

การจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด เมื่อพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลง และประเภทของรถตัดอ้อย

Mechanical Harvester Route Planning of Sugarcane Harvesting with Field Conditions and Types of Mechanical Harvester

ศิริพันธ์ บุญสุชาติ (Sirin Boonsuchat)* ดร.กาญจนา เสรฐนนท์ (Dr.Kanchana Sethanan)^{1**}
ดร.ฐิติพงษ์ จำรัส (Dr.Thitipong Jamrus)*** ดร.ชุลีพร กุศลคุ้ม (Dr.Chuleepawn Kusonkoom)****
ดร.ศิริรัตน์ พัฒนไพโรจน์ (Dr.Sirorat Pattanapairoj)*****

(Received: October 7, 2020; Revised: December 20, 2020; Accepted: December 22, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อยด้วยการพัฒนาแบบทางคณิตศาสตร์ จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่า การเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดยังขาดประสิทธิภาพในการจัดการที่ดี ทำให้ส่งผลต่อต้นทุนการเก็บเกี่ยว ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว รวมไปถึงคุณภาพของอ้อย จึงจำเป็นต้องมีการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งรูปแบบการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อยเป็นปัญหาในลักษณะเครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน ภายใต้เงื่อนไขการใช้รถตัดอ้อยที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่การเก็บเกี่ยว และเงื่อนไขด้านเวลาในการเตรียมแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการพัฒนาคำตอบและด้านระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ ซึ่งอยู่ภายใต้กรอบระยะเวลาที่โรงงานกรณีศึกษายอมรับได้

ABSTRACT

This research focused on the problem of the sugarcane mechanical harvester scheduling based on field conditions and types of mechanical harvesters through development of a mathematical model. Presently, sugarcane mechanical harvesting is found to lack management efficiency. As a result, the harvesting cost has been high, the process is time-consuming and the sugarcane quality is low. It was thus necessary to schedule harvesting with an efficient sugarcane mechanical harvester. This problem was defined as Unrelated Parallel Machine (UPM) with Sequence Dependent Setup Times (SDST) where machine eligibility was included. The objective was to minimize the makespan. The results illustrate that the developed mathematical model was efficient not only in the development of solutions but also the duration in searching for solutions under satisfactory time frame for the case study factory.

คำสำคัญ: การจัดตารางการเก็บเกี่ยว เครื่องจักรแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน รูปแบบทางคณิตศาสตร์

Keywords: Harvest scheduling, Unrelated parallel machine, Mathematical model

¹Corresponding author: skanch@kku.ac.th

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****อาจารย์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***** อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมการเกษตรเป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศ โดยทั่วไปแล้วสินค้าเกษตรจะมีความซับซ้อนกว่าสินค้าทั่วไปคือ จะมีอัตราผลผลิต (Yield) ในแต่ละเวลาที่แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นฤดูกาล และสภาพภูมิประเทศที่แตกต่างกันไป โดยในอุตสาหกรรมการเกษตรจะประกอบไปด้วยกิจกรรมหลัก ๆ ได้แก่ การเพาะปลูก/เพาะเลี้ยง การเก็บเกี่ยว การรวบรวมผลผลิต การขนส่ง การผลิต/แปรรูป การจัดการคลังสินค้า โดยอ้อยและน้ำตาลทรายเป็นสินค้าเกษตรที่มีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับที่สามารถรองจากยางพารา และข้าวตามลำดับ [1] ทำให้อ้อยเป็นพืชอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลกรองจากประเทศบราซิล [2] โดยอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายได้สร้างรายได้เข้าสู่ประเทศต่อปีจำนวนมาก ในฤดูกาลผลิตปี 2560/61 มีพื้นที่ปลูกอ้อยทั่วประเทศประมาณ 11 ล้านไร่ สร้างผลผลิตในรูปของน้ำตาลทรายได้สูงถึง 134 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าโดยรวมประมาณ 200,000 ล้านบาทต่อปี โดยไม่รวมมูลค่าของผลิตภัณฑ์ต่อเนื่องอื่น ๆ ที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้อีกนับแสนล้านบาทเช่นกัน [3] อ้อยเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรที่มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งในการสร้างอาชีพให้แก่เกษตรกร และยังเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐาน ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มต่อไป [4] โดยอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศไทยแบ่งระบบห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1) ระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) ประกอบไปด้วยกิจกรรมการเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว การรวบรวมวัตถุดิบ การขนส่ง และการจัดการหน้าลาน 2) ระบบโลจิสติกส์ภายใน (Internal logistics) ประกอบไปด้วยกิจกรรมการวางแผนการผลิต การควบคุมคุณภาพการขนถ่ายวัสดุ การบรรจุ การจัดเก็บ และการจัดการสารสนเทศ ส่วนสุดท้ายคือ 3) ระบบโลจิสติกส์ขาออก (Outbound logistics) ประกอบไปด้วยกิจกรรมการสื่อสาร การตลาด การขนส่ง การกระจายสินค้า การจัดการคลังสินค้า การส่งออก และการจัดการสารสนเทศ จากการสำรวจระบบห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ทั้ง 3 ส่วน พบว่าระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายมีกิจกรรมหลักที่เป็นคอขวดและส่งผลต่อต้นทุนการผลิตอ้อยและน้ำตาลทรายถึงร้อยละ 60 ของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งถือได้ว่ามีต้นทุนที่สูงที่สุดในระบบห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย โดยกิจกรรมที่เกิดขึ้นต้นทุนที่สูงที่สุดในระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายคือกิจกรรมการเก็บเกี่ยว [5]

การเก็บเกี่ยวอ้อยในปัจจุบันสามารถแบ่งลักษณะการเก็บเกี่ยวออกเป็น 3 ลักษณะ คือ 1) การตัดอ้อยและการขนอ้อยขึ้นรถด้วยแรงงานคนทั้งหมด 2) การตัดอ้อยด้วยแรงงานคนและขึ้นอ้อยด้วยรถถีบ และ 3) การตัดอ้อยด้วยรถตัดเพื่อใช้ทดแทนแรงงานคน โดยประเทศไทยมีลักษณะการตัดอ้อยและการขนอ้อยขึ้นรถด้วยแรงงานคนทั้งหมดมากที่สุด แต่เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนแรงงานในภาคการเกษตรที่มีความรุนแรงมากขึ้น ทำให้มีการนำเครื่องจักรกลการเกษตรมาใช้ในการเก็บเกี่ยวอ้อย [6] เพื่อตอบสนองความต้องการผลผลิตของตลาดทั้งในด้านปริมาณและระยะเวลา โดยการเพิ่มขึ้นของความต้องการน้ำตาลทรายในตลาดโลก จากปัจจัยเศรษฐกิจที่เติบโตขึ้นและการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก จึงคาดการณ์ว่าอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายจะมีการขยายตัวของตลาดการส่งออกน้ำตาลอย่างต่อเนื่อง แต่ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรทั้งพื้นที่เพาะปลูก แรงงาน กำลังการผลิตของโรงงาน และปัจจัยสนับสนุนการผลิตอื่น ๆ เช่น ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรง หรือปัจจัยการผลิตมีการปรับตัวสูงขึ้น ทำให้สภาวะการแข่งขันในอุตสาหกรรมการเกษตรมีความรุนแรงมากขึ้น โดยร้อยละ 80 ของเกษตรกรทั้งหมดของประเทศ ส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรรายเล็กที่มีพื้นที่เพาะปลูกขนาดเล็กไม่เกิน 10 ถึง 20 ไร่ ที่ยังขาดความสามารถในการบริหารจัดการและมีอำนาจในการลงทุนที่ค่อนข้างต่ำ จึงจำเป็นจะต้องมีระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ [7] โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือการบริหารจัดการ

วัตถุดิบในส่วนในระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) ของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ที่เป็นหัวใจสำคัญของอุตสาหกรรมประเภทนี้ โดยอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายจะมีคุณลักษณะของวัตถุดิบทางการเกษตรที่แตกต่างจากวัตถุดิบในภาคอุตสาหกรรมการผลิตอื่นคือ เป็นวัตถุดิบทางการเกษตรที่มีการเน่าเสียได้ รวมทั้งราคาที่ได้จากการขายวัตถุดิบ นอกจากจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักรวมของอ้อยแล้วยังขึ้นอยู่กับค่าความหวานของอ้อย (Commercial Cane Sugar: CCS) อีกด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้การแปรรูปน้ำตาลต่อตันอ้อยได้มากขึ้น [5]

เนื่องจากการเก็บเกี่ยวอ้อยที่ดีที่สุดนั้นจะต้องเกี่ยวเก็บอ้อยในช่วงเวลาที่อ้อยให้ผลผลิตน้ำตาลสูงสุด ซึ่งในช่วงการเกี่ยวเกี่ยวจะต้องจัดเตรียมทรัพยากรให้มีความพร้อมให้มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรกลการเกษตรในการเกี่ยวเกี่ยว (รถตัดอ้อย) ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่การเกี่ยวเกี่ยว รถบรรทุกอ้อยที่มีจำนวนเพียงพอต่อความต้องการ รวมไปถึงพนักงานขับรถตัดที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม จากความไม่พร้อมในการเกี่ยวเกี่ยว ไม่ว่าจะเป็นการขาดแคลนทรัพยากรที่ใช้ในการเกี่ยวเกี่ยว ทำให้เกิดปัญหาด้านการเกี่ยวเกี่ยวคือ การเกี่ยวเกี่ยวอ้อยที่ล่าช้า ทำให้ค่าความหวานและน้ำหนักรวมของอ้อยลดลงส่งผลให้ผลผลิตน้ำตาลต่อตันอ้อยต่ำลง และยังทำให้เกิดค่าใช้จ่ายของโรงงานที่เพิ่มมากขึ้นจากความล่าช้าในการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน รวมไปถึงการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร (รถตัดอ้อย) ที่ไม่เหมาะสมกับพื้นที่การเกี่ยวเกี่ยว (รถตัดบางคันสามารถเกี่ยวเกี่ยวได้เฉพาะบางแปลง) ซึ่งความท้าทายในการเกี่ยวเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรคือ จะทำการเกี่ยวเกี่ยวอย่างไรจึงจะทำให้ได้ผลผลิตที่มีอัตราผลผลิต (Yield) และคุณภาพที่ดีที่สุด โดยมีต้นทุนต่ำที่สุด และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าทั้งในด้านปริมาณและเวลา ซึ่งระยะเวลาในการเกี่ยวเกี่ยวส่งผลต่อคุณภาพและค่าความหวานของอ้อย หากเกี่ยวเกี่ยวล่าช้าจะทำให้ค่าความหวานและน้ำหนักรวมของอ้อยลดลง จึงจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการและจัดตารางการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด เพื่อทำให้เกิดการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยที่มีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรในการเกี่ยวเกี่ยวอ้อย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของการบริหารจัดการการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยอย่างมีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการศึกษาวิจัยการจัดตารางการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด จากการศึกษาแบบของการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดพบว่า มีรูปแบบการเกี่ยวเกี่ยวของรถตัดอ้อยในรูปแบบขนาน (Parallel Machine) และมีรูปแบบการทำงานของรถตัดอ้อยแบบที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Unrelated Machine) [8] ภายใต้เงื่อนไขความเหมาะสมในการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยคือ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร (รถตัดอ้อย) ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่การเกี่ยวเกี่ยว (รถตัดบางคันสามารถเกี่ยวเกี่ยวได้เฉพาะบางแปลง) (Machine eligibility) นอกจากนั้นยังพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการเตรียมแปลงก่อนการเกี่ยวเกี่ยวที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Sequence Dependent Setup Times: SDST) กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนลำดับของแปลงอ้อยที่จะทำการเกี่ยวเกี่ยวนั้น ส่งผลต่อระยะเวลาในการเตรียมแปลง ซึ่งมีลักษณะที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ได้แก่ ระยะเวลาในการเดินทางของรถตัดจากแปลงปัจจุบันถึงแปลงก่อนหน้า และระยะเวลาในการเปิดหน้าแปลงก่อนการเกี่ยวเกี่ยว ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบปัญหาได้ดังนี้ $R_m \mid M_j, SDST \mid C_{max}$ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing) ส่งผลต่อการลดต้นทุนในระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ซึ่งได้ทำการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับปัญหาการจัดตารางการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับปัญหาการจัดตารางการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเกี่ยวเกี่ยวอ้อยทุกแปลง (ระยะเวลาสะสม ณ แปลงสุดท้าย) ที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing)

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะของปัญหา และนำเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ลักษณะของปัญหา

จากการศึกษารูปแบบของการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดพบว่า มีรูปแบบการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อยในรูปแบบขนาน (Parallel Machine) และมีรูปแบบการทำงานของรถตัดอ้อยแบบที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน (Unrelated Machine) ภายใต้เงื่อนไขความเหมาะสมในการเก็บเกี่ยวอ้อยคือ การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร (รถตัดอ้อย) ที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่การเก็บเกี่ยว (รถตัดบางคันสามารถเก็บเกี่ยวได้เฉพาะบางแปลง) (Machine eligibility) นอกจากนี้ยังพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการเตรียมแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Sequence Dependent Setup Times: SDST) กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนลำดับของแปลงอ้อยที่จะทำการเก็บเกี่ยวนั้น ส่งผลต่อระยะเวลาในการเตรียมแปลง ซึ่งมีลักษณะที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน ได้แก่ ระยะเวลาในการเดินทางของรถตัดจากแปลงปัจจุบันถึงแปลงก่อนหน้า และระยะเวลาในการเปิดหน้าแปลงก่อนการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีรูปแบบลักษณะปัญหาเป็นแบบ $R_m | M_j, S_{DST} | C_{max}$ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing)

โดยรูปแบบของการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดในปัจจุบัน จะเริ่มดำเนินการจากชาวไร่ยื่นความประสงค์ในการเก็บเกี่ยวอ้อยกับทางโรงงาน โดยจะมีข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ชื่อชาวไร่ ปริมาณอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยว และพิกัดของแปลงอ้อย จากนั้นพนักงานฝ่ายไร่ของโรงงาน จะดำเนินการวางแผนการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด โดยพิจารณาจากปริมาณอ้อยที่พร้อมเก็บเกี่ยวของกลุ่มเกษตรกรให้สอดคล้องกับกำลังการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อยแต่ละคัน และการจัดจะแบ่งแยกตามเขตส่งเสริมการปลูกอ้อยในแต่ละเขต โดยการวางแผนดังกล่าว พนักงานฝ่ายไร่ของโรงงานจะดำเนินการตามประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของแต่ละบุคคลที่เคยดำเนินการมาในอดีต ซึ่งในบางกรณีอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร ทำให้มีผลต่อระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวอ้อย ส่งผลต่อคุณภาพของอ้อยทั้งในเรื่องของน้ำหนัก ค่าความหวาน และต้นทุนการเก็บเกี่ยวที่เพิ่มมากขึ้น

2. การพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา

การพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.1 สมมติฐานของปัญหา (Assumptions)

- 2.1.1 พิจารณาการให้บริการของรถตัดโดยเริ่มต้นออกจากจุดจอดไปทำการเก็บเกี่ยวอ้อยในแต่ละแปลง
- 2.1.2 ไม่พิจารณาเวลาพักของรถตัดอ้อย
- 2.1.3 พิจารณารถตัดอ้อยที่มีหลายขนาด
- 2.1.4 พิจารณารูปแบบการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อย ในรูปแบบขนานที่ไม่เกี่ยวข้องกัน (Unrelated Parallel Machine)
- 2.1.5 พิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย (Machine eligibility)
- 2.1.6 พิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการเตรียมแปลงก่อนการเก็บเกี่ยวที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Sequence Dependent Setup Times: SDST) ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเกิดจากระยะเวลาในการเดินทางของรถตัดจากแปลงปัจจุบันถึงแปลงก่อนหน้า และระยะเวลาในการเปิดหน้าแปลงก่อนการเก็บเกี่ยว

- 2.1.7 พิจารณาข้อจำกัดด้านความสามารถในการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อยแต่ละคันที่แตกต่างกัน (Capacitated machine)
- 2.1.8 แปลงอ้อยแต่ละแปลงจะถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดเพียงคันเดียวเท่านั้น
- 2.1.9 รถตัดอ้อยจะเก็บเกี่ยวอ้อยไม่เกินความสามารถในการเก็บเกี่ยวสูงสุดของแต่ละคัน
- 2.1.10 ไม่อนุญาตให้แยกหรือแทรกงานได้ (No preemption)
- 2.1.11 พิจารณาการเก็บเกี่ยวจะต้องมีการกระทำต่อเนื่องจนเสร็จ โดยไม่มีการหยุดหรือรถตัดเสีย (Break down)
- 2.1.12 แปลงอ้อยทุกแปลงพร้อมที่จะเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวทันที (เวลาเริ่มต้นเท่ากันศูนย์)

2.2 สัญลักษณ์และความหมายของตัวแปรในรูปแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแปรที่ใช้ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing) ซึ่งมีสัญลักษณ์และความหมาย ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i	ดัชนีของรถตัด $i \in M$
j, k	ดัชนีของแปลง $j \in N_0, k \in N$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

M	จำนวนรถตัดทั้งหมด
N	จำนวนแปลงอ้อยทั้งหมด
N_0	จำนวนแปลงอ้อยทั้งหมดรวมจุดจออรรถตัด
Pt_{ij}	เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i ที่แปลง j (ชั่วโมง)
St_{ijk}	เวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวแปลง j ก่อนแปลง k โดยรถตัด i (ชั่วโมง)
G	จำนวนเต็มที่มีค่ามาก
Cap_i	ความสามารถในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i (ตัน)
Q_j	ปริมาณอ้อยในแปลง j (ตัน)
M_{ik}	ข้อจำกัดของรถตัด i ที่สามารถเก็บเกี่ยวแปลง k

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

C_{max}	เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลง
Ct_j	เวลาแล้วเสร็จของแปลง j
B_j	เวลาเริ่มต้นเก็บเกี่ยวของแปลง j
X_{ijk}	มีการเก็บเกี่ยวที่แปลง j ก่อนแปลง k โดยรถตัด i
Y_{ik}	มีการเก็บเกี่ยวที่แปลง k โดยรถตัด i

2.3 รูปแบบทางคณิตศาสตร์

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวด้วยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด โดยมีสมการเป้าหมาย (Objective function) และสมการข้อจำกัด (Constraints) ดังแสดงต่อไปนี้

สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$\min C_{max} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{j \in N_0} \sum_{k \in N} St_{ijk} X_{ijk} + \sum_{k \in N} Pt_{ik} Y_{ik} \leq C_{max} \quad \forall i \in M, j \neq k \quad (2)$$

$$\sum_{k \in N} X_{i0k} \leq 1 \quad \forall i \in M \quad (3)$$

$$\sum_{i \in M} Y_{ik} = 1 \quad \forall k \in N \quad (4)$$

$$Y_{ik} = \sum_{j \in N_0} X_{ikj} \quad \forall i \in M, k \in N, j \neq k \quad (5)$$

$$Y_{ik} = \sum_{j \in N_0} X_{ijk} \quad \forall i \in M, k \in N, j \neq k \quad (6)$$

$$Ct_k - Ct_j + G(1 - X_{ijk}) \geq St_{ijk} + Pt_{ik} \quad \forall i \in M, j \in N_0, k \in N, j \neq k \quad (7)$$

$$B_k \leq Ct_k - \sum_{i \in M} Y_{ik} Pt_{ik} \quad \forall k \in N \quad (8)$$

$$B_k - Ct_j + G \left(1 - \sum_{i \in M} X_{ijk} \right) \geq \sum_{i \in M} St_{ijk} X_{ijk} \quad \forall j \in N_0, k \in N, j \neq k \quad (9)$$

$$Ct_k \geq \sum_{i \in M} \sum_{j \in N_0} St_{ijk} X_{ijk} + \sum_{i \in M} Pt_{ik} Y_{ik} \quad \forall k \in N, j \neq k \quad (10)$$

$$\sum_{j \in N_0} \sum_{k \in N} Q_k X_{ijk} \leq Cap_i \quad \forall i \in M, j \neq k \quad (11)$$

$$C_{max} \geq Ct_k \quad \forall k \in N \quad (12)$$

$$M_{ik} - Y_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in M, k \in N \quad (13)$$

$$Ct_0 = 0 \quad (14)$$

$$Ct_k, C_{max}, B_k \geq 0 \quad \forall k \in N \quad (15)$$

$$X_{ijk}, Y_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in M, j \in N_0, k \in N, j \neq k \quad (16)$$

จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ไขปัญหการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย มีสมการเป้าหมาย (1) เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Minimize Makespan) และสมการข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ สมการข้อจำกัด (2) เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวรวมกับเวลาที่ใช้ในการเตรียมของแปลงโดยรถตัดคันเดียวกัน สมการข้อจำกัด (3) รถตัดอ้อยใด ๆ จะทำการเก็บเกี่ยวแปลงแรกได้ไม่เกินหนึ่งแปลง สมการข้อจำกัด (4) อ้อยทุกแปลงจะต้องถูกเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดเพียงคันเดียวเท่านั้น สมการข้อจำกัด (5) มีการเก็บเกี่ยวเพียงหนึ่งแปลงเท่านั้น ก่อนที่จะมีการเก็บเกี่ยวในแต่ละแปลงต่อไป โดยรถตัดคันเดียวกัน สมการข้อจำกัด (6) มีการเก็บเกี่ยวเพียงหนึ่งแปลงเท่านั้น หลังจากที่มีการเก็บเกี่ยวอ้อยในแต่ละแปลงก่อนหน้านี้ โดยรถตัดคันเดียวกัน สมการข้อจำกัด (7) ให้ลำดับการจัดตารางการเก็บเกี่ยวที่ถูกต้อง สมการข้อจำกัด (8) เวลาเริ่มต้นเก็บเกี่ยวของแปลง k ต้องเกิดขึ้นก่อนเวลาแล้วเสร็จของแปลง j สมการข้อจำกัด (9) เวลาแล้วเสร็จในการเตรียมแปลง k ต้องเกิดขึ้นหลังเวลาแล้วเสร็จของแปลง j รวมกับเวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลง k สมการข้อจำกัด (10) การกำหนดค่าขอบเขตล่างของเวลาแล้วเสร็จของแปลง k สมการข้อจำกัด (11) ข้อจำกัดด้านความสามารถในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i สมการข้อจำกัด (12) เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาแล้วเสร็จของแปลง k สมการข้อจำกัด (13) เงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย สมการข้อจำกัด (14) แปลงทุกแปลงพร้อมที่จะเข้าสู่กระบวนการเก็บเกี่ยวทันที (เวลาเริ่มต้นเท่ากันศูนย์) สมการข้อจำกัด (15) ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าเป็นบวก และสมการข้อจำกัด (16) เงื่อนไขของตัวแปรฐานสอง

2.4 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์

ในการศึกษาวิจัยนี้ ได้ดำเนินการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม LINGO (Version 16.0) แสดงดังภาพที่ 1 บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาที่มีประสิทธิภาพ Processor: CPU Intel(R) Core(TM) i7-8550U @ 4.0 GHz. Installed memory (RAM): 8.0 GB. System type: 64bit Operating System ซึ่งได้ดำเนินการทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์กับปัญหามานาคเล็ก โดยกำหนดให้รถตัดอ้อยจำนวน 2 คัน ค่าดัชนีของรถตัด i คือ $\{1, 2\}$ แทนรถตัดคันที่ 1 และรถตัดคันที่ 2 ตามลำดับ และแปลงอ้อยมีจำนวน 10 แปลง ค่าดัชนีของแปลง j, k คือ $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$ โดยกำหนดให้หมายเลข 1 แทนจุดจอดรถตัดก่อนเริ่มให้บริการเก็บเกี่ยว ส่วนหมายเลขอื่น ๆ ที่เหลือแทนแปลงอ้อยแต่ละแปลง $\{2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$ ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 ความสามารถในการเก็บเกี่ยวอ้อยของรถตัด i แสดงดังตารางที่ 1

2.4.2 ปริมาณอ้อยในแปลง j แสดงดังตารางที่ 2

2.4.3 เวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวแปลง j ก่อนแปลง k โดยรถตัด i แสดงดังตารางที่ 3

2.4.4 ข้อจำกัดของแปลงและประเภทของรถตัด แสดงดังตารางที่ 4

2.4.5 เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i แปลงที่ j แสดงดังตารางที่ 5

ซึ่งผลลัพธ์จากการทดสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม LINGO สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยลำดับการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยรถตัดของแต่ละแปลง เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลง (Makespan) และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6 ซึ่งจากการจัดตารางการเก็บเกี่ยวของรถตัดอ้อย รถตัดอ้อยคันที่ 1 มีลำดับการเก็บเกี่ยว คือ แปลงที่ 8 แปลงที่ 6 แปลงที่ 9 แปลงที่ 1 แปลง 2 และแปลงที่ 7 ตามลำดับ

และลดตัดอ้อยคันที่ 2 มีลำดับการเก็บเกี่ยว คือ แปลงที่ 3 แปลงที่ 5 แปลงที่ 10 และแปลงที่ 4 ตามลำดับ ส่งผลให้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลง เท่ากับ 104.28 ชั่วโมง แสดงดังภาพที่ 3 โดยใช้เวลาในการหาคำตอบทั้งหมด 0.13 วินาที

ผลการวิจัย

จากการศึกษาได้แสดงประสิทธิภาพของรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงอ้อยและประเภทของรถตัดอ้อยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของการเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละแปลงโดยใช้รถตัด เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing) จากการทดลองแก้ไขปัญหาได้สร้างตัวอย่างของปัญหาที่มีขนาดแตกต่างกัน รวมทั้งสิ้น 18 ตัวอย่าง ซึ่งในแต่ละตัวอย่างมีปัญหาก็แตกต่างกัน 6 ตัวอย่าง โดยปรับค่าจำนวนรถตัดอ้อย และจำนวนแปลงอ้อย ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลจริงของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน โดยเขตการส่งเสริมการเพาะปลูกอ้อยในเขตหนึ่ง ๆ ของกรณีศึกษา พบว่ารถตัดอ้อย 1 คัน จะรับผิดชอบแปลงอ้อยจำนวน 20 - 100 แปลง ซึ่งการออกแบบการทดลองข้างต้นครอบคลุมกับขนาดของปัญหาจริง จากผลการทดลองจะแสดงค่าคำตอบของระยะเวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลง (หน่วย: ชั่วโมง) และระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ (หน่วย: วินาที) แสดงได้ดังตารางที่ 7 โดยทางผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขนาดของปัญหาที่แตกต่างกันออกเป็น 6 ขนาด โดยในแต่ละขนาดของปัญหานั้นจะแตกต่างกันที่จำนวนแปลงอ้อยที่เพิ่มขึ้นคือ ขนาดปัญหา 10 แปลง 20 แปลง 40 แปลง 60 แปลง 80 แปลง และ 100 แปลง ตามลำดับ และกำหนดให้มีรถตัดอ้อยจำนวน 2 คัน โดยมีระยะเวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลง (Makespan) คือ 104.28 228.39 455.85 683.19 911.03 และ 1138.17 ชั่วโมง ตามลำดับ รวมทั้งระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบมีค่า 0.13 0.26 9.21 11.30 2831.83 และ 109.67 วินาที ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการพัฒนาคำตอบและด้านระยะเวลาในการค้นหาคำตอบ ซึ่งอยู่ภายใต้กรอบระยะเวลาของโรงงานกรณีศึกษาที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งในขณะนี้อยู่ระหว่างการดำเนินการขยายผลการศึกษาวิจัยดังกล่าวร่วมกับโรงงานกรณีศึกษา อย่างไรก็ตามหากพิจารณาในมิติความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการศึกษาวิจัยข้างต้น ระยะเวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวที่สามารถลดลงได้นั้น สามารถเพิ่มกำลังการเก็บเกี่ยวอ้อยได้ 42,720.98 - 105,916.20 ตัน/ฤดูหีบอ้อย หรือสามารถลดค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างพนักงานขับรถตัดได้ 178,087.40 - 441,317.48 บาท/ฤดูหีบอ้อย (คำนวณจากปริมาณอ้อยของโรงงานกรณีศึกษาในปีการผลิต 2562/2563 จำนวน 631,752.21 ตัน และระยะเวลานับอ้อยทั้งหมด 83 วัน) [9]

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัด ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลงและประเภทของรถตัดอ้อย เพื่อแก้ไขปัญหาในลักษณะ $R_m | M_j, S_{DST} | C_{max}$ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาลำดับของการเก็บเกี่ยวอ้อยแต่ละแปลงโดยใช้รถตัด เพื่อให้ได้เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวอ้อยทุกแปลงที่ต่ำที่สุด (Makespan minimizing) ซึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้มีการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับแก้ปัญหาดังกล่าวในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจ สะดวก และเข้าใจได้ง่ายต่อการนำไปใช้งานของโรงงานกรณีศึกษา ผลปรากฏว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพทั้งแง่คุณภาพของคำตอบและระยะเวลาในการคำนวณ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยโดยใช้รถตัดของกิจกรรมเก็บเกี่ยวอ้อยในกระบวนการโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายดังกล่าวได้ นอกจากนั้นยังสามารถนำมาเป็นต้นแบบเพื่อแก้ไขปัญหานั้น

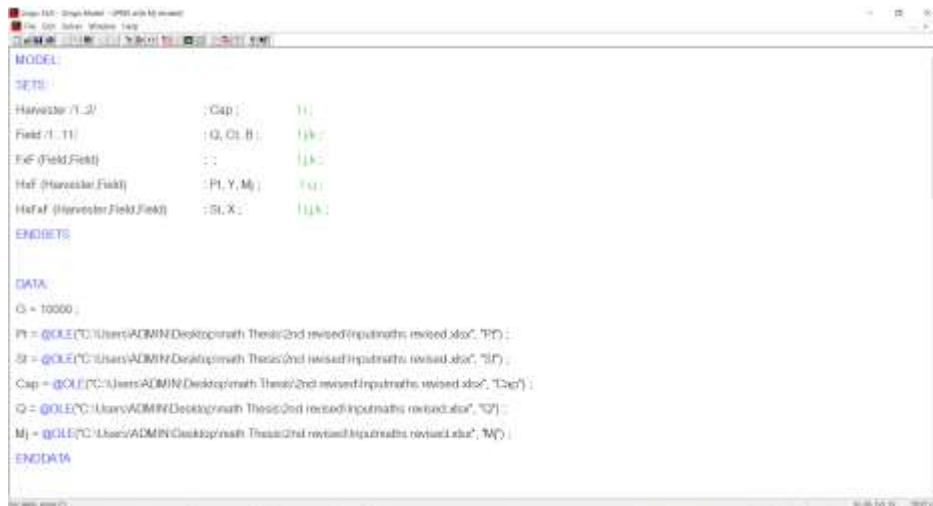
อุตสาหกรรมใกล้เคียงได้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้ปัญหามีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น ในการศึกษาวิจัยควรพิจารณาการจัดการการเก็บเกี่ยวดังกล่าวแบบหลายคาบเวลา (Multi-period) และเพื่อให้รองรับกับปัญหาจริงในเชิงอุตสาหกรรมควรนำเทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีการทางเมตาดิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

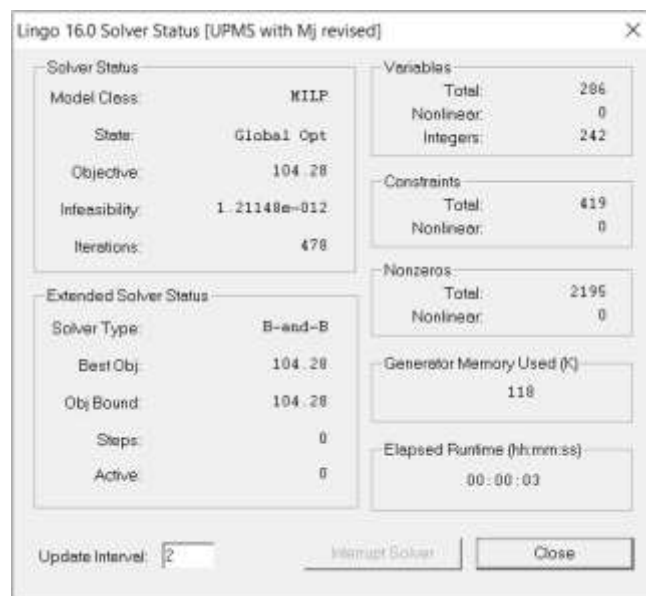
การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยการพัฒนาโมเดลเชิงระบบสำหรับอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย (สัญญาเลขที่ SMLKKU MS 611010)

เอกสารอ้างอิง

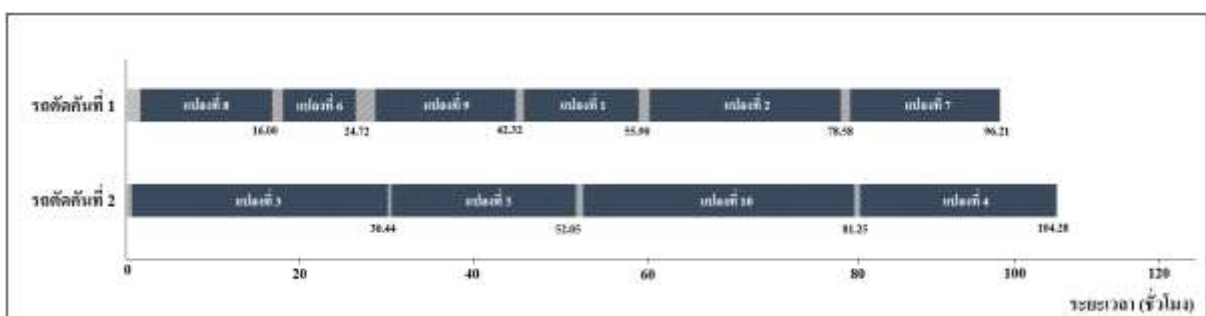
1. Office of Agricultural Economics [Internet]. 2016 [cited 2020 May 21]. Available from: <http://www.oae.go.th/view/1/ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร/TH-TH>
2. Kusoncun C, Sethanan K, Pitakaso R, Hartl RF. Heuristics with novel approaches for cyclical multiple parallel machine scheduling in sugarcane unloading systems. *Int J Prod Res.* 2020; 1–19.
3. Office of the Cane and Sugar Board. Thailand Sugar Cane Production Report Production Year 2017/2018 [Internet]. 2018 [cited 2020 May 23]. p. 1–114. Available from: <http://www.ocsb.go.th/upload/journal/fileupload/923-3254.pdf>
4. Kusoncun C, Sethanan K, Pattanapairoj S, Neungmatcha W. Algorithms Development for Scheduling and Sequencing of Sugarcane Truck to Dump Tippler in Cane and Sugar Industry in Central Region of Thailand. *KKU Res J.* 2019; 19(4): 111–126. Thai.
5. Sethanan K. *Metaheuristics and Applications for Industry*. 1st ed. Khonkaen: Klongnanawiththaya; 2015. Thai.
6. Sethanan K, Neungmatcha W. Multi-objective particle swarm optimization for mechanical harvester route planning of sugarcane field operations. *Eur J Oper Res.* 2016; 252(3): 969–984.
7. Worasan K, Sethanan K, Pitakaso R, Moonsri K, Nitisiri K. Hybrid particle swarm optimization and neighborhood strategy search for scheduling machines and equipment and routing of tractors in sugarcane field preparation. *Comput Electron Agric.* 2020; 178: 105733.
8. Fanjul-Peyro L. Models and an exact method for the Unrelated Parallel Machine scheduling problem with setups and resources. *Expert Syst with Appl X.* 2020; 5: 100022.
9. Office of the Cane and Sugar Board. Thailand Sugar Cane Production Report Production Year 2019/2020 [Internet]. 2019 [cited 2020 Dec 10]. p. 1–3. Available from: <http://www.ocsb.go.th/upload/production/fileupload/142-6015.pdf>



ภาพที่ 1 การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้โปรแกรม LINGO (Version 16.0)



ภาพที่ 2 ผลการทดสอบด้วยโปรแกรม LINGO (Version 16.0)



ภาพที่ 3 แผนภาพการจัดตารางการเก็บเกี่ยวอ้อยเมื่อพิจารณาเงื่อนไขความเหมาะสมของแปลง และประเภทของรถตัดอ้อยด้วยปัญหามาคเล็ก



ตารางที่ 1 ความสามารถในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i (พันตัน)

Cap_i	Cap_1	Cap_2
ความสามารถในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i (พันตัน)	15	25

ตารางที่ 2 ปริมาณอ้อยในแปลง j (พันตัน)

Q_j	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Q_7	Q_8	Q_9	Q_{10}	Q_{11}
ปริมาณอ้อยในแปลง j (พันตัน)	0	0.13	0.22	0.45	0.34	0.32	0.08	0.17	0.15	0.16	0.43

ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวแปลง j ก่อนแปลง k โดยรถตัด i (ชั่วโมง)

St_{ijk}		เวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลง เมื่อทำการเก็บเกี่ยวแปลง j ก่อนแปลง k (ชั่วโมง)										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
รถตัด i	1	0	1.13	0.58	0.55	0.78	1.53	1.65	1.15	1.00	0.48	0.63
	2	1.45	0	0.68	0.78	1.18	1.02	0.57	1.00	0.63	1.48	0.60
	3	1.52	1.22	0	1.13	0.55	0.80	0.93	0.63	1.28	1.45	0.97
	4	0.33	0.50	1.62	0	1.63	0.35	0.72	0.73	1.55	0.93	1.40
	5	0.72	0.42	1.05	1.60	0	0.65	0.48	1.53	1.05	1.03	0.90
	6	1.65	0.53	1.35	0.70	1.02	0	0.93	1.40	0.98	0.97	0.67
	7	0.93	1.08	1.62	1.23	0.48	0.48	0	1.05	1.52	1.60	1.45
	8	0.90	0.93	0.52	0.60	1.50	0.83	1.27	0	1.15	0.33	0.67
	9	1.67	1.60	0.68	1.17	1.00	0.88	0.72	1.27	0	0.55	1.18
	10	0.60	0.58	1.23	0.57	1.30	1.52	1.45	1.28	0.57	0	0.37
	11	0.48	1.67	1.08	0.82	0.45	0.58	0.57	1.18	1.08	1.35	0
รถตัด i	1	0	0.91	0.47	0.44	0.63	1.23	1.32	0.92	0.80	0.39	0.51
	2	1.16	0	0.55	0.63	0.95	0.81	0.45	0.80	0.51	1.19	0.48
	3	1.21	0.97	0	0.91	0.44	0.64	0.75	0.51	1.03	1.16	0.77
	4	0.27	0.40	1.29	0	1.31	0.28	0.57	0.59	1.24	0.75	1.12
	5	0.57	0.33	0.84	1.28	0	0.52	0.39	1.23	0.84	0.83	0.72
	6	1.32	0.43	1.08	0.56	0.81	0	0.75	1.12	0.79	0.77	0.53
	7	0.75	0.87	1.29	0.99	0.39	0.39	0	0.84	1.21	1.28	1.16
	8	0.72	0.75	0.41	0.48	1.20	0.67	1.01	0	0.92	0.27	0.53
	9	1.33	1.28	0.55	0.93	0.80	0.71	0.57	1.01	0	0.44	0.95
	10	0.48	0.47	0.99	0.45	1.04	1.21	1.16	1.03	0.45	0	0.29
	11	0.39	1.33	0.87	0.65	0.36	0.47	0.45	0.95	0.87	1.08	0



ตารางที่ 4 ข้อจำกัดของแปลงและประเภทของรถตัด

M_{ik}	แปลง k										
รถตัด i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
2	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

ตารางที่ 5 เวลาที่ใช้ในการเก็บเกี่ยวของรถตัด i แปลงที่ j (ชั่วโมง)

Pt_{ij}	แปลง j										
รถตัด i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	13	22	45	34	32	8	17	15	16	43
2	0	8.67	14.67	30	22.67	21.33	5.33	11.33	10	10.67	28.67

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างจากโปรแกรม LINGO

ขนาดของปัญหา (mHxnF)	ลำดับการเก็บเกี่ยวของรถตัด	เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวด้วย ทุกแปลง (ชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ (วินาที)
2Hx10F	(1) 8-6-9-1-2-7 (2) 3-5-10-4	104.28	0.13

หมายเหตุ* m = จำนวนรถตัดอ้อย, n = จำนวนแปลงอ้อย

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์ของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบของปัญหามาขนาดต่าง ๆ จากโปรแกรม LINGO

ขนาดของปัญหา (mHxnF)	เวลาแล้วเสร็จของการเก็บเกี่ยวด้วยทุกแปลง (ชั่วโมง)	เวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบ (วินาที)
2Hx10F	104.28	0.13
2Hx20F	228.39	0.26
2Hx40F	455.85	9.21
2Hx60F	683.19	11.30
2Hx80F	911.03	2831.83
2Hx100F	1138.17	109.67

หมายเหตุ* m = จำนวนรถตัดอ้อย, n = จำนวนแปลงอ้อย