

การจัดเส้นทางขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายในประเทศไทย
Vehicle Routing Problem with Multi-Trips and Soft-Time windows: A Case Study of The Sugarcane and Sugar Industry in Thailand

นฤนาท ทิพย์นาง (Naruenat Thipnang)* ดร.กาญจนา เศรษฐนันท์ (Dr.Kanchana Sethanan)^{1**}

ดร.ธิติพงษ์ จำรัส (Dr.Thitipong Jamrus)*** ดร.กานต์ มุสิกศรี (Dr.Karn Moonsri) ****

(Received: March 23, 2022; Revised: June 8, 2022; Accepted: June 21, 2022)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก กรณีศึกษาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายในประเทศไทย เนื่องจากปัญหาดังกล่าวต้องมีการคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่หลากหลายและมีความไม่แน่นอน จึงไม่สามารถจัดสรรรถบรรทุกได้อย่างมีประสิทธิภาพอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดต้นทุนในการดำเนินงานเพิ่มขึ้นอย่างไม่จำเป็น ดังนั้นจึงได้ดำเนินการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขการวางแผนการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อย โดยคำนึงถึงกรอบเวลาแบบยืดหยุ่นของรถตัดอ้อย และการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกแบบหลายเที่ยว เพื่อมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด ประกอบด้วย ต้นทุนในการเดินทาง ต้นทุนในการใช้บริการรถบรรทุก และค่าปรับจากการให้บริการช้ากว่ากำหนด เมื่อเทียบกับรูปแบบที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพในการค้นหาผลเฉลยเมื่อเทียบกับรูปแบบที่ดำเนินการในปัจจุบันคิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.71

ABSTRACT

This research focuses on the fuel replenishment of fuel truck, a case study of Thailand's sugarcane and sugar industry. Presently, Route planning necessitates consideration of several factors and uncertainties are unable to manage resources efficiently. This research aims to sequence the delivery procedures to minimize the total cost, including fuel cost, driver cost, and opportunity cost. In addition, the opportunity cost is influenced by the arrival time of each sugarcane cutting machine. This study developed a Mixed Integer Linear Programming (MILP) model and compared it with the current practice. Computational results show that the performance of the MILP model can be more efficient than the current practice, and the MILP model can provide on average a 5.71% improvement in the total cost.

คำสำคัญ: ปัญหาวางแผนการเติมน้ำมันเชื้อเพลิง การขนส่งแบบหลายเที่ยว กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น

Keywords: The Fuel replenishment, Multi-trips, Soft-time windows

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

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

***ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

****อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

บทนำ

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเกษตรที่มีบทบาทสำคัญในฐานะสินค้าเกษตรที่มีศักยภาพต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งอ้อยนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศ ที่สามารถสร้างรายได้จากการส่งออกให้ประเทศไทย อีกทั้งยังก่อให้เกิดอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่น ๆ อีกมากมาย เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ทั้งนี้ศักยภาพการผลิตและการส่งออกน้ำตาลรวมถึงผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ได้มาจากอ้อยของประเทศไทย จัดเป็นอุตสาหกรรมในตลาดโลก เนื่องจากต้นทุนในห่วงโซ่อุปทานของอ้อยอยู่ในระดับต่ำ (970-980 บาทต่อตัน) เป็นอันดับ 2 รองจากบราซิล (890-900 บาทต่อตัน) [1] อีกทั้งยังได้เปรียบด้านทำเลที่อยู่ในภูมิภาคที่มีความต้องการน้ำตาลในปริมาณที่สูง (ภูมิภาคเอเชียนำเข้าน้ำตาลเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 2.0 ต่อปี สูงกว่าปริมาณนำเข้าทั่วโลกเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 0.6 ต่อปี) ทำให้ประเทศไทยมีความได้เปรียบด้านการขนส่งที่ต่ำกว่าผู้ส่งออกรายใหญ่จากประเทศอื่น ๆ เช่น บราซิล และออสเตรเลีย ผลจากความต้องการบริโภคน้ำตาลที่เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีทั้งผู้บริโภคโดยตรง (End-consumer) ที่สร้างมูลค่าโดยรวมประมาณ 200,000 ล้านบาทต่อปี [2] และยังรวมถึงอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (Industrials End-user) เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม ผลิตภัณฑ์นม เป็นต้น ที่สร้างมูลค่าอีกนับแสนล้านบาทต่อปีเช่นกัน ทำให้ประเทศไทยมีการขยายการเพาะปลูกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 จากจำนวน 6.3 ล้านไร่ เป็น 12 ล้านไร่ ในปี พ.ศ. 2562 [3] อีกทั้งยังเกิดการจ้างแรงงานชั่วคราวช่วงหีบอ้อยในฤดูการผลิตทั่วประเทศรวมกว่า 29,000 อัตรา ซึ่งกระจายในแผนงานต่าง ๆ ภายในระบบห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย สร้างรายได้ให้แก่ชุมชนกว่า 800 ล้านบาท [4]

ระบบห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายในประเทศไทยนั้น แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก 1) ระบบโลจิสติกส์ขาเข้า (Inbound logistics) 2) ระบบโลจิสติกส์ภายใน (Internal logistics) และ 3) ระบบโลจิสติกส์ขาออก (Outbound logistics) หากสำรวจเกี่ยวกับต้นทุนการผลิตทั้ง 3 ส่วนหลักนั้น พบว่าระบบโลจิสติกส์ขาเข้าของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายเป็นส่วนที่มีต้นทุนรวมกว่าร้อยละ 60 ของต้นทุนรวมทั้งหมดในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย [5] อีกทั้งหากศึกษาถึงกระบวนการต่าง ๆ ในระบบโลจิสติกส์ขาเข้าที่มีกระบวนการตั้งแต่การเพาะปลูก การเก็บเกี่ยว และการขนส่ง ส่วนใหญ่ร้อยละ 80 จะเป็นการบริการจัดการโดยเกษตรกรชาวไร่อ้อยรายย่อยทั้งสิ้น ทำให้การบริหารจัดการไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนที่ไม่จำเป็นอีกด้วย [6] และในสถานการณ์ปัจจุบันยังมีปัญหาการขาดแคลนแรงงานสำหรับการเก็บเกี่ยว เนื่องจากการเก็บเกี่ยวอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล จะอยู่ในช่วงปลายเดือนพฤศจิกายนถึงต้นเดือนเมษายน ดังนั้นโรงงานแต่ละแห่งจะมีการหีบอ้อยในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 3-5 เดือนเท่านั้น ทำให้การเก็บเกี่ยวอ้อยในพื้นที่หลายล้านไร่ในช่วงระยะเวลาเพียงไม่กี่เดือนต้องใช้แรงงานจำนวนมาก เกษตรกรชาวไร่อ้อยจึงตัดสินใจเลือกวิธีตัดอ้อยไฟไหม้ทดแทนการตัดอ้อยสด เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วกว่า แต่วิธีการตัดอ้อยไฟไหม้เป็นหนึ่งในสาเหตุที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ (Air Pollution) ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ที่ประเทศไทยประสบอยู่ ณ ขณะนี้ ทำให้เกษตรกรบางรายได้เริ่มนำเครื่องจักรกลทางการเกษตร อาทิ เครื่องจักรในการเพาะปลูก และรถตัดอ้อย เข้ามาทดแทนแรงงานคน ซึ่งหากนำเทคโนโลยีอย่างรถตัดอ้อยเข้ามาใช้แทนแรงงานในการเก็บเกี่ยวอ้อยนั้น หากนำมาเปรียบเทียบกัน สามารถลดต้นทุนในการเก็บเกี่ยวอ้อยได้ถึง 200 บาทต่อตัน [7] นอกจากนั้นรถตัดอ้อยยังให้ผลผลิตจากการเก็บเกี่ยวที่ดีกว่า เพราะปริมาณน้ำหนกอ้อยขึ้นอยู่กับค่าความหวานอ้อย (Commercial Cane Sugar : CCS) จะขึ้นสูงสุดแค่ช่วงเวลาเดียว [8] ทำให้เครื่องจักรกลทางการเกษตรอย่างรถตัดอ้อยเข้ามามีส่วนสำคัญในการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรชาวไร่อ้อย

ปัจจุบันการเก็บเกี่ยวด้วยรถตัดอ้อยนั้น ส่วนใหญ่เกษตรกรเป็นผู้บริหารจัดการการวางแผนเก็บเกี่ยวในการจัดสรรหรือเคลื่อนย้ายรถตัดไปตัดอ้อยแต่ละแปลงที่กำหนดไว้ แม้กระทั่งการจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งหากเกิดการบริหารจัดการที่ไม่ดีพอก็จะทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้งานรถตัดอ้อยที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรรถบรรทุก (Fuel Truck) จากทางโรงงานไปบริการแก่เกษตรกรชาวไร่อ้อย เพื่อให้เกิดการใช้งานรถตัดอ้อยอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด ในปัจจุบันโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษายังไม่มีการศึกษาเรื่องการจัดเส้นทางในการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อย ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นยังมีต้นทุนในการดำเนินงานอื่น ๆ เกี่ยวกับการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อย ได้แก่ต้นทุนเกี่ยวกับการเปิดให้บริการรถบรรทุก และค่าปรับที่เกิดจากค่าเสียโอกาสที่ต้องหยุดกิจกรรมต่าง ๆ ของรถตัดอ้อยเพื่อรอรับบริการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก โดยในส่วนของต้นทุนการเปิดให้บริการรถบรรทุกนั้น เป็นต้นทุนที่ค่อนข้างสูง จึงต้องมีการใช้งานรถบรรทุกอย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยการพิจารณาการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงแบบหลายเที่ยว (Multiple-Trips) ซึ่งสถานการณ์ปัจจุบันส่วนใหญ่เน้นมีการใช้รถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิง 1 คันต่อหนึ่งเส้นทางเท่านั้น ซึ่งในบางกรณียังสามารถให้บริการแก่รถตัดอ้อย เพียงแต่ปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกไม่เพียงพอต่อความต้องการของรถตัดอ้อย จึงมีการเปิดให้บริการรถบรรทุกเพิ่มจนเกินความจำเป็น จึงมีการพิจารณาข้อจำกัดนี้ ทำให้การจัดเส้นทางของการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดต้นทุนในการเปิดให้บริการรถบรรทุก และในส่วนของค่าปรับที่เกิดขึ้นมีอยู่ด้วยกัน 1 กรณีคือ ค่าปรับจากการต้องหยุดทำงานของรถตัดอ้อยเพื่อรอรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก (Penalty Cost) ก็เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดต้นทุนขึ้นอย่างมาก เนื่องจากลักษณะการทำงานของรถตัดอ้อยต้องทำงานอยู่ตลอดเวลา เพราะการสูญเสียค่าความหวานอ้อย (CCS) จากการหยุดทำงานของรถตัดอ้อยนั้นเกิดเป็นค่าปรับอย่างมากมายแก่โรงงาน ซึ่งปัจจัยที่ทำให้รถตัดอ้อยต้องหยุดการทำงานนั้นมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน หนึ่งในนั้นคือ น้ำมันเชื้อเพลิงของรถตัดอ้อยหมดทำให้ต้องหยุดทำงานเพื่อรอรับบริการ (Soft-Time windows) จากรถบรรทุก ทำให้เกิดค่าเสียโอกาสหรือค่าปรับขึ้นเนื่องจากการต้องหยุดกิจกรรมต่าง ๆ ของรถตัดอ้อยเพื่อรอรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก ดังนั้นเพื่อให้เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา จึงทำให้งานวิจัยนี้มีการพิจารณาค่าปรับที่เกิดขึ้นจากการรอรับบริการจากรถบรรทุก ของรถตัดอ้อย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและพัฒนาการแก้ปัญหาการจัดสรรรถบรรทุกแก่รถตัดอ้อยในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เพื่อให้กลุ่มผู้ให้บริการโลจิสติกส์สามารถบริหารจัดการกิจกรรมโลจิสติกส์ต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อทำให้ต้นทุนในการดำเนินงานต่ำลง เนื่องจากจำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขหลายด้าน ได้แก่ (1) การวางแผนการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงให้ทันเวลา รวมไปถึงค่าปรับหากไม่ทันตามกรอบเวลาที่กำหนด และ (2) การพิจารณาใช้งานรถบรรทุกแบบหลายเที่ยว จากความซับซ้อนและข้อจำกัดข้างต้นสามารถระบุปัญหาได้โดยการสร้างรูปแบบการตัดสินใจในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีแม่นยำ (Exact Approach) ด้วยการพัฒนาแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การแก้ปัญหาการจัดสรรรถบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เพื่อจัดเส้นทางของการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น (Vehicle Routing Problem with Multiple-Trips and Soft-Time windows : VRPMT) เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดโดยประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการเปิดให้บริการรถบรรทุก ต้นทุนที่เกิดจากค่าเสียโอกาสหรือค่าปรับ จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอและรูปแบบที่ดำเนินงานในปัจจุบัน (Current Practice) ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย วิธีวิจัย ผลการวิจัย อภิปรายผล และสรุปผลการวิจัย โดย 1) เนื้อหาประกอบไปด้วย 1.1) ลักษณะของปัญหา VRPMT

และ 1.2) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ 2) ผลการวิจัย จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลลัพธ์ของรูปแบบทางคณิตศาสตร์และรูปแบบที่ดำเนินการในปัจจุบัน และ 3) อภิปรายและสรุปผลการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดโดยประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการเปิดให้บริการรถบรรทุก ต้นทุนที่เกิดจากค่าเสียโอกาสหรือค่าปรับ

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะและสมมติฐานของปัญหา ซึ่งได้นำเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น ซึ่งมีรายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

1. ลักษณะของปัญหา

ปัจจุบันลักษณะการวางแผนเส้นทางการบริการน้ำมันเชื้อเพลิงต้องดำเนินการตามที่เกษตรกรชาวไร่อ้อยแจ้งเรื่องจองในการรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนจะได้รับบริการตามลำดับ (First-Come First-Serve : FCFS) ในงานวิจัยนี้การดำเนินงานในปัจจุบันจะคำนวณด้วยการสุ่มลำดับในการให้บริการ ซึ่งระยะเวลาในการคำนวณ 30 นาที อ้างอิงจากบทสัมภาษณ์จากการประชุมแผนงานของเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการ ทำให้ไม่ได้พิจารณาถึงระยะทางในการให้บริการ อีกทั้งข้อจำกัดเรื่องการบรรทุกจึงมีการเปิดให้บริการรถบรรทุกเกินความจำเป็น รวมไปถึงการต้องรอรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจากรถบรรทุก ทำให้ต้องหยุดกิจกรรมต่าง ๆ ส่งผลต่อค่าความหวานของอ้อย ทั้งหมดที่กล่าวมานั้นล้วนแต่เป็นต้นทุนในการดำเนินงานที่เพิ่มขึ้น หากมีการคำนวณอย่างเป็นระบบจะช่วยให้การบริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อยมีประสิทธิภาพ และประหยัดต้นทุนในการดำเนินงานรวมถึงรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

จากลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดโดยต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการเปิดให้บริการรถบรรทุก ต้นทุนที่เกิดจากค่าเสียโอกาสหรือค่าปรับ ซึ่งกำหนดให้พิกัดคลังน้ำมันเชื้อเพลิงและรถตัดอ้อยกำลังทำงานอยู่ (จุด; Node) $i, j \in \{1, 1, 2, \dots, N\}$ รวม N จุด ปริมาณความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของรถตัดอ้อยแต่ละคัน q_i ลิตร โดย K แทนจำนวนรถบรรทุกทั้งหมด โดยที่ $k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$ และ $l \in \{1, 2, 3, \dots, L\}$ แทนจำนวนเที่ยวของรถบรรทุกต้องไม่เกิน L โดยพิจารณาเงื่อนไขเรื่อง TV_i ระยะเวลาที่ให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อย $d_{i,j}$ คือ ระยะเวลาเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j เงื่อนไขของความจุน้ำมันเชื้อเพลิง โดยรถบรรทุกคันที่ k มีความจุน้ำมันเชื้อเพลิงสูงสุด a_k รวมไปถึงเวลาก่อนที่รถตัดอ้อย i จะน้ำมันหมด TL_i เวลาช้าสุดที่รถตัดอ้อยยอมรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงได้ NE_i โดยลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุก (แสดงดังภาพที่ 1)

2. สมมติฐานของปัญหา

ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุก ประกอบไปด้วยเงื่อนไขข้อจำกัด 3 ส่วนหลักได้แก่ 1) คลังน้ำมันเชื้อเพลิง 2) รถตัดอ้อย 3) รถบรรทุกในการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงรายละเอียดได้ดังนี้

2.1 คลังน้ำมันเชื้อเพลิง

2.1.1 คลังน้ำมันเชื้อเพลิง (Depot) มีน้ำมันเชื้อเพลิงสำรองไม่จำกัด

2.2 รถตัดอ้อย

2.2.1 รถตัดอ้อยแต่ละคันมีกำหนดเวลาที่น้ำมันเชื้อเพลิงหมด (Time window)

2.2.2 อนุญาตให้รถตัดอ้อยรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิงหลังปิดรับบริการได้ (Semi-Soft Time window)

แต่จะเกิดค่าปรับจากการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงช้ากว่ากำหนด

2.3 รถบรรทุกในการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง

2.3.1 รถบรรทุกออกจากคลังน้ำมันเชื้อเพลิงต้องกลับเข้าคลังน้ำมันเชื้อเพลิงเสมอ

2.3.2 รถบรรทุกมีจำนวนไม่จำกัด

2.3.3 รถบรรทุกมีข้อจำกัดด้าน ความจุน้ำมันเชื้อเพลิง และอัตราเร็วของรถคงที่

2.3.4 รถบรรทุกสามารถขนส่งได้มากกว่าหนึ่งเที่ยว (Multiple-Trips)

2.3.5 รถบรรทุกมีข้อจำกัดด้านเวลาในการดำเนินงาน (Duration Time of Route)

3. การพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุก มีจุดประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด โดยใช้แบบจำลองกำหนดเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed-Integer Linear Programming: MILP) ซึ่งรูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ได้พัฒนาจากงานวิจัยของ Kamsopa et al. [9] โดยประกอบด้วยหัวข้อ 1) รูปแบบทางคณิตศาสตร์ และ 2) ตัวอย่างและผลลัพธ์จากการตรวจสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ ดังนี้

3.1 รูปแบบทางคณิตศาสตร์

การพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วย ดัชนี (Indices) ตัวแปรทราบค่า (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) สมการเป้าหมาย (Objective Function) และข้อจำกัด (Constraints) ดังนี้

ดัชนี (Indices)

ดัชนี	ความหมาย
i, j, p	ดัชนีของรถตัดอ้อย $i, j, p \in \{1, 2, 3, \dots, N\}$; $i, j, p = \{1\}$ แทน ดัชนีของคลังน้ำมันเชื้อเพลิง
k	ดัชนีของรถบรรทุก (Vehicle) $k \in \{1, 2, 3, \dots, K\}$
l	ดัชนีจำนวนเที่ยวของรถบรรทุก (Trip) $l \in \{1, 2, 3, \dots, L\}$

ตัวแปรทราบค่า (Parameters)

ตัวแปรทราบค่า	ความหมาย
V	เซตของรถตัดอ้อย + คลังน้ำมันเชื้อเพลิง; $V \in \{1, \dots, N \}$
V'	เซตของรถตัดอ้อย; $V' \in \{V\} \setminus \{1\}$
K	เซตของรถบรรทุก
L	เซตของจำนวนเที่ยวของรถบรรทุก
M	จำนวนเต็มที่มีค่ามาก

$d_{i,j}$	ระยะเวลาทางเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j
q_i	ปริมาณความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงของรถตัดอ้อย
a_k	ความจุน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก
TL_i	กำหนดเวลาที่รถตัดอ้อยน้ำมันหมด
NE_i	กำหนดเวลาช้าสุดที่รถตัดอ้อยยอมรับบริการได้
TV_i	เวลาในบริการน้ำมันเชื้อเพลิง
c_k	ค่าใช้จ่ายในการเปิดใช้บริการรถบรรทุก
f	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่อหน่วยเวลา
CL	ค่าปรับกรณีให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงหลังจากรถตัดอ้อยน้ำมันหมด

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

ตัวแปรทราบตัดสินใจ	ความหมาย
$X_{i,j}^{k,l}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยรถบรรทุกคันที่ k เทียบที่ l , เมื่อมีค่าเป็น 0 อื่น ๆ
$Y_i^{k,l}$	มีค่าเป็น 1 เมื่อให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงแก่รถตัดอ้อย i โดยรถบรรทุกคันที่ k เทียบที่ l , เมื่อมีค่าเป็น 0 อื่น ๆ
Z_k	มีค่าเป็น 1 เมื่อมีการใช้งานรถบรรทุกคันที่ k , เมื่อมีค่าเป็น 0 อื่น ๆ
$TA_i^{k,l}$	เวลาเริ่มให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง (Arrival Time) ณ จุด i โดยรถบรรทุกคันที่ k เทียบที่ l
$TS_1^{k,l}$	เวลาที่รถบรรทุกคันที่ k เทียบที่ l ออกเดินทางจากคลังน้ำมันเชื้อเพลิง
$TE_1^{k,l}$	เวลาที่รถบรรทุกคันที่ k เทียบที่ l เดินทางกลับคลังน้ำมันเชื้อเพลิง
TOL_i	ส่วนต่างของเวลากรณีให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงช้ากว่ากำหนด
$U_i^{k,l}$	ค่าตัวแปรตัดสินใจเพื่อป้องกันการเกิดทัวร์ย่อย (Subtour)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Minimize } f \cdot \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L d_{i,j} \cdot X_{i,j}^{k,l} + \sum_{k=1}^K c_k \cdot Z_k + CL \cdot \sum_{i=1}^N TOL_i \quad (1)$$

ข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{j=2}^N X_{1,j}^{k,l} \leq 1 \quad ; \forall k \in K, \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L X_{i,j}^{k,l} = 1 \quad ; \forall j \in V' \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L Y_i^{k,l} = 1 \quad ; \forall i \in V \quad (4)$$

$$\sum_{j=2}^N X_{j,i}^{k,l} \geq Y_i^{k,l} \quad ; \forall i \in V, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i,p}^{k,l} - \sum_{j=1}^N X_{p,j}^{k,l} = 0 \quad ; \forall p \in V, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (6)$$

$$a_k \geq \sum_{i=2}^N Y_i^{k,l} \cdot q_i \quad ; \forall k \in K, \forall l \in L \quad (7)$$

$$Z_k \geq Y_i^{k,l} \quad ; \forall i \in V, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (8)$$

$$TA_j^{k,l} \geq TA_i^{k,l} + TV_i + d_{i,j} - M \cdot (1 - X_{i,j}^{k,l}) \quad ; \forall i \in V, \forall j \in V', \forall k \in K, \forall l \in L; i \neq j \quad (9)$$

$$TA_j^{k,l} \geq TS_1^{k,l} + d_{1,j} - M \cdot (1 - X_{1,j}^{k,l}) \quad ; \forall j \in V', \forall k \in K, \forall l \in L, l > 1 \quad (10)$$

$$TE_1^{k,l} \geq TA_i^{k,l} + TV_i + d_{i,1} \quad ; \forall i \in V', \forall k \in K, \forall l \in L \quad (11)$$

$$TS_1^{k,l+1} = TE_1^{k,l} \quad ; \forall k \in K, \forall l \in L, l = |L| - 1 \quad (12)$$

$$TS_1^{k,l+1} > TS_1^{k,l} \quad ; \forall k \in K, \forall l \in L, l = |L| - 1 \quad (13)$$

$$TA_i^{k,l} \leq NE_i \quad ; \forall i \in V, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (14)$$

$$TA_i^{k,l} - TL_i = TOL_i \quad ; \forall i \in V', \forall k \in K, \forall l \in L \quad (15)$$

$$U_i^{k,l} \geq U_j^{k,l} + q_i - a_k + a_k \cdot (X_{i,j}^{k,l} + X_{j,i}^{k,l}) - X_{i,j}^{k,l} \cdot (q_i + q_j) \quad ; \forall i \in V, \forall j \in V', \forall k \in K, \forall l \in L; i \neq j \quad (16)$$

$$q_i \leq U_i^{k,l} \leq a_k \quad ; \forall i \in V', \forall k \in K, \forall l \in L \quad (17)$$

$$a_k - X_{i,j}^{k,l} \cdot (a_k - q_j) \geq U_i^{k,l} \quad ; \forall i \in V', \forall k \in K, \forall l \in L \quad (18)$$

$$X_{i,j}^{k,l}, Y_i^{k,l}, Z_k \in \{0,1\} \quad ; \forall i, j \in V, \forall k \in K, \forall l \in L \quad (19)$$

$$TA_i^{k,l}, TS_1^{k,l}, TE_1^{k,l}, TOL_i, U_i^{k,l} \geq 0 \quad ; \forall i \in V', \forall k \in K, \forall l \in L \quad (20)$$

สมการเป้าหมาย (1) แสดงวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางรถขนส่งของรถบรรทุกให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายในการเปิดให้บริการรถบรรทุก และค่าปรับกรณีที่ไม่ให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง หลังจากรถตัดอ้อยน้ำมันหมด ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ สมการที่ (2) ในหนึ่งเที่ยวรถบรรทุกแต่ละคันจะสามารถออกจากคลังน้ำมันเชื้อเพลิงได้เพียงหนึ่งรอบเท่านั้น สมการที่ (3) – (4) รถตัดอ้อยทุก i ทุกคันต้องได้รับบริการ สมการที่ (5) เพื่อกำหนดการทำงานของรถบรรทุกคันที่ k ที่เที่ยวที่ l (สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจ $X_{i,p}^{k,l}$ และ $Y_i^{k,l}$) สมการที่ (6) เมื่อมีการเดินทางเข้ามาให้บริการรถตัดอ้อยคันที่ i จะต้องมีการเดินทางออกจากจุดนั้นด้วย สมการที่ (7) แสดงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงต้องไม่เกินความจุของรถบรรทุก สมการที่ (8) เพื่อกำหนดการทำงานของรถบรรทุกคันที่ k (สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจ Z_k และ $Y_i^{k,l}$) สมการที่ (9) – (13) แสดงข้อจำกัดการรับประกันเวลาการมาถึงรถตัดอ้อย i ของรถบรรทุกคันที่ k ที่เที่ยวที่ l และเวลาการเดินทางจากลูกค้า i ไป j ของรถบรรทุกคันที่ k ที่เที่ยวที่ l สมการที่ (14) แสดงเวลาเดินทางที่มาถึงรถตัดอ้อย i ต้องไม่เกินเวลาที่กำหนดไว้ สมการที่ (15) แสดงการคำนวณเวลาที่เกิดค่าปรับ (Opportunity

Cost) สมการ (16) – (18) เพื่อป้องกันการเกิดทัวร์ย่อย สมการที่ (19) เพื่อกำหนดตัวแปรฐานสอง และสมการที่ (20) ตัวแปรตัดสินใจต้องมีค่าเป็นบวก

3.2 ตัวอย่างและผลลัพธ์จากการตรวจสอบรูปแบบทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาารูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น ได้ดำเนินการทดสอบรูปแบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้การเปรียบเทียบคำตอบจากตัวอย่างปัญหา เพื่อให้สามารถเป็นตัวแทนของปัญหาที่ซับซ้อนดังกล่าว และตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ นอกจากนั้นยังทำให้การตรวจสอบดังกล่าวครอบคลุมทุกมิติ ดังนั้นจึงได้กำหนดข้อมูลนำเข้า (Input Data) ที่ใช้ในการทดสอบ คือ คลังน้ำมันเชื้อเพลิง 1 จุด รถตัดอ้อย (จุด;Node) 7 จุด จำนวนของรถบรรทุกไม่เกิน (Trips) 2 เที่ยว ระยะเวลาวิ่งไม่เกิน (Duration Time of Route) 480 นาที (6 ชั่วโมง) ซึ่งมีข้อมูลนำเข้าต่าง ๆ ได้แก่ (1) ปริมาณความต้องการเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 1 (2) กรอบเวลาปิดของรถตัดอ้อย แสดงดังตารางที่ 1 (3) เวลาให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 1 (4) ระยะทางระหว่าง i ไปยัง j แสดงดังตารางที่ 2 (5) ความจุน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก แสดงดังตารางที่ 3 และ (6) ตัวแปรทราบค่าที่ในการคำนวณสมการเป้าหมาย แสดงดังตารางที่ 4

ซึ่งการหาค่าผลเฉลยที่เหมาะสม (Optimal Solution) สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งของรถบรรทุก โดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น ได้ดำเนินการทดสอบความถูกต้องของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO V.16 บนระบบปฏิบัติการ Window 10 โดยการประมวลผลคำตอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดังนี้ Processor: Intel(R) Core(TM) i7-7700HQ CPU @ 2.80GHz Installed Memory (RAM): 12.0 GB System type: 64-bit Operating System และผลเฉลยจากการประมวลผลแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งมีผลการคำนวณของค่าวัตถุประสงค์คือต้นทุนรวมเท่ากับ 7,719.85 บาท โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลโดยซอฟต์แวร์ LINGO V.16 เท่ากับ 1,576 วินาที โดยค่าตัวแปรตัดสินใจ $X_{i,j}^{k,l}$ แสดงถึงการวางแผนเส้นทางในการบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อมีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j รถบรรทุกคันที่ k เที่ยวที่ l โดยที่ระยะเวลารวมไม่เกินที่กำหนด สำหรับปัญหามานกลางนี้การวางแผนเส้นทางมีผลเฉลย 4 เส้นทาง โดยใช้รถบรรทุก 2 คัน คันละ 2 เที่ยว ได้แก่เส้นทาง (1) รถบรรทุกคันที่หนึ่ง เที่ยวที่หนึ่ง เส้นทาง 1-8-1 (2) รถบรรทุกคันที่หนึ่ง เที่ยวที่สอง เส้นทาง 1-3-2-1 (3) รถบรรทุกคันที่สอง เที่ยวที่หนึ่ง เส้นทาง 1-5-4-1 (4) รถบรรทุกคันที่สอง เที่ยวที่สอง เส้นทาง 1-7-6-1 ดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 3

ผลการวิจัย

จากการศึกษาได้แสดงประสิทธิภาพของรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดเส้นทางของการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด จากการทดลองการแก้ปัญหาได้สร้างตัวอย่างปัญหาที่มีขนาดแตกต่างกัน รวมทั้งสิ้น 14 ตัวอย่าง โดยปรับค่าตัวแปรทราบค่า 1) จำนวนรถตัดอ้อย 2) ระยะเวลาในการเดินทาง 3) เวลาปิดให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง 4) จำนวนเที่ยวของรถบรรทุก 5) ปริมาณความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง 6) ระยะเวลาที่ให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิง และ 7) ระยะเวลาวิ่งไม่เกินที่กำหนด ทั้งนี้การได้มาซึ่งข้อมูลนำเข้าส่วนใหญ่เป็นการทดลองเชิงตัวเลข (Numerical Experiments) เนื่องจากยังไม่ได้มีการศึกษาและเก็บข้อมูลอย่างจริงจัง โดยมีการจำลองข้อมูลนำเข้าให้ใกล้เคียงและสอดคล้องกับสถานการณ์จริงที่สุด

ซึ่งผลการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้จากรูปแบบทางคณิตศาสตร์และรูปแบบปัจจุบันจาก 14 ตัวอย่าง โดยใช้ปัญหาตัวอย่างที่มีค่าจำนวนรถตัดอ้อย 5 ถึง 11 คัน จำนวนเที่ยวของรถบรรทุกไม่เกิน 2 ถึง 5 เที่ยว และระยะเวลาในการดำเนินงานไม่เกิน 480 ถึง 800 นาที โดยผลการทดลองจะแสดงผลเฉลยของต้นทุนรวมต่ำที่สุดในแต่ละรูปแบบที่นำเสนอ ดังตารางที่ 6 จากผลเฉลยพบว่าปัญหาขนาดใหญ่ที่สุดที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์สามารถให้ค่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดคือปัญหาที่ 10 แต่หากพิจารณาถึงระยะเวลาการวางแผนที่โรงงานยอมรับ (21,600 วินาที หรือ 6 ชั่วโมง) จะพบว่าปัญหาขนาดใหญ่ที่สุดที่รูปแบบทางคณิตศาสตร์ให้ค่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดคือ ปัญหาที่ 9 และปัญหาที่ 11 ถึง 14 ทางผู้วิจัยกำหนดระยะเวลาในการหาผลเฉลยไว้ไม่เกิน 56,000 วินาที (15.5 ชั่วโมง) ซึ่งปัญหาดังกล่าวไม่สามารถหาค่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบกับรูปแบบของกรณีศึกษาในปัจจุบันในรูปแบบของร้อยละพัฒนาสัมพัทธ์ (Percentage of Relative Improvement; %RI) ตามสมการที่ (21) จากตารางที่ 5 ค่าร้อยละพัฒนาสัมพัทธ์ในส่วนของต้นทุนรวมของรูปแบบปัจจุบัน เมื่อเทียบกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0%, 0%, 0%, 0%, 9.61%, 9.30%, 8.24%, 8.59%, 11.46%, 1.21%, 4.55%, 5.04%, 9.30%, 12.61% ตามลำดับ โดยคิดเป็นค่าร้อยละพัฒนาสัมพัทธ์ของผลเฉลยโดยเฉลี่ย 5.71%

$$RI = \frac{(Sol_{CUR} - Sol_{MATH})}{Sol_{CUR}} \times 100 \quad (21)$$

โดยที่ RI แทนค่าร้อยละการพัฒนาสัมพัทธ์
 Sol_{CUR} แทนคำตอบจากรูปแบบในปัจจุบัน
 Sol_{MATH} แทนคำตอบจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุกเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการให้บริการเนื่องจากปัจจุบันเป็นการให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงตามลำดับ (First-Come First-Serve) ในงานวิจัยนี้การดำเนินงานในปัจจุบันจะเป็นการสุ่มลำดับให้บริการ โดยระยะเวลาการคำนวณจะอ้างอิงจากการประชุมแผนดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานเกินความจำเป็น ดังนั้นเพื่อให้การบริหารจัดการดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุดสำหรับปัญหาดังกล่าวในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้สะดวกและเข้าใจได้ง่ายต่อการนำไปใช้งานของโรงงานกรณีศึกษา สำหรับการกำหนดปัจจัยในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดไว้ดังนี้ (1) รถตัดอ้อย 5 ถึง 11 คัน (2) จำนวนเที่ยวของรถบรรทุกไม่เกิน 2 ถึง 5 เที่ยว และ (3) ระยะเวลาในการดำเนินงานไม่เกิน 480 ถึง 800 นาที ทั้งนี้การกำหนดระดับของปัจจัยเพื่อต้องการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานรถบรรทุกเนื่องจากเป็นต้นทุนที่สูงมากเมื่อเทียบกับต้นทุนอื่นๆ กล่าวคือ การเพิ่มขึ้นของจำนวนรถตัดอ้อย จำนวนเที่ยวของรถบรรทุกสูงสุด รวมไปถึงระยะเวลาในการดำเนินงานสูงสุดมีผลต่อคุณภาพผลเฉลยหรือไม่ และได้

ดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของรูปแบบปัจจุบัน (Current Practice) กับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาแล้ว จะเห็นได้ว่าในปัญหาขนาดเล็ก (รถตัดอ้อย 6 ราย; $N = 6$) มีผลเฉลยเท่ากับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากการดำเนินงานในรูปแบบปัจจุบันมีแผนการดำเนินงานดังที่กล่าวไปข้างต้น ทำให้มีโอกาสที่ผลเฉลยจะเท่ากับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ผลปรากฏว่ารูปแบบทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาคุณภาพของผลเฉลย เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหา และข้อจำกัดในการถอดรหัสลำดับให้บริการ (Decoding) ของรูปแบบปัจจุบันเมื่อโจทย์มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของผลเฉลยในรูปแบบปัจจุบันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยวิธีการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งของรถบรรทุกได้ ซึ่งขณะนี้เป็นการศึกษาแนวทางการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น และอยู่ระหว่างการดำเนินการต่อยอดไปยังโรงงานกรณีศึกษา นอกจากนั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ในรูปแบบใกล้เคียงได้ ทั้งนี้เพื่อลดระยะเวลาในการบริการ การจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อย่างไรก็ตามปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งของรถบรรทุก ยังต้องมีการคำนึงปัจจัยอื่น ๆ อาทิ ตำแหน่งของรถตัดอ้อยที่มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา (Dynamic) รวมไปถึงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ลดลงตลอดการทำงานของรถตัดอ้อย (Demand Range) นอกจากนั้นรถตัดอ้อยควรให้มีการรับบริการได้มากกว่าหนึ่งครั้ง (Split Delivery) เพื่อให้การใช้งานทรัพยากร คือรถบรรทุกมีประสิทธิภาพสูงสุด เป็นต้น ดังนั้นการต่อยอดงานวิจัยในอนาคตควรพิจารณาสถานการณ์หรือเงื่อนไขที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากยิ่งขึ้น เพื่อความเหมาะสมกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานกรณีศึกษา และวิธีการแก้ปัญหาของงานวิจัยควรนำวิธีการทางเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) มาใช้ในการพัฒนาผลเฉลย เนื่องจากรูปแบบทางคณิตศาสตร์มีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลาในการแก้ปัญหาในเชิงอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยการพัฒนาโมเดลเชิงระบบสำหรับอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

1. Industry Outlook 2021-2023: Sugar Industry [Internet]. 2021 [cited 2022 Jan 8]. Available from: <https://www.krungsri.com/en/research/industry/industry-outlook/agriculture/sugar/IO/io-sugar-21>
2. Boonsuchat S, Sethanan K, Jamrus T, Kusunoom C, Pattanapairoj S. Mechanical Harvester Route Planning of Sugarcane Harvesting with Field Conditions and Types of Mechanical Harvester. KKU Res J. 2021; 21(4): 24-35. Thai
3. Office of Agricultural Economics [Internet]. 2018 [cited 2022 Jan 5]. Available from: <https://www.oae.go.th/view/1/sugarcane/news/TH-TH>
4. Prepare to hire more than 30,000 temporary sugarcane crushers in season 63/64 [Internet]. 2020 [cited 2022 Jan 5]. Available from: <https://www.prachachat.net/economy/news-546335>
5. Sethanan K. Metaheuristic and Applications for Industry. 1st ed. Khonkaen: Klongnawitthaya; 2015. Thai.

6. Nuengmatcha W. Developing a Model for Linking Inbound Logistics of Sugarcane and Sugar Industry [PhD thesis]. Khon Kaen: Khon Kaen University; 2014. Thai.
7. Sugarcane harvesters reduce 'expenses-labor' farmers [Internet]. 2018 [cited 2021 Dec 18]. Available from: https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_45901
8. Saenkaew S, Sethanan K, Jamrus T, Pattanapairoj S. Meta-Heuristic Algorithms for Allocation of Sugarcane Harvester in Inbound Logistics of Sugarcane Industry with Time Windows. KKU Res J. 2021; 21(4): 11-23. Thai
9. Kamsopa K, Sethana K, Jamrus T, Czajda L. Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Period Vehicle Routing Problem with Mixed Pickup and Delivery with Time Window, Heterogeneous Fleet, Duration Time and Rest Area. Eng J. 2021; 25(10) 71-86.

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง กรอบเวลาปิด และเวลาในการรับบริการของรถตัดอ้อย i

ตัวแปรทราบค่า	จุด i	1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิง (q_i) (ลิตร)		0	180	191	155	135	149	123	195
กรอบเวลาปิดของรถตัดอ้อย (TL_i) (นาที)		0	246	169	152	280	255	237	228
เวลาในการรับบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (TV_i) (นาที)		0	14	16	10	17	11	14	18
เวลาในการดำเนินงาน (NE_i) (นาที)		480	480	480	480	480	480	480	480

ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j (นาที)

จุด i	จุด j	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0	78	49	53	45	68	55	48
2		55	0	44	41	40	50	52	65
3		77	71	0	69	70	58	62	64
4		57	73	64	0	63	57	70	67
5		80	44	80	41	0	75	50	74
6		76	73	58	71	72	0	44	63
7		76	69	69	73	62	45	0	49
8		55	77	61	78	76	65	50	0

ตารางที่ 3 แสดงความจุน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก k

ตัวแปรทราบค่า	รถบรรทุก k	1	2
ความจุน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุก (a_k) (ลิตร)		400	400

ตารางที่ 4 แสดงตัวแปรทราบค่าที่ในการคำนวณสมการเป้าหมาย

ตัวแปรทราบค่า	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วย
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่อหน่วยเวลา (f) (บาท/นาทีก)	2.64
ค่าใช้จ่ายในการเปิดให้บริการรถบรรทุก (C_k) (บาท/คัน)	3,000
ค่าปรับกรณีให้บริการน้ำมันเชื้อเพลิงหลังจากการดัดอ้อยน้ำมันหมด (CL) (บาท/นาทีก)	3.5

ตารางที่ 5 แสดงผลเฉลยและระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบของปัญหาตัวอย่างจากซอฟต์แวร์ LINGO V.16

การวางแผน เส้นทางการบริการ น้ำมันเชื้อเพลิง	ดัชนี				$X_{ij}^{k,l}$	$TS_1^{k,l}$ (นาทีก)	$TA_i^{k,l}$ (นาทีก)	TOL_i (นาทีก)	ต้นทุนรวม (บาท)	ระยะเวลาในการ คำนวณ (วินาที)
	i	j	k	l						
1-8-1	1	8	1	1	1	0	48	-		
รถคันที่1 เทียวที่1	8	1	1	1	1	-	121	-		
1-3-2-1	1	3	1	2	1	121	170	1		
รถคันที่1 เทียวที่2	3	2	1	2	1	-	257	11		
	2	1	1	2	1	-	326	-		
1-5-4-1	1	5	2	1	1	0	45	-	7,719.85	1,576
รถคันที่2 เทียวที่1	5	4	2	1	1	-	103	-		
	4	1	2	1	1	-	170	-		
1-7-6-1	1	7	2	2	1	170	225	-		
รถคันที่2 เทียวที่2	7	6	2	2	1	-	284	29		
	6	1	2	2	1	-	371	-		

ตารางที่ 6 แสดงผลเฉลยของต้นทุนรวมและร้อยละการพัฒนาหาคำตอบสัมพัทธ์

ปัญหา	รูปแบบดำเนินการในปัจจุบัน				รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น			ร้อยละของการ พัฒนาหาคำตอบ สัมพัทธ์ (%)
ปัญหา ที่	N	L	NE_1 (นาทีก)	ต้นทุนรวม (บาท)	ระยะเวลาในการ คำนวณ โดยประมาณ* (วินาที)	ต้นทุนรวม (บาท)	ระยะเวลาใน การคำนวณ (วินาที)	
1	6	2	480	4,765.7		4,765.7	6	0
2	6	3	480	5,119.3	1,800	5,119.3	25	0
3	6	3	600	5,032.4		5,032.4	20	0
4	6	4	600	5,033.7		5,033.7	26	0
5	8	2	480	8,341.0		7,539.1	170	9.61
6	8	3	480	8,512.0	1,800	7,719.9	1,576	9.30
7	8	3	600	8,426.1		7,731.4	4,091	8.24
8	8	4	600	8,474.9		7,746.4	21,767	8.59

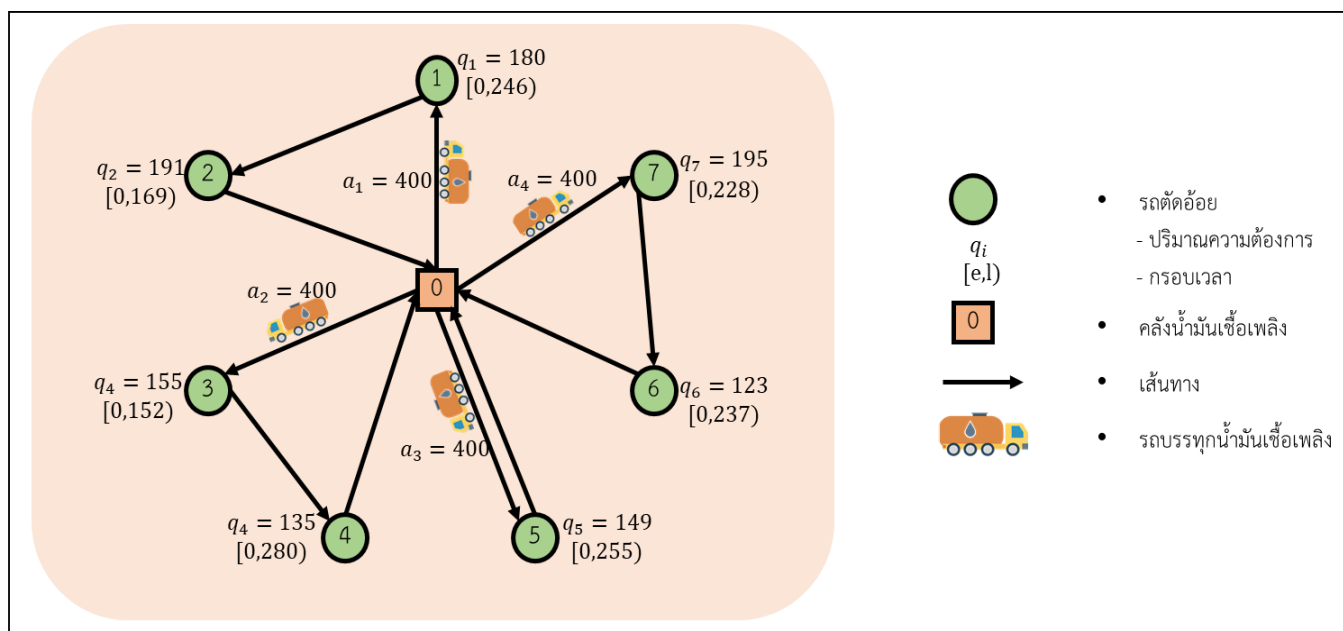
ตารางที่ 6 แสดงผลเฉลยของต้นทุนรวมและร้อยละการพัฒนาคำตอบสัมพัทธ์ (ต่อ)

ปัญหา				รูปแบบดำเนินการในปัจจุบัน		รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น		ร้อยละของการ พัฒนาคำคำตอบ สัมพัทธ์ (%)
ปัญหา ที่	N	L	NE_1 (นาท)	ต้นทุนรวม (บาท)	ระยะเวลาในการ	ต้นทุนรวม (บาท)	ระยะเวลาใน	
					คำนวณ โดยประมาณ* (วินาที)		การคำนวณ (วินาที)	
9	10	2	480	12,170.0	1,800	10,774.8	7,284	11.46
10	10	3	480	8,569.2		8,465.1	49,507**	1.21
11	10	3	600	9,213.3		8,793.4	>56,000***	4.55
12	10	4	600	8,968.2		8,516.2	>56,000***	5.04
13	12	3	800	12,015.0	1,800	10,896.8	>56,000***	9.30
14	12	5	800	12,323.0		10,768.9	>56,000***	12.61
							ค่าเฉลี่ย	5.71

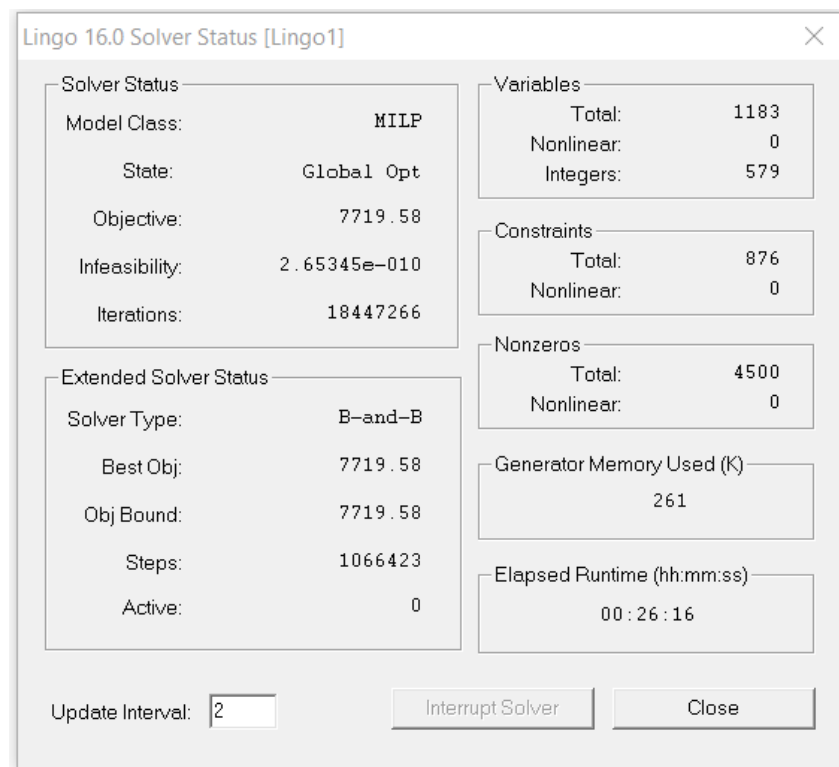
หมายเหตุ *: ระยะเวลาในการคำนวณของรูปแบบดำเนินการในปัจจุบันอ้างอิงจากการสัมภาษณ์ของเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติการ

**: ระยะเวลาในการประมวลผลเกินกว่าระยะเวลาที่ทางโรงงานยอมรับ (21,600 วินาที)

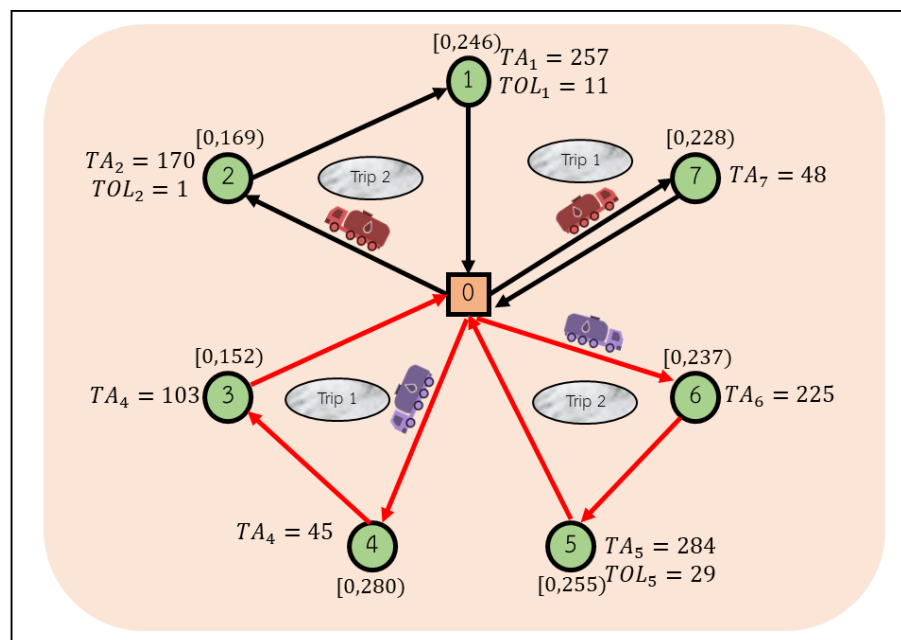
***: รูปแบบทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ภายในระยะเวลา 56,000 วินาที



ภาพที่ 1 ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ LINGO V.16



ภาพที่ 3 ผลเฉลยตัวอย่างของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งของรถบรรทุกโดยพิจารณาการขนส่งแบบหลายเที่ยวภายใต้กรอบเวลาแบบยืดหยุ่น