

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่ออ้อยลงรางใน อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลในเขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

Algorithms Development for Scheduling and Sequencing of Sugarcane Truck to Dump Tippler in Cane and Sugar Industry in Central Region of Thailand

ชุลีพร กุศลคุ้ม (Chuleeporn Kusoncum)* ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (Dr.Kanchana Sethanan)^{1**}

ดร.ศิริรัตน์ พัฒน์ไพโรจน์ (Dr.Sirorat Pattanapairoj)*** ดร.วรญา เนืองมัจฉา (Dr.Woraya Neungmacha)****

(Received: November 21, 2018; Revised: December 24, 2019; Accepted: December 29, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดการตารางการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน (Unrelated parallel machine) ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร (Machine eligibility constrain) และพิจารณาการจัดลำดับงานที่ไม่ขึ้นอยู่กับการตั้งค่าก่อนหน้า (Sequence-independent setup time; SIST) ในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทย โดยปัญหาที่พบของโรงงานกรณีศึกษาคือรถบรรทุกอ้อยรอคอยในระบบเป็นระยะเวลานาน ทำให้คุณภาพอ้อยทั้งน้ำหนักและค่าความหวาน (Commercial Cane Sugar; CCS.) ลดลง ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เพื่ออ้อย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาของจำนวนรถบรรทุกอ้อยที่ออกจากระบบ และปริมาณคัมพ์อ้อยที่เหลงรางที่สูงที่สุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำสุด โดยการพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ในเชิงอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพทั้งในแง่การพัฒนาคุณภาพและระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบเมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบัน

ABSTRACT

This research focuses on the unrelated parallel machines scheduling problem in the cane and sugar industry of Thailand for scheduling and sequencing sugarcane trucks to the dump tippler machines, with the objective of maximizing the throughput in terms of a total number of trucks leaving the system, the total sugarcane quantity, and total idle time. In this problem, unrelated parallel machines with sequence-independent setup time (SIST) and machine eligibility; UPM-SISTM are considered. This problem can be formulated as a deterministic $R_m | p_{i,j}, s_{i,j}, M_{i,j,k} | \text{Number out, Sugarcane quantity, Idle time}$ problem. To solve the large-scaled problem, a constructive heuristic based on current practice UPM-SISTM and four proposed heuristic algorithms are applied. The results illustrate that the proposed heuristics algorithms are very efficient in improving the computational results; solution quality and computational time. It yields higher relative improvement (RI) on the throughput and total idle time.

คำสำคัญ: การจัดการตารางการผลิต เครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน การบริหารจัดการหน้าลาน

Keywords: Scheduling, Unrelated parallel machine, Mill yard management

¹ Correspondent author: skanch@kku.ac.th, ksethanan@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน วิทยาเขตกำแพงแสน



บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมแปรรูปสินค้าเกษตรที่มีความสำคัญต่อระดับเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตน้ำตาลรายใหญ่เป็นอันดับ 4 ของโลก โดยในฤดูกาลผลิตปี 2559/2560 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกอ้อยรวม 10.988 ล้านไร่ เป็นพื้นที่ปลูกอ้อยส่งโรงงานน้ำตาล 9.864 ล้านไร่ และส่วนที่เหลือเป็นพื้นที่สำหรับปลูกขายพันธุ์ ดังนั้นจึงมีผลผลิตอ้อย 92.950 ล้านตันเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกว่า 55 แห่งทั่วประเทศ [1] โดยสามารถผลิตน้ำตาลได้ 10.029 ล้านตัน [2] และสามารถสร้างรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลทรายและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ถึงปีละกว่า 250,000 ล้านบาท คิดเป็นสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 21 ของ GDP ภาคเกษตร ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกน้ำตาลและผลิตภัณฑ์สูงถึง 2,573.4 ล้านดอลลาร์ ซึ่งน้ำตาลจัดเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศลำดับ 3 ในกลุ่มสินค้าเกษตร รองจากยางพาราและข้าว [3] โดยประเทศไทยถือเป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลรายใหญ่ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 14 ของการส่งออกทั้งหมด ซึ่งเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากบราซิล นอกจากนี้อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลดังกล่าวยังเป็นแหล่งสร้างงานและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยกว่า 427,395 ครัวเรือน [4] รวมถึงแรงงานอีกเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง อาทิ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมไฟฟ้า อุตสาหกรรมพลังงาน และอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ เป็นต้น จากการใช้วัตถุดิบทางการเกษตรที่เป็นจุดแข็งของประเทศ ผ่านการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ ผสมกับการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพทั้งระบบ ทำให้อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ และนำไปสู่อุตสาหกรรมต้นแบบในอนาคตได้

ห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล (Supply chain and Logistics of Cane and Sugar Industry) ประกอบด้วยโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) โลจิสติกส์ภายใน (Internal logistics) และโลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics section) จากการศึกษาพบว่า ในส่วนโลจิสติกส์ขาเข้า มีต้นทุนการผลิตสูงสุดถึงร้อยละ 60 ของการผลิตทั้งหมด [5] โดยโลจิสติกส์ขาเข้า ประกอบด้วย กระบวนการเพาะปลูก (Cultivation) การเก็บเกี่ยว (Harvest) การขนส่ง (Transportation) และการบริหารจัดการหน้าลาน (Mill yard management operation) (ดังภาพที่ 1) โดยขั้นตอนการบริหารจัดการหน้าลานจะเริ่มขึ้นจากรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่บริเวณโรงงานและดำเนินการตามขั้นตอน ได้แก่ (1) ลงทะเบียน (2) รอ ณ ลานนอก (3) การชั่งเข้า (4) รอ ณ ลานใน (5) การเทอ้อยลงราง และ (6) การชั่งออก เป็นการชั่งน้ำหนักรถบรรทุกหลังเทอ้อย เพื่อให้ทราบค่าน้ำหนักที่แท้จริงของอ้อยในรถบรรทุกคันนั้นๆ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในส่วนการบริหารจัดการหน้าลานในขั้นตอนการเทอ้อยลงรางที่เป็นคอขวด (Bottle neck) [8] ของกระบวนการดังกล่าว (ดังภาพที่ 2) โดยจะมุ่งเน้นที่การบริหารจัดการวัตถุดิบ (อ้อย) เข้าสู่โรงงาน ในส่วนของการจัดการารรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่ตู้คัมพ์เทอ้อย ซึ่งโดยทั่วไปฤดูกาลหีบอ้อยของโรงงานในแต่ละปีจะมีระยะเวลาประมาณ 120 วัน เริ่มตั้งแต่ช่วงเดือนธันวาคมไปสิ้นสุดที่เดือนเมษายนของปีถัดไป อย่างไรก็ตามปัจจุบันการนำอ้อยเข้าหีบของโรงงานในช่วงต้นและปลายฤดูกาลหีบมีปริมาณอ้อยน้อยกว่ากำลังการผลิตของโรงงาน ขณะที่ช่วงกลางหีบอ้อยระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมการนำอ้อยเข้าสู่โรงงานมีความหนาแน่นสูง เนื่องจากในช่วงกลางของการหีบอ้อยนี้เป็นระยะที่เกษตรกรมักตัดอ้อยส่งโรงงานในช่วงนี้ เนื่องจากอ้อยมีความสุกพร้อมเก็บเกี่ยวโดยจะมีคุณภาพดี ทั้งเรื่องน้ำหนักและให้ค่าความหวาน (Commercial Cane Sugar, CCS.) สูงสุด ทำให้เกษตรกรมีโอกาสได้รับค่าตอบแทนส่วนเพิ่มที่คำนวณจากความหวานของอ้อยมากกว่าช่วงระยะเวลาอื่น (เนื่องจากราคาขายของอ้อยขึ้นกับคุณภาพของอ้อยทั้งเรื่องน้ำหนักและค่าความหวาน) ประกอบกับช่วงระยะเวลาดังกล่าวแรงงานส่วนใหญ่เสร็จสิ้นจากการเก็บเกี่ยวพืชชนิดอื่น ทำให้สามารถตัดอ้อยส่งโรงงานได้มากกว่าช่วงเวลาอื่น ซึ่งพฤติกรรมลักษณะนี้ ทำให้มีปริมาณอ้อยที่ส่งเข้าโรงงานมากกว่ากำลังการผลิต

ของโรงงาน ส่งผลให้อ้อยรอเข้าหีบเป็นจำนวนมาก นำไปสู่ระยะเวลารอคอยของรถบรรทุกอ้อยที่ยาวนาน ส่งผลต่อคุณภาพของอ้อยทั้งน้ำหนักและค่าความหวาน และต้นทุนผลิตของเกษตรกร [6] หากพิจารณาในมิติของโรงงานอุตสาหกรรมทางโรงงานมีความต้องการให้รถบรรทุกอ้อยส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานและออกจากระบบมากที่สุดภายในกรอบเวลาที่กำหนด หรืออีกนัยหนึ่งคือมีปริมาณอ้อยเข้าสู่โรงงานสูงสุดอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวและยกระดับประสิทธิภาพการผลิตอ้อย สามารถทำได้โดยบริหารจัดการให้อ้อยเข้าหีบอย่างสม่ำเสมอโดยการสร้างเครื่องมือช่วยตัดสินใจ (Decision making tool) เพื่อจัดการารรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อย โดยให้จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณอ้อยลงรางมีค่าสูงสุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำสุด

ซึ่งปัญหาการจัดการรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อย เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน และมีความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูง เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีผู้เกี่ยวข้องหลายภาคส่วน (Stakeholder) ทำให้มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ ได้แก่ (1) จำนวนคัมพ์เทอ้อย ของโรงงานที่มีขนาดกำลังการผลิตของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน โดยขึ้นกับกำลังการผลิตของโรงงาน (2) จำนวนรถบรรทุกอ้อยที่มีอัตราการเข้ามาที่ไม่แน่นอนในแต่ละคาบเวลา ซึ่งมีหลากหลายประเภท (Multi fleet size) และแต่ละประเภทมีความจุที่แตกต่างกัน และ (3) ข้อจำกัดของประเภทรถบรรทุกอ้อยมีผลต่อการเลือกคัมพ์เทอ้อย ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร (Machine eligibility) ซึ่งจากความซับซ้อนและข้อจำกัดข้างต้นสามารถระบุปัญหานี้ได้ในรูปแบบเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร และพิจารณาการจัดลำดับแบบงานที่ไม่ขึ้นอยู่กับการก่อนหน้า (Unrelated Parallel Machines with Sequence-Independent Setup Times and Machine eligibility; UPM-SISTM) [7] ทั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดการรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อย โดยให้จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณอ้อยลงรางมีค่าสูงสุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำสุด

โดยแนวทางในการแก้ไขปัญหา UPM-SISTM นั้น ได้พัฒนารูปแบบอัลกอริทึมเพื่อพัฒนาคำตอบในปัญหามหาศาล (Large-scaled problem) ทั้งนี้เพื่อให้ง่าย สะดวก และเข้าใจง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้ของผู้ใช้งาน โรงงานกรณีศึกษา โดยจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงาน ทั้งนี้เพื่อพัฒนาคุณภาพของคำตอบและลดระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบ ซึ่งในการศึกษานี้ประกอบด้วย วิธีการวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย โดย (1) วิธีการวิจัย เนื้อหาประกอบด้วย (1.1) ลักษณะของปัญหา UPM-SISTM (1.2) รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการรถบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน (Constructive heuristics based on current practice) และ (1.3) รูปแบบการพัฒนาอัลกอริทึม (Heuristics Development) (2) ผลการวิจัย จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรูปแบบอัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงาน และ (3) อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดการการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร และพิจารณาการจัดลำดับแบบที่ไม่ขึ้นอยู่กับการก่อนหน้า โดยพิจารณาจำนวนรถบรรทุกอ้อยที่ออกจากระบบสูงสุด และปริมาณอ้อยที่เทลงรางสูงสุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด



วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่อเทอ้อยลงราง โดยได้จำแนกลักษณะของปัญหา และนำเสนอรูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่อเทอ้อยลงรางของโรงงานในปัจจุบัน และรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะของปัญหา

ปัญหาการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่อเทอ้อยลงรางเป็นปัญหาการจัดการการผลิตของเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร และพิจารณาการจัดลำดับแบบไม่ขึ้นอยู่กับงานก่อนหน้า (The Unrelated Parallel Machines problems with Sequence-Independent Setup Times and Machine eligibility; UPM-SIST) ซึ่งลักษณะของปัญหาประกอบด้วย เซตของเครื่องจักร i เป็นคัมพ์เทอ้อย ($i = \{1, 2, 3, \dots, M\}$) และแต่ละงาน j คือรถบรรทุกอ้อย ($j = \{1, 2, 3, \dots, N\}$) ซึ่งเครื่องจักรสามารถทำงานได้ในคาบเวลาที่ $k = \{1, 2, 3, \dots, O\}$ โดยลักษณะการทำงานของเครื่องจักรจะทำงานพร้อมกันสองเครื่องในแต่ละคาบเวลา แต่ละงานสามารถทำงานได้บนเครื่องจักรเดียวเท่านั้น โดยปริมาณอ้อย (q_j) จะไม่เกินกำลังการทำงานของเครื่องจักร (c_i) ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร ($M_{i,j,k}$) ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของงาน (ประเภทของรถบรรทุกอ้อย ซึ่งสามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุก รถบรรทุกพ่วง และรถบรรทุกต่อยาวพิเศษ) ระยะเวลาในการทำงาน ($p_{i,j}$) ของงานแตกต่างกันบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจักร (เครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน) และเวลาในการตั้งค่าของเครื่องจักร ($s_{i,j}$) ขึ้นอยู่กับประเภทของงาน ซึ่งในการทำงานมีกรอบระยะเวลาในการทำงาน (T) โดยมีสมการเป้าหมายเพื่อหาจำนวนรถบรรทุกอ้อยที่ออกจากระบบสูงสุด และปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (แสดงดัง ภาพที่ 3) ซึ่งมีสมมติฐานและข้อจำกัดความ ดังนี้

1.1 สมมติฐาน (Assumption)

1) ข้อจำกัดของเครื่องจักร (Machine eligibility) โดยเครื่องจักรมีข้อจำกัดในการเลือกประเภทงาน (รถบรรทุกอ้อย) โดยรถบรรทุก และรถบรรทุกพ่วง สามารถจัดสรรให้กับทุกเครื่องจักร ($M1, M2, M3, M4$) แต่รถบรรทุกตัดแปลงต่อยาวพิเศษ จะสามารถ จัดสรรให้กับเครื่องจักร $M3$ เท่านั้น

2) เครื่องจักรมีกำลังการผลิตแตกต่างกัน (Capacitated machine) กำลังการทำงานสูงสุดของแต่ละเครื่องจักรไม่เท่ากัน โดยกำลังการผลิตของ $M1, M2, M4$ เท่ากับ 50 ตัน และกำลังการผลิตของ $M3$ เท่ากับ 80 ตัน

3) เครื่องจักร/คัมพ์เทอ้อย (Dump tippler machine เครื่องจักรเป็นแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน โดยในคาบเวลาใดๆ $M1$ และ $M4$ จะทำงานพร้อมกัน จากนั้น $M2$ และ $M3$ จะทำงานพร้อมกัน ซึ่งจะเป็นไปในลักษณะนี้วนไปเรื่อยๆ จนครบรอบเวลาที่กำหนด ทั้งนี้เนื่องจากการจัดผังการผลิตด้วยเทคโนโลยีกลุ่มในอุตสาหกรรมดังกล่าว

4) เวลาในการทำงานและเวลาตั้งค่า (Processing time and set up time) เวลาทำงานในแต่ละเครื่องจักรไม่เท่ากันขึ้นกับปริมาณอ้อยในรถบรรทุก แต่มีอัตราการทำงานต่อหนึ่งหน่วยเท่ากัน โดยเวลาทำงานของ $M1, M2, M4$ เท่ากับปริมาณอ้อยของรถบรรทุกแต่ละคันหารด้วยอัตราการผลิต (6 นาฬิกา/ตันอ้อย) ในทำนองเดียวกันเวลาทำงานของ $M3$ ปริมาณอ้อยของรถบรรทุกแต่ละคันหารด้วยอัตราการผลิต (8 นาฬิกา/ตันอ้อย) นอกจากนั้นเวลาในการตั้งค่าของแต่ละเครื่องจักรขึ้นกับประเภทของรถบรรทุก โดยค่าระยะเวลาการตั้งค่ารถบรรทุก รถบรรทุกพ่วง และรถบรรทุกต่อยาวพิเศษเท่ากับ 1 นาฬิกา 4 นาฬิกา และ 1.5 นาฬิกา ตามลำดับ

1.2 สัญลักษณ์และข้อจำกัดความ (Parameters definition) ประกอบด้วย ความหมายของดัชนี พารามิเตอร์ และตัวแปรตัดสินใจ (แสดงดังตารางที่ 1 - ตารางที่ 3)

2. รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการารรถบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน (Constructive heuristics based on current practice)

รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการารรถบรรทุกอ้อยเข้าคัมภ์เทอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน จะใช้หลักการ FCFS (First come first served) กล่าวคือรถบรรทุกอ้อยที่เข้ามาก่อน จะได้รับคิวในการเทอ้อยลงคัมภ์เทอ้อยก่อน ตามลำดับการเข้ามาของรถบรรทุก ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักร และข้อจำกัดของโรงงานข้างต้น โดยในการจัดการารในปัจจุบันดังกล่าวยังมิได้มีการคำนึงถึงวัตถุประสงค์อื่น ๆ ร่วมด้วย ได้แก่ เพื่อให้ได้ค่าจำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างทั้งหมดในระบบ ซึ่งรูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการารรถบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน แสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4

3. การพัฒนารูปแบบอัลกอริทึม (Heuristics Development)

การพัฒนารูปแบบอัลกอริทึมสำหรับจัดการารรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมภ์เทอ้อย ในกระบวนการเทอ้อยลงราง ณ ลานอ้อยของโรงงานน้ำตาล ภายใต้ข้อจำกัดของเครื่องจักรและข้อจำกัดอื่นๆของโรงงานน้ำตาล มีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับในการจัดสรรงานเข้าเครื่องจักรให้ได้จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางที่สูงที่สุด รวมทั้งพิจารณาระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดด้วย จึงได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับแก้ไขปัญหามหาศาล ซึ่ง เป็นเชิงอุตสาหกรรมดังกล่าวขึ้น โดยได้นำเสนอรูปแบบอัลกอริทึม 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS (2) อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการารการทำงานแบบรอบ (3) อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการารการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก และ (4) อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละอัลกอริทึมดังนี้

3.1 อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS โดยมีหลักการสำคัญคือจะจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงาน (ผลรวมระหว่างระยะเวลาในการทำงานและระยะเวลาในการตั้งค่าของเครื่องจักร) ที่มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเข้าสู่เครื่องจักรให้ทำงานในคาบเวลาเดียวกัน แต่จะพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS ร่วมด้วย ภายใต้ลำดับและข้อจำกัดของเครื่องจักรของโรงงานกรณีศึกษา ดำเนินการในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนดหรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด และหาค่าตามสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 5

3.2 อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการารการทำงานแบบรอบ โดยมีหลักการที่สำคัญคือจะจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงาน (ผลรวมระหว่างระยะเวลาในการทำงานและระยะเวลาในการตั้งค่าของเครื่องจักร) ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันเข้าสู่เครื่องจักรให้ทำงานในคาบเวลาเดียวกัน โดยขั้นตอนเริ่มจากจะเรียงลำดับเวลาการทำงานทั้งหมดของงานจากมากไปน้อย จากนั้นเลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานมากที่สุดเข้าสู่เครื่องจักร และตามด้วยคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่น้อยที่สุด ภายใต้ลำดับและข้อจำกัดของเครื่องจักรที่กำหนด ดำเนินการในลักษณะนี้สลับกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนดหรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด โดยอัลกอริทึมนี้จะมุ่งเน้นให้มีจำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบมากที่สุดควบคู่กับให้มีปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 6

3.3 อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการารการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก มีหลักการที่สำคัญโดยจะประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก (Weight shortest processing time: WSPT) ซึ่งจะทำให้การพิจารณางานที่มีการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดก่อน แล้วค่อยเรียงตามระยะเวลาการทำงานไปหาน้อยที่สุด กล่าวคือจะจับคู่งานที่มีเวลาการทำงาน



ทั้งหมดของงาน (ผลรวมระหว่างระยะเวลาในการทำงานและระยะเวลาในการตั้งค่าของเครื่องจักร) ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันเข้าสู่เครื่องจักรให้ทำงานในคาบเวลาเดียวกัน โดยขั้นตอนเริ่มจากจะเรียงลำดับเวลาการทำงานทั้งหมดของงานจากมากไปน้อย จากนั้นเลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานมากที่สุดเข้าสู่เครื่องจักร ไปจนถึงคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่น้อยที่สุด ภายใต้ลำดับและข้อจำกัดของเครื่องจักรที่กำหนด ดำเนินการในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบรอบเวลาที่กำหนดหรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด โดยอัลกอริทึมนี้จะมุ่งเน้นให้มีปริมาณต้นอ้อยที่เทลงรางสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 7

3.4 อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยมีหลักการสำคัญคือจะจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงาน (ผลรวมระหว่างระยะเวลาในการทำงานและระยะเวลาในการตั้งค่าของเครื่องจักร) ที่มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเข้าสู่เครื่องจักรให้ทำงานในคาบเวลาเดียวกัน ภายใต้ลำดับและข้อจำกัดของเครื่องจักรที่กำหนด ดำเนินการในลักษณะนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบรอบระยะเวลาที่กำหนดหรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด โดยอัลกอริทึมนี้จะมุ่งเน้นให้มีระยะเวลาวางทั้งหมดในระบบต่ำที่สุด ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 8

จากตารางที่ 3 ในตัวอย่างปัญหาที่ 6 ประกอบด้วย คัมพ์เทอ้อย 4 คัมพ์ รถบรรทุก 12 คัน กรอบเวลาการทำงาน 24 นาที แบ่งกลุ่มๆ ละ 12 คัน สามารถแสดงรายละเอียดแผนภาพการวางแผนการจัดสรรรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทในแต่ละรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอได้ดังภาพที่ 9

ผลการวิจัย

จากการศึกษาได้แสดงประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอได้ ซึ่งจากการทดลองแก้ไขปัญหาก็ได้สร้างตัวอย่างของปัญหาที่มีขนาดแตกต่างกัน รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง โดยปรับค่าจำนวนของงาน จำนวนเครื่องจักร และจำนวนคาบเวลาการทำงาน ซึ่งในแต่ละตัวอย่างมีปัญหาก็แตกต่างกัน 5 ตัวอย่าง โดยปรับค่าพารามิเตอร์ปริมาณของอ้อยในแต่ละงาน กำลังการทำงานของเครื่องจักร ระยะเวลาในการทำงานบนเครื่องจักร ระยะเวลาในการตั้งค่าบนเครื่องจักร และข้อจำกัดของเครื่องจักร รายละเอียดดังตารางที่ 2 ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลจริงของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งผลการทดลองจะแสดงคำตอบของจำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณต้นอ้อยที่เทลงรางสูงสุด รวมทั้งระยะเวลาวางในระบบทั้งหมดต่ำที่สุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละรูปแบบวิธีการที่นำเสนอ แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลได้ดังภาพที่ 10 รวมทั้งการทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ โดยเปรียบเทียบกับรูปแบบของโรงงานปัจจุบันในรูปของค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์ (Percentage of relative improvement, %RI) ตามสมการที่ (1) โดยจากตารางที่ 5 ค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์ ในส่วนจำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบของรูปแบบอัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A4 เมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงานมีค่าโดยเฉลี่ย 5.52%, 3.48%, 3.52% และ 6.89% ตามลำดับ ค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์ในส่วนปริมาณต้นอ้อยที่เทลงรางของรูปแบบอัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A4 เมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงานมีค่าโดยเฉลี่ย 6.81%, 4.88%, 6.55% และ 7.12% ตามลำดับ และค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์ในส่วนระยะเวลาวางในระบบทั้งหมดของรูปแบบอัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A4 เมื่อเทียบกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงานมีค่าโดยเฉลี่ย 52.00%, 42.06%, 43.79% และ 61.52% ตามลำดับ รวมทั้งได้พิจารณาระยะเวลาในการคำนวณของรูปแบบอัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A4 เทียบกับรูปแบบปัจจุบันของโรงงานมีค่าโดยเฉลี่ย 0.67%, 2.97%, 4.98% และ 0.58% (ดังภาพที่ 11) ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ

ด้านการพัฒนาค่าตอบมากที่สุดโดยพิจารณาวัตถุประสงค์ทั้งสามคือ รูปแบบอัลกอริทึม A4 อัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A2 ตามลำดับ และประสิทธิภาพด้านระยะเวลาการคำนวณที่ดีที่สุดคือ รูปแบบอัลกอริทึม A3 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A1 และอัลกอริทึม A4 ตามลำดับ นอกจากนั้นการพิจารณาผลการทดลองทางสถิติในวิธีการ T-Test โดยใช้โปรแกรม SPSS19 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอแต่ละรูปแบบและรูปแบบปัจจุบันของโรงงาน (รูปแบบอัลกอริทึม C-A1, C-A2, C-A3, C-A4, A1-A2, A1-A3, A1-A4, A2-A3, A2-A4, และ A3-A4) ในส่วนคุณภาพค่าตอบแตกต่างกันอย่างมีนัยสัมพันธ์ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05) และในส่วนของระยะเวลาการคำนวณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสัมพันธ์ที่ค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value มีค่ามากกว่า 0.05)

$$RI = \frac{Sol_{cur} - Sol_{heu}}{Sol_{cur}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ RI แทนค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์

Sol_{cur} แทนค่าตอบจากรูปแบบอัลกอริทึมของโรงงานในปัจจุบัน

Sol_{heu} แทนค่าตอบจากรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจัดตารางรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อยของขั้นตอนการเทอ้อยลงรางในกระบวนการจัดการหน้าลาน กรณีศึกษาโรงงานน้ำตาลในประเทศไทย เพื่อแก้ไขปัญหาในลักษณะ $R_m | p_{i,j}, s_{i,j}, M_{i,j,k} | \text{Number out, Sugarcane quantity, Idle time}$ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของการจัดสรรงานเข้าเครื่องจักรให้ได้จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณต้นอ้อยที่เทลงรางที่สูงที่สุด รวมทั้งระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมดต่ำที่สุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด ซึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับแก้ไขปัญหาขนาดใหญ่ในเชิงอุตสาหกรรมประกอบด้วย 4 รูปแบบ ได้แก่ (1) อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS (2) อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ (3) อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก และ (4) อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน ทั้งนี้เพื่อให้ง่าย สะดวก และเข้าใจได้ง่ายต่อการนำไปใช้งานของโรงงานกรณีศึกษา และได้ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอเปรียบเทียบกับรูปแบบอัลกอริทึมของโรงงานในปัจจุบัน ผลปรากฏว่า รูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอที่มีประสิทธิภาพด้านการพัฒนาค่าตอบมากที่สุดโดยพิจารณาวัตถุประสงค์ทั้งสามคือ รูปแบบอัลกอริทึม A4 อัลกอริทึม A1 อัลกอริทึม A3 และอัลกอริทึม A2 ตามลำดับ และประสิทธิภาพด้านระยะเวลาการคำนวณที่ดีที่สุดคือรูปแบบอัลกอริทึม A3 อัลกอริทึม A2 อัลกอริทึม A1 และอัลกอริทึม A4 ตามลำดับ โดยประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพดีกว่ารูปแบบอัลกอริทึมของโรงงานในปัจจุบันตามลำดับทั้งแง่คุณภาพของค่าตอบและระยะเวลาในการคำนวณ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อยของขั้นตอนการเทอ้อยลงรางในกระบวนการจัดการหน้าลานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลดังกล่าวได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำมาเป็นต้นแบบเพื่อแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรมใกล้เคียงได้



กิตติกรรมประกาศ

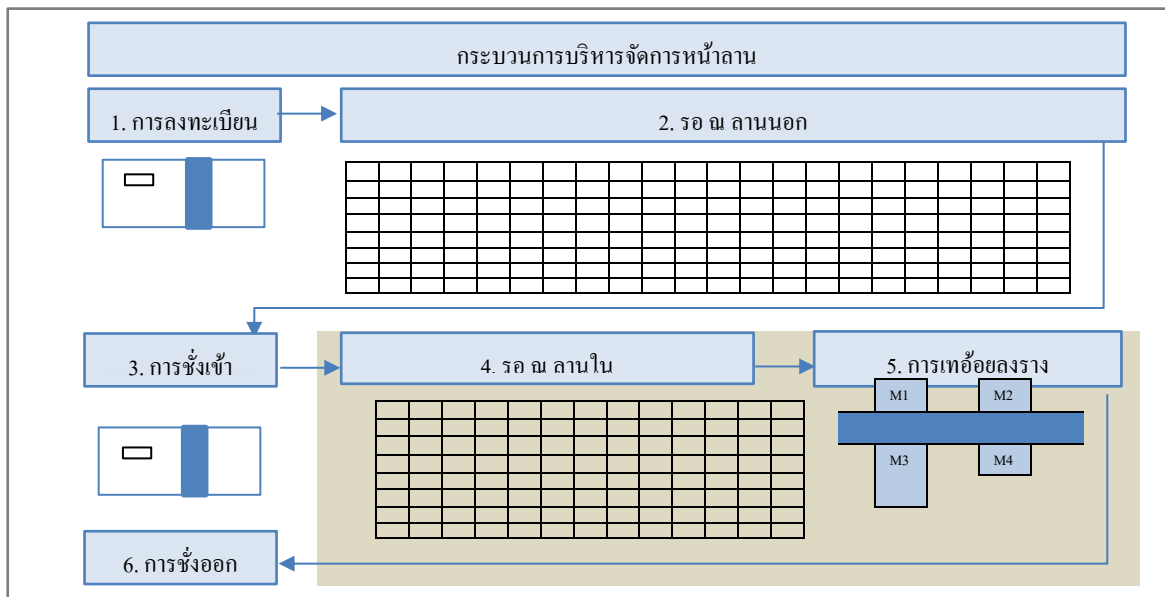
การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) (สัญญาเลขที่ PHD58I0041) ร่วมกับบริษัทน้ำตาลราชบุรี จำกัด และกลุ่มวิจัยการพัฒนาโมเดลเชิงระบบสำหรับอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย รวมทั้งขอขอบพระคุณ Professor Richard F. Hartl Department of Business Administration, Faculty of Business, Economics and Statistics, University of Vienna, Vienna, Austria

เอกสารอ้างอิง

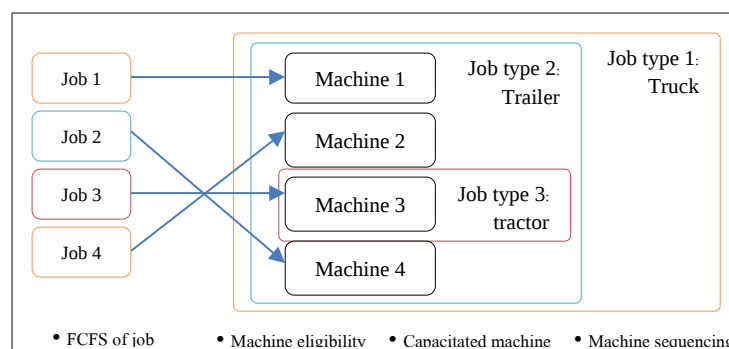
1. Thai Sugar Millers Corporation Limited. Map of Sugar Factory in Thailand based on Production Crop 2016/2017 [Internet]. 2016 [cited 2018 Apr 8]. p. 4–8. Available from: [http://www.thaisugarmillers.com/fig for web/tsmc-01-05/map of sugar factories.pdf](http://www.thaisugarmillers.com/fig%20for%20web/tsmc-01-05/map%20of%20sugar%20factories.pdf)
2. Office of the Cane and Sugar Board. The annual report of sugarcane plantation and sugar production in 2016/2017 [Internet]. 2017 [cited 2018 Apr 8]. Available from: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-9999.pdf>
3. Petchseechoung W. Industry Trends 2016-2018; Sugar Industry. 2016.
4. Bank of Thailand. New S-Curve Sugarcane and Sugar Industry in Thailand. 2018;1–34.
5. Sethanan K, Chetchotsak D, Tongsokhowong A, Chaikanha N, Kusoncum C. Inbound logistics models for Thai Sugar Industry in preparation for the AEC framework. In: Proceedings of the APIEMS2012 Conference; 2012 December 2–5; Phuket, Thailand.
6. Tinnongwatthana T. Sugar cane harvest and transportation [Internet]. Office of the Cane and Sugar Board. 2013 [cited 2016 Sep 2]. Available from: [http://oldweb.ocsb.go.th/udon/All text/1.Article/01-Article P9.1.htm](http://oldweb.ocsb.go.th/udon/All%20text/1.Article/01-Article%20P9.1.htm)
7. Sangsawang C. Scheduling Flexible Flow Shop with Multi-Purpose Machine in A Hard Disk Drive Industry [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2015. Thai.
8. Neungmatcha W. A Model for Integrating Inbound Logistics of a Mill Region [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2014. Thai.



ภาพที่ 1 ห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของประเทศไทย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนในกระบวนการบริหารจัดการหน้าลานในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของประเทศไทย



ภาพที่ 3 ลักษณะปัญหาการจัดการตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่อเทอ้อยลงราง



รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการารรถบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน

- ขั้นตอนที่ 1:** พิจารณาลำดับของเครื่องจักร ms และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2
- ขั้นตอนที่ 2:** จัดสรรคู่งานเข้าสู่เครื่องจักรตามหลักการ FCFS โดยพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3
- ขั้นตอนที่ 3:** คำนวณระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k ตามสมการ $CT_{i,j,k} = p_{i,j} + s_{i,j}$ และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4
- ขั้นตอนที่ 4:** ดำเนินการจนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด หรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด ซึ่งการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด จะพิจารณากรอบเวลาในการจัดการารงานดังกล่าว โดยพิจารณา $MAX \{CT_{i,j,k}\} > T$ หรือพิจารณาจำนวนงานที่จัดสรรแล้วครบตามกำหนดหรือไม่ และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5
- ขั้นตอนที่ 5:** คำนวณหาค่าตามสมการวัตถุประสงค์ (1) จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบทั้งหมดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (2) ปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และ (3) ระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 4 รูปแบบอัลกอริทึมของโรงงานในปัจจุบัน

อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS

- ขั้นตอนที่ 1:** พิจารณาลำดับของเครื่องจักร ms และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2
- ขั้นตอนที่ 2:** จัดสรรคู่งานเข้าสู่เครื่องจักรจะเลือกคู่งานที่มีระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักรแตกต่างกันน้อยที่สุด โดยงานแรกของคู่งานเลือกตามหลักการ FCFS โดยพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} และงานที่สองของคู่งานจะเลือกงานที่มีระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k แตกต่างกันน้อยที่สุด โดย $\min |CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}|$ จัดสรรงานเข้าสู่เครื่องจักร ซึ่งพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} (โดยที่ระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k มีค่า $CT_{i,j,k} = p_{i,j} + s_{i,j}$) และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3
- ขั้นตอนที่ 3:** ดำเนินการจนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด หรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด ซึ่งการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด จะพิจารณากรอบเวลาในการจัดการารงานดังกล่าว โดยพิจารณา $MAX \{CT_{i,j,k}\} > T$ หรือพิจารณาจำนวนงานที่จัดสรรแล้วครบตามกำหนดหรือไม่ จากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4
- ขั้นตอนที่ 4:** คำนวณหาค่าตามสมการวัตถุประสงค์ (1) จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบทั้งหมดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (2) ปริมาณตันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และ (3) ระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 5 อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน

โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS

อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ

ขั้นตอนที่ 1: พิจารณาลำดับของเครื่องจักร ms และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2: เรียงลำดับเวลาการทำงานทั้งหมดของงานจากมากไปน้อย

จากนั้นเลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่เท่ากันเข้าสู่เครื่องจักร โดย $|CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}| = 0$

จากนั้นเลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานมากที่สุดเข้าสู่เครื่องจักร โดย $\text{MIN} |CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}|$

และตามด้วยคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่น้อยที่สุด โดย $\text{MAX} |CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}|$

(โดยที่ระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k มีค่า $CT_{i,j,k} = p_{i,j} + s_{i,j}$)

พร้อมทั้งพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} ต่อจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3: ดำเนินการจนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด หรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด

ซึ่งการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด จะพิจารณากรอบเวลาในการจัดตารางงานดังกล่าว โดยพิจารณา $\text{MAX} \{CT_{i,j,k}\} > T$

หรือพิจารณาจำนวนงานที่จัดสรรแล้วครบตามกำหนดหรือไม่ และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณหาค่าตามสมการวัตถุประสงค์ (1) จำนวนงาน (รอบบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบทั้งหมดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (2) ปริมาณต้นอ้อยที่หลงรางสูงสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และ (3) ระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 6 อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ

อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะเวลาการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก

ขั้นตอนที่ 1: พิจารณาลำดับของเครื่องจักร ms และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2: เรียงลำดับเวลาการทำงานทั้งหมดของงานจากมากไปน้อย

จากนั้นเลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่เท่ากันเข้าสู่เครื่องจักร โดย $|CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}| = 0$

และตามด้วยคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่น้อยที่สุด โดย $\text{MAX} |CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}|$

(โดยที่ระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k มีค่า $CT_{i,j,k} = p_{i,j} + s_{i,j}$)

พร้อมทั้งพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} ต่อจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3: ดำเนินการจนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด หรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด

ซึ่งการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด จะพิจารณากรอบเวลาในการจัดตารางงานดังกล่าว โดยพิจารณา $\text{MAX} \{CT_{i,j,k}\} > T$

หรือพิจารณาจำนวนงานที่จัดสรรแล้วครบตามกำหนดหรือไม่ และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณหาค่าตามสมการวัตถุประสงค์ (1) จำนวนงาน (รอบบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบทั้งหมดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (2) ปริมาณต้นอ้อยที่หลงรางสูงสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และ (3) ระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด

ภาพที่ 7 อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบโดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะเวลาการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก



อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน

ขั้นตอนที่ 1: พิจารณาลำดับของเครื่องจักร ms และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2: เลือกคู่งานที่มีเวลาการทำงานทั้งหมดของงานที่มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเข้าสู่เครื่องจักรให้ทำงานในคาบเวลาเดียวกัน

$$\text{โดย } \min |CT_{i,j,k} - CT_{i,j+1,k}|$$

(โดยที่ระยะเวลาการแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k มีค่า $(CT_{i,j,k} = p_{i,j} + s_{i,j})$)

พร้อมทั้งพิจารณาจากลำดับของเครื่องจักร ms และข้อจำกัดของเครื่องจักร M_{ijk} ต่อจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3

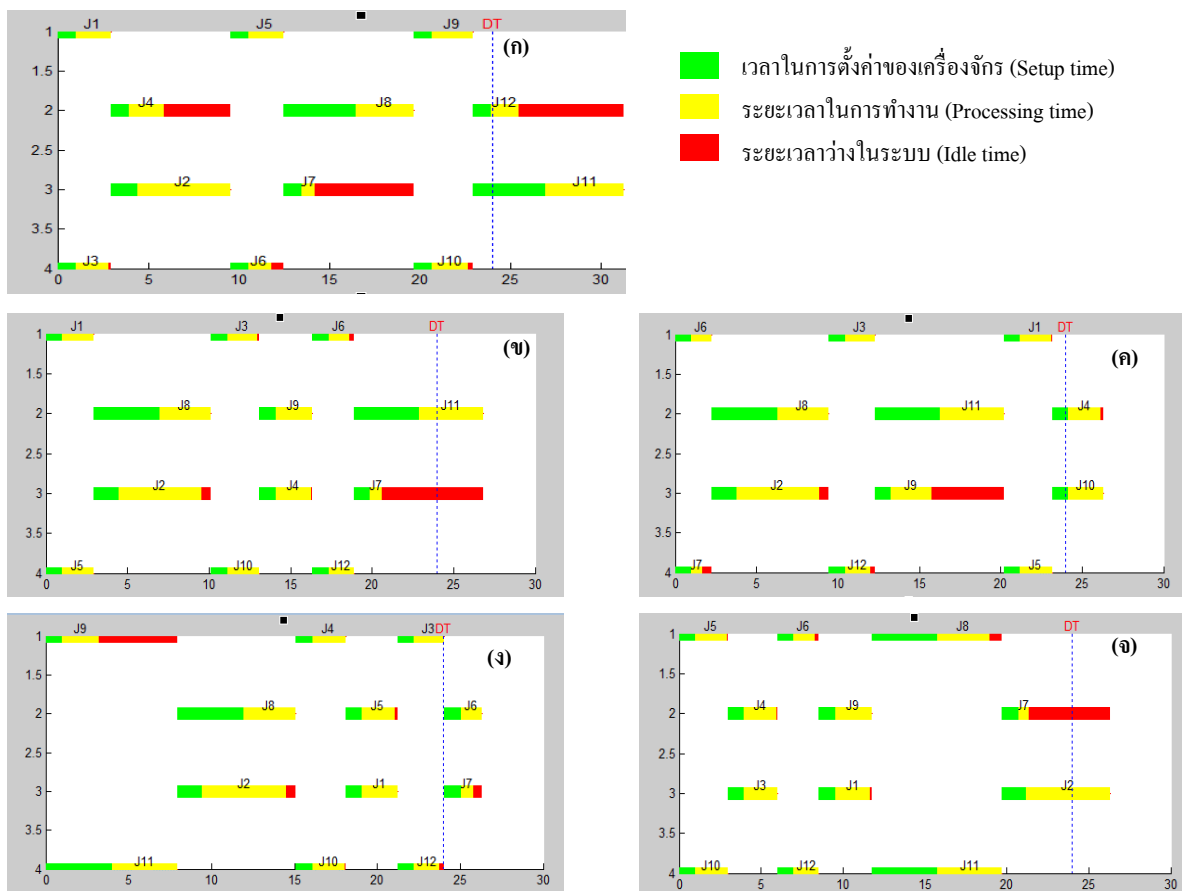
ขั้นตอนที่ 3: ดำเนินการจนกระทั่งครบตามกรอบระยะเวลาที่กำหนด หรือครบตามจำนวนงานที่กำหนด

ซึ่งการตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด จะพิจารณากรอบเวลาในการจัดตารางงานดังกล่าว โดยพิจารณา $\max \{CT_{i,j,k}\} > T$

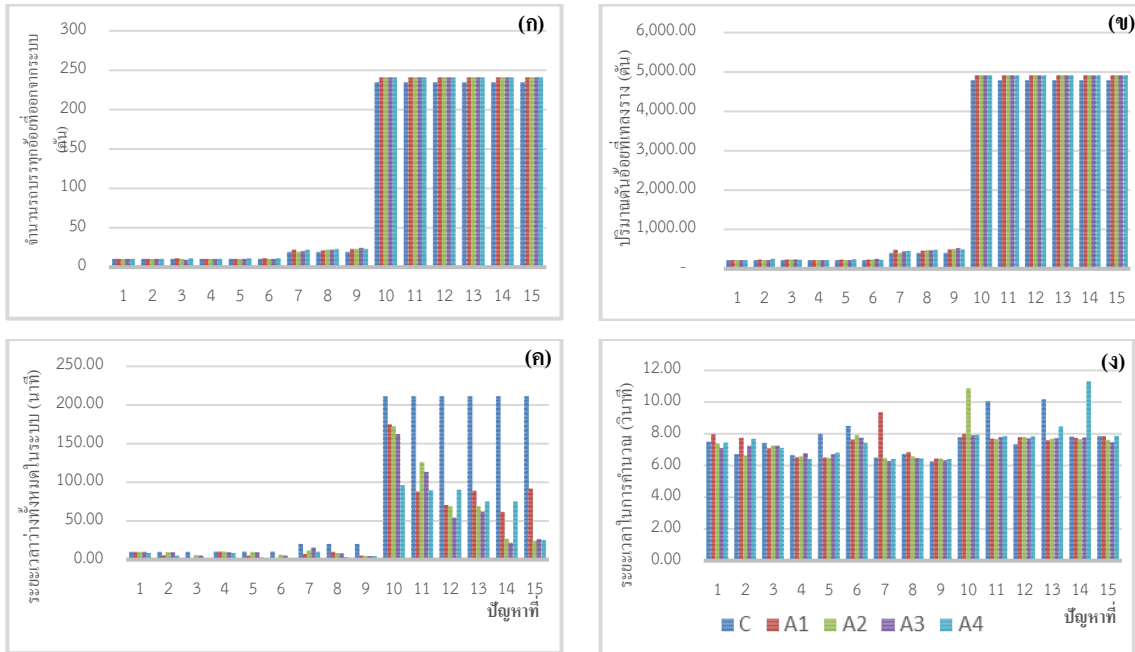
หรือพิจารณาจำนวนงานที่จัดสรรแล้วครบตามกำหนดหรือไม่ และจากนั้นดำเนินการตามขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่าตามสมการวัตถุประสงค์ (1) จำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบทั้งหมดภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด (2) ปริมาณต้นอ้อยที่หลงรางสูงสุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และ (3) ระยะเวลาว่างในระบบทั้งหมด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด

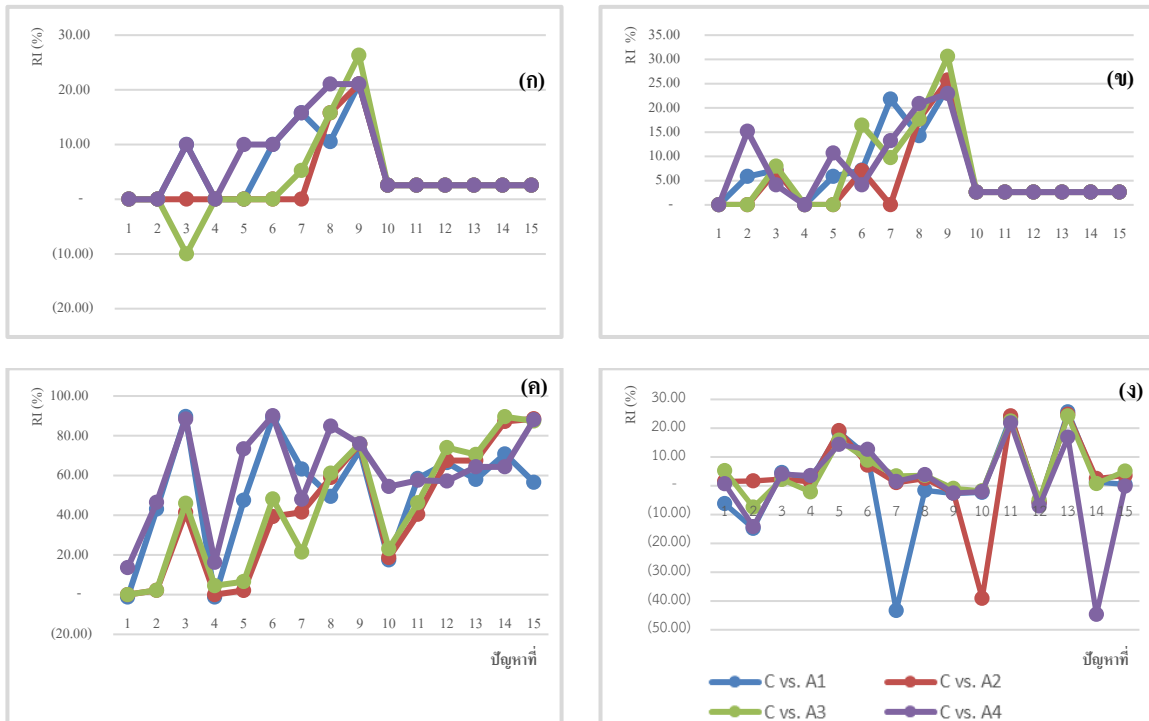
ภาพที่ 8 อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน



ภาพที่ 9 แผนภาพการวางแผนการจัดสรรรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมภ์เตาจากตัวอย่างที่ 6 (ก) รูปแบบของโรงงานในปัจจุบัน (ข) รูปแบบอัลกอริทึม A1 (ค) รูปแบบอัลกอริทึม A2 (ง) รูปแบบอัลกอริทึม A3 และ (จ) รูปแบบอัลกอริทึม A4



ภาพที่ 10 ผลเฉลยของรูปแบบอัลกอริทึมที่นำเสนอในแต่ละวัตถุประสงค์ (ก) ผลเฉลยจำนวนรถบรรทุกที่ออกจากระบบ (ข) ผลเฉลยปริมาณสินค้าที่คลัง (ค) ผลเฉลยระยะเวลาในระบบทั้งหมด (ง) ระยะเวลาในการคำนวณ



ภาพที่ 11 การทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบของโรงงานปัจจุบัน โดยใช้ค่าร้อยละการพัฒนาค่าสัมพัทธ์ (ก) จำนวนรถบรรทุกที่ออกจากระบบ (ข) ปริมาณสินค้าที่คลัง (ค) ระยะเวลาในระบบทั้งหมด (ง) ระยะเวลาในการคำนวณ



ตารางที่ 1 ความหมายของดัชนี (Indices)

ดัชนี	ความหมาย
i	ดัชนีของเครื่องจักร $i = \{1, 2, 3, \dots, M\}$
j	ดัชนีของงาน $j = \{1, 2, 3, \dots, N\}$
k	ดัชนีของคาบเวลาในการทำงาน $k = \{1, 2, 3, \dots, O\}$

ตารางที่ 2 ความหมายของพารามิเตอร์ (Parameters)

พารามิเตอร์	ความหมาย
N	จำนวนของงาน
M	จำนวนของเครื่องจักร
O	จำนวนของคาบระยะเวลาในการทำงาน
T	กรอบระยะเวลาในการทำงาน (หน่วย: นาที)
q_j	ปริมาณของอ้อยในแต่ละงาน j หน่วย: ตัน
c_i	ค่าต้นทุนการทำงานของเครื่องจักร i (หน่วย: ตัน)
$p_{i,j}$	ระยะเวลาในการทำงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j (หน่วย: นาที)
$s_{i,j}$	ระยะเวลาในการตั้งค่านเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j (หน่วย: นาที)
$M_{i,j,k}$	ข้อจำกัดของเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k

ตารางที่ 3 ความหมายของตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

ตัวแปรตัดสินใจ	ความหมาย	ชนิดของตัวแปร
$CT_{i,j,k}$	เวลาแล้วเสร็จของงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k	ตัวแปรตัดสินใจ
$ST_{i,j,k}$	เวลาเริ่มทำงานบนเครื่องจักร i เมื่อทำงาน j ณ คาบเวลาที่ k	(Decision variables)

ตารางที่ 4 ค่าคำตอบของจำนวนงาน (รถบรรทุกอ้อย) ที่ออกจากระบบ และปริมาณคันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด รวมทั้งระยะเวลาว่างทั้งหมดในระบบค้ำที่สุด ภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด และระยะเวลาในการคำนวณในแต่ละรูปแบบวิธีการที่นำเสนอ

ขนาดปัญหา	ปัญหา						จำนวนงานที่ออกจากระบบ (คัน)					ปริมาณคันอ้อยที่เทลงรางสูงสุด (คัน)					ระยะเวลาว่างทั้งหมดในระบบ (นาที)					ระยะเวลาในการคำนวณ (วินาที)				
	ปัญหาที่	จำนวนเครื่องจักร i	จำนวนงาน j	จำนวนเวลา k	กรอบเวลา (นาที)	จำนวนการจัดกลุ่ม (คัน)	C	A1	A2	A3	A4	C	A1	A2	A3	A4	C	A1	A2	A3	A4	C	A1	A2	A3	A4
ขนาดเล็ก	1	4	12	6	24	4	10	10	10	10	10	215.83	215.83	215.83	215.83	215.83	10.11	10.24	10.11	10.11	8.74	7.49	7.95	7.37	7.09	7.43
	2	4	12	6	24	6	10	10	10	10	10	215.83	228.47	215.83	215.83	248.56	10.11	5.76	9.89	9.89	5.42	6.72	7.72	6.61	7.22	7.68
	3	4	12	6	24	12	10	11	10	9	11	215.83	231.28	231.01	233.07	224.68	10.11	1.05	5.93	5.46	1.17	7.41	7.07	7.23	7.24	7.11
	4	6	12	6	24	4	10	10	10	10	10	215.83	215.83	215.83	215.83	215.83	10.43	10.56	10.43	9.97	8.74	6.64	6.50	6.55	6.78	6.41
	5	6	12	6	24	6	10	10	10	10	11	215.83	228.47	215.83	215.83	238.89	10.43	5.48	10.22	9.75	2.78	7.97	6.49	6.44	6.71	6.82
	6	6	12	6	24	12	10	11	10	10	11	215.83	231.28	231.01	251.24	224.68	10.43	1.13	6.33	5.41	1.04	8.50	7.62	7.89	7.75	7.43
	7	8	24	12	48	8	19	22	19	20	22	403.44	491.35	403.44	442.72	456.74	20.11	7.40	11.76	15.81	10.45	6.51	9.33	6.44	6.29	6.41
	8	8	24	12	48	16	19	21	22	22	23	403.44	460.97	474.78	474.78	487.64	20.11	10.17	8.25	7.81	3.06	6.72	6.83	6.55	6.48	6.46
	9	8	24	12	48	24	19	23	23	24	23	403.44	501.17	507.26	526.92	496.02	20.11	5.49	4.87	4.83	4.84	6.25	6.42	6.41	6.31	6.41
ขนาดใหญ่	10	4	240	120	540	12	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	174.12	171.58	162.12	96.07	7.78	7.96	10.82	7.92	7.94
	11	4	240	120	540	24	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	87.56	125.70	113.35	89.50	10.05	7.67	7.62	7.79	7.86
	12	4	240	120	540	48	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	70.69	68.50	54.71	90.29	7.34	7.77	7.76	7.70	7.85
	13	4	240	120	540	60	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	88.67	68.60	62.11	75.23	10.18	7.57	7.65	7.71	8.46
	14	4	240	120	540	120	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	61.57	27.07	22.06	75.22	7.82	7.72	7.63	7.76	11.32
	15	4	240	120	540	240	234	240	240	240	240	4,781.43	4,907.25	4,907.25	4,907.25	4,907.25	210.85	91.62	24.21	26.56	25.17	7.86	7.82	7.58	7.46	7.87

หมายเหตุ อัลกอริทึม C: รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดตารางรถบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน

อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS

อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ

อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดตารางการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก

อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน



ตารางที่ 5 การทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบของโรงงานปัจจุบัน โดยใช้ค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์

ปัญหา							จำนวนงานที่ออกจากระบบ (คัน)				ปริมาณตันอ้อยที่ทอรางสูงสุด (คัน)				ระยะเวลาว่างทั้งหมดในระบบ (นาท)				ระยะเวลาในการคำนวณ (วินาที)			
แบบทดสอบ	ปัญหาที่	จำนวนอ้อยคัน	จำนวนอ้อยคัน	จำนวนอ้อยคัน	จำนวนอ้อยคัน	จำนวนอ้อยคัน	C&A1	C&A2	C&A3	C&A4	C&A1	C&A2	C&A3	C&A4	C&A1	C&A2	C&A3	C&A4	C&A1	C&A2	C&A3	C&A4
ชุดแรก	1	4	12	6	24	4	-	-	-	-	-	-	-	-	- 1.25	-	-	13.59	- 6.21	1.52	5.25	0.68
	2	4	12	6	24	6	-	-	-	-	5.86	-	-	15.16	43.08	2.16	2.16	46.42	- 14.79	1.67	- 7.44	- 14.19
	3	4	12	6	24	12	10.00	-	- 10.00	10.00	7.16	7.03	7.99	4.10	89.63	41.38	45.98	88.40	4.59	2.35	2.22	4.07
	4	6	12	6	24	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-1.21	-	4.48	16.27	2.09	1.36	- 2.12	3.51
	5	6	12	6	24	6	-	-	-	10.00	5.86	-	-	10.68	47.51	2.09	6.57	73.39	18.58	19.15	15.81	14.35
	6	6	12	6	24	12	10.00	-	-	10.00	7.16	7.03	16.41	4.10	89.20	39.30	48.18	90.08	10.31	7.14	8.87	12.63
	7	8	24	12	48	8	15.79	-	5.26	15.79	21.79	-	9.74	13.21	63.22	41.53	21.40	48.01	- 43.35	1.07	3.40	1.48
	8	8	24	12	48	16	10.53	15.79	15.79	21.05	14.26	17.68	17.68	20.87	49.45	58.98	61.16	84.80	- 1.59	2.53	3.61	3.86
	9	8	24	12	48	24	21.05	21.05	26.32	21.05	24.22	25.73	30.61	22.95	72.72	75.80	75.99	75.95	- 2.65	- 2.49	- 0.92	- 2.53
ชุดใหม่	10	4	240	120	540	12	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	17.42	18.62	23.11	54.44	- 2.30	- 39.08	- 1.75	- 2.04
	11	4	240	120	540	24	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	58.47	40.38	46.24	57.55	23.75	24.26	22.49	21.84
	12	4	240	120	540	48	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	66.47	67.51	74.05	57.18	- 5.85	- 5.73	- 4.87	- 7.02
	13	4	240	120	540	60	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	57.95	67.46	70.54	64.32	25.66	24.81	24.25	16.86
	14	4	240	120	540	120	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	70.80	87.16	89.54	64.33	1.30	2.52	0.75	- 44.67
	15	4	240	120	540	240	2.56	2.56	2.56	2.56	2.63	2.63	2.63	2.63	56.55	88.52	87.41	88.06	0.49	3.53	5.11	- 0.15
ค่าเฉลี่ย							5.52	3.48	3.52	6.89	6.81	4.88	6.55	7.12	52.00	42.06	43.79	61.52	0.67	2.97	4.98	0.58

หมายเหตุ อัลกอริทึม C: รูปแบบอัลกอริทึมในการจัดการบรรทุกอ้อยของโรงงานในปัจจุบัน

อัลกอริทึม A1: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน โดยพิจารณาลำดับการมาถึงของงานตามหลักการ FCFS

อัลกอริทึม A2: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการการทำงานแบบรอบ

อัลกอริทึม A3: รูปแบบอัลกอริทึมของการจัดการการทำงานแบบรอบ โดยประยุกต์ใช้หลักการของระยะการทำงานที่สั้นที่สุดที่มีการถ่วงน้ำหนัก

อัลกอริทึม A4: รูปแบบอัลกอริทึมแบบจับคู่งานที่มีเวลาการทำงานเท่ากัน