

การเปรียบเทียบการแทนค่าสูญหายสำหรับปัญหาการขนส่งแบบสมดุล A Comparison of the Imputation Methods for Balanced Transportation Problems

อรรณา กองโกย และ กัลยา บุญหล้า*

Unna Kongkoy and Kanlaya Boonlha*

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก ประเทศไทย

Department of Mathematics, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

วันที่ส่งบทความ : 22 พฤษภาคม 2566 วันที่แก้ไขบทความ : 12 ธันวาคม 2567 วันที่ตอบรับบทความ : 13 ธันวาคม 2567

Received: 22 May 2023, Revised: 12 December 2024, Accepted: 13 December 2024

บทคัดย่อ

ตัวแบบการขนส่งเป็นกรณีพิเศษของการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดในการขนส่งจากต้นทางไปปลายทาง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแทนค่าสูญหายแบบสุ่มสมบูรณ์ของค่าใช้จ่ายในปัญหาการขนส่งแบบสมดุล 4 วิธี ได้แก่ การแทนค่าด้วยค่าเฉลี่ย การแทนค่าด้วยค่ามัธยฐาน การแทนค่าด้วยค่าสูงสุด และการแทนค่าด้วยค่าต่ำสุด โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีการแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบปกติ กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของข้อมูลเป็น 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% ทำการจำลองข้อมูลด้วยเทคนิคมอนติคาร์โลทำซ้ำ 1,000 ครั้ง กำหนดจำนวนต้นทางและปลายทางให้เท่ากันด้วยขนาด 4, 5, 7, 10 และ 20 แห่ง ค่าการสูญหายของข้อมูลเท่ากับ 5%, 10%, 15% และ 20% เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ คือ รากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อจำนวนต้นทางและปลายทางเพิ่มขึ้น ค่า RMSE ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกวิธีของการแทนค่าสูญหาย และพบว่าวิธีการแทนค่าข้อมูลสูญหายด้วยค่าเฉลี่ยมีค่า RMSE น้อยที่สุด รองลงมาเป็นวิธีการแทนค่าด้วยค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ตามลำดับ

คำสำคัญ : ปัญหาการขนส่ง วิธีการแทนค่าสูญหาย ค่าสูญหายแบบสุ่มสมบูรณ์

Abstract

Transportation model is a special case of linear programming to transport a product from sources to destinations at total minimum cost. The objective of this study is comparing the efficiency of estimating when the variable costs are missing completely at random in

*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: kanlayab@nu.ac.th

<https://doi.org/10.55003/scikmitl.2024.259049>

balanced transportation problems by imputation 4 methods which are mean, median, maximum, and minimum. The cost for transport model is set to a uniform distribution and a normal distribution with coefficients of variation to 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%. The Monte Carlo simulation was repeated 1,000 times. Set the number of sources and destinations to be equal in size 4, 5, 7, 10, and 20. The percentage of missing data are 5%, 10%, 15% and 20% of the sample size. The criterion used for comparison is the Root Mean Square Error (RMSE). The results found that as the number of sources and destinations increases, RMSE also increases across all imputation methods. Among the methods, imputation using the mean resulted in the lowest RMSE, followed by the median, maximum, and minimum, respectively.

Keywords: Transportation problems, Imputation method, Missing completely at random

1. บทนำ

ตัวแบบการขนส่งเป็นแบบที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะหาเส้นทางในการขนส่งจากแหล่งต้นทาง (Sources) ไปยังปลายทาง (Destination) ซึ่งตั้งอยู่ในสถานที่ต่าง ๆ กัน โดยต้องการจัดส่งปริมาณวัตถุดิบหรือสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทาง เพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการขนส่งมีค่าน้อยที่สุด [1]

หลังจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 ผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและสภาวะการแข่งขันที่เพิ่มขึ้น การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นกลยุทธ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง [2] การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมจะสามารถลดค่าใช้จ่าย จำนวนเส้นทางในการขนส่ง เวลาในการทำงาน และระยะทางลงได้ เช่น การศึกษาวิธีการขนส่งในการกระจายสินค้าประเภทเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำดื่ม [3] เพื่อวิเคราะห์ปรับปรุงกระบวนการขนส่งให้มีระยะทางและค่าใช้จ่ายดีขึ้น สำหรับผู้จัดจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำดื่มของลูกค้าหลักจำนวน 23 ร้าน ในเส้นทางการขนส่งภายในจังหวัดปทุมธานี พบว่าเมื่อเปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานเดิมในการขนส่งของบริษัทกับวิธีการขนส่งด้วยวิธีการจัดสรรเส้นทางการขนส่งที่พัฒนาขึ้นใหม่ สามารถช่วยลดจำนวนเส้นทาง เวลาในการทำงาน ระยะทาง และค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ โดยสามารถลดจำนวนเส้นทางจากวิธีการทำงานเดิมที่ร้านค้าย่อย จำนวน 23 เส้นทาง ลดลงเป็น 3 เส้นทาง ระยะทางรวมจาก 511 กิโลเมตร ลดลงเป็น 126 กิโลเมตร เวลาในการขนส่งรวมจาก 47 ชั่วโมง ลดลงเป็น 40.6 ชั่วโมง ต้นทุนในการขนส่งจาก 2,238,098 บาทต่อปี ลดลงเป็น 1,638,000 บาทต่อปี

ตัวแบบการขนส่ง ในกรณีทั่ว ๆ ไป [4] กำหนดให้ค่า a_i แทน จำนวนสินค้าจากแหล่งต้นทาง i ค่า b_j แทน จำนวนสินค้าจากแหล่งปลายทาง j ค่า X_{ij} แทน จำนวนสินค้าจากแหล่งต้นทาง i ไปยังปลายทาง j และค่า c_{ij} แทน ค่าใช้จ่ายการขนส่งต่อหน่วยในการส่งสินค้าจากแหล่งต้นทาง i ไปยังปลายทาง j เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, m$ และ $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ดังนั้น ตัวแบบการขนส่งเป็นดังนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์ $Minimize Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij}$

เงื่อนไขบังคับ

1. ข้อจำกัดทางด้านแหล่งต้นทาง

$$X_{11} + X_{12} + \cdots + X_{1n} \leq a_1$$

$$X_{21} + X_{22} + \cdots + X_{2n} \leq a_2$$

$$\vdots$$

$$X_{m1} + X_{m2} + \cdots + X_{mn} \leq a_m$$
2. ข้อจำกัดทางด้านแหล่งปลายทาง

$$X_{11} + X_{21} + \cdots + X_{m1} \leq b_1$$

$$X_{12} + X_{22} + \cdots + X_{m2} \leq b_2$$

$$\vdots$$

$$X_{1n} + X_{2n} + \cdots + X_{mn} \leq b_n$$

ข้อจำกัดไม่เป็นศูนย์ $X_{ij} \geq 0$ เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, m$ และ $j = 1, 2, 3, \dots, n$

ลักษณะของปัญหาการขนส่งมีทั้งหมด 3 กรณี [4] ได้แก่ กรณีที่ 1 ข้อจำกัดทางด้านแหล่งต้นทาง เท่ากับข้อจำกัดทางด้านแหล่งปลายทาง เรียกว่า ปัญหาการขนส่งที่อยู่ในรูปแบบมาตรฐานหรือปัญหาการขนส่งแบบสมดุล กรณีที่ 2 ข้อจำกัดทางด้านแหล่งต้นทางมากกว่าข้อจำกัดทางด้านแหล่งปลายทาง และกรณีที่ 3 ข้อจำกัดทางด้านแหล่งต้นทางน้อยกว่าข้อจำกัดทางด้านแหล่งปลายทาง สำหรับกรณีที่ 2 และ 3 เป็นปัญหาการขนส่งที่ไม่อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน จะต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานก่อน โดยการเพิ่มข้อจำกัดทางด้านแหล่งต้นทางเทียม (Dummy sources) หรือข้อจำกัดทางด้านแหล่งปลายทางเทียม (Dummy destination) ให้มีจำนวนที่สมดุล โดยกำหนดค่าใช้จ่ายเป็นศูนย์ การหาผลเฉลยของปัญหาการขนส่งแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การหาผลเฉลยเริ่มต้น (Initial solution) ของตัวแบบการขนส่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย [5] ได้แก่ วิธีมุมตะวันตกเฉียงเหนือ (Northwest corner method) ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่าย โดยพิจารณาจากมุมตะวันตกเฉียงเหนือของตารางการขนส่งหรือเรียกว่าหลักเกณฑ์มุมบนซ้าย พร้อมทั้งใช้หลักการเปรียบเทียบอุปทานและอุปสงค์จำนวนที่กำหนด วิธีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Least-cost method) เป็นหลักการจัดสรรปริมาณสินค้าให้กับตำแหน่งที่มีค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้อยที่สุดก่อนตามลำดับ พร้อมทั้งใช้หลักการเปรียบเทียบอุปทานและอุปสงค์จำนวนที่กำหนด วิธีโดยประมาณของโวลเกิล (Vogel's Approximation Method: VAM) เป็นการหาผลเฉลยเริ่มต้นโดยอาศัยพื้นฐานของค่าปรับ หรือเกิดความเสียหายในกรณีตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ไม่ถูกต้อง เป็นการพิจารณาค่าปรับหรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นสำหรับทุกเส้นทางการขนส่ง จากการหาผลเฉลยเริ่มต้นตามที่ได้กล่าวมา จะต้องมีการตรวจสอบว่าคำตอบที่ได้นั้นสามารถพัฒนาเป็นผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้หรือไม่ ถ้าได้จะต้องดำเนินการพัฒนาหาคำตอบชุดใหม่ขึ้นมา ถ้าไม่ได้แสดงว่าคำตอบที่มีอยู่แล้วนั้นเป็นคำตอบที่ดีที่สุด และ 2) การหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ซึ่งวิธีที่นิยมใช้โดยทั่วไปมี 2 วิธี ได้แก่ วิธีสเตปปีงสโตน (Stepping-Stone Method) เป็นการพิจารณาการขนส่งในตำแหน่งที่ไม่ถูกจัดสรรงานทุกตำแหน่งของผลเฉลยเริ่มต้น เพื่อพิจารณาเส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายรวม และวิธีโมดิ (Modified Distribution Method: MODI) เป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีสเตปปีงสโตน อาศัยหลักการพิจารณาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งปริมาณสินค้าสำหรับการปรับตำแหน่งที่ไม่ถูกจัดสรรงาน ซึ่งวิธีสเตปปีงสโตนและวิธีโมดิจะให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดเท่ากันเสมอ

ปัญหาหลักอย่างหนึ่งที่มีเกิดขึ้นได้เสมอจากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการวิจัยในด้านต่าง ๆ คือ การที่มีข้อมูลสูญหาย ถ้าหากละเลยอาจนำไปสู่ข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า หากข้อมูลนั้นสูญหายไปจะส่งผลกระทบต่อคำนวณเส้นทางการขนส่ง ซึ่งการจำแนกประเภทของข้อมูลสูญหายนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งหากเลือกใช้วิธีการจัดการกับข้อมูลสูญหายที่ไม่เหมาะสมย่อมส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ข้อมูล [6] การจำแนกข้อมูลสูญหายออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) ข้อมูลสูญหายแบบสุ่มสมบูรณ์ (Missing Completely At Random: MCAR) เป็นลักษณะของข้อมูลสูญหายที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มจากค่าสังเกต ข้อมูลที่สูญหายไม่ขึ้นอยู่กับค่าใดค่าหนึ่ง 2) ข้อมูลสูญหายแบบสุ่ม (Missing At Random: MAR) เป็นลักษณะของข้อมูลสูญหายซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสุ่มแต่เกิดขึ้นอย่างสุ่มภายในบางกลุ่มของค่าสังเกต ค่าของข้อมูลสูญหายขึ้นอยู่กับตัวแปรบางตัว และ 3) ข้อมูลสูญหายแบบไม่สุ่ม (Not Missing At Random: NMAR) เป็นลักษณะของข้อมูลสูญหายซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นอย่างสุ่ม โดยค่าของข้อมูลสูญหายขึ้นอยู่กับค่าของข้อมูลสมบูรณ์ในตัวแปร สำหรับข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่งนั้นเป็นต้นทุนของการขนส่ง ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งซึ่งเกิดจากต้นทุนคงที่ เช่น ค่าเช่า ที่ดิน ค่ายานพาหนะ ค่าเสื่อมสภาพ และเงินเดือน เป็นต้น สำหรับต้นทุนผันแปรเป็นต้นทุนที่แปรเปลี่ยนตามจำนวนการขนส่งหรือระยะทาง ในบางครั้งอาจพบปัญหาข้อมูลมีค่าการสูญหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ณ เส้นทางหนึ่งที่ไม่กระทบกับค่าใช้จ่ายในการขนส่งเส้นทางอื่น ซึ่งอาจเกิดจากการบันทึกข้อมูลผิดพลาด เป็นลักษณะการสูญหายของข้อมูลแบบหนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในกระบวนการขนส่ง ซึ่งในการหาตัวแบบการขนส่งจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

วิธีการจัดการกับข้อมูลสูญหายแบบสุ่มสมบูรณ์ ทำได้โดยการแทนค่าสูญหาย (Imputation) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) การประมาณค่าที่ได้มาจากตัวแบบ เช่น Regression imputation, Ratio imputation และ Multiple imputation เป็นต้น และ 2) การแทนค่าที่ได้จากเซตข้อมูลของค่าที่สังเกตได้ ส่วนใหญ่ทำการศึกษาการประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอย เช่น การประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ [6] การเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ เมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอินฟอร์เมเบิล [7] การประมาณค่าสูญหายของตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ [8] โดยนิยมใช้ประมาณค่าสูญหาย ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ย วิธีสมการถดถอย วิธีอัตราส่วน [9] และ วิธี K-nearest neighbor [10]

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิธีการจัดการกับการแก้ปัญหาข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าสูญหายในตัวแบบการขนส่ง การแทนค่าที่ได้จากข้อมูลของค่าที่สังเกตที่สมบูรณ์ 4 วิธี ได้แก่ 1) การแทนค่าสูญหายด้วยวิธีค่าเฉลี่ย (Mean imputation: Mean) ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยจากชุดข้อมูลที่ปรากฏอยู่ เพื่อแทนค่าข้อมูลสูญหาย ซึ่งวิธีดังกล่าวถือเป็นวิธีการค่าข้อมูลสูญหายที่ง่ายไม่ซับซ้อน [6] วิธีนี้ Wilks ได้นำเสนอเป็นคนแรกในปี ค.ศ.1932 ซึ่งเป็นวิธีที่การประมาณค่าตัวแปรตามที่สูญหายโดยใช้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่สูญหายของตัวแปร 2) วิธีการแทนค่าสูญหายด้วยวิธีค่ามัธยฐาน (Median imputation) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าสูญหาย โดยนำค่ามัธยฐานของข้อมูลมาแทนที่ค่าสูญหาย 3) วิธีการแทนค่าสูญหายด้วยวิธีค่าสูงสุด (Maximum imputation) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าสูญหายโดยการนำข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ไม่สูญหายที่มีค่ามากที่สุดนำไปแทนค่าสูญหาย และ 4) วิธีการแทนค่าสูญหายด้วยวิธีค่าต่ำสุด (Minimum imputation) ซึ่งเป็นวิธีการประมาณค่าสูญหาย โดยการนำข้อมูลที่ไม่สูญหายที่มีค่า

น้อยที่สุดนำไปแทนค่าสูญหาย ในการศึกษานี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าการคำนวณค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งเมื่อแทนค่าสูญหายด้วยวิธีต่าง ๆ โดยใช้เกณฑ์การวัดของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error: RMSE) ภายใต้การจำลองข้อมูลตามสถานการณ์ต่าง ๆ ภายใต้ข้อกำหนดปัญหาการขนส่งแบบสมมูล เมื่อกำหนดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มีการแจกแจงแบบเอกรูป (Uniform distribution) ซึ่งเป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มที่มีความน่าจะเป็นของการเกิดค่าใด ๆ มีค่าเท่ากัน ซึ่งข้อมูลค่าใช้จ่ายในบางครั้งอาจเป็นตัวเลขที่กำหนดมาเป็นช่วงของค่าใช้จ่าย ที่ความน่าจะเป็นของการค่าใช้จ่ายมีการแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ซึ่งเป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มต่อเนื่องมักพบได้บ่อย ๆ สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ ซึ่งอาจจะมีการกระจายของข้อมูลที่แตกต่างกัน โดยในการศึกษานี้ผู้วิจัยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าใช้จ่ายมีความแตกต่างกันเพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะการกระจายของข้อมูลที่สามารถพบได้ในปัญหาการขนส่ง

2. วิธีการทดลอง

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยทำการจำลองข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่งตามสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยเทคนิควิธีมอนติคาร์โล (Monte Carlo method) โดยการทำวนซ้ำ 1,000 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดจำนวนต้นทางและปลายทางของการขนส่งให้มีขนาดเท่ากัน โดยกำหนดเป็น 4, 5, 7, 10 และ 20 แห่ง กำหนดให้อุปสงค์และอุปทานของต้นทางและปลายทางแต่ละแห่งมีค่าเท่ากับ 100 หน่วย
2. สร้างข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง กรณีค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีการแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงปกติ กำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันของค่าใช้จ่าย (C.V.) เท่ากับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25% และ 30% กำหนดช่วงของการแจกแจงเอกรูป (ค่าต่ำสุด, ค่าสูงสุด) เป็น (10,12), (10,15), (10,17), (10,20), (10,25) และ (10,30) ตามลำดับ เพื่อให้มีค่า C.V. ตามที่กำหนด และกำหนดช่วงของการแจกแจงปกติ (ค่าเฉลี่ย, ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เป็น (10,0.5), (10,1.0), (10,1.5), (10,2.0), (10,2.5) และ (10,3.0) ตามลำดับ เพื่อให้มีค่า C.V. ตามที่กำหนด
3. คำนวณค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งของ การหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ของปัญหาการขนส่ง กรณีข้อมูลที่สมบูรณ์ ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 โดยใช้ library(lpSolve) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในการหาผลเฉลยเริ่มต้นและพัฒนาผลเฉลยที่ได้จนเป็นผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด
4. กำหนดค่าสูญหายแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยจำนวนข้อมูลที่สูญหาย เท่ากับ 5%, 10%, 15% และ 20% ของข้อมูล
5. นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองที่มีค่าสูญหายไปแทนค่าสูญหายด้วยวิธีการประมาณค่าสูญหาย 4 วิธี ได้แก่ การแทนค่าสูญหายด้วยค่าเฉลี่ย การประมาณค่าสูญหายด้วยค่ามัธยฐาน การแทนค่าสูญหายด้วยค่าสูงสุด และการแทนค่าสูญหายด้วยค่าต่ำสุด
6. คำนวณค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งของ การหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการขนส่ง กรณีข้อมูลที่แทนค่าสูญหาย ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 โดยใช้ library(lpSolve) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในการหาผลเฉลยเริ่มต้นและพัฒนาผลเฉลยที่ได้จนเป็นผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

7. ทวนซ้ำจำนวน 1,000 รอบ ด้วยโปรแกรม R เวอร์ชัน 4.2.1 คำนวณค่ารากของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) จากสูตร

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{1000} (Z_i - \hat{Z}_i)^2}{1000}} \text{ เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, 1000$$

โดยที่ Z_i คือ ค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการหาผลเฉลี่ยของตัวแบบการขนส่ง ในรอบที่ i จากข้อมูลที่สมบูรณ์
 $\hat{Z}_i$ คือ ค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการหาผลเฉลี่ยของตัวแบบการขนส่ง ในรอบที่ i จากการประมาณค่า
สูญหายของข้อมูลที่สูญหาย

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

การเปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง จากตารางที่ 1 พบว่า เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีการแจกแจงแบบเอกรูป กำหนดต้นทางและปลายทางเท่ากับ 4 แห่ง กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันคงที่ เมื่อร้อยละการสูญหายเพิ่มขึ้น ค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น และกรณีที่ร้อยละการสูญหายคงที่ และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเพิ่มขึ้นพบว่าค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน และจากการเปรียบเทียบวิธีการแทนค่าสูญหาย พบว่า วิธีการแทนค่าสูญหายโดยวิธีค่าเฉลี่ย มีค่า RMSE น้อยที่สุด รองลงมาเป็นวิธีแทนด้วยค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ตามลำดับ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันและร้อยละการสูญหายคงที่ และจากการเปรียบเทียบกรณีต้นทางเท่ากับ 5 แห่ง พบว่าวิธีการแทนค่าสูญหาย โดยวิธีค่าเฉลี่ย วิธีค่ามัธยฐาน วิธีค่าสูงสุด และวิธีค่าต่ำสุด มีค่า RMSE เพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของต้นทางและปลายทางมีค่าเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2 และผลการศึกษกรณีต้นทางและปลายทาง 7, 10 และ 20 แห่ง ก็เป็นเช่นเดียวกันกับกรณีต้นทางเท่ากับ 4 และ 5 แห่ง ดังตารางที่ 3 - 5

เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีการแจกแจงแบบปกติ จากตารางที่ 1 ต้นทางและปลายทาง ในการขนส่งเท่ากับ 4 แห่ง พบว่า กรณีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันคงที่ ค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการสูญหายเพิ่มขึ้น และเมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันเพิ่มขึ้น ค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น จากการเปรียบเทียบวิธีการแทนค่าสูญหาย เมื่อค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันและร้อยละการสูญหายคงที่ พบว่าวิธีการแทนค่าสูญหาย โดยวิธีค่าเฉลี่ย มีค่า RMSE น้อยที่สุด รองลงมาเป็นวิธีค่ามัธยฐาน วิธีค่าสูงสุด และวิธีค่าต่ำสุด ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกรณีต้นทางเท่ากับ 5 แห่ง ดังตารางที่ 2 พบว่า วิธีการแทนค่าสูญหาย โดยวิธีค่าเฉลี่ย วิธีค่ามัธยฐาน วิธีค่าสูงสุดและวิธีค่าต่ำสุด มีค่า RMSE เพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนต้นทางเพิ่มขึ้น และผลการศึกษกรณีต้นทางและปลายทาง 7, 10 และ 20 แห่ง ก็เป็นเช่นเดียวกันกับกรณีต้นทางเท่ากับ 4 และ 5 แห่ง ดังตารางที่ 3 - 5

ตารางที่ 1. เปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง เมื่อต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 4 แห่ง กรณีการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบปกติ

C.V.	การสุ่มหาย	การแจกแจงแบบเอกรูป				การแจกแจงแบบปกติ			
		วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน	วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน
5%	5%	37.59	52.15	50.79	41.23	29.77	64.73	37.95	30.17
	10%	53.24	85.56	72.53	57.75	42.54	96.85	56.21	42.69
	15%	64.04	98.59	92.09	69.79	55.80	124.26	76.35	56.04
	20%	82.52	119.79	122.60	90.08	63.44	148.69	89.55	63.56
10%	5%	77.49	136.53	98.89	80.56	50.21	107.05	65.88	51.77
	10%	116.14	199.97	155.82	119.96	69.54	162.36	96.80	72.16
	15%	135.27	250.80	194.91	140.43	88.35	208.35	125.66	91.21
	20%	166.05	306.38	253.67	175.42	104.71	258.15	155.34	107.17
15%	5%	102.66	167.90	143.49	106.11	70.56	154.18	88.99	73.96
	10%	145.68	267.15	195.40	150.15	102.56	236.66	139.68	104.82
	15%	182.85	342.59	268.91	195.12	135.66	322.15	191.47	139.79
	20%	223.60	426.84	343.60	231.19	157.57	369.42	235.05	162.26
20%	5%	138.46	246.62	177.51	141.81	85.38	202.76	101.88	87.01
	10%	209.58	374.19	294.69	215.91	127.63	306.95	180.31	129.36
	15%	249.70	486.13	370.58	263.36	168.03	411.35	240.10	175.39
	20%	294.51	604.71	453.40	309.34	204.35	480.77	304.91	210.22
25%	5%	205.40	368.73	266.78	211.78	108.51	256.48	141.77	109.73
	10%	299.01	555.54	404.08	311.03	172.15	385.94	232.77	176.07
	15%	355.95	723.90	531.53	372.76	218.49	521.31	316.39	223.38
	20%	448.39	868.80	700.76	469.53	247.00	603.64	375.85	252.22
30%	5%	237.17	472.85	311.00	239.29	148.76	289.38	188.55	152.64
	10%	405.41	733.14	565.27	417.82	188.09	485.72	264.88	191.08
	15%	466.88	963.59	682.88	484.38	258.99	631.09	374.14	265.25
	20%	586.74	1,164.12	887.88	606.79	280.96	772.09	435.29	286.59

ตารางที่ 2. เปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง เมื่อต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 5 แห่ง กรณีการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบปกติ

C.V.	การสุ่มหาย	การแจกแจงแบบเอกรูป				การแจกแจงแบบปกติ			
		วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน	วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน
5%	5%	44.66	72.87	57.71	47.01	38.18	94.39	45.28	38.73
	10%	55.64	85.91	71.62	58.27	43.53	123.25	55.59	43.93
	15%	68.15	101.54	92.79	72.18	53.51	143.07	67.82	54.41
	20%	75.52	114.46	104.45	78.34	61.92	161.90	82.52	63.40
10%	5%	89.82	177.85	115.20	92.41	60.90	175.81	77.91	63.09
	10%	116.58	231.58	157.00	120.90	75.87	235.97	101.73	76.50
	15%	138.51	267.30	190.58	144.50	92.14	280.77	127.75	95.29
	20%	159.44	319.26	225.39	166.56	108.28	314.18	149.23	109.66
15%	5%	117.10	240.98	151.23	118.70	83.67	254.79	108.12	84.62
	10%	158.53	321.89	213.59	164.81	107.77	337.96	143.04	109.12
	15%	189.42	383.44	261.21	196.75	132.37	395.60	175.76	134.35
	20%	205.26	434.40	297.91	214.66	156.69	472.96	220.88	158.24
20%	5%	161.54	347.61	212.65	166.37	115.81	353.41	144.53	118.19
	10%	210.13	446.56	297.37	214.98	152.78	434.52	200.85	154.38
	15%	246.14	540.39	344.08	253.67	177.76	533.80	237.91	181.27
	20%	292.73	619.70	420.78	299.04	209.57	623.19	282.17	212.37
25%	5%	249.01	513.54	313.61	252.27	136.04	449.21	167.60	138.35
	10%	298.15	691.54	384.55	306.75	169.80	555.52	227.88	171.34
	15%	355.69	815.90	503.66	360.47	230.14	687.23	317.22	231.73
	20%	424.42	954.71	612.23	439.84	247.26	767.54	352.77	250.28
30%	5%	304.02	679.60	393.79	314.07	172.51	501.30	227.75	174.41
	10%	413.74	913.96	540.84	417.78	217.12	662.93	278.78	217.84
	15%	501.35	1,106.93	685.41	512.37	261.49	817.74	353.82	266.16
	20%	576.66	1,259.80	803.97	590.58	294.10	908.26	399.20	299.39

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง เมื่อต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 7 แห่ง กรณีการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบปกติ

C.V.	การสูญเสีย	การแจกแจงแบบเอกรูป				การแจกแจงแบบปกติ			
		วิธีค่าเฉลี่ย	วิธีค่าต่ำสุด	วิธีค่าสูงสุด	วิธีค่ามัธยฐาน	วิธีค่าเฉลี่ย	วิธีค่าต่ำสุด	วิธีค่าสูงสุด	วิธีค่ามัธยฐาน
5%	5%	40.53	60.58	46.58	40.99	39.25	121.61	44.05	40.37
	10%	58.43	74.16	70.00	59.69	55.96	164.77	64.88	57.53
	15%	77.27	93.22	99.45	78.42	72.08	229.98	82.76	74.16
	20%	87.65	104.40	114.41	89.33	82.87	246.74	98.29	85.32
10%	5%	87.66	169.23	101.44	91.28	59.71	252.29	70.36	60.19
	10%	112.29	245.91	136.64	114.80	83.43	347.74	100.00	84.54
	15%	166.04	333.17	214.76	171.64	116.20	472.63	145.19	118.66
	20%	189.49	367.34	249.30	196.75	129.92	542.94	169.41	130.65
15%	5%	109.13	251.50	128.88	110.93	93.52	364.83	111.18	95.11
	10%	160.32	353.53	192.33	161.85	121.15	525.53	141.99	122.12
	15%	214.35	471.20	277.58	219.77	163.36	711.29	207.29	165.77
	20%	250.33	545.87	333.00	256.34	185.76	829.16	242.82	188.31
20%	5%	154.54	367.95	179.47	157.07	120.79	488.61	139.39	122.08
	10%	207.08	543.55	244.42	208.73	158.57	684.22	188.63	160.62
	15%	288.93	704.85	362.49	292.52	214.36	948.39	268.96	216.08
	20%	353.96	822.63	472.08	359.36	251.65	1,081.17	318.40	253.10
25%	5%	234.29	565.67	266.42	237.47	140.04	609.73	162.67	141.39
	10%	324.89	790.22	397.62	328.17	200.00	894.68	242.14	201.03
	15%	427.08	1,077.70	548.58	430.85	269.64	1,176.27	330.08	272.29
	20%	515.52	1,258.91	675.79	524.98	324.46	1,370.18	414.72	326.37
30%	5%	295.45	748.11	353.02	296.75	168.77	726.02	195.45	170.48
	10%	408.80	1,079.78	490.69	413.94	235.61	1,032.23	278.10	237.00
	15%	592.13	1,464.56	756.04	603.75	329.43	1,395.84	416.76	331.03
	20%	665.23	1,723.19	863.25	673.83	383.20	1,606.98	494.19	388.11

ตารางที่ 4. เปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง เมื่อต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 10 แห่ง กรณีการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบปกติ

C.V.	การ สูญ หาย	การแจกแจงแบบเอกรูป				การแจกแจงแบบปกติ			
		วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน	วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน
5%	5%	34.46	45.06	36.47	34.79	46.13	171.87	48.99	46.90
	10%	49.61	61.64	54.04	50.52	70.53	276.95	74.50	72.25
	15%	66.03	84.41	75.50	66.93	88.20	346.15	94.55	90.06
	20%	83.66	107.85	96.33	84.50	107.96	407.88	119.08	110.86
10%	5%	79.27	167.03	85.85	80.31	65.75	400.61	70.00	66.56
	10%	122.38	256.73	134.76	125.41	103.34	614.32	112.47	104.83
	15%	163.06	329.53	183.17	166.34	134.33	797.71	150.20	135.65
	20%	209.57	370.62	240.42	215.79	165.59	951.07	188.41	167.51
15%	5%	99.80	257.00	107.33	100.30	87.15	592.30	93.17	87.75
	10%	174.99	405.99	190.63	175.82	148.13	947.61	160.75	149.93
	15%	236.14	525.26	266.51	238.87	193.88	1,218.67	219.16	195.52
	20%	287.66	572.75	324.68	291.29	242.42	1,438.29	281.28	244.18
20%	5%	155.88	377.08	164.16	156.84	133.65	787.81	145.81	134.13
	10%	226.80	633.44	248.05	228.05	189.51	1,282.04	208.97	190.09
	15%	313.22	797.44	348.80	314.90	263.75	1,663.29	295.89	265.56
	20%	406.87	909.19	467.34	409.60	328.91	1,895.62	380.18	330.90
25%	5%	219.20	590.82	230.02	220.34	155.21	973.78	165.05	156.72
	10%	331.32	1,020.76	357.95	334.01	233.67	1,632.24	256.73	235.78
	15%	459.20	1,301.73	517.75	460.54	332.01	2,069.40	372.01	333.12
	20%	587.54	1,508.22	685.61	594.38	398.61	2,393.79	460.41	400.71
30%	5%	296.96	832.19	310.61	298.51	193.29	1,141.59	206.59	193.00
	10%	443.17	1,379.07	492.60	443.50	284.47	1,896.63	315.58	285.23
	15%	593.34	1,759.29	664.50	596.71	395.75	2,470.03	450.75	397.23
	20%	798.98	2,090.81	911.15	804.39	516.60	2,856.73	598.82	519.82

ตารางที่ 5. เปรียบเทียบค่า RMSE ของการหาผลเฉลี่ยในตัวแบบการขนส่ง เมื่อต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 20 แห่ง กรณีการแจกแจงแบบเอกรูปและการแจกแจงแบบปกติ

C.V.	การสุ่มหา	การแจกแจงแบบเอกรูป				การแจกแจงแบบปกติ			
		วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน	วิธี ค่าเฉลี่ย	วิธี ค่าต่ำสุด	วิธี ค่าสูงสุด	วิธี ค่ามัธยฐาน
5%	5%	5.33	10.49	5.69	5.48	55.67	628.13	56.66	56.12
	10%	14.81	16.83	14.97	14.83	89.91	967.59	92.57	90.83
	15%	20.95	22.49	21.68	20.98	118.59	1,084.44	123.45	119.92
	20%	23.98	26.41	24.28	24.08	161.72	1,164.71	166.49	163.19
10%	5%	62.53	123.57	62.77	62.60	96.30	1,326.31	97.11	96.80
	10%	105.53	149.37	106.02	105.74	157.15	2,039.01	160.19	158.02
	15%	144.92	165.26	146.36	145.47	213.94	2,405.35	217.81	215.15
	20%	194.34	201.77	196.80	195.51	274.10	2,599.95	280.25	275.75
15%	5%	96.17	263.44	96.59	96.18	135.50	2,001.81	137.37	135.90
	10%	160.34	353.13	161.31	160.82	225.89	3,055.08	228.56	226.65
	15%	235.37	372.16	237.09	235.84	317.79	3,622.26	324.55	319.12
	20%	301.06	383.74	304.70	301.80	397.18	3,718.67	406.94	398.67
20%	5%	130.20	489.44	130.35	130.23	179.42	2,686.37	180.64	179.83
	10%	215.08	689.07	215.82	215.09	302.58	4,001.99	307.16	302.95
	15%	327.10	744.25	327.78	327.29	407.65	4,751.53	415.56	408.67
	20%	451.35	790.09	454.69	451.62	546.93	4,978.04	560.38	548.06
25%	5%	192.43	859.07	192.87	192.46	199.63	3,344.73	201.42	199.77
	10%	348.15	1,288.15	349.20	348.38	355.60	5,103.61	360.57	356.52
	15%	489.95	1,464.98	491.51	490.87	496.37	5,977.24	507.31	497.23
	20%	674.90	1,489.36	680.24	675.58	673.66	6,383.48	691.74	674.98
30%	5%	257.40	1,242.31	258.01	257.53	262.70	4,042.38	265.44	262.94
	10%	457.42	1,884.84	458.74	457.45	439.60	6,112.06	447.30	439.66
	15%	655.97	2,161.06	659.63	656.69	608.89	7,337.03	620.84	609.36
	20%	880.67	2,209.52	886.63	882.25	809.07	7,480.12	829.28	810.48

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิธีการแทนค่าสุ่มหาในตัวแบบการขนส่ง พบว่ากรณีค่าใช้จ่ายในตัวแบบการขนส่งมีการแจกแจงแบบเอกรูป จำนวนต้นทางและปลายทางขนาดเป็น 4, 5, 7, 10 และ 20 แห่ง พบว่า เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันคงที่ การแทนค่าสุ่มหาทุกวิธีมีค่า RMSE มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อร้อยละการสุ่มหาเพิ่มขึ้น และเมื่อการสุ่มหาของข้อมูลคงที่ การแทนค่าสุ่มหาทุกวิธีให้ค่า RMSE มีค่าเพิ่มขึ้น แปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน กรณีค่าใช้จ่ายในตัวแบบการขนส่งมีการแจกแจงแบบปกติ พบว่า เมื่อค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันคงที่ ค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแปรผันตามการสุ่มหาเพิ่มขึ้น และเมื่อการสุ่มหาของข้อมูลคงที่ ค่า RMSE ของทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์การแปรผัน

เมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีการแจกแจงแบบเอกรูป และการแจกแจงแบบปกติ การเปรียบเทียบวิธีการแทนค่าสุ่มหาทั้ง 4 วิธี พบว่า เมื่อจำนวนต้นทางและปลายทาง เท่ากับ 4, 5, 7, 10 และ 20 แห่ง ทุกค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันที่กำหนด และทุกค่าร้อยละการสุ่มหาของข้อมูลที่กำหนด วิธีการประมาณ

ค่าสูญเสียด้วยค่าเฉลี่ยมีค่า RMSE น้อยที่สุด รองลงมาเป็นการแทนค่าสูญเสียด้วยค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าวิธีการประมาณค่าสูญเสียโดยวิธีค่าเฉลี่ยและวิธีค่ามัธยฐาน มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดการแจกแจงของค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มีลักษณะที่สมมาตร จากผลการศึกษานี้พบว่าเมื่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูญเสียวิธีการแทนค่าสูญเสียโดยวิธีค่าเฉลี่ย มีค่า RMSE ในการประมาณค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในทุก ๆ สถานการณ์ที่ผู้วิจัยศึกษาซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญเสียของตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ [8] ผลการวิจัย พบว่า ที่ทุกร้อยละการสูญเสียที่กำหนด เมื่อขนาดตัวอย่างเท่ากับ 60, 100 และ 300 วิธีแทนค่าด้วยค่าเฉลี่ยมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ คือ ค่าประมาณความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ทั้งนี้วิธีแทนค่าด้วยค่าเฉลี่ยเป็นวิธีการที่ง่าย และใช้ข้อมูลทุกค่าที่มี ซึ่งแตกต่างจากวิธีค่ามัธยฐาน ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด จะใช้ข้อมูลเพียงค่าเดียวมาเป็นตัวแทนในการแทนค่า ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดฟังก์ชันจุดประสงค์สำหรับปัญหาการขนส่งให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด หากทำการแทนค่าสูญเสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดอาจทำให้เป็นเส้นทางที่ถูกเลือกใช้ในการขนส่งเพราะมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จึงส่งผลให้ผลเฉลยที่ได้มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด และมีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่มีฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อกำไรรวมมากที่สุด ก่อนข้างมาก ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาภายใต้สถานการณ์ จำนวนต้นทางและปลายทาง มีค่าเท่ากัน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาภายใต้สถานการณ์ จำนวนต้นทางและปลายทาง มีค่าไม่เท่ากัน เพื่อให้ช่วยอธิบายผลการวิจัยได้ชัดเจนมากขึ้น และอาจศึกษาวิธีเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น วิธีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) เพื่อให้เกิดความแตกต่างในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ รวมถึงการศึกษานำวิธีการประมาณค่าสูญเสียที่เหมาะสม และอาจนำไปใช้ในการหาผลเฉลยในแบบการขนส่งในกรณีศึกษาของบริษัทต่าง ๆ เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สมเกียรติ เกตุเอี่ยม. 2547. การวิจัยดำเนินการ : การวิเคราะห์เชิงปริมาณทางธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 2, การผลิตเอกสารและตำรา กลุ่มงานบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา. [Somkiat Ketuiam.2004. Operation Research: Business Quantitative Analysis. 2nd ed., Documents and Textbooks Thaksin University, Songkhla. (in Thai)]
- [2] นิติเดช คูหาทองสมฤทธิ์. 2560. การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม โดยตัวแบบโปรแกรมเป้าหมายแบบศูนย์หนึ่ง. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 12(2), 78-91. [Nitidetch Koothongsumri. 2017. Selecting optimal distribution route by zero-one goal programming mode. *Phranakhon Rajabhat Research Journal: Science and Technology*, 12(2), 78-91. (in Thai)]
- [3] ณัฐดี เย็นคงคา และณัฐพร คุดตะนันท. 2560. การจัดเส้นทางและกำหนดเวลาการขนส่งของผู้จัดจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และน้ำดื่ม. โครงการงานวิศวกรรมหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการและเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์,

- มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. [Natthawadee Yenkhongkha and Nattaporn Kuttanan. 2017. Vehicle Routing and Scheduling of a Liquor, Beer, and Beverage Distributor. Engineering Project, Bachelor's degree, Management and Logistics Engineering, College of Innovative Technology and Engineering, Dhurakij Pundit University. (in Thai)]
- [4] มานพ วรภักดิ์. 2552. การวิจัยดำเนินการ. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. [Manop Warapak. 2009. Operation Research. 1st ed., Chulalongkorn University Press, Bangkok. (in Thai)]
- [5] รัตติกาล จอมประพันธ์ และพาชิตชนัด ศิริพานิช. 2558. การประมาณค่าสูญหายในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 55(1), 184-202, <https://doi.org/10.14456/ndj.2015.14>. [Ruttikan Jomprapan and Pachitjanut Siripanich. 2015. Missing Imputation in Multiple Linear Regression Analysis. *NIDA Development Journal*, 55(1), 183-202, <https://doi.org/10.14456/ndj.2015.14>. (in Thai)]
- [6] วริษฐา กณิกนันต์ และอนุภาพ สมบูรณ์สวัสดิ์. 2556. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุเมื่อตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีการสูญหายแบบนอนอิกนอร์เรเบิล. การประชุมหาดใหญ่วิชาการ, ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยหาดใหญ่, สงขลา, 43-49. [Warittha Kaniknant and Anupap Somboonsawatdee. 2013. Comparison of The Estimation Methods for The Multiple Linear Regression Model with Nonignorable Missing Dependent and Independent Variables. The Proceeding of 4th Hat Yai Symposium, Hat Yai University, Songkhla, 43-49. (in Thai)]
- [7] สุปรียา สระโสม และธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ. 2562. การเปรียบเทียบวิธีการเติมข้อมูลสูญหายในตัวแปรตามที่เกิดการสูญหายแบบสุ่มสำหรับการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 47(4), 737-748. [Supiya Srasom and Tidadeaw Mayureesawan. 2019. Comparison of Missing Data Imputation Methods in Dependent Variable with Missing at Random for Multiple Linear Regression. *KKU Science Journal*, 47(4), 737-748. (in Thai)]
- [8] เรืองลักษณ์ หล้าใจเชื้อ, อำไพ ทองธีรภาพ และจุฑาภรณ์ สิ้นสมบูรณ์ทอง. 2560. การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายสำหรับการวิเคราะห์การถดถอยพหุเมื่อตัวแปรตามมีการสูญหายแบบสุ่ม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 25(5), 766-777. [Rueangluck Lamjaisue, Ampai Thongteeraparp and Juthaphorn Sinsomboonthong. 2017. Comparison of Missing Data Estimation Methods for the Multiple Regression Analysis with Missing at Random Dependent Variable. *Thai Science and Technology Journal*, 25(5), 766-777. (in Thai)]
- [9] Chhabra, G., Vashisht, V., and Ranjan, J. 2017. A Comparison of Multiple Imputation Methods for Data with Missing Values. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(19), 1-7.

- [10] Asif, M., and Samart, K. 2022. Imputation Methods for Multiple Regression with Missing Heteroscedastic Data. *Thailand Statistician*, 20(1), 1–15.