหนดให้ $setup_{i,q}$ เป็นสมาชิกของเซต SETUP ที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน i ไปงาน q โดยที่ $i = 1,2,3,...,\mathrm{n}$ และ $q = 1,2,3,...,\mathrm{n}$

กำหนดให้ POSITION เป็นเซตที่เก็บชื่องานที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องทำไปแล้ว

กำหนดให้ $position_j$ เป็นสมาชิกของเซต POSITION ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ SCORE เป็นเป็นเซตที่เก็บค่าคะแนนที่คำนวณได้จากสูตร $(0.5\times((1/sum_j)/Total))+(0.5\times ratioduedate_p)$

กำหนดให้ $score_j$ เป็นสมาชิกของเซต SCORE ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ Total คือค่าผลรวมของส่วนกลับของสมาชิกทุกตัวในเซต SUM

1) $p = 1$
2) $t = index_p$
3) $j = 1$
4) กำหนด n_t และ $set_{position_{j,t}}$ เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M_j แล้ว $position_{j=t}$
5) $j = j+1$
6) sum_j เท่ากับผลรวมของสมาชิกทั้งหมดในเซต M_j
7) ทำซ้ำ 4) ถึง 6) จนกว่า j มากกว่า m
8) $j = 1$ และกำหนดให้ SCORE เป็นเซตว่าง
9) Total เท่ากับผลรวมของ $1/sum_j;\forall_j$ ในเซต SUM
10) $score_j = (0.5\times((1/sum_j)/Total))+(0.5\times ratioduedate_p)$ เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต SCORE แล้ว $j = j+1$
11) ทำซ้ำ 10) จนกว่า j จะมีค่ามากกว่า m
12) $z = j$ เมื่อ j คือดัชนีบ่งบอกลำดับของคะแนนที่มีค่ามากที่สุดในในเซต SCORE
13) $t = index_p$
14) กำหนด n_t และ $set_{position_{j,t}}$ เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M/C_z แล้วลบ n_t ออกจากเซต N_t
15) ทำซ้ำ 3) ถึง 14) จนกว่า N_t จะเป็นเซตว่าง
16) $p = p+1$
17) ทำซ้ำ 15) ถึง 16) จน p จะมากกว่า n
18) สรุปจะได้เซต $M/C_j;\forall j$

ขั้นตอนที่ 9 จัดสรรเวลาการผลิตของแต่ละงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องตามลำดับงานที่จัดไว้แบบไม่สมดุล

กำหนดให้เซต M_j เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ใช้เพียงตรวจสอบคะแนนที่ได้จากเซต SCORE โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้เซต M/C_j เป็นเซตแทนเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ใช้ในการจัดสรรเวลาการผลิตให้จริง โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ SUM เป็นเซตที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรทุกเครื่อง

กำหนดให้ sum_j เป็นสมาชิกของเซต SUM ที่เก็บค่าผลรวมเวลาในการผลิตของเครื่องจักรที่ j โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ $index_p$ เป็นสมาชิกของเซต INDEX ตัวที่ p โดยที่ $p = 1,2,3,...,\mathrm{n}$

กำหนดให้ n_t เป็นสมาชิกของเซต N_t โดยที่ t คือลำดับงาน

กำหนดให้ SETUP เป็นเซตที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน

กำหนดให้ $setup_{i,q}$ เป็นสมาชิกของเซต SETUP ที่เก็บค่าเวลาในการเซตอัพเครื่องจักรเมื่อเกิดจากการเปลี่ยนลำดับงานจากงาน i ไปงาน q โดยที่ $i = 1,2,3,...,n$ และ $q = 1,2,3,...,n$

กำหนดให้ POSITION เป็นเซตที่เก็บชื่องานที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องทำไปแล้ว

กำหนดให้ $position_j$ เป็นสมาชิกของเซต POSITION ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ SCORE เป็นเป็นเซตที่เก็บค่าคะแนนที่คำนวณได้จากสูตร

$$(0.5 \times ((1/sum_j / Total)) + (0.5 \times ratioduedate_p)$$

กำหนดให้ $score_j$ เป็นสมาชิกของเซต SCORE ลำดับที่ j (เครื่องที่ j) โดยที่ $j = 1,2,3,...,m$

กำหนดให้ $Total$ คือค่าผลรวมของส่วนกลับของสมาชิกทุกตัวในเซต SUM

กำหนดให้ CUMULATE เป็นเซตที่เก็บค่าผลรวมของสมาชิกทุกตัวในเซต M/C_z โดยที่ z คือลำดับของเครื่องจักรที่มีค่าคะแนนสูงสุดในเซต SCORE

กำหนดให้ $comulate_z$ เป็นสมาชิกของเซต CUMULATE ลำดับที่ z (เครื่องที่ z) โดยที่ z คือลำดับของเครื่องจักรที่มีค่าคะแนนสูงสุดในเซต SCORE

กำหนดให้ DONE เป็นเซตที่เก็บค่างานทำแล้วในเครื่องจักรที่มีค่าคะแนนสูงสุดที่ถูกเลือกให้จัดสรรงานให้

กำหนดให้ $done_z$ เป็นสมาชิกตัวที่ z ในเซต DONE

1) $p = 1$
2) $j = 1$
3) $t = index_p$
4) หาผลรวมของสมาชิกทั้งหมดในเซต M_j แล้วกำหนด sum_j เท่ากับผลรวมสมาชิกของเซต M_j
5) ตรวจสอบว่า sum_j มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ l_j หรือไม่
6) ถ้าเงื่อนไขใน 5) เป็นจริง ให้ทำการกำหนด n_t และ $position_{j,t}$ (ถ้าเป็นงานแรกที่เข้าเครื่องจักรแล้ว $position_{j=t}$ เสมอ) เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M_j และ $position_{j=t}$ แล้วลบ n_t ออกจากเซต N_t แล้วกลับไปทำ 4) ถึง 5) จนกว่าเงื่อนไขใน 5) จะเป็นเท็จ
7) ถ้าเงื่อนไขใน 5) เป็นเท็จให้กำหนด sum_j เป็นสมาชิกของเซต SUM ลำดับที่ j แล้ว $j = j+1$ แล้วกลับไปเริ่มทำ 3) ใหม่อีกครั้งจนกว่า j จะมีค่ามากกว่า m
8) $j = 1$ และกำหนดให้ Total เท่ากับผลรวมของ $1/sum_j; \forall_j$ ในเซต SUM
9) $score_j = (0.5 \times ((1/sum_j)/\mathrm{Total})) + (0.5 \times ratioduedate_p)$ สมาชิกตัวล่าสุดของเซต SCORE แล้ว $j = j+1$
10) ทำซ้ำ 9) จนกว่า j จะมีค่ามากกว่า m
11) $z = j$ เมื่อ j คือดัชนีบ่งบอกลำดับของคะแนนที่มีค่ามากที่สุดในในเซต SCORE
12) $t = index_p$
13) หาผลรวมของสมาชิกทั้งหมดในเซต M/C_z แล้วกำหนด $cumulate_z$ เท่ากับผลรวมสมาชิกของเซต M/C_z

14) ตรวจสอบว่า $cumulate_z$ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ l_z หรือไม่

15) ถ้าเงื่อนไขใน 14) เป็นจริง ให้ทำการกำหนด n_t และ $setup_{done_{z,t}}$ (ถ้าเป็นงานแรกที่เข้าเครื่องจักรแล้ว $done_{z=t}$ เสมอ) เป็นสมาชิกตัวล่าสุดของเซต M/C_z และแล้วลบ $done_{z=t}$ ออกจากเซตแล้วกลับไปทำ 13) ถึง 14) จนกว่าเงื่อนไขใน 14) จะเป็นเท็จ

16) ถ้าเงื่อนไขใน 14) เป็นเท็จให้กำหนด $cumulate_z$ เป็นสมาชิกของเซตCUMULATE ลำดับที่ z แล้ว $M_j = M/C_j \; ; \forall_j$ POSITION = DONE และ SUM = CUMULATE

17) ทำซ้ำ 3) ถึง 16) จนกว่าเซต N_t จะเป็นเซตว่างแล้ว $p = p+1$

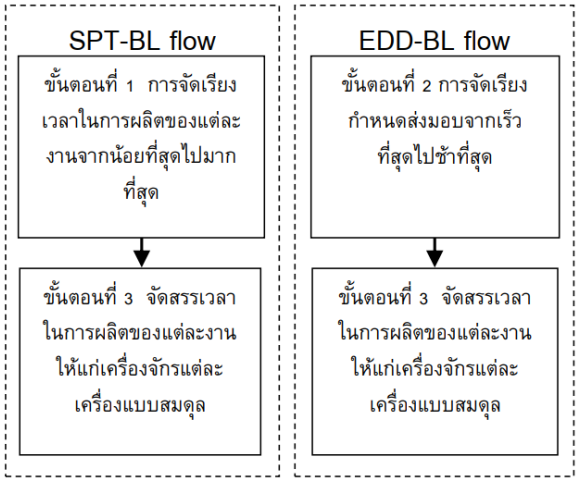
18) ทำซ้ำ 2) ถึง 17) จนกว่า p จะมากกว่า n

19) สรุปจะได้เซต $M/C_j \; ; \forall_j$ และเซต CUMULATE

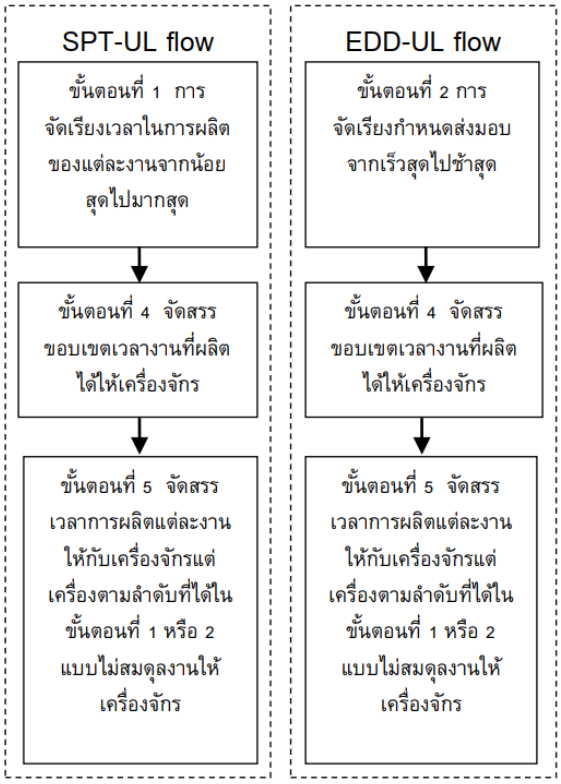
ขั้นตอนที่ 4 6 7 และ 8 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม LBL ส่วนขั้นตอนที่ 4 6 7 และ 9 เป็นขั้นตอนย่อยที่สำคัญต่อตัวชี้วัดในการจัดตารางผลิตของอัลกอริทึม LUL

โดยงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาและออกแบบอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาในทุกๆกรณีศึกษา ซึ่งอัลกอริทึมที่มีคุณสมบัติดีในแต่ละแบบ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นลำดับขั้นตอนย่อยที่มีความซับซ้อน ได้แก่ รูปที่ 4 แสดงลำดับขั้นตอนอัลกอริทึม SPT-BL และ EDD-BL ในขณะที่ลำดับขั้นตอนอัลกอริทึม SPT-BL และ EDD-BL แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6 แสดงลำดับขั้นตอนอัลกอริทึม LBL และ LUL อีกด้วย

จากอัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานที่นำเสนอไว้ทั้ง 6 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อให้ง่ายต่อการทดลองจึงนำอัลกอริทึมดังกล่าวมาเขียนโค้ดคำสั่งในโปรแกรม MATLAB แล้วใช้โปรแกรม Excel เป็นส่วนในการรับข้อมูลนำเข้าในการทดลองและเรียกใช้โค้ดคำสั่งในโปรแกรม



รูปที่ 4 ลำดับการคำนวณของ SPT-BL และ EDD-BL

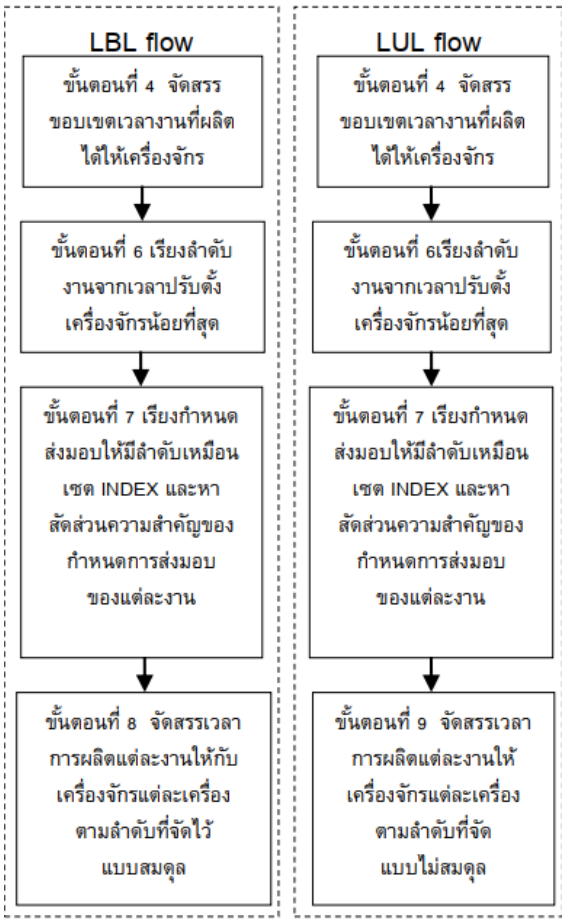


รูปที่ 5 ลำดับการคำนวณของ SPT-UL และ EDD-UL

MATLAB และแสดงผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรม เพื่อบันทึกค่าที่ต้องการชี้วัดในการทดลอง

5. ผลการทดลอง

อัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ถูกนำมาใช้ในการทดสอบการจัดตารางการผลิตในแต่ละกรณีศึกษา โดยทำการทดลองด้วยความต้องการในการผลิตที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบในแต่ละ



รูปที่ 6 ลำดับการคำนวณอัลกอริทึม LBL และ LUL

กรณีศึกษา ได้แก่ (1) มีแนวโน้มความต้องการในการผลิตเพิ่มขึ้น (2) มีแนวโน้มความต้องการในการผลิตลดลง และ (3) มีแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์คงที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 การทดลองในกรณีศึกษาการผลิตน้ำยาล้างจาน

ชุดข้อมูลสำหรับการทดลองซึ่งมีพื้นฐานของข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมจากกรณีศึกษาทั้งหมด 20 ชุดที่แตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 10 ชุดสำหรับการทดลองแบบที่ 1 มีความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์ A ไปยังผลิตภัณฑ์ F การทดลองแบบที่ 2 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มลดลงจากผลิตภัณฑ์ A ไปยังผลิตภัณฑ์ F และการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มคงที่จากผลิตภัณฑ์ A ไปยังผลิตภัณฑ์ F ดังตารางที่ 1

จากการทดลองจัดตารางการผลิตโดยใช้อัลกอริทึมการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานทั้ง 6 อัลกอริทึม สามารถ

ตารางที่ 1 ความต้องการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ (ถัง) กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน

ชุดข้อมูล		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การทดลองแบบที่ 1	A	2	1	2	3	3	5	2	1	3	3
	B	6	2	6	5	5	6	4	5	5	4
	C	8	4	7	7	7	7	6	7	6	7
	D	10	7	9	10	9	10	7	8	8	9
	E	12	10	11	12	11	12	9	11	10	11
	F	18	15	18	14	14	19	16	15	14	16
การทดลองแบบที่ 2	A	18	15	18	16	14	19	16	15	14	16
	B	12	10	11	12	11	12	9	11	10	11
	C	10	7	9	10	9	10	7	8	8	9
	D	8	4	7	7	7	7	6	7	6	7
	E	6	2	6	5	5	6	4	5	5	4
	F	2	1	2	3	3	5	2	1	3	3
การทดลองแบบที่ 3	A	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4
	B	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4
	C	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4
	D	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4
	E	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4
	F	18	15	11	14	9	12	16	8	10	4

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ (นาที)					
	SPT-BL	SPT-UL	EDD-BL	EDD-UL	LBL	LUL
แบบ 1	1054.6	1029.6	1023.9	1018.2	1010.1	958.8
แบบ 2	968	952.9	910.1	887	917.8	871.1
แบบ 3	1312.1	1312.1	1290.4	1290.4	1288.6	1237.2

คำนวณค่าเฉลี่ยของเวลาปิดงานของระบบจากการทดลองแต่ละแบบในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางล้างจานได้ดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบจากการคำนวณด้วยอัลกอริทึม LUL มีค่าน้อยที่สุดทุกรูปแบบ โดย

ตารางที่ 3 ความต้องการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ (ตู้) กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ

ชุดข้อมูล		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การทดลองแบบที่ 1	1	5	4	4	5	4	1	2	3	2	3
	2	6	6	6	7	6	4	3	5	5	5
	3	7	7	8	8	7	6	6	7	6	8
	4	8	8	9	9	9	8	7	9	7	9
	5	11	9	12	10	11	9	10	10	9	10
	6	14	15	14	13	13	12	13	16	14	13
การทดลองแบบที่ 2	1	14	15	14	13	13	12	13	16	14	13
	2	11	9	12	10	11	9	10	10	9	10
	3	8	8	9	9	9	8	7	9	7	9
	4	7	7	8	8	7	6	6	7	6	8
	5	6	6	6	7	6	4	3	5	5	5
	6	5	4	4	5	4	1	2	3	2	3
การทดลองแบบที่ 3	1	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20
	2	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20
	3	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20
	4	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20
	5	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20
	6	6	14	15	10	9	12	5	18	4	20

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ (ชั่วโมง)					
	SPT-BL	SPT-UL	EDD-BL	EDD-UL	LBL	LUL
แบบ 1	581	597	565.4	608.6	565.4	558.8
แบบ 2	620.6	622.8	607.8	644	608.8	603.8
แบบ 3	836.6	836.6	826.4	826.4	826.4	836.8

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้าโดยรวม กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้าโดยรวม (ชั่วโมง)					
	SPT-BL	SPT-UL	EDD-BL	EDD-UL	LBL	LUL
แบบ 1	14.2	20.8	6.2	32.2	6.2	4.2
แบบ 2	39	39	27.2	56.4	28.2	25.2
แบบ 3	303.2	303.2	296.4	296.4	296.4	302.8

ในการทดลองแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบเท่ากับ 958.8 นาที การทดลองแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบเท่ากับ 871.1 นาที และการทดลองแบบที่ 3 มีค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบเท่ากับ 1237.2 นาที

5.2 การทดลองในกรณีศึกษาการอบแผ่นยางพารา

ชุดข้อมูลสำหรับการทดลอง ซึ่งมีพื้นฐานของข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมจากกรณีศึกษาทั้งหมด 20 ชุดที่แตกต่างกัน

โดยแบ่งออกเป็น 10 ชุดสำหรับการทดลองแบบที่ 1 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจาก Job_1 ไปถึง Job_6 การทดลองแบบที่ 2 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มลดลงจาก Job_1 ไปถึง Job_6 และการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มคงที่จาก Job_1 ไปถึง Job_6 ดังแสดงในตารางที่ 3

จากการทดลองจัดตารางการผลิตในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบโดยใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอไว้ทั้ง 6 อัลกอริทึม สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของเวลาปิดงานของระบบและเวลาล่าช้าโดยรวมจากแต่ละรูปแบบการทดลองในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบได้ดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 และ 5 ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบและเวลาล่าช้าโดยรวมตามลำดับ ทั้ง 2 ตารางมีความเกี่ยวข้องกันคือ ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบส่งผลต่อค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้าโดยรวม จากตารางที่ 4 พบว่า อัลกอริทึมที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยค่าปรับเนื่องจากเสร็จงานล่าช้าโดยรวมน้อยที่สุด ได้แก่ อัลกอริทึม LUL โดยในการทดลองแบบที่ 1 มีค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้าเท่ากับ 4.2 ชั่วโมง และแบบที่ 2 มีค่าเฉลี่ยเวลาล่าช้าเท่ากับ 25.2 ชั่วโมง

5.3 การทดลองในกรณีศึกษาการขนส่งสินค้าทางน้ำ

ชุดข้อมูลสำหรับการทดลอง มีพื้นฐานของข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมจากกรณีศึกษาทั้งหมด 20 ชุดแตกต่างกัน โดยแบ่งออกเป็น 10 ชุดสำหรับการทดลองแบบที่ 1 ซึ่งมีความต้องการที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากเรือชนิด A ไปถึงเรือชนิด C การทดลอง

ตารางที่ 6 จำนวนเรือแต่ละประเภท (ลำ) ที่เข้ามาใช้บริการท่าเรือใน 1 สัปดาห์ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ

ชุดข้อมูล		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
การทดลองแบบ	1	1	11	9	8	7	12	10	11	7	8
	2	2	14	15	13	13	15	12	15	16	15
	3	3	18	19	22	23	16	21	17	20	20
การทดลองแบบ	1	1	18	19	22	23	16	21	17	20	20
	2	2	14	15	13	13	15	12	15	16	15
	3	3	11	9	8	7	12	10	11	7	8
การทดลองแบบ	1	1	18	15	9	22	4	11	25	30	16
	2	2	18	15	9	22	4	11	25	30	16
	3	3	18	15	9	22	4	11	25	30	16

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ

รูปแบบ	ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบ (ชั่วโมง)					
	SPT-BL	SPT-UL	EDD-BL	EDD-UL	LBL	LUL
แบบ 1	117.6	116.1	117.6	116.1	119.74	117.8
แบบ 2	111.9	115	111.9	115	114.05	111.75
แบบ 3	138.51	138.51	138.51	138.51	137.73	133.98

แบบที่ 2 ซึ่งมีความต้องการทีมีแนวโน้มลดลงจากเรือชนิด A ไปถึงเรือชนิด C และการทดลองแบบที่ 3 ซึ่งมีความต้องการทีมีแนวโน้มคงที่จากเรือชนิด A ไปถึงเรือชนิด C ดังตารางที่ 6

จากการทดลองจัดตารางการผลิตโดยใช้อัลกอริทึมที่นำเสนอไว้ทั้ง 6 อัลกอริทึมในกรณีศึกษาอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของเวลาปิดงานของระบบจากแต่ละรูปแบบการทดลองในกรณีศึกษาการขนส่งสินค้าทางเรือได้ดังตารางที่ 7

จากค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบในการทดลองกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ในตารางที่ 7 อัลกอริทึม SPT-UL และอัลกอริทึม EDD-UL ทำให้ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบในการทดลองแบบที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด คือ 116.1 ชั่วโมง อัลกอริทึม LUL ทำให้ค่าเฉลี่ยเวลาปิดงานของระบบในการทดลองแบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีค่าน้อยที่สุด คือ 111.75 ชั่วโมงและ 133.98 ชั่วโมง ตามลำดับ

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับความเหมาะสมในการหาผลเฉลยของอัลกอริทึมที่นำเสนอไว้กับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณี ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจาน อุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบ และอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ ซึ่งได้แสดงผลการทดลองไว้ในส่วนที่ 5 ของงานวิจัย โดยแสดงให้เห็นถึงผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 3 กรณีศึกษา ซึ่งทำการทดลองด้วยความต้องการในการผลิตที่แตกต่างกัน 3 รูปแบบในแต่ละกรณีศึกษา ได้แก่ (1) มีแนวโน้มความต้องการในการผลิตเพิ่มขึ้น (2) มีแนวโน้มความต้องการในการผลิตลดลง และ (3) มีแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์คงที่ สรุปได้ว่า อัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยาล้างจานและอุตสาหกรรมการอบแผ่นยางพาราดิบคืออัลกอริทึม LUL ส่วนอัลกอริทึมที่มีความเหมาะสมกับอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางเรือ คือ อัลกอริทึม SPT-UL, EDD-UL และ LUL ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวนำมาซึ่งความเหมาะสมของการใช้อัลกอริทึมกับอุตสาหกรรมที่มีความคล้ายคลึงกับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษาได้ อย่างไรก็ตาม ความเหมาะสมของการใช้อัลกอริทึมยังคงมีข้อจำกัดเฉพาะในแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งจะต้องทำการศึกษาในลำดับต่อไป

นอกจากนี้ การศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมในการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนานข้างต้น ยังสามารถถูกนำไปพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อช่วยให้ผู้จัดตารางการผลิตในระบบการผลิต สามารถนำไปใช้งานได้อย่างสะดวกอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ ได้รับการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยการปรับปรุงผลิตภาพและการจัดการโลจิสติกส์ (PILM) ภายใต้กลุ่มวิจัยอุตสาหกรรมและการจัดการการผลิต (IPM) และได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่จากคณะ

วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

เอกสารอ้างอิง

[1] จันจิรา คงชื่นใจ, เชฎฐา ชำนาญหล่อ, ธนพันธ์ คงทอง. เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการจัดตารางการผลิตในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องของอุตสาหกรรมอุปโภค. ใน: *การประชุมวิชาการด้าน การพัฒนาการ ดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 7*. นนทบุรี; 2559. หน้า 600–607.

[2] Nikoofarid E, Kazemi M, Aalaei A, Kayvanfar V. Designing a mathematical model for Just-In-Time preemptive identical parallel machine. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2012; 2(5): 5169–5178.

[3] ทวีพร ขำดี, จักรวาล คุณะดิลก. การจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรขนานแบบหลายจุดประสงค์. ใน: *การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2554*. ชลบุรี; 2554. หน้า 158–164.

[4] นัฐพงศ์ สุดพุ่ม, สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์. การจัดตารางการผลิตสำหรับเครื่องจักรแบบขนานโดยมีเวลาเตรียมการผลิตเป็นแบบไม่อิสระ. ใน: *การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. กรุงเทพฯ; 2540. หน้า 329–336.

[5] กัญชลา สุดตาชาติ. ฮิวริสติกสำหรับการจัดตารางการผลิตเครื่องจักรขนาน กรณีมีเวลาติดตั้งเครื่องจักรและมีข้อจำกัดของเครื่องจักร. ใน: *การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2551*. กรุงเทพฯ; 2551. หน้า 71–78.

[6] กิตติยา สุขสกล. การพัฒนาโปรแกรมช่วยตัดสินใจวางแผนการจัดตารางการผลิตในระบบเครื่องจักรขนานที่มีความเร็วแตกต่างกัน. *ระดับปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. กรุงเทพฯ; 2555.

[7] ทวีพร ขำดี, อัจฉรา ภูอ่าง. การจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต. *วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง เดือนกรกฎาคม–ธันวาคม 2556*. 2556.

[8] เพ็ญนภัส จิรชัย, ปารเมศ ชุติมา. การจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมลักษณะตัวยูขนานที่มีวัตถุประสงค์จำนวนมากโดยใช้วิธีการเชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยยึดหลักการจำแนก. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. 2561; 13(1): 82–97.