

**วิธีแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม
เพื่อการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย**

Mixed Integer Linear Programming for Sugarcane Truck Scheduling

พีรญา ธวัชรสุวรรณ¹, วรทัตพ ธวัชรสุวรรณ¹ และ ศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ^{2*}

Peeraya Thapatsuwan¹, Warattapop Thapatsuwan¹ and Sirikarn Chansombat^{2*}

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เลขที่ 1 หมู่ 6 ต.กำแพงแสน อ.กำแพงแสน

จ.นครปฐม 73140

²คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร เลขที่ 99 หมู่ 9 ต.ท่าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

¹Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University (Kamphaeng Saen Campus) 1 Moo 6, Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand 73140

²Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University 99 Moo 9, Tha Pho, Mueang Phitsanulok, Phitsanulok, Thailand 65000

*Corresponding author E-mail: sirikarnc@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การจัดหาอ้อย ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำตาล เป็นส่วนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากกับโรงงานน้ำตาล หากอ้อยมีการจัดส่งมายังโรงงานในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลทำให้ต้องจัดเก็บอ้อยเป็นเวลานาน และก่อให้เกิดปัญหาต่อการผลิตมากขึ้นไปด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดหาอ้อยเพื่อให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตของโรงงาน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อยสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลได้ งานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสำคัญกับปัญหาการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย ด้วยการใช้ข้อมูลจากโรงงานน้ำตาลเป็นกรณีศึกษา เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตารางเวลาและลำดับงานของรถบรรทุกอ้อยเพื่อเข้าสู่กระบวนการหีบอ้อย วัตถุประสงค์เพื่อทำให้เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูกมายังลานจอด และเวลาที่ใช้ในการลงอ้อยจากรถบรรทุกเพื่อเข้าหีบ งานวิจัยนี้เสนอแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) เพื่อแก้ปัญหการจัด

ตารางเวลารถบรรทุก ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ พบว่า เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด คือ 15,144 นาที ซึ่งแสดงให้เห็นถึงศักยภาพของตัวแบบที่นำเสนอ และผลลัพธ์ที่ได้สามารถช่วยปรับปรุงโลจิสติกส์นำเข้าของอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาลได้

คำสำคัญ : ตัวแบบทางคณิตศาสตร์, การจัดตารางงาน, รถบรรทุก, อ้อย

ได้รับเมื่อ 10 เมษายน 2567; แก้ไขเมื่อ 30 เมษายน 2567; ตอรับการตีพิมพ์เมื่อ 3 พฤษภาคม 2567

Abstract

Sugarcane supply, as the primary raw material in sugar production, is the most important component for a sugarmill. If an excessive amount of sugarcane is delivered to the factory, it may lead to prolonged storage, resulting in significant yield losses. Thus, it is necessary to synchronize sugarcane intake with milling capacity. Sugarcane truck scheduling mathematical models can improve the efficiency of the sugarcane transportation process. This research focused on addressing the sugarcane truck scheduling problem, using a case study of a sugarmill to optimize the scheduling and sequencing of sugarcane trucks for dump tippler machines. The objective function is to minimize total time in terms of transportation and dumping time. This work presents a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model for solving the truck scheduling problem. The results of this study reveal that the minimum total time is 15,144 minutes, demonstrating the potential of the proposed model. The results obtained can help improve the inbound logistics of sugarcane in the sugar industry.

Keywords: Mathematical Model, Scheduling, Truck, Sugarcane

Received: April 10, 2024; Revised: April 30, 2024; Accepted: May 3, 2024

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทย ถือได้ว่ามีส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยเป็นอย่างมาก เป็นแหล่งสร้างงานและสร้างรายได้ให้กับเกษตรกรชาวไร่อ้อยมากกว่า 200,000 ราย รวมทั้งแรงงานในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอีกกว่า 1 ล้านคน สามารถสร้างรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลทรายทั้งภายในและต่างประเทศได้มากกว่า 1 แสนล้านบาทต่อปี (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2565) ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ระบบห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล สามารถแบ่งกิจกรรมออกเป็น 3 ส่วนหลัก
1) ระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound Logistics) 2) ระบบโลจิสติกส์ภายใน (Internal Logistics) และ 3) ระบบ

โลจิสติกส์ขาออก (Outbound Logistics) หากพิจารณาถึงต้นทุนการผลิต พบว่า ระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลเป็นส่วนที่มีต้นทุนรวมกว่าร้อยละ 60 ของต้นทุนรวมทั้งหมดในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาล (นฤนาท ทิพย์นาง, 2566)

สำหรับโลจิสติกส์ขาเข้าของห่วงโซ่อุปทานอ้อยและน้ำตาล เป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรชาวไร่อ้อยเป็นส่วนมาก เริ่มต้นตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการขนส่งอ้อยเพื่อเข้าสู่โรงงาน สำหรับการเก็บเกี่ยวอ้อยเพื่อจัดส่งเข้าสู่กระบวนการหีบอ้อยเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลนั้น จะมีช่วงระยะเวลาการเปิดหีบอ้อยของโรงงานประมาณ 3 เดือน จะอยู่ในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนเมษายน ในช่วงเวลาดังกล่าวมักประสบปัญหาการบรรทุกอ้อยจอตลอดคิวเพื่อนำอ้อยเข้าสู่การหีบเพื่อการผลิตเป็นน้ำตาล บริเวณด้านหน้าโรงงานเป็นจำนวนมาก เนื่องจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยต้องการตัดอ้อยส่งโรงงานให้ทันในช่วงระยะเวลาของการเปิดหีบอ้อยของโรงงาน แต่ด้วยข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตของโรงงาน รวมถึงสถานที่จอตลอดบรรทุกอ้อยเพื่อรอคิวบริเวณของโรงงานมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลทำให้การจราจรโดยรอบบริเวณโรงงานติดขัด ก่อให้เกิดปัญหาทั้งโรงงานและชาวบ้านในพื้นที่ อีกทั้งการที่รถบรรทุกอ้อยจอตลอดคิวเป็นเวลานาน โดยยังไม่นำอ้อยเข้าหีบเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลนั้น ส่งผลทำให้ปริมาณซูโครสลดลงด้วย (Robertson, 1996) ซึ่งเป็นผลเสียต่อการผลิตเป็นน้ำตาลอีกด้วย

การจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะสามารถช่วยลดปัญหาเวลารอคอยของรถบรรทุกอ้อยบริเวณด้านหน้าโรงงานได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการรถบรรทุกอ้อยให้กับโรงงาน เพื่อให้สามารถมีอ้อยเพื่อเข้าหีบได้อย่างสม่ำเสมอ โดยไม่เก้นกำลังการผลิตน้ำตาลของโรงงานได้ ซึ่งปัญหาการจัดตารางเวลารถบรรทุกอ้อย ถือว่าเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน และมีความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูง (สุสิทธิ์ กุศลคุ้ม และคณะ, 2019) ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษายังไม่มีการศึกษาเรื่องของการจัดตารางเวลาให้กับรถบรรทุกอ้อยเพื่อมาจัดส่งอ้อยให้กับทางโรงงาน ทำให้เกิดปัญหาการรอคอยที่ยาวนานดังกล่าวข้างต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย ซึ่งรายละเอียดของบทความนี้ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย การทบทวนวรรณกรรม วิธีดำเนินงานวิจัย ผลการวิจัย สรุปและอภิปรายผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อยเพื่อให้เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูกมายังลานจอด และเวลาที่ใช้ในการลงอ้อยจากรถบรรทุก

3. ทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการจัดตารางเวลาของรถบรรทุก (Truck Scheduling Problem) เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการบรรทุกและการขนส่ง (Pickup and Delivery Problem: PDP) ซึ่งอยู่ในปัญหาประเภทการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายหรือขนย้ายคนหรือสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Berbeglia, G., Cordeau J. F. and Laporte G., 2010) ปัญหานี้ถือเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน และมีความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นค่อนข้างสูง เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้อง (Stake Holder) หลายภาคส่วน (ชูลีพร กุศลคุ้ม และคณะ, 2019)

มีงานวิจัยหลากหลายที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบการบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานอ้อยและน้ำตาล งานวิจัยของ Zhang R. Yun W. Y. และ Kopfer H. ปี 2010 นำเสนอวิธี Window-partition เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาของรถบรรทุก งานวิจัยของปาณิสรา นันดี และคณะ ปี 2561 ได้ทำการศึกษาเพื่อหาจำนวนรถบรรทุกอ้อยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานรถตัดอ้อย เนื่องจากการใช้ร่วมกันระหว่างรถบรรทุกกับรถตัดอ้อยอย่างไม่เหมาะสม ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ งานวิจัยของชูลีพร กุศลคุ้ม และคณะ ในปี 2562 นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองเพื่อจัดตารางรถบรรทุกอ้อยเข้าสู่คัมพ์เทอ้อยลงรางของโรงงานน้ำตาล งานวิจัยของศรายุทธ แสนแก้ว และคณะ ปี 2564 ได้ประยุกต์ใช้วิธีเมตะฮิวริสติกส์เพื่อช่วยในการจัดสรรรถตัดอ้อยเพื่อให้สามารถรองรับต่อความต้องการของเกษตรกรได้ ด้วยการนำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution Algorithm) และวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) งานวิจัยของ Jarumaneeroj P. และคณะ ปี 2021 ได้พัฒนาวิธีแบบจำลองหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Modelling Approach) เพื่อจัดตารางเวลาในการเก็บเกี่ยววัตถุดิบในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทย ผลลัพธ์ที่ได้ช่วยปรับปรุงโซ่อุปทานน้ำตาลให้ดียิ่งขึ้น และช่วยให้เกษตรกรผู้ปลูกอ้อยสามารถมีรายได้เพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับวิธีการแม่นยำ (Exact Method) อย่างเช่นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากให้คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Best Solution) แต่อย่างไรก็ตามวิธีการแม่นยำนี้มักถูกนำไปใช้เพื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก หากปัญหาที่มีขนาดกลางหรือใหญ่ วิธีการนี้จะไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ (Global Optimal) ภายในระยะเวลาการค้นหที่เหมาะสม (Nanasilp S. and Wisittipanich W., 2020)

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับวิธีดำเนินงานวิจัยในการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) เพื่อการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูกมายังลานจอด และเวลาที่ใช้ในการลงอ้อยจากรถบรรทุก

4.1 ศึกษาปัญหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้ได้รับข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันประสบปัญหารถบรรทุกอ้อยจอดรอคิวเพื่อนำอ้อยเข้าสู่การหีบเพื่อการผลิตเป็นน้ำตาล ส่งผลทำให้บริเวณด้านหน้าโรงงานมีการจราจรติดขัดเป็นอย่างมากในช่วงระยะเวลาการเปิดหีบอ้อยของโรงงาน ซึ่งมีระยะเวลาประมาณ 3 เดือน เพื่อช่วยลดปัญหาดังกล่าว ทางโรงงานจึงมีแนวคิดในการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อยเพื่อจัดส่งให้กับโรงงาน โดยเริ่มต้นจากเกษตรกรที่เป็นคู่สัญญากับทางโรงงาน เพื่อจัดตารางเวลารถบรรทุกอ้อยที่ถูกเก็บเกี่ยวจากแปลงปลูกจำนวน 4 แห่ง เพื่อจัดส่งมายังลานจอดบริเวณด้านหน้าโรงงาน ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา มีรายละเอียดดังนี้ ระยะทางจากแปลงปลูกอ้อยทั้ง 4 แห่ง และปริมาณอ้อยที่สามารถจัดส่งเข้าสู่โรงงานได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยรถบรรทุกอ้อยที่ใช้เพื่อไปรับอ้อยจากแปลงปลูกแต่ละแปลง มีทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ รถหกล้อ รถสิบล้อ และรถพ่วง โดยแปลงปลูกที่ 1 แปลงปลูกที่ 3 และ 4 รถสิบล้อและรถพ่วงสามารถเข้าไปรับอ้อยได้ และสำหรับแปลงปลูกที่ 2 แปลงเดียวเท่านั้นมีรถหกล้อสามารถเข้าไปรับได้เพียงประเภทเดียว ความเร็วในการขนส่งของรถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภทกำหนดให้ใช้ คือ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถบรรทุกแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุกและใช้ระยะเวลาในการลงอ้อยที่แตกต่างกัน รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2 สำหรับลานจอดสำหรับลงอ้อย มีจำนวนทั้งสิ้น 5 ลานจอด โดยแต่ละลานจอด สามารถรองรับอ้อยและรถบรรทุกอ้อยได้แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ระยะทางและปริมาณอ้อยที่สามารถจัดส่งเข้าสู่โรงงาน

แปลงปลูกที่	ระยะทางจากแปลงปลูกมายังลานจอด (กิโลเมตร)	ปริมาณอ้อยที่สามารถจัดส่งได้ (ตัน)
แปลงปลูกที่ 1	45	5,000
แปลงปลูกที่ 2	5	2,500
แปลงปลูกที่ 3	60	3,000
แปลงปลูกที่ 4	50	3,000

ตารางที่ 2 รายละเอียดรถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภท

ประเภทรถบรรทุก	จำนวน (คัน)	ปริมาณที่สามารถบรรทุกได้ (ตัน)	เวลาที่ใช้ในการลงอ้อย (นาที)
----------------	-------------	--------------------------------	------------------------------

รถบรรทุก	15	15	21.2
รถสิบล้อ	5	25	23.5
รถพ่วง	5	50.5	27.5

ตารางที่ 3 ปริมาณอ้อยและประเภทของรถบรรทุกอ้อยที่สามารถรองรับได้ในแต่ละลานจอด

ลานจอดที่	ปริมาณอ้อยที่สามารถรองรับได้ (ตัน)	ประเภทของรถบรรทุกอ้อยที่สามารถเข้าลงอ้อยได้
ลานจอดที่ 1	2,000	รถสิบล้อและรถพ่วง
ลานจอดที่ 2	2,500	รถสิบล้อและรถพ่วง
ลานจอดที่ 3	2,000	รถบรรทุกเท่านั้น
ลานจอดที่ 4	2,500	รถสิบล้อและรถพ่วง
ลานจอดที่ 5	500	รถสิบล้อและรถพ่วง

4.2 การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งปฐมภูมิและทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเรียบร้อยแล้ว จึงนำข้อมูลที่ได้รับนั้นมาพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมานั้นเป็นตัวแบบที่มีรายละเอียดสอดคล้องกับข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษาที่ได้รับ มีรายละเอียดดังนี้

ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions)

1. รถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภท แต่ละคันสามารถจอดเพื่อนำอ้อยลงสู่ลานได้เพียงลานเดียวเท่านั้น
2. เมื่อรถบรรทุกอ้อยถูกเลือกให้จอด ณ ลานจอดใด ๆ แล้วจะต้องลงอ้อยอย่างต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดหรือให้รถคันอื่นมาแทรกได้จนกว่าจะนำอ้อยลงสู่ลานแล้วเสร็จ
3. ปริมาณอ้อยที่ถูกจัดส่งตั้งแต่แปลงปลูกจนมาถึงโรงงาน ไม่มีการสูญหายในระหว่างการขนส่ง และสามารถบรรทุกได้เต็มความจุของการบรรทุกในรถแต่ละประเภท
4. กำหนดให้รถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภทใช้ความเร็วในการขับเคลื่อนเท่ากันทั้งหมด
5. ลานลงอ้อยพร้อมเสมอต่อการลงอ้อย

ดัชนี (Indices)

i คือ หมายเลขของแปลงปลูก โดยที่ $i=1, \dots, m$

j คือ หมายเลขของประเภทรถบรรทุกอ้อย โดยที่ $j=1, \dots, n$

(1 = รถพ่วง, 2 = รถสิบล้อ และ 3 = รถหกล้อ)

k คือ หมายเลขของลานจอด โดยที่ $k=1, \dots, s$

ตัวแปรทราบค่า (Parameters)

m คือ จำนวนแปลงปลูกของเกษตรกรที่เป็นคู่สัญญากับทางโรงงาน

n คือ ประเภทของรถที่ใช้ในการบรรทุกอ้อยทั้งหมด

s คือ จำนวนลานจอดทั้งหมดของโรงงานน้ำตาลพิษณุโลก

D_i คือ ระยะทางจากแปลงปลูก i มายังโรงงาน (กิโลเมตร)

V คือ ความเร็วในการขนส่งของรถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภท (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

TT_i คือ เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i มายังโรงงาน (นาที)

PT_j คือ เวลาที่ใช้ในการลงอ้อยของรถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภทสู่ลาน (นาที)

A_i คือ ปริมาณอ้อยจากแปลงปลูก i ที่สามารถจัดส่งเข้าสู่โรงงาน (ตัน)

Cap_k คือ ปริมาณอ้อยสูงสุดที่แต่ละลานจอด k สามารถรองรับได้ (ตัน)

R_k คือ เวลาที่พร้อมต่อการลงอ้อยของแต่ละลานจอด k (นาที)

F_j คือ เขตของลานจอดที่รถบรรทุกอ้อยประเภท j สามารถจอดเพื่อลงอ้อยได้

F_q คือ เขตของลานจอดที่รถบรรทุกอ้อยประเภท q สามารถจอดเพื่อลงอ้อยได้

W_j คือ ปริมาณที่สามารถบรรทุกได้ของรถแต่ละประเภท j

M คือ จำนวนเต็มบวกที่มีค่ามากที่สุด (Large Positive Number)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

Y_{ijk} คือ 1 ถ้ารถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก i รถประเภท j ถูกเลือกให้ลงอ้อยลานจอด k
0 อื่น ๆ

Y_{pqk} คือ 1 ถ้ารถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก p รถประเภท q ถูกเลือกให้ลงอ้อยลานจอด k
0 อื่น ๆ

X_{ijpqk} คือ 1 ถ้ารถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก i รถประเภท j เข้าจอดเพื่อลงอ้อยก่อนรถบรรทุก
อ้อยจากแปลงปลูก p รถประเภท q ณ ลานจอด k
0 อื่น ๆ

- X_{pqijk} คือ 1 ถ้ารถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก p รถประเภท q เข้าจอดเพื่อลงอ้อยก่อน
 รถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก i รถประเภท j ณ ลานจอด k
 0 อื่น ๆ
 S_{ijk} คือ เวลาเริ่มต้นของรถบรรทุกอ้อยที่ออกจากแปลง i รถประเภท j มายังลานจอด k
 C_{ijk} คือ เวลาเสร็จสิ้นการลงอ้อยของรถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก i รถประเภท j ลานจอด k

โดยมีรูปแบบของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

$$\text{Min} Z \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s (TT_i + PT_j) Y_{ijk} \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อบังคับ :

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^s W_j Y_{ijk} \leq A_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_j Y_{ijk} \leq Cap_k \quad \forall k \quad (3)$$

$$TT_i = 60(D_i/V) \quad \forall i \quad (4)$$

$$S_{ijk} \geq R_k Y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (5)$$

$$C_{ijk} = S_{ijk} + PT_j Y_{ijk} \quad \forall i, j, k \quad (6)$$

$$S_{ijk} \geq S_{pqk} + PT_j Y_{pqk} - M \times (1 - X_{pqijk}) \quad \forall i, j, p, q, k | k \in F_j \cap F_q \quad (7)$$

$$S_{pqk} \geq S_{ijk} + PT_j Y_{ijk} - M \times (1 - X_{ijpqk}) \quad \forall i, j, p, q, k | k \in F_q \cap F_j \quad (8)$$

$$Y_{ijk} + Y_{pqk} \geq 2(X_{ijpqk} + X_{pqijk}) \quad \forall i, j, p, q, k | k \in F_j \cap F_q \quad (9)$$

$$Y_{ijk} + Y_{pqk} \leq X_{ijpqk} + X_{pqijk} + 1 \quad \forall i, j, p, q, k | k \in F_j \cap F_q \quad (10)$$

$$\sum_{k \in F_j} Y_{ijk} = 1 \quad \forall i, j \quad (11)$$

$$\sum_{k \in F_j} Y_{ijk} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (12)$$

$$Y_{ijk}, Y_{pqk}, X_{ijpqk}, X_{pqijk} \in \{0,1\} \quad (13)$$

$$S_{ijk}, C_{ijk} \geq 0 \quad (14)$$

ฟังก์ชันที่ (1) แสดงฟังก์ชันเป้าประสงค์ คือ เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยใช้รถบรรทุกอ้อยประเภท j มายังลานจอด k และเวลาที่ใช้ในการลงอ้อยของรถบรรทุกจากแปลงปลูก i โดยใช้รถประเภท j ลานจอด k มีค่าต่ำที่สุด (นาที)

อสมการที่ (2) แสดงให้เห็นถึง ปริมาณอ้อยที่ถูกจัดส่งจากแปลงปลูก i โดยใช้รถบรรทุกประเภท j มายังลานจอด k ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับขีดจำกัดของปริมาณอ้อยจากแปลงปลูก i ที่สามารถจัดส่งเข้าสู่โรงงาน ได้ (ตัน)

อสมการที่ (3) แสดงให้เห็นถึง ปริมาณอ้อยที่ถูกจัดส่งจากแปลงปลูก i โดยใช้รถบรรทุกประเภท j มายังลานจอด k ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถของลานจอด k ที่สามารถรองรับอ้อยได้

สมการที่ (4) แสดงให้เห็นถึง เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i มายังโรงงาน (นาที)

อสมการที่ (5) แสดงให้เห็นถึง เวลาเริ่มต้นการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยใช้รถบรรทุกประเภท j มายังลานจอด k (นาที) ต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ลานจอด k พร้อมใช้งาน (นาที)

สมการที่ (6) แสดงให้เห็นถึง เวลาเสร็จสิ้นของการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยรถบรรทุกประเภท j ลานจอด k

อสมการที่ (7) แสดงให้เห็นถึง ที่เวลาใด ๆ หากการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก p โดยรถประเภท q เข้ามายังลานจอดก่อนการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยรถประเภท j บนลานจอด k แล้ว เวลาเริ่มต้นที่รถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก i โดยรถประเภท j เริ่มลงอ้อยสู่ลาน k จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาแล้วเสร็จของรถที่มาจากแปลงปลูก p โดยรถประเภท q ลานจอด k

อสมการที่ (8) แสดงให้เห็นถึง ที่เวลาใด ๆ หากการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยรถประเภท j เข้ามายังลานจอดก่อนการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก p โดยรถประเภท q บนลานจอด k แล้ว เวลาเริ่มต้นที่รถบรรทุกอ้อยจากแปลงปลูก p โดยรถประเภท q เริ่มลงอ้อยสู่ลาน k จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาแล้วเสร็จของรถที่มาจากแปลงปลูก i โดยรถประเภท j ลานจอด k

อสมการที่ (9) แสดงให้เห็นถึง การจัดสรรตารางเวลาการเข้าลงอ้อยของรถแต่ละประเภท ณ ลานจอด

อสมการที่ (10) แสดงให้เห็นถึง หากการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก i โดยรถประเภท j เข้ามายังลานจอดก่อนการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูก p โดยรถประเภท q บนลานจอด k แล้ว ต้องรอให้รถคันก่อนหน้าลงอ้อยให้แล้วเสร็จก่อน รถคันถัดมาจึงจะสามารถดำเนินการลงอ้อยได้

สมการที่ (11) เป็นการประกันว่ารถแต่ละประเภทที่มาจากแปลงปลูกอ้อยแต่ละแปลงจะถูกจัดสรรให้ลงอ้อย ณ ลานจอดเพียงลานเดียวเท่านั้น โดยที่ลานจอดนั้นต้องอยู่ภายใต้เขตของลานจอดที่รถประเภทนั้นสามารถเข้าจอดเพื่อลงอ้อยได้

สมการที่ (12) เพื่อป้องกันการจัดสรรรถบรรทุกอ้อยแต่ละประเภทที่มาจากแปลงปลูกอ้อยแต่ละแปลงเข้าลงอ้อย ณ ลานจอดที่ไม่ได้กำหนดไว้

ข้อจำกัดที่ (13) การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจ

ข้อจำกัดที่ (14) การกำหนดตัวแปรต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0

4.3 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ

การแทนค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรทราบค่าสามารถใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบที่พัฒนาขึ้นมาได้ ด้วยการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการแทนค่าว่ามีความถูกต้องตรงกับสมการเงื่อนไขหรือไม่ ผลลัพธ์ที่ได้ไม่มีการละเมิดเงื่อนไขข้อจำกัด

4.4 สรุปผล

สำหรับขั้นตอนการสรุปผล เป็นการนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมาแปรผลเพื่อให้สามารถเป็นข้อมูลป้อนกลับไปยังโรงงานกรณีศึกษาเพื่อนำไปสู่การประยุกต์ใช้ต่อไป

5. ผลการวิจัย

จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ถูกพัฒนาขึ้น งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็น Add-in ใน Microsoft Excel เป็นเครื่องมือในการค้นหาคำตอบที่รันบนเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพาที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) แบบ Intel(R) Core(TM) i5-8250U ด้วยความถี่ 1.80 GHz และมีหน่วยความจำ (RAM) 8.00 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 10 โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง เป็นข้อมูลจริงของโรงงานกรณีศึกษาและข้อมูลที่ได้ศึกษารวบรวมมา พบว่า เวลารวม ซึ่งประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยและเวลาที่ใช้ในการลงอ้อยที่ต่ำที่สุด คือ 15,144 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

แปลงปลูกอ้อย	ประเภทรถ	คันที่	ลานจอด	เวลาเริ่มต้นการลงอ้อย (นาทีที่)	เวลาลงอ้อยแล้วเสร็จ (นาทีที่)
1	รถหกล้อ	1	3	0	21.2
1	รถหกล้อ	2	3	21.2	42.4

1	รถหกล้อ	3	3	42.4	63.6
1	รถหกล้อ	4	3	63.6	84.8
1	รถหกล้อ	5	3	84.8	106
1	รถหกล้อ	6	3	106	127.2
1	รถหกล้อ	7	3	127.2	148.4
1	รถหกล้อ	8	3	148.4	169.6
1	รถหกล้อ	9	3	169.6	190.8
1	รถหกล้อ	10	3	190.8	212
1	รถหกล้อ	11	3	212	233.2

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แปลงปลูกอ้อย	ประเภทรถ	คันที่	ลานจอด	เวลาเริ่มต้นการลงอ้อย (นาทิตี่)	เวลาลงอ้อยแล้วเสร็จ (นาทิตี่)
1	รถหกล้อ	12	3	233.2	254.4
1	รถหกล้อ	13	3	254.4	275.6
1	รถหกล้อ	14	3	275.6	296.8
1	รถหกล้อ	15	3	296.8	318
2	รถหกล้อ	1	3	318	339.2
2	รถหกล้อ	2	3	339.2	360.4
2	รถหกล้อ	3	3	360.4	381.6
2	รถหกล้อ	4	3	381.6	402.8
2	รถหกล้อ	5	3	402.8	424
2	รถหกล้อ	6	3	424	445.2
2	รถหกล้อ	7	3	445.2	466.4
2	รถหกล้อ	8	3	466.4	487.6
:	:	:	:	:	:
4	รถพ่วง	1	2	740.5	768

6. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Linear Programming: MILP) เพื่อช่วยแก้ปัญหาการบรรทุกอ้อยจอดรอต่อคิวเพื่อนำอ้อยเข้าสู่การหีบเพื่อการผลิตเป็นน้ำตาลบริเวณด้านหน้าโรงงานเป็นจำนวนมาก ด้วยการจัดตารางเวลาของรถบรรทุกอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์

เพื่อให้เวลารวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย เวลาที่ใช้ในการขนส่งอ้อยจากแปลงปลูกมายังลานจอด และ เวลาที่ใช้ในการลงอ้อยจากรถบรรทุก จากผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มที่ถูกพัฒนาขึ้น พบว่า หากโรงงานกรณีศึกษา มีการกำหนดตารางเวลาให้กับรถบรรทุกอ้อยของเกษตรกรที่เป็นคู่สัญญากับทาง โรงงานเข้ามาลงอ้อยในแต่ละลานจอดของโรงงาน จะสามารถช่วยลดปัญหาการบรรทุกอ้อยจอดรอคิวเพื่อนำ อ้อยลงสู่ลานจอดได้ และยังช่วยลดปัญหาการจราจรติดขัดบริเวณโรงงานได้อีกด้วย แบบจำลองที่ถูกพัฒนาขึ้น มาในงานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบแล้วว่ามีความถูกต้อง ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลไม่มีการละเมิดเงื่อนไข ข้อบังคับที่กำหนด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาที่สามารถพบได้ในสถานการณ์จริงสำหรับ อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาเป็นต้นแบบเพื่อแก้ไขปัญหาในอุตสาหกรรม ไกล่เคียงได้ สำหรับงานวิจัยในอนาคตจะมีการปรับลดข้อตกลงเบื้องต้นบางประการ เพื่อให้แบบจำลองที่ถูก พัฒนาขึ้นมานั้น มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น และอาจจะต้องประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์เพื่อมาช่วยในการค้นหา คำตอบ หากขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ชูลีพร กุศลคุ้ม, กาญจนา เศรษฐนันท์, ศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์ และวราญา เนืองมัจฉา. (2562). การพัฒนา อัลกอริทึมสำหรับการจัดตารางรถบรรทุกอ้อยเพื่อเทอ้อยลงรางในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลใน เขตพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 19(4), 111-126.
- นฤนาท ทิพย์นาง, กาญจนา เศรษฐนันท์, ฐิติพงศ์ จำรัส และกานต์ มุลศรี. (2566). การจัดเส้นทางการขนส่ง ของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่นกรณีศึกษา อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายในประเทศไทย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 23(2), 78-91.
- ปาณิสรา นันตี, วราญา เนืองมัจฉา และอริวัฒน์ บุญมี. การหาจำนวนรถบรรทุกอ้อยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพการใช้งานรถตัดอ้อยด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์. *วารสารไทยการวิจัย ดำเนินงาน*, 6(1), 22-30.
- ศรายุทธ แสนแก้ว, กาญจนา เศรษฐนันท์, ฐิติพงศ์ จำรัส และศิโรรัตน์ พัฒนไพโรจน์. (2564). เมตะฮิวริสติกส์ สำหรับการจัดสรรรถตัดในระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย ภายใต้ ข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาของเครื่องจักรและแปลงอ้อย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 21(4), 11-23.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2565). รายงานประจำปี 2565. เข้าถึงได้จาก <https://www.ocsb.go.th/wp-content/uploads/2024/02/ebook-รายงานประจำปี-2565-สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.pdf>

- Berbeglia, G., Cordeau J. F. and Laporte G. (2010). Dynamic pickup and delivery problems. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 8-15.
- Jarumaneeroj, P., Dusadeerungsikul P. O., Chotivanich T. and Akkerman R. (2021). A multi-objective modeling approach to harvesting resource scheduling: Decision support for a more sustainable Thai sugar industry. *Computer and Industrial Engineering*, 162(2021), 1-16.
- Nanasilp S. and Wisittipanich W. (2020). A mathematical model for pollution travelling salesman problem. *Thai Journal of Operations Research*, 8(1), 20-25.
- Robertson, M.J.; Muchow, R.C., Wood, A.W. and Campbell J.A. (1996). Accumulation of reducing sugars by sugarcane: effects of crop age, nitrogen supply and cultivar. *Field Crops Research*, 49(1), 39-50.
- Zhang R., Yun W. Y., and Kopfer H. (2010). Heuristic-based truck scheduling for inland container transportation. *OR Spectrum*, 32(1), 787-808.