



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการขนส่งสินค้าในอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม

กรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้า บริษัท ABC

The Efficiency Improvement of Transportation System in Beverage Industry

Case Study: Distribution Center of ABC Company

พัชรินทร์ คอนนาสี¹⁾ และ คมกฤช ปิติฤกษ์²⁾

Phatcharin Khonnasee¹⁾ and Komkrit Pitiruek²⁾

¹⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹⁾ Program of Innovation Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

²⁾ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

Received: 9 May 2022

Revised: 3 October 2022

Accepted: 6 October 2022

Available online: 23 June 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ช่วยแก้ปัญหาการจัดการขนส่งสินค้าภายใต้เงื่อนไขความสามารถของลูกค้านำในการรองรับรถขนส่งแต่ละประเภท ช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้า และข้อจำกัดด้านความสามารถในบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง ซึ่งระบบการจัดการขนส่งในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาใช้วิธีการจัดโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงาน แต่หลังจากที่วิเคราะห์ผลการจัดเส้นทางในอดีต พบว่าการมีรถจัดส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกที่ไม่เหมาะสมกับปริมาณสินค้า ส่งผลให้มีต้นทุนการขนส่งสินค้าเกินความจำเป็น และไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นเส้นทางที่มีความคุ้มค่าหรือไม่ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีตัวชี้วัด คือ จำนวนเที่ยวรถที่น้อยลงและค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการจัดการขนส่งในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงาน ผลจากการศึกษา พบว่าค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงร้อยละ 5.76 และมีจำนวนเที่ยวในการจัดส่งสินค้าทั้งหมดลดลงร้อยละ 3.35 ภายใน 30 วัน

คำสำคัญ: การจัดการขนส่ง การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง ปัญหาการขนส่ง

Abstract

The objective of this research is to apply mathematical model for selecting delivery truck with various truck capacities and customers' constraints. Currently, employees manually planned the truck scheduling based on their experiences. However, the analytical results of vehicle planning in the past indicated that most truck delivery plans were not matched between numbers of goods and the truck capacity. Consequently, the freight cost was increased and could not guarantee that the actual shipping is compiled to the plans. Therefore, a mathematical model was developed and applied to assist in the decision making on the vehicle planning. The proposed model resulted in reducing number of trips and transportation costs compared to the existing vehicle planning methods. The result for transportation costs was reduced by 5.76% as well as the total number of shipments was decreased by 3.35% within 30 days.

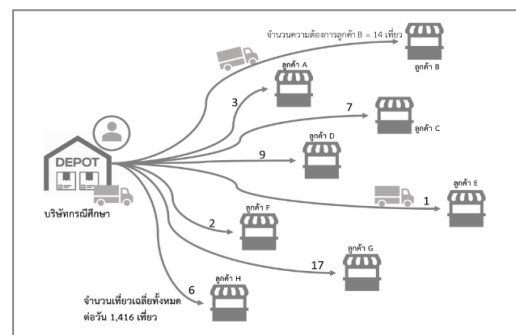
Keywords: Transportation Arrangement: Transport Optimization: Transportation Problems

*ติดต่อ: phatcharin.k@kkumail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบันสภาวะราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี สะท้อนให้เห็นถึง ต้นทุนด้านการขนส่งที่ต้องเพิ่มขึ้นในสัดส่วนเดียวกับราคาน้ำมันเชื้อเพลิง การจัดเส้นทางเป็นกิจกรรมสำคัญที่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งโดยตรง การจัดเส้นทางอย่างมีประสิทธิภาพช่วยให้ธุรกิจสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้อย่างมาก มีผลต่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ทำให้ปริมาณการจราจรทางถนนลดลง ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่อากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักหนึ่งของฝุ่น PM 2.5 และทำให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วย

บริษัทธนาค้าเป็นบริษัทให้บริการโลจิสติกส์บุคคลที่ 3 (Third-Party Logistics: 3PL) ให้บริการกับตัวแทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องดื่มที่มีคำสั่งขอให้ทำการจัดส่งสินค้าไปยังร้านลูกค้า แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แนวทางในการขนส่ง
จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า

จากภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างปริมาณงานที่พนักงานแผนกขนส่งต้องทำการจัดแผนงานให้รถขนส่งสินค้า ซึ่งใช้ข้อมูลในการวางแผนการจัดรถขนส่งสินค้าอ้างอิงตามปริมาณความต้องการสินค้าและช่วงเวลารับสินค้าที่แต่ละร้านกำหนด ความจุของรถขนส่งที่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากสถานที่ของร้านลูกค้าแต่ละแห่งมีข้อจำกัดของพื้นที่และ

ขนาดของรถขนส่งบางประเภทที่ไม่สามารถเข้าถึงได้ ปัจจุบันบริษัทคำนวณการบรรทุกสินค้าเป็นปริมาตร ความจุ ใช้น้ำหนักเป็นพารามิเตอร์ การวางแผนจัดงานรถขนส่งเป็นกระบวนการทำงานที่จัดอยู่ในระดับปฏิบัติการที่ต้องทำทุกวัน ปัญหาการจัดเส้นทางเป็นปัญหามหาศาลและมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยอาศัยประสบการณ์และความชำนาญ อาจส่งผลให้แผนการขนส่งสินค้าไม่มีประสิทธิภาพหากต้องพิจารณาอย่างครบถ้วนทุกรายละเอียด อาจทำให้ตัดสินใจได้ไม่ทันเวลา โดยเฉพาะในช่วงที่มีปริมาณงานเพิ่มขึ้น ซึ่งการอาศัยประสบการณ์ของพนักงานในการจัดงานให้กับรถขนส่งนั้นถือเป็นความสามารถเฉพาะบุคคล อาจจะทำให้เกิดการใช้รถขนส่งที่ไม่เหมาะสม ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่งสินค้าเพิ่มสูงขึ้น และอาจส่งผลในระยะยาวหากมีการปรับเปลี่ยนหน้าที่ หรือพนักงานคนเดิมได้ลาออกไป จะทำให้บริษัทได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ดังกล่าวทันที

จากการศึกษาพบว่า การจัดงานรถขนส่งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้การวางแผนจัดงานให้มีความเหมาะสมในการจัดส่งสินค้า ส่งผลให้ช่วยลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า และตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันตามความต้องการ รวมทั้งเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้ปฏิบัติงานในการวางแผนงานให้เกิดการเลือกใช้รถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ลดเวลาในการจัดงานรถขนส่งที่ต้องทำเป็นประจำทุกวันลงได้ เช่น งานวิจัยของ Rinmukda และคณะ [1] นำเสนอแนวทางปรับปรุงพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษาที่มีวางแผนการจัดเส้นทางโดยใช้

ประสบการณ์และความชำนาญเส้นทางของพนักงาน ขาดการพิจารณาเส้นทางที่เป็นมาตรฐาน และการวางแผนงานที่มีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับ Hongsuwan [2] ได้ศึกษาการวางแผนเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่ม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งให้มีระยะทางสั้นที่สุด หากนำปัญหาที่มีความซับซ้อนมาศึกษา ทำความเข้าใจ ให้ครบถ้วน แล้วสร้างเป็นแบบจำลอง ซึ่งงานวิจัยของ พิศาล [3] แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ไม่จำเป็นต้องเป็นแบบจำลองที่ต้องการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอไป และบางแบบจำลองอาจจะเป็นการอธิบายอินพุต (input) กับเอาต์พุต (output) เท่านั้น แบบจำลองเพื่อการตัดสินใจ (Decision model) ใช้ประกอบกระบวนการตัดสินใจ ผู้ตัดสินใจไม่จำเป็นต้องตัดสินใจตามผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ผู้ตัดสินใจอาจมีปัจจัยอื่นที่คำนึงถึงแต่ไม่อยู่ในแบบจำลอง หรือไม่สามารถนำเข้ามาไว้ในแบบจำลองได้ แบบจำลองบนสเปรดชีต (Spreadsheet model) จัดข้อมูลให้อยู่ในแนวนอนและแนวตั้ง แล้วเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลต่างๆ เข้าด้วยกัน สเปรดชีตมีความสามารถที่หลากหลายทำให้มีความเหมาะสมต่อการสร้างแบบจำลอง เช่น Velarde และคณะ [4] ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการกำหนดเส้นทางการกระจายสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า แม้ว่าแนวทางของงานวิจัยที่นำเสนอจะทำให้มีต้นทุนในการดำเนินงานต่อวันที่เพิ่มขึ้น แต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พาหนะให้ดีขึ้นจากเดิม 65% เป็น 87% ปัจจุบันมีการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาการขนส่ง เช่น X.W.Qin และคณะ [5] Ma และ Zhang [6]

Yang และคณะ [7] Gao [8] Zhang และคณะ [9] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้านงานวิจัยของน้ำมันต์ และสรวิชัย [10] ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Bektas [11] ที่ได้รวบรวมปัญหา mTSP ไปประยุกต์ใช้งานในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ เช่น ด้านการจัดตารางเครื่องพิมพ์ Gorenstein [12] ต่อมาพัฒนาโดย Carter และ Ragsdale [13] นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้จัดตารางเดินรถนักเรียนในงานวิจัยของ Angel [14] รวมถึงนำไปใช้ในการจัดตารางลูกเรือ Svestka และ Huckfeldt [15] โดยงานวิจัยของน้ำมันต์ และสรวิชัย [10] ได้ปรับปรุงต่อยอดแบบจำลอง Assignment-based และ Flow-based ด้วยการเพิ่มเงื่อนไขกำหนดจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง และกำหนดเวลาให้รถแต่ละคันไม่เกิน 8 ชั่วโมง ทำการทดสอบด้วยปัญหาทดสอบจำนวน 27 ปัญหา แบ่งเป็น 3 รูปแบบ พบว่าแบบจำลอง Flow-based เหมาะสมกับการแก้ปัญหา ต่อมาในงานวิจัยของ วริศรา และสร-วิชัย [16] ที่ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางรถเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและคำนึงถึงระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของวัน สำหรับบริษัทกรณีศึกษาในธุรกิจค้าปลีกแห่งหนึ่ง เพื่อหาระยะเวลาในการเดินทางต่ำที่สุด และลดต้นทุนการขนส่งของบริษัท จากโจทย์ปัญหาทดสอบทั้งหมด 12 โจทย์ปัญหา แบ่งเป็น 4 ขนาดตามจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อ ผลสรุปว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในบางปัญหาเท่านั้น จึงยังไม่ตอบสนองต่อการปฏิบัติงานจริง ส่วนงานวิจัยของ

สวิชัย และชนะ [17] ได้พัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ช่วยแก้ปัญหาการจัดตารางรถบรรทุกรับส่งสินค้า เพื่อใช้อัตราต้นทุนรถ และการใช้ประโยชน์ของรถที่ดีที่สุด และพิจารณาเส้นทางการขนส่งทั้งหมด 96 เส้นทาง ด้วยวิธี Tree Searching Algorithm (TSA) ภายใต้ข้อจำกัดที่รถแต่ละคันรับส่งสินค้าได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง พบว่า จำนวนรถที่ใช้ลดลงร้อยละ 20.30 ต่อวัน จำนวนการหมุนรถเพิ่มขึ้นร้อยละ 25.20

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหการขนส่ง (Transportation Problem) โดยนำตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหา ในงานวิจัยนี้กำหนดให้การขนส่งมีต้นทางจุดรับสินค้าเป็นคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา และมีจุดส่งสินค้าปลายทางคือร้านลูกค้าที่บริษัทกรณีศึกษาต้องทำการจัดส่ง โดยมีเป้าหมายเพื่อหาผลรวมของค่าใช้จ่ายการขนส่งที่ต่ำที่สุด ซึ่งปัญหการขนส่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Hitchcock [18] ได้นำเสนอการศึกษาการกระจายสินค้าจากแหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังปลายทาง (Destinations) โดยมีเป้าหมายในการหาระยะทางและค่าขนส่งที่ต่ำที่สุด โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของความสามารถในการผลิตและความต้องการสินค้านั้น ส่วนปัญหการเดินทางของพนักงานขาย Traveling Salesman Problem: TSP) มีการศึกษาและนำมาใช้ในด้านขนส่งเพื่อลดต้นทุนที่เกิดจากการขนส่ง และงานวิจัยของ Benavent และคณะ [19] ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะของพนักงานขายในหมู่เกาะชนบทที่ต้องให้บริการโดยใช้เรือลำเดียวตามเส้นทางเดียว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าขนส่งจากเรือและรถบรรทุก ต่อมา Miranda และคณะ [20] ศึกษาปัญหาการกระจายสินค้า สร้าง

แบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยเส้นทางที่สั้นที่สุด และลดระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ตามทฤษฎีของ TSP เช่นเดียวกันกับ งานวิจัยของ ไพฑูรย์ [21] เสนอวิธีการลดต้นทุนการขนส่งโดยการประยุกต์ใช้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นในการจัดเส้นทางพาหนะให้กับธุรกิจขนานม สามารถลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ลงได้ 18.15 % งานวิจัยของ Puchongkawarin & Ransikarbum [22] พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (DSS) แบบสองขั้นตอน ยกระดับคุณภาพของโลจิสติกส์การท้องเที่ยวและบริการขนส่งสาธารณะ โดยใช้การวิจัยแบบผสมผสานอาศัยการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับความพึงพอใจและการเลือกจุดหมายปลายทางของนักท่องเที่ยว ใช้แบบจำลอง TSP มาวิเคราะห์การบริการขนส่งและเส้นทาง เครื่องมือที่งานวิจัยเสนอนี้ได้รับการตรวจสอบโดยใช้กรณีศึกษาสองกรณีเกี่ยวกับโลจิสติกส์เพื่อการท้องเที่ยวและรถมินิบัสที่มีอยู่ในจังหวัดอุบลราชธานีของประเทศไทย ซึ่งมีแนวทางที่ได้นำเสนอมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพและเส้นทางของระบบที่มีอยู่ได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาและงานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการขนส่ง มีการแก้ปัญหาได้หลายวิธีซึ่งมีความแตกต่างกันไปตามเงื่อนไขของปัญหาที่พบในกรณีศึกษา เพื่อให้สามารถบรรลุผลลัพธ์ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้น สำหรับงานวิจัยนี้ควรเลือกใช้วิธีการค้นหาคำตอบด้วยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เนื่องจากต้องการหาค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ตรงกับเป้าหมาย คือ การจัดงานให้รถขนส่งภายใต้ข้อจำกัด โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ผู้ให้บริการโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องดื่ม โดยการแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ด้วยรถบรรทุกที่มีความจุ 3 ประเภท ได้แก่ 2 พาเลท 7 พาเลท และ 8 พาเลท เครื่องมือในการวิเคราะห์หาลรวมค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด คือ โปรแกรม Lingo 19.0 ในการแก้ปัญหาแบบ Optimization โดยมีสมการวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่มีค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize cost) ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

การสร้างรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ การกำหนดตัวแปรของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดงานรถขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งที่ต่ำที่สุด และการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาในตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ คือ ต้นทุนการขนส่งของรถขนส่งแต่ละประเภท มีหน่วยเป็น บาท/กิโลเมตร และระยะทางในการจัดส่งสินค้าจากบริษัทกรณีศึกษาไปยังจุดส่งสินค้าที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งตัวแปรและพารามิเตอร์สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ดัชนี (Index)

i	แทน ศูนย์กระจายสินค้า
j	แทน ลูกค้า
t	แทน ประเภทของรถขนส่งที่แบ่งตามความจุ
n	แทน หมายเลขรถขนส่งแต่ละคัน

ตัวแปรเสริม (Parameters)

O_t แทน จำนวนของรถขนส่งประเภท t

CAP_t แทน ความจุสูงสุดของรถขนส่งประเภท t

C_t แทน ต้นทุนแปรผันของรถขนส่งประเภท t

D_{ij} แทน ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j

NO_n แทน หมายเลขของรถขนส่งคันที่ n

Q_j แทน ปริมาณความต้องการของลูกค้า j

L_{tj} แทน ค่าเบี่ยงเบนพนักงานขับรถโดยใช้รถ

ขนส่งประเภท t จัดส่งสินค้าไปยังลูกค้า j

G แทน ค่าที่กำหนดเพื่อป้องกันการคำนวณผิดพลาดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

V_{ijtn} คือ ปริมาณการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n

X_{ijtn} เท่ากับ 1 เมื่อตัวแปรตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n และเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีการตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j โดยรถประเภท t หมายเลข n

สมการเป้าหมาย (Objectives Function):

$$\text{Minimize } \sum_i \sum_j \sum_t \sum_n ((C_t D_{ij}) + L_{tj}) X_{ijtn} \quad (2.1)$$

สมการข้อจำกัด (Subject To):

$$\sum_i \sum_j X_{ijtn} \leq 1 \quad \forall t, n \quad (2.2)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_n X_{ijtn} \leq O_t \quad \forall t \quad (2.3)$$

$$V_{ijtn} \leq G \cdot X_{ijtn} \quad \forall i, j, t, n \quad (2.4)$$

$$\sum_i \sum_t \sum_n V_{ijtn} \geq Q_j \quad \forall j \quad (2.5)$$

$$\sum_i \sum_j V_{ijtn} \leq CAP_t \quad \forall t, n \quad (2.6)$$

$$X_{ijtn} \in (0, 1) \quad \forall i, j, t, n \quad (2.7)$$

$$V_{ijtn} = \text{Integer} \quad \forall i, j, t, n \quad (2.8)$$

(2.1) เป็นสมการเป้าหมายเพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งที่ต่ำที่สุด (Minimize Cost) ประกอบด้วย ต้นทุนที่แปรผันตามระยะทางมีหน่วยเป็นบาทต่อกิโลเมตร คูณกับ ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งสินค้ามีหน่วยเป็นกิโลเมตร

(2.2) เป็นสมการข้อจำกัดกำหนดให้รถหมายเลข n ประเภท t ทำการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ได้จำนวนไม่เกิน 1 จุดส่งสินค้าต่อเที่ยว

(2.3) เป็นสมการข้อจำกัดจำนวนเที่ยวที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าด้วยรถขนส่งประเภท t จากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ต้องไม่เกินจำนวนรถขนส่งพร้อมใช้งาน

(2.4) เป็นสมการข้อจำกัดสร้างเงื่อนไขกำหนดการดำเนินการของตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อป้องกันการคำนวณผิดพลาดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือ จะไม่มีการกำหนดงานแบบให้รถขนส่งวิ่งเปล่าโดยไม่มีการบรรทุกสินค้าศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n

(2.5) เป็นสมการข้อจำกัดให้ปริมาณสินค้าที่ขนส่งของรถขนส่งประเภท t คันที่ n จากศูนย์กระจายสินค้า i รวมแล้วต้องมีจำนวนเพียงพอต่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า j

(2.6) เป็นสมการข้อจำกัด กำหนดให้การจัดงานรถขนส่งที่ทำการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปลูกค้า j ต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งประเภท t และพิจารณาจำนวนเที่ยวรถพร้อมใช้งานของบริษัทกรณีศึกษาไปด้วย

(2.7) เป็นสมการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจที่จะจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n เป็นตัวแปรแบบไบนารี (Binary) โดยมีเงื่อนไข คือ เมื่อมีค่าเป็น 1 แสดงว่ามีการตัดสินใจให้ทำการจัดส่งสินค้า และมีค่าเป็น 0 หากตัดสินใจไม่จัดส่งสินค้า

(2.8) เป็นสมการกำหนดเงื่อนไขของปริมาณการจัดส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j ด้วยรถขนส่งประเภท t คันที่ n ที่กำหนดว่าตัวแปรทุกตัวต้องมีค่าไม่ติดลบ หรือเป็นจำนวนเต็ม

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น แบ่งเป็นขั้นตอนดำเนินการวิจัยได้ ดังนี้ 1) ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องปัญหาการจัดงานรถขนส่ง ปัญหาการขนส่ง 2) ศึกษางานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา 3) การพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์และเพิ่มเติมเงื่อนไขข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคัน และความต้องการสินค้าตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด 5) ทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นด้วย โปรแกรม Lingo 19.0 ประมวลผลหาคำตอบ 6) ปรับปรุงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และ 7) การวิเคราะห์และสรุปผล

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นสำหรับแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งสินค้าพิจารณาข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งแต่ละประเภท และข้อจำกัดความสามารถรับสินค้าของลูกค้าแต่ละร้าน กรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้า แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเช้า-ช่วงบ่าย ตามความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละร้าน และกำหนดระยะเวลาในการประมวลผลหาคำตอบไม่เกิน 30 นาที กำหนดจุดประสงค์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมต่ำที่สุด

ผลลัพธ์การจัดงานรถขนส่งด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นแสดงดังตารางที่ 1 และเปรียบเทียบกับวิธีการจัดงานรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีปัจจุบันที่จัดโดยพนักงานของบริษัท กรณีศึกษา ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าขนส่งต่อวันแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบสำหรับแผนการขนส่ง ชนิดและหมายเลขของรถในหนึ่งวัน

เที่ยวที่	แผนการขนส่ง		ปริมาณการขนส่ง	
	วิธีปัจจุบัน (x_{ijtn})	วิธีที่นำเสนอ (x_{ijtn})	วิธีปัจจุบัน	วิธีที่นำเสนอ
1	1, 1, 3, 9	1, 1, 3, 8	7	7
2	1, 1, 3, 10	1, 1, 3, 14	8	8
3	1, 2, 3, 11	1, 2, 3, 9	8	8
4	1, 2, 3, 12	1, 2, 3, 16	8	8
5	1, 3, 1, 1	1, 3, 3, 12	2	2
6	1, 4, 3, 13	1, 4, 1, 24	1	1
7	1, 5, 1, 2	1, 5, 3, 10	1	2
8	1, 5, 1, 3	-	1	-
9	1, 6, 3, 14	1, 6, 3, 21	5	8
10	1, 6, 3, 15	1, 6, 3, 30	7	4

เที่ยว ที่	แผนการขนส่ง		ปริมาณการขน	
	วิธีปัจจุบัน (x_{ijtn})	วิธีที่นำเสนอ (x_{ijtn})	วิธี ปัจจุบัน	วิธีที่ นำเสนอ
11	1, 7, 3, 16	1, 7, 3, 18	6	4
12	1, 7, 3, 17	1, 7, 3, 31	6	8
13	1, 8, 3, 18	1, 8, 3, 7	4	1
14	1, 8, 3, 19	1, 8, 3, 13	5	8
15	1, 9, 2, 4	1, 9, 1, 1	3	2
16	1, 9, 3, 20	1, 9, 3, 17	7	8
17	1, 10, 2, 5	1, 10, 3, 7	2	8
18	1, 13, 3, 21	1, 10, 3, 12	7	1
19	1, 11, 2, 6	1, 11, 1, 2	4	2
20	1, 11, 3, 22	1, 11, 3, 1	6	8
21	1, 11, 3, 23	1, 11, 3, 15	8	8
22	1, 12, 3, 24	1, 12, 3, 5	8	8
23	1, 12, 3, 25	1, 12, 3, 11	8	8
24	1, 1, 3, 26	1, 1, 3, 1	8	8
25	1, 1, 3, 27	1, 1, 3, 4	8	8
26	1, 2, 3, 28	1, 2, 3, 3	8	8
27	1, 2, 3, 29	1, 2, 3, 5	4	4
28	1, 3, 2, 7	1, 3, 3, 2	5	5
ค่าขนส่ง และ ปริมาณ การขน	10,347	9,925	155	155

จากตารางที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบสำหรับแผนการขนส่ง ประเภทและหมายเลขของรถที่ได้จากวิธีปัจจุบันและวิธีที่ได้นำเสนอในหนึ่งวัน สามารถลดต้นทุนจากเดิมมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 10,347 บาท ลดลงเหลือ 9,925 บาท ในปริมาณการขนส่งที่เท่ากันที่จำนวน 155 พาเลท

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอในหนึ่งเดือน

วันที่ จัดส่ง สินค้า	ปริมาณ คำสั่งซื้อ (พาเลท)	ค่าใช้จ่ายขนส่ง (บาท)			เปอร์เซ็นต์ ความ แตกต่าง
		จัดงาน ด้วยวิธี ปัจจุบัน	จัดงานด้วย วิธีที่ นำเสนอ	ความ แตกต่าง	
1	155	10,347	9,925	422	4.08%
2	227	16,963	16,416	547	3.22%
3	246	16,688	14,449	2,239	13.42%
4	230	13,811	12,770	1,041	7.54%
5	351	19,810	19,487	323	1.63%
6	305	19,811	17,693	2,118	10.69%
7	265	14,982	13,992	990	6.61%
8	338	20,055	18,997	1,058	5.28%
9	447	21,558	21,232	326	1.51%
10	499	25,778	24,057	1,721	6.68%
11	250	11,175	11,190	(15)	-0.13%
12	366	21,626	21,389	237	1.10%
13	388	23,137	20,413	2,723	11.77%
14	365	18,879	18,607	272	1.44%
15	386	24,222	23,444	778	3.21%
16	476	24,165	21,926	2,239	9.26%
17	572	27,921	27,921	-	0.0%
18	11	1,632	1,172	460	28.19%
19	432	27,249	24,777	2,472	9.07%
20	210	10,306	9,959	347	3.37%
21	356	24,577	21,718	2,859	11.63%
22	418	23,435	21,792	1,643	7.01%
23	423	23,832	23,423	410	1.72%
24	323	19,708	17,166	2,542	12.90%
25	389	23,546	21,271	2,275	9.66%
26	625	34,877	34,877	-	0%
27	209	16,665	14,809	1,856	11.14%
28	424	24,663	23,629	1,033	4.19%

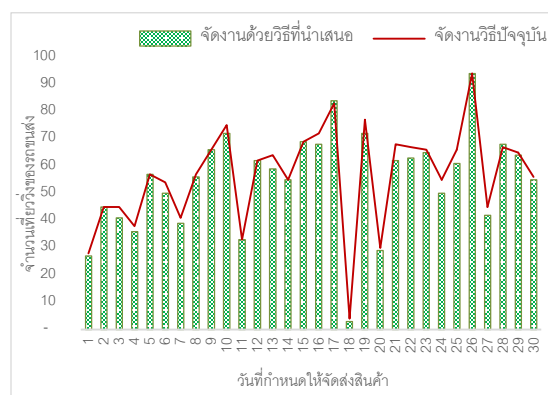
วันที่ จัดส่ง สินค้า	ปริมาณ คำสั่งซื้อ (บาท)	ค่าใช้จ่ายขนส่ง (บาท)			เปอร์เซ็นต์ ความ แตกต่าง
		จัดงาน ด้วยวิธี ปัจจุบัน	จัดงานด้วย วิธีที่ นำเสนอ	ความ แตกต่าง	
29	376	24,292	23,322	970	3.99%
30	340	21,094	20,040	1,054	5.00%
รวม	10,402	606,802	571,856	34,946	5.76%

จากตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบความแตกต่างต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถลดต้นทุนจากเดิมมีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 606,802 บาท ลดลงเหลือ 571,856 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 5.76

งานวิจัยนี้ต้องการแก้ไขปัญหาการจัดงานรถขนส่ง เพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดสอบด้วยปัญหาจริงของบริษัทกรณีศึกษา ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านการบรรทุก ข้อจำกัดของลูกค้า และปริมาณความต้องการสินค้า ซึ่งจากตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอในหนึ่งเดือน จะเห็นได้ว่า มีเพียงวันที่ 11 วันเดียวที่วิธีการวางแผนในปัจจุบันของพนักงานคำนวณได้ค่าใช้จ่ายได้น้อยกว่าวิธีที่นำเสนอ เนื่องจากในวันดังกล่าวจำนวนตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณยังมีไม่มากพอ อาจทำให้พื้นที่ในการคำนวณแก้ไขปัญหามีได้มากตามไปด้วย เมื่อพิจารณาจากผลลัพธ์พบว่า ส่วนใหญ่แผนการจัดงานรถขนส่งที่ได้จากการคำนวณของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอสามารถวางแผนการจัดงานรถขนส่งได้ดีกว่าด้วยต้นทุนค่าใช้จ่ายและจำนวน

รถบรรทุกที่ลดลง โดยวิธีการในปัจจุบันที่ทำโดยพนักงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้

ผลลัพธ์จากการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบเวลาในการวางแผนใช้รถขนส่งด้วยวิธีปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา โดยสามารถแสดงผลของการเปรียบเทียบ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กราฟเปรียบเทียบความแตกต่างจำนวนเที่ยววิ่งของรถขนส่งระหว่างวิธีปัจจุบันกับวิธีที่นำเสนอ

จากภาพที่ 2 กราฟแสดงผลการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมต่ำที่สุด ด้วยข้อมูลปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าในวันที่ 1-30 พบว่า การจัดงานด้วยวิธีปัจจุบันรถขนส่งต้องวิ่งงานทั้งหมด 1,704 เที่ยว และจัดงานด้วยวิธีที่นำเสนอจำนวนเที่ยววิ่งลดลงจำนวน 57 เที่ยว หรือคิดเป็นร้อยละ 3.35

4. สรุป

จากการทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการวางแผนการจัดรถขนส่งให้กับผู้ปฏิบัติงาน บริษัทกรณีศึกษา โดยการนำปริมาณสินค้าและค่าใช้จ่ายของรถขนส่งแต่ละประเภทมาใช้ในการวางแผนการจัดงานรถขนส่ง รวมทั้งคำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งแต่ละประเภท ช่วงเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าและความสามารถในการรองรับรถขนส่งแต่ละประเภทของลูกค้าแต่ละร้าน ประมวลผลผ่านโปรแกรม Lingo 19.0 ด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหาจากข้อมูลการจัดส่งสินค้าจริงในวันที่ 1-30 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการจัดงานรถขนส่งโดยใช้พนักงานกับการจัดงานรถบรรทุกโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมและลดค่าใช้จ่ายในการส่งสินค้าได้

สำหรับข้อเสนอแนะควรพิจารณาข้อจำกัดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่พบในการปฏิบัติงานจริง และปัญหามีขนาดใหญ่ซึ่งควรมีการจัดกลุ่มขนาดปัญหา ก่อนการประมวลผลจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบได้ รวมถึงการพิจารณาเงื่อนไขอื่น ๆ เช่น การจัดงานรถขนส่งแบบ Multi-Objective Optimization การพิจารณาความพึงพอใจของลูกค้า เป็นประเด็นที่น่าสนใจสำหรับการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับช่วยแก้ปัญหาการจัดงานรถขนส่งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้โอกาสในการศึกษาและเชื้อเพื่อข้อมูลในการทำงานวิจัย ท่านผู้บริหารทุกท่านที่มีความเมตตาให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัย และ ผศ.ดร.คมกฤษ ปิติฤทธิ์ ที่คอยเอาใจใส่ ให้คำแนะนำตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานวิจัยจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rinmukda W, Phitphibun T, Srisuknam and Watthanawong A. A Study of The Appropriate Vehicle Routing Model to Reduce Transportation Cost: Case Study of ABC Fruit Trading Company. Panyapiwat Journal 2016; 8(3): 99-110.
- [2] Hongsuwan P, Chataraksa Wa and Chupisutikul S. Education for Increasing The Efficiency of Drinking Water Transportation Route Sumut Songkhram Province. [Master Degree Engineering Thesis]. Nakhon Pathom: Mahidol University; 2013.
- [3] พิศาล สีนวล. การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากรเพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์; 2559.

- [4] Velarde JM, Garcia S, López M and Bueno-Solano A. Implementation of a Mathematical Model to Improve Sustainability in the Handling of Transport Costs in a Distribution Network. *Sustainability*. 2020; 12(1): 63.
- [5] Qin XW, Fan YS and Yin CW. The Research on Integration and Optimization of Network Planning of Vehicle Logistics. *Computer Integrated Manufacturing System*. 2006; 3: 364-76.
- [6] Ma SH and Zhang XL. Logistics Capacity Constraints Based on Vehicle Logistics Plan. *IE&M*. 2006; 06: 15-32.
- [7] Yang W, Li T and Li Z. The Research Integration of Vehicle Logistics and Its Solution. *Logistics Management*. 2005; 10: 46-8.
- [8] Gao SP. The Fuzzy Optimization Algorithms and Theory of Transportation Problem. China: Xidian University; 2003.
- [9] Zhang J, Tang JF and Pang ZD. Simulation Study on The Integrated Inventory Transportation Problem of Different Transportation Modes. *Journal of Northwestern University (Natural Science Edition)*. 2008; 04: 492-5.
- [10] น้ามนต์ กลิ่นพลับ และ สรวิชัย เยาวสุวรรณไชย. แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่ความจุไม่จำกัด กรณีศึกษา ผู้ให้บริการขนส่งอาหารแช่แข็ง. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2560; 5(1): 12-25.
- [11] Tolga Bektas. The Multiple Travelling Salesman Problem: An Overview of Formulations and Solution Procedures. *Omega*. 2006; 34: 209-19.
- [12] Gorenstein S. Printing Press Scheduling for Multi-Edition Periodicals. *Management Science*. 1970; 16(6): 373-83.
- [13] Carter AE and Ragsdale CT. Scheduling Pre-Printed Newspaper Advertising Inserts Using Genetic Algorithm. *Omega*. 2022; 30: 415-21.
- [14] Angel RD, Caudle WL, Noonan R and Whinston A. Computer Assisted School Bus Scheduling. *Management Science*. 1972; 18: 279-88.
- [15] Svestka, Joseph, Huckfeldt, and Vaughn E. Computational Experience with an m-Salesman Travelling Salesman Algorithm. *Management Science*. 1973; 19(7): 790-9.

- [16] วริศรา วัชรานุรักษ์ และ สรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางการเดินทางเพื่อธุรกิจค้าปลีกแบบมีกรอบเวลาและระยะเวลาเดินทางที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลาของวัน. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 6, 6 มิถุนายน 2561, จังหวัดสมุทรปราการ; 2561.
- [17] สรวิชญ์ เขียวธำรงสุข และ ชนะ รักษศิริ. การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางรถบรรทุกเพื่อใช้จัดการการหมุนรถและการใช้ประโยชน์ของรถที่ดีที่สุด. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา, 28 สิงหาคม 2563, จังหวัดชลบุรี; 2563.
- [18] Hitchcock FL. The Distribution of a Product from Several Sources to Numerous Localities. *Journal of Mathematics and Physics*. 1941; 20: 224-30.
- [19] Benavent E, Landete M, Salazar-González J-J, and Tirado G. The Probabilistic pickup-and-delivery travelling salesman problem. *Expert Systems with Applications*. 2019; 121: 313–23.
- [20] Miranda PA, Blazquez CA, Obregón C, Maturana-Ross J and Gutierrez-Jarpa G. The bi-objective insular traveling salesman problem with maritime and ground transportation costs. *European Journal of Operational Research*. 2018; 271(3): 1014-36.
- [21] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. การลดต้นทุนการขนส่งโดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสมกรณีศึกษา ธุรกิจเครื่องดื่มชานม. *วารสารปัญญาวิวัฒน์*. 2557; 5(ฉบับพิเศษ): 272-9.
- [22] Puchongkawarin C and Ransikarbum K. An Integrative Decision Support System for Improving Tourism Logistics and Public Transportation in Thailand. *Tourism Planning & Development*. 2021; 18(6), 614-29