

วารสารวิศวกรรมศาสตร์

ฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง

อรประไพ จารุพัฒน์^{a,*} และ ปวีณา เชาวลิทวงศ์^b

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

อีเมล: onprapai.j@student.chula.ac.th^{a,*}, paveena.c@chula.ac.th^b

บทคัดย่อ การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเป็นแนวทางหนึ่งในการลดต้นทุนขนส่งของลักษณะการขนส่งจากสถานที่รับ-ส่งสินค้าต่างๆ ที่ตั้งอยู่อย่างกระจายเป็นระยะทางที่ห่างไกลกัน โดยที่รูปแบบของเส้นทางขนส่งไม่จำเป็นต้องมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการทำงานเป็นจุดเดียวกันดังเช่นปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งทั่วไป ซึ่งความแตกต่างนี้ทำให้การจัดรูปแบบการเดินรถแบบเปิดสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องกลับไปเริ่มต้นเส้นทางที่สถานที่ตั้งต้นเดิมเสมอ (Home Base) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่ต้องมีการรับและส่งสินค้าภายใต้กรอบเวลากำหนดการส่งมอบและข้อจำกัดความจุในการบรรทุกของรถขนส่งเพื่อให้ได้ระยะทางขนส่งรวมที่สั้นที่สุด ฮิวริสติกที่นำเสนอพัฒนามาจากวิธีการ Insertion Heuristic ซึ่งเป็นวิธีการจัดเส้นทางที่ไม่ซับซ้อนและเหมาะสำหรับการจัดเส้นทางที่ต้องคำนวณแทรกงานขนส่งใหม่ลงเส้นทางเดิมได้อย่างรวดเร็ว ในการทดสอบฮิวริสติกกับปัญหาตัวอย่างพบว่าเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอกับวิธีการจัดเส้นทางแบบอื่น คือ วิธีการ Nearest Neighbor พบว่า การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธี Insertion Heuristic ให้คำตอบที่ดีกว่าโดยเฉลี่ย 6.51% และผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าในทุกลักษณะของตัวอย่างการขนส่งที่สร้างขึ้นจากความต้องการขนส่งจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถนำไปหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสืบค้น: การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด, ฮิวริสติก, การแทรกงาน

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (ISSN: 1906-3636) ปีที่ 4 ฉบับที่ 3

วันที่ส่ง 23 มกราคม 2556

วันที่ตอบรับ 8 พฤษภาคม 2556

วันที่ตีพิมพ์ 31 พฤษภาคม 2556

Online at <http://www.ej.eng.chula.ac.th/>

DOI:10.4186/ejth.2012.4.3.57



Heuristic for Open Vehicle Routing Problem to Reduce Transportation Cost

Onprapai Jaruphat^{a,*} and Paveena Chaovalitwongse^b

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

E-mail: onprapai.j@student.chula.ac.th^{a,*}, paveena.c@chula.ac.th^b

Abstract. The open vehicle routing (OVR) is an approach toward transportation cost reduction, especially for long distance pickup and delivery nodes. The outstanding characteristic of OVR is that the route starting node and ending node are not necessary the same as in typical vehicle routing problems. This advantage enables the routing to flow continuously and the vehicle does not always return to its home base. This research aims to develop a heuristic for the open vehicle routing problem with pickup and delivery under time window and loading capacity constraints to minimize the total distance. The proposed heuristic is developed based on the Insertion method, which is a simple method and suitable for the rapid calculation that allows insertion of the new additional transportation requirements along the original paths. According to the heuristic analysis, cost comparisons between the proposed heuristic and an alternative method, nearest neighbor method, show that the insertion heuristic gave an average of 6.51% in cost savings. Moreover, the proposed heuristic gave superior solutions in all types of test problems. In conclusion, the proposed heuristic can effectively and efficiently solve the open vehicle routing.

Keywords: Open vehicle routing, heuristic, insertion.

Engineering Journal (ISSN: 1906-3636) Volume 4 Issue 3

Received 23 January 2013

Accepted 8 May 2013

Published 31 May 2013

Online at <http://www.ej.eng.chula.ac.th/>

DOI:10.4186/ejth.2012.4.3.57

1. บทนำ

ปัจจุบันการขนส่งมีความสำคัญต่อธุรกิจทั้งในส่วนของการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต และการจัดจำหน่าย ในหลายธุรกิจต้นทุนการขนส่งนับเป็นต้นทุนที่สำคัญและกระทบต่อต้นทุนรวมของสินค้า [1] การลดต้นทุนค่าขนส่งโดยการวางแผนเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ถูกเลือกมาใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนรวมของสินค้า ทั้งนี้การลดต้นทุนขนส่งจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการขนส่งเพื่อให้มีระยะทางรวมลดลง การขนส่งแบบปลายเปิดนี้ (Open Vehicle Routing) เป็นการวางแผนเส้นทางเดินรถที่ไม่จำเป็นต้องกลับมาถึงจุดปล่อยรถตอนเริ่มต้นของแต่ละรอบการขนส่ง โดยที่รถขนส่งสามารถเริ่มต้นเส้นทางใหม่ได้จากจุดขนส่งของลูกค้ารายสุดท้าย

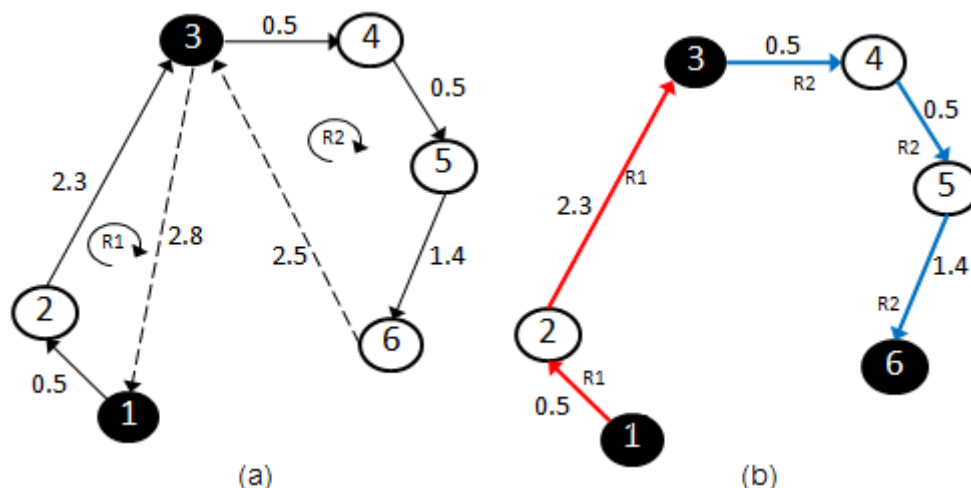
ลักษณะของการขนส่งในงานวิจัยนี้คือ เป็นการขนส่งที่มีจุดปล่อยรถมากกว่า 1 แห่ง และทำการขนส่งสินค้าจากหลายแห่งไปตามจุดต่างๆ ที่มีระยะห่างกันออกไป และความต้องการขนส่งสินค้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งจะต้องทำการปรับเส้นทางให้รองรับกับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ ซึ่งการวางแผนเส้นทางเดินรถแบบเปิดเป็นประโยชน์ต่อลักษณะการขนส่งดังกล่าว เพราะสามารถลดต้นทุนขนส่งจากการลดระยะทางเดินทางย้อนกลับจุดเริ่มต้นของรถขนส่งแต่ละรอบที่เป็นระยะทางไกลและมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนเส้นทาง เพราะเส้นทางขนส่งมีความเป็นอิสระที่สามารถเริ่มต้นต่อได้ทันทีโดยไม่ต้องย้อนกลับไปยังจุดปล่อยรถ ทำให้ประหยัดค่าการเดินทางที่เพิ่มขึ้นของระยะทางใหม่จากการปรับเส้นทาง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาเส้นทางเดินรถแบบเปิดโดยทั่วไป [2-5] พบว่า เป็นการจัดเส้นทางของปัญหาการส่งสินค้าอย่างเดียว เช่น ปัญหาการกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆ อย่างไรก็ตามในการขนส่งสามารถมีได้ทั้งการรับและการส่งสินค้าไปพร้อมกันเป็นหนึ่งในเส้นทาง ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในการขนส่งปัจจุบันที่จะต้องทำการวางแผนเส้นทางให้เหมาะสมและมีต้นทุนต่ำโดยเป็นรูปแบบปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจนำมาศึกษาต่อ เนื่องจากว่าปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิดจัดเป็นปัญหาที่ซับซ้อนยากต่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด (NP-Hard) ซึ่งต้องใช้เวลานาน [6-7] ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีสถิติของการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดในการแก้ปัญหาการรับ-ส่งสินค้าพร้อมกันบนเส้นทางและสำหรับข้อมูลรับเข้าใหม่ที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยพื้นฐานคือ การพิจารณาหาเส้นทางลำดับการส่งสินค้าของรถแต่ละคันจากจุดปล่อยรถแห่งเดียวหรือหลายแห่ง เพื่อให้ลูกค้าทุกรายได้รับสินค้าภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด โดยปัญหาการจัดเส้นทางมีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของระบบที่ผู้ศึกษาสนใจ [8-9] เช่น Capacitated Vehicle Routing Problem, Multi-Depot Vehicle Routing Problem เป็นต้น ถ้าแบ่งประเภทของการจัดเส้นทางเดินรถตามลักษณะการเดินทางจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ [5] คือ เส้นทางเดินรถแบบปิด (Closed Trips หรือ Vehicle Routing Problem) คือ รถแต่ละคันต้องออกและกลับมาสู่จุดปล่อยรถเดิม ในขณะที่เส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) คือ รถขนส่งไม่ต้องย้อนกลับมาถึงจุดปล่อยรถหลังจากส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายสุดท้าย ซึ่งการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะลดระยะเดินทางย้อนกลับโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการขนส่งหลายคันจะทำให้ประหยัดระยะทางโดยรวมลงได้มาก เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่มีจุดปล่อยรถหลายแห่งที่ตั้งห่างกันไป ตัวอย่างเช่นรูปที่ 1 การส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆ ใช้รถ 2 คันออกจากจุดปล่อยรถ 1 และ 3 ซึ่ง (a) เส้นทางแบบปิดได้ระยะทางรวม 10.5

ส่วน (b) เส้นทางแบบเปิดมีระยะทางรวม 5.2 เนื่องจากสามารถหยุดที่จุดสุดท้ายของเส้นทาง (R1 จุดที่ 3 และ R2 จุดที่ 6) โดยไม่ต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น (3 กลับ 1 และ 6 กลับ 3) ซึ่งมีระยะทางไกล



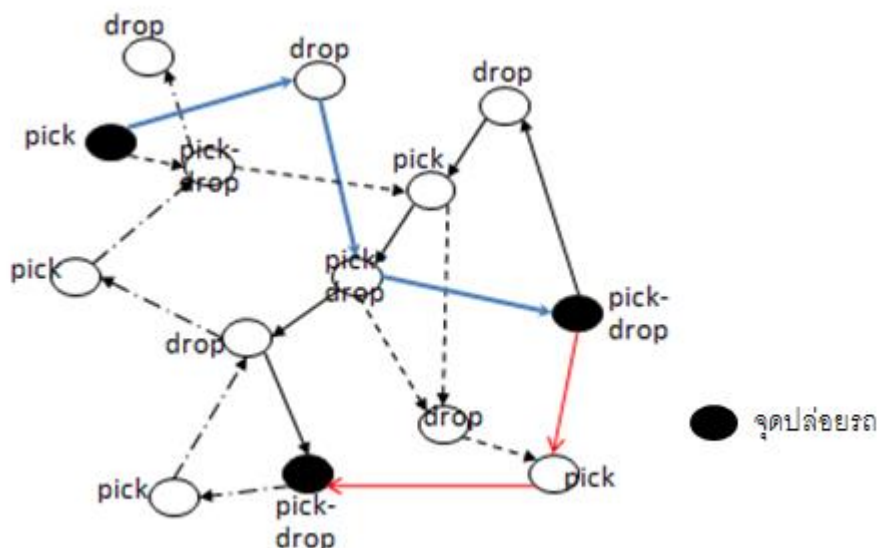
รูปที่ 1 (a) เส้นทางแบบปิด VRP, (b) เส้นทางแบบเปิด OVRP

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่พบในงานวิจัยที่ผ่านมา มีลักษณะการขนส่งสินค้าที่เป็นแบบแผน คือ ออกจากจุดปล่อยรถอย่างเดียวหรือเป็นการรับสินค้าเพียงอย่างเดียวตลอดเส้นทางในแต่ละรอบ [4] เช่น Bodin และคณะ ซึ่งได้ศึกษาการขนส่งสินค้าทางเครื่องบินของ FedEx ที่เครื่องบินออกจากเมืองหนึ่งไปส่งสินค้ายังเมืองต่างๆ และจอดลงที่เมืองสุดท้ายของเส้นทางส่งสินค้าและเริ่มทำการรับสินค้าอีกครั้งจากเมืองที่ลงจอด สำหรับ Russell และคณะ ได้ศึกษาการขนส่งสินค้าและการส่งหนังสือพิมพ์ตามบ้าน ในขณะที่ Fu และคณะ ศึกษาการวางแผนเส้นทางรถรับ-ส่งนักเรียน เป็นต้น ซึ่งในสถานการณ์จริงของการขนส่งนั้นบนเส้นทางที่รถขนส่งผ่านจุดหนึ่งๆ จะสามารถมีได้ทั้งการรับและส่งสินค้า ดังนั้นเส้นทางขนส่งที่จะทำให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำจึงสามารถเป็นได้ในการรับและส่งสินค้าพร้อมกันในแต่ละรอบ และอีกสถานการณ์หนึ่งที่เป็นอยู่ของคำสั่งการขนส่งสินค้าคือ เป็นการรับทราบข้อมูลล่วงหน้า ข้อมูลงานขนส่งที่รับเข้าสามารถมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เรียกว่า ปัญหาแบบพลวัต (Dynamic) และมีการเพิ่มเข้าของข้อมูลความต้องการขนส่งที่ทราบระหว่างการจัดเส้นทาง ดังนั้นจากสถานการณ์การขนส่งจริงที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาและนำมากำหนดรูปแบบปัญหาเส้นทางขนส่งของงานวิจัยนี้ในส่วนถัดไปเพื่อให้เหมาะสมกับการจัดเส้นทาง

3. รูปแบบปัญหา

งานวิจัยนี้เป็นการรวมกันของ 3 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ได้แก่ (1) การนำแนวคิดการจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) มาประยุกต์ใช้กับการวางแผนเส้นทางขนส่งของเครือข่ายธุรกิจของโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ตามภูมิภาคต่างๆที่มีความจำเป็นในการขนส่งระหว่างกัน ซึ่งทำให้มีจุดปล่อยรถหลายแห่งและมีเวลาเริ่มต้นไม่พร้อมกันรวมถึงเป็นการจัดเส้นทางของรถหลายคันพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์การจัดเส้นทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม ซึ่งเส้นทางขนส่งที่สร้างขึ้นอยู่ในรูปแบบการขนส่งอย่างต่อเนื่องที่รถขนส่งสามารถทำงานได้ตลอดเวลาและสามารถเริ่มต้น ณ จุดใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอทุกครั้ง จึงทำให้เกิดเส้นทางขนส่งสินค้าที่เป็นไปได้จำนวนมาก และการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดจึงจัดเป็นปัญหาระดับยากและใช้เวลานานในการหาคำตอบที่ดีที่สุด [6-7] (2) กิจกรรมการขนส่งที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นทางเป็นทั้งรับและส่งสินค้า (Pickups and Deliveries) พร้อมกันโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

ตัวอย่างดังรูปที่ 2 แสดงลักษณะเส้นทางเดินรถแบบเปิดของงานวิจัยที่มีจุดเริ่มต้นเส้นทางหลายแห่ง จุดขนส่งบนเส้นทางแต่ละจุดนั้นสามารถมีรถได้มากกว่า 1 คัน ในการแวะมารับและ/หรือส่งสินค้า ซึ่งในการจัดเส้นทางรับและส่งสินค้าพร้อมกันจะต้องทำพิจารณาคุณโหนดรับ-ส่งของทุกงานขนส่งบนเส้นทางในรถแต่ละคันให้สามารถดำเนินการขนส่งได้ทั้งหมด ภายใต้ข้อจำกัดการจัดเส้นทางของความจุรถ (Loading Capacity) และกรอบเวลากำหนดส่งมอบ (Time Window) ทำให้เกิดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นในการจัดเส้นทางเดินรถ



รูปที่ 2 เส้นทางเดินรถแบบเปิดรับและส่งสินค้า

ทั้งนี้ข้อมูลที่เกิดขึ้นจะเป็นทั้งความต้องการให้รับสินค้าจากแห่งหนึ่งและความต้องการนำส่งสินค้าไปยังอีกแห่งหนึ่ง จึงมีการกำหนดส่งมอบเป็นช่วงเวลาเริ่มต้นรับสินค้า (Earliest Time) ถึงเวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้ (Latest Time) และ 3) อีกทั้งข้อมูลความต้องการขนส่งเป็นข้อมูลอนาคตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic Transportation Requirements) จึงต้องทำการปรับแผนเส้นทางเดินรถ (Rolling) ทุกครั้งที่มีข้อมูลใหม่ เช่น เดินรถขนส่งถูกกำหนดเส้นทาง A-B-C-D เมื่อเวลาผ่านไปมีความต้องการขนส่งใหม่ที่ต่อรับสินค้าจากโหนด E เพื่อนำไปส่งที่โหนด D การจัดเส้นทางรอบใหม่ทันทีโดยปรับจากเส้นทางเดิมได้เป็น A-B-E-C-D เพื่อให้ทุกความต้องการขนส่งสามารถดำเนินการขนส่งสินค้าได้ทันเวลาพอดี นอกจากนี้สินค้าที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ยังมีลักษณะหลากหลาย เช่น สินค้าขนาดใหญ่ น้ำหนักเบา สินค้าขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก หรือสินค้าขนาดเล็ก น้ำหนักมาก เป็นต้น จึงต้องมีการพิจารณาความต้องการขนส่งทั้ง 2 มิติ คือ ปริมาตร และน้ำหนัก เนื่องจากว่าในงานวิจัยนี้มีการกำหนดจุดปล่อยรถหลายแห่งจึงมีเส้นทางเดินรถเป็นจำนวนมาก โดยภาพรวมวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะฉะนั้นเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเส้นทางขนส่งจะเป็นต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นจากเส้นทางทั้งหมดรวมกันที่มีค่าต่ำสุด โดยการจัดเส้นทางเดินรถต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัด คือ

- ข้อจำกัดของรถขนส่งด้านความจุของรถขนส่ง (Capacity Constraint)
- ข้อจำกัดของงานขนส่งด้านกรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (Time Window Constraint)

โดยมีขอบเขตและข้อกำหนดของงานวิจัยดังนี้

- ความต้องการของงานขนส่งสินค้าจะต้องไม่เกินความจุรถ
- ไม่สามารถแยกสินค้า (Split Order) เพื่อขนส่งได้

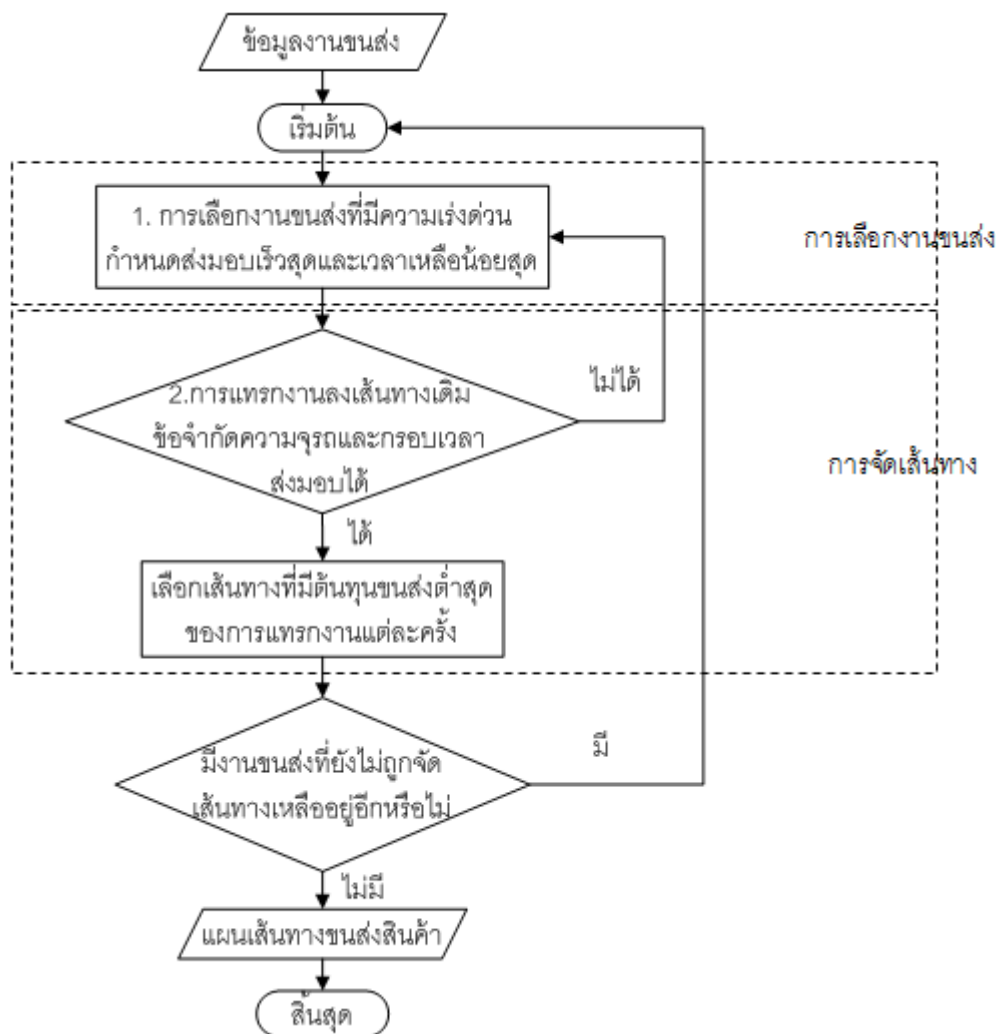
- ไม่สามารถพัก (Cross Docks) หรือ ถ่ายโอนสินค้า (Transshipment) ได้
- เวลาโหลดสินค้าไม่ถูกนำมาพิจารณา
- ทุกโหนดในระบบสามารถเป็นจุดพักรถขนส่งได้

ดังนั้นปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของงานวิจัยนี้เป็นรูปแบบของข้อมูลงานขนส่งพลวัต (Dynamic) ที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลและไม่สามารถคาดการณ์ความต้องการขนส่งที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ เช่น งานขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงเวลากำหนดส่งมอบ เป็นต้น ฉะนั้นจึงต้องมีการปรับเส้นทางทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล (Rolling) ซึ่งรูปแบบเส้นทางจากวิธีการของการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (OVRP) เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา เพราะรถขนส่งมีความเป็นอิสระในการเปลี่ยนเส้นทางได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากคุณลักษณะเด่นของวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่ไม่ต้องให้รถกลับมายังจุดปล่อยรถนั่นเอง ในส่วนของการหาคำตอบของการจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิด งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้อง [2-5] จะแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติกที่ให้ค่าของผลคำตอบที่ดีและใช้เวลาคำนวณน้อย เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดถือได้ว่าเป็นปัญหาระดับยากและซับซ้อน (NP-Hard) จากการศึกษาของ Brandao (2004) และ Laporte (2009) [6-7] ดังนั้นการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะต้องใช้เวลานาน ฉะนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอฮิวริสติกในส่วนถัดไปเพื่อใช้ในการหาคำตอบ

4. หลักการและแนวคิดของฮิวริสติก

จากที่กล่าวข้างต้นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถของงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) ที่มีข้อมูลแบบพลวัต (Dynamic) รวมอยู่ด้วย ซึ่งแนวคิดของฮิวริสติกสำหรับงานวิจัยนี้จึงเกี่ยวข้องกับปัญหาทั้ง 2 รูปแบบตามลำดับดังนี้ ปัญหาการจัดเส้นทางแบบเปิดซึ่งได้ศึกษาและรวบรวมแนวทางการหาคำตอบของ MirHassani และ Abolghasemi (2011) [2] และ Zachariadis และ Kiranoudis (2010) [3] ซึ่งได้นำเสนอวิธีฮิวริสติกที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับจากวิธีการแบบดั้งเดิม เช่น Savings Heuristic ของ Clarke and Wright, Cluster First Route Second, Tabu Search เป็นต้น จนถึงวิธีการหาคำตอบแบบผสมผสาน (Meta-Heuristic) เช่น Farthest-First Heuristic และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการของ Tabu Search หรือวิธีการของ Ant Colony Optimization ร่วมกับ Tabu Search เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาสำหรับ Meta-Heuristic นั้นวิธีการหนึ่งที่ใช้สร้างเส้นทางเบื้องต้น คือ Insertion และจากงานวิจัยของ Berbeglia และคณะ (2010) [10] ที่ศึกษารวบรวมเกี่ยวกับปัญหาการรับและส่งสินค้าแบบพลวัต (Dynamic Pickup And Delivery Problems) พบว่า การจัดเส้นทางเดินรถสำหรับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือแทรกเพิ่มเข้ามา โดยส่วนมากจะแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Insertion ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแนวคิดวิธีการ Insertion Heuristic มาประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนเส้นทางเดินรถปลายเปิดของงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะวิธีการแทรกงานขนส่ง เป็นการหาเส้นทางที่จะสามารถขนส่งสินค้าที่เพิ่มเข้ามาใหม่ได้อย่างรวดเร็วและอยู่บนเส้นทางที่กำหนดไว้แล้วหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพื่อยังคงให้มีระยะทางต่ำตามที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้โดยไม่มีการปฏิเสธงานขนส่ง

การจัดเส้นทางขนส่งจะต้องทำการพิจารณาเลือกงานขนส่งและจัดลงเส้นทางของรถคันใดจึงจะได้ระยะทางรวมต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงแบ่งขั้นตอนการพิจารณาการจัดเส้นทางขนส่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเลือกงานขนส่งและการจัดเส้นทาง (ดังแสดงตามรูปที่ 3)



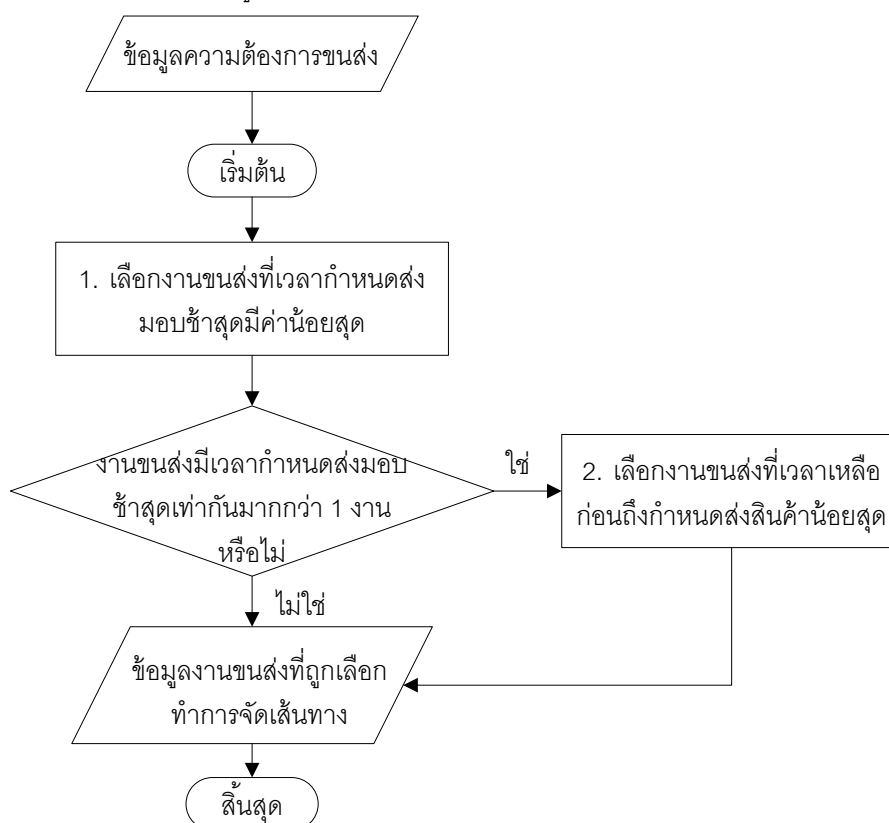
รูปที่ 3 ภาพรวมกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า

ในการจัดเส้นทางที่มีข้อมูลงานขนส่งจำนวนมากและมีเวลากำหนดส่งมอบที่แตกต่างกันแต่ในขณะที่ยังมีจำนวนรถขนส่งที่ใช้ในการปฏิบัติงานนั้นมีอยู่ด้วยจำนวนจำกัด ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาเลือกงานขนส่งในขั้นตอนแรก เพื่อดำเนินงานที่มีความเร่งด่วนมาทำการจัดเส้นทางก่อน โดยพิจารณาจากกำหนดส่งมอบล่าสุด (Latest Due Date) ที่มีค่าน้อยที่สุด และพิจารณาร่วมกับเวลาเหลือ (Slack Time) คือ เวลาที่เหลือเสร็จก่อนกำหนดมีค่าน้อยที่สุดมาทำการจัดเส้นทางก่อน หลังจากเลือกงานขนส่งได้แล้วจากขั้นตอนแรก จึงนำงานที่มีความจำเป็นเร่งด่วนมาทำการจัดเส้นทางขนส่ง โดยวิธีการลองแทรกงาน (Insertion) ลงบนรถทุกคัน เพื่อเปรียบเทียบและเลือกเส้นทางขนส่งที่มีค่าระยะทางโดยรวมต่ำสุด ภายใต้ข้อจำกัดความจุรถและกรอบเวลาในการส่งมอบสินค้า ทำซ้ำทั้งสองขั้นตอนจนกระทั่งงานขนส่งทุกรายการถูกจัดลงบนเส้นทางจึงจะสิ้นสุดกระบวนการจัดเส้นทางรับส่งสินค้า

สำหรับการจัดเส้นทางปัญหาข้อมูลแบบพลวัต (Dynamic) ในงานวิจัยนี้ การจัดเส้นทางแต่ละครั้งจะมองภาพปัญหาเป็นการทราบข้อมูลทั้งหมดของรอบนั้นก่อนการจัด และเมื่อระบบมีข้อมูลเปลี่ยนแปลงจะคำนวณปรับเส้นทางขนส่ง (Rolling) ทันทีโดยรวมข้อมูลใหม่และข้อมูลเดิมเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งการคำนวณเส้นทางจะนำข้อมูลทั้งหมดที่มีอยู่มาทำการคำนวณสร้างเส้นทางเดินรถตามวิธีการของฮิวริสติกที่นำเสนอ

4.1. การเลือกงานขนส่ง

จากข้อมูลความต้องการขนส่งในงานวิจัยนี้มีลักษณะที่กำหนดการรับส่งสินค้าเป็นช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งมีสมมติฐานว่างานที่มีกำหนดส่งมอบก่อนหน้าจะมีความแน่นอนสูง ส่วนงานที่มีกำหนดการส่งมอบช้ากว่าจะยังมีความไม่แน่นอนของข้อมูลและอาจมีการเปลี่ยนแปลงคำสั่งรับส่งสินค้าได้ ในขั้นตอนการเลือกงานขนส่งนี้มีวัตถุประสงค์ คือ การเลือกงานขนส่งจำนวน 1 งาน เพื่อนำไปพิจารณาแทรกงานในขั้นตอนต่อไปและเลือกงานที่มีความเร่งด่วนมากทำการจัดเส้นทางก่อน เพื่อให้ความต้องการขนส่งทั้งหมดในระบบสามารถขนส่งได้ทันเวลาพอดี โดยการหาความเร่งด่วนของงานพิจารณาประยุกต์จาก 2 กฎการจ่ายงาน คือ กำหนดส่งมอบเร็วที่สุด (Earliest Due Date หรือ EDD) เป็นเกณฑ์หลัก ผลจากการเลือกงานขนส่งจากเวลาส่งมอบสามารถเกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ เลือกงานขนส่งได้จำนวน 1 งาน กรณีนี้งานขนส่งจะสามารถนำไปจัดเส้นทางต่อไปในกระบวนการถัดไปได้ทันที สำหรับในกรณีที่ 2 จากการพิจารณาเวลาส่งมอบเร็วสุดถ้าเกิดมีงานขนส่งที่มีกำหนดส่งมอบเท่ากันมากกว่า 1 งาน จะต้องเลือกงานโดยใช้เกณฑ์รอง คือ กฎการจ่ายงานของเวลาเหลือก่อนจะถึงกำหนดส่งมอบน้อยสุด (Minimum Slack Time หรือ MST) เพื่อคัดเลือกงานขนส่งจำนวน 1 งานที่มีความเร่งด่วนมากกว่าไปทำการจัดเส้นทางก่อน โดยกระบวนการเลือกงานขนส่งแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการเลือกงานขนส่ง

วิธีการคำนวณในขั้นตอนการเลือกงานขนส่งดังนี้

1. เลือกงานขนส่งจากเวลากำหนดส่งมอบตามกฎการจัดลำดับแบบ EDD ซึ่งจะเรียงลำดับของงานโดยกำหนดส่งมอบจากน้อยไปมาก $d_{[1]} \leq d_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n]}$ โดยที่ $d_{[n]}$ คือ กำหนดส่งมอบ (Due Date) ของงานขนส่งใด ๆ [11] แต่สำหรับงานวิจัยนี้ได้พิจารณากำหนดส่งมอบจากข้อมูลเวลาส่งสินค้าช้าสุด (Latest Due Date) โดยงานขนส่งใดที่มีค่า Latest Time (L_i) น้อยสุดจะถูกเลือกเป็นอันดับแรก $L_1 \leq L_2 \leq \dots \leq L_n$

ตามลำดับ ซึ่งงานขนส่งที่ถูกเลือกนั้นจะถูกจัดเส้นทางที่ละรายการ ถ้าหากมีงานขนส่งที่มีกำหนดเวลาส่งมอบเท่ากันให้ทำการพิจารณาเลือกงานขนส่งต่อในขั้นตอนที่ 2 เพื่อค้นหางานที่มีความจำเป็นเร่งด่วนมากกว่าในการขนส่ง

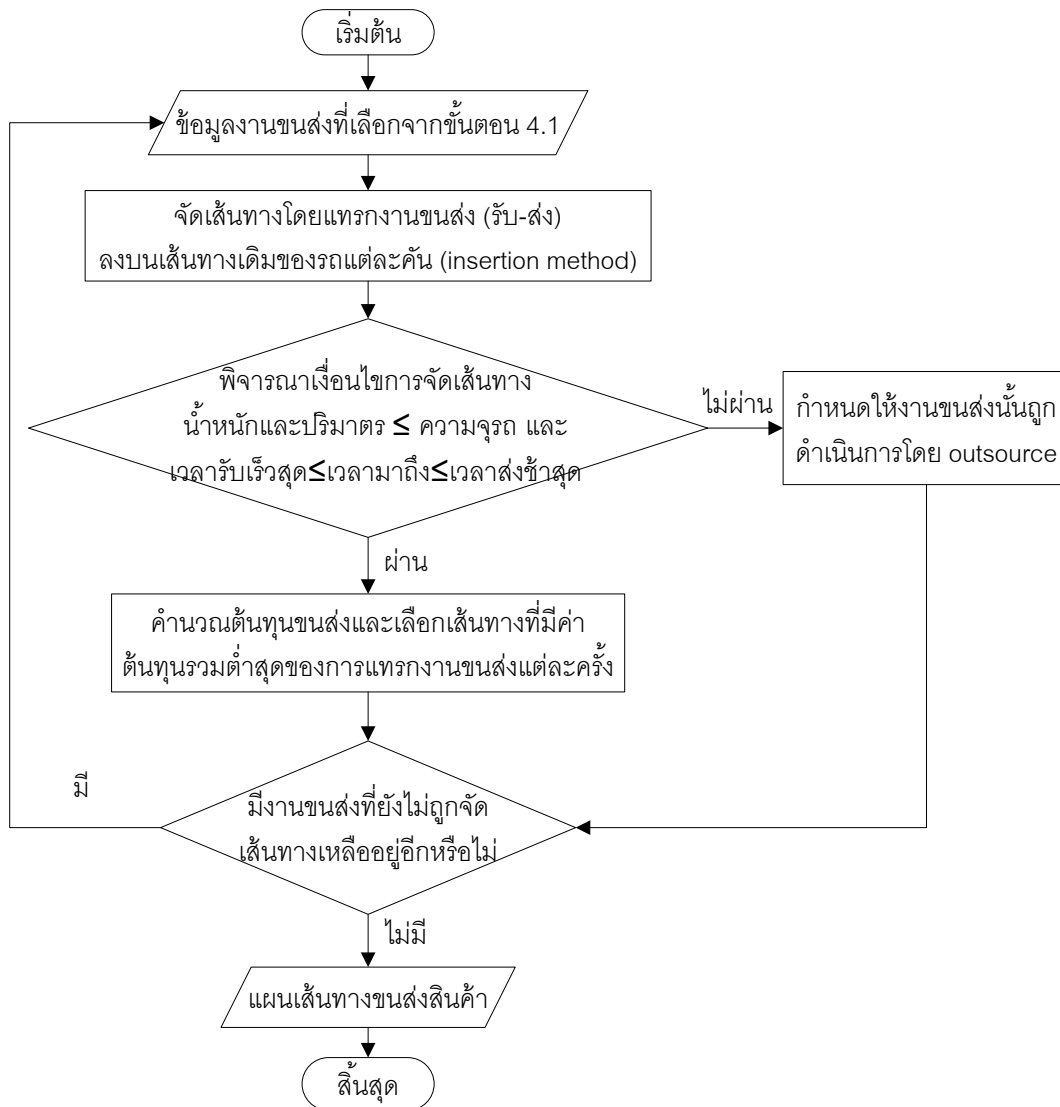
2. การเลือกงานขนส่งจากเวลาเหลือ (Slack Time) ตามกฎการจัดลำดับแบบ MST ซึ่งจะเรียงลำดับของงานจากเวลาที่เหลือก่อนจะถึงกำหนดส่งมอบจากน้อยไปมาก $d_{[1]} - p_{[1]} \leq d_{[2]} - p_{[2]} \leq \dots \leq d_{[n]} - p_{[n]}$ โดยที่ $p_{[n]}$ คือ เวลาดำเนินการขนส่งของงานใดๆ [11] โดยงานที่มีค่าเวลาเหลือน้อยกว่าจะเป็นงานที่มีความเร่งด่วนมาก สำหรับงานวิจัยได้คำนวณเวลาเหลือ (Slack Time) ตามสมการ (1)

$$S_i = L_i - t_i - \max(E_i, \min F_k) ; \forall i \in n, \forall k \in m \quad (1)$$

โดย	S_i	คือ เวลาเหลือในการขนส่งของลำดับความต้องการขนส่งที่ i
	t_i	คือ เวลาเดินทางจากจุดรับไปยังจุดส่งสินค้าของงานขนส่งที่ i
	L_i	คือ เวลากำหนดรับส่งล่าสุดของแต่ละงานขนส่งลำดับที่ i
	E_i	คือ เวลากำหนดรับส่งเร็วสุดของแต่ละงานขนส่งลำดับที่ i
	F_k	คือ เวลาสุดท้ายที่ถูกกำหนดไว้ของรถขนส่งคันที่ k
	n	คือ เซตของงานขนส่งสินค้าทั้งหมด
	m	คือ เซตของรถขนส่งทั้งหมดที่มีอยู่

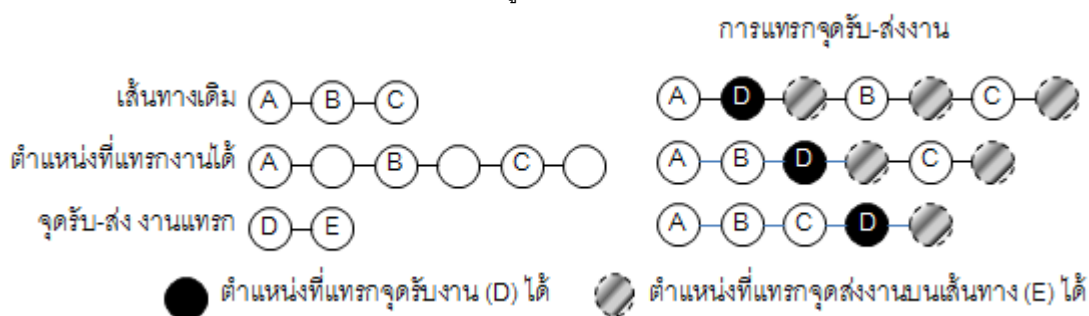
4.2. การจัดเส้นทางขนส่ง

การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีฮิวริสติกที่นำมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้คือ การจัดแบบแทรกงาน (Insertion Heuristic) ซึ่งการหาคำตอบของวิธีการนี้ในแต่ละรอบจะทำการค้นหาว่า งานขนส่งที่รอการจัดลงเส้นทางแต่ละจุดรับ-ส่งสามารถแทรกลงในเส้นทางที่จัดค้างอยู่ได้ในตำแหน่งใดบ้างและแต่ละตำแหน่งมีค่าใช้จ่ายในการแทรกเป็นเท่าใด โดยพยายามแทรกงานขนส่งใหม่เข้าไปในเส้นทางที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นน้อยที่สุด [12] อย่างไรก็ตามการสร้างเส้นทางต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลักของความจุรถและกำหนดส่งมอบสินค้าให้สามารถเป็นไปได้ด้วย ขั้นตอนของวิธีการคำนวณการจัดเส้นทางของงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 5 เป็นการพิจารณาที่ละงานขนส่งจากการเลือกตามขั้นตอนที่ 4.1 มาทำการสร้างเส้นทางโดยวิธีการแทรกงานลงในตำแหน่งต่างๆ ของเส้นทางเดิมบนรถขนส่งแต่ละคันที่มีอยู่ทั้งหมด ซึ่งทำให้ได้เส้นทางที่เป็นไปได้ที่ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขข้อจำกัดการจัดเส้นทางทั้งการคำนวณน้ำหนักและปริมาตรที่ขนส่งจะต้องไม่เกินความจุรถ และการคำนวณเวลาที่มาถึงจุดรับ-ส่งสินค้าจะต้องอยู่ภายในช่วงกำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด ถ้าหากงานขนส่งไม่สามารถผ่านเงื่อนไขความจุและเวลาส่งมอบได้จะถูกกำหนดให้ดำเนินการขนส่งสินค้ารายการนั้นโดย Outsource แทน จากเส้นทางที่เป็นไปได้จะทำการตัดสินใจเลือกเพียง 1 เส้นทางจากการคำนวณต้นทุนระยะทางที่เกิดขึ้น โดยเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนการขนส่งรวมของรถทุกคันต่ำสุดของแต่ละรอบ อัลกอริทึมจะกระทำซ้ำเช่นเดิมจนกระทั่งงานขนส่งทั้งหมดส่งไปยังลูกค้าทุกรายการ กระบวนการจัดเส้นทางจะสิ้นสุดเมื่อไม่มีงานขนส่งเหลือรอทำการจัดเส้นทางและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งจะได้ผลลัพธ์คือ แผนเส้นทางขนส่งสินค้า



รูปที่ 5 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง

วิธีการแทรกงานขนส่งลงบนเส้นทาง เป็นการแทรกงานลงบนเส้นทางในตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยไม่เปลี่ยนแปลงลำดับงานขนส่งที่ได้จัดวางไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งประยุกต์จากวิธีการของ Nawaz ที่ได้เสนอฮิริสติกที่ใช้ทำงานง่ายและให้คำตอบที่ดีในกรณีส่วนมาก [11] ตำแหน่งที่สามารถทำการแทรกงานได้จะต่อจากจุดเริ่มต้นของรถในแต่ละรอบและเงื่อนไขของการแทรก (Insert) จุดรับและส่งสินค้า คือ จุดส่งสินค้าจะต้องอยู่ในตำแหน่งใดๆ หลังจุดรับสินค้าของงานขนส่งนั้น การสร้างเส้นทางขนส่งโดยวิธีการแทรกงานแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแทรกงานขนส่งลงบนเส้นทาง

ตัวอย่างการแทรกงานจากรูปที่ 6 เส้นทางเดิมของรถขนส่งคือ A-B-C และงานขนส่งที่กำลังพิจารณาจัดเส้นทางคือ งานขนส่งจาก D ไป E ตำแหน่งที่สามารถแทรกจุดรับสินค้า D ได้คือ หลังโหนด A, B และ C ตำแหน่งที่พิจารณาการแทรกจุดส่งสินค้าจะเป็นทุกตำแหน่งหลังโหนด D ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้นจากการแทรกงานนั้นจะไม่เปลี่ยนลำดับการเดินรถของเส้นทางเดิมคือยังคงเป็น A-B-C ตามลำดับ

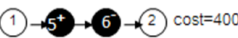
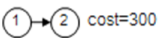
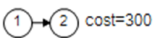
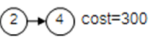
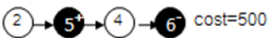
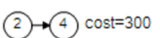
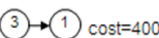

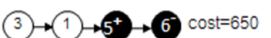
หลังจากแทรกงานใหม่ลงบนเส้นทางต้องทำการตรวจสอบเงื่อนไขความเป็นไปได้ของเส้นทางที่ต้องผ่านข้อจำกัดเงื่อนไขการจัดเส้นทางเดินรถอันได้แก่ ความจุปริมาตร ความจุน้ำหนัก เวลากำหนดรับสินค้าและเวลากำหนดส่งสินค้า วิธีการคำนวณเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

- ผลรวมของปริมาตรสินค้าที่บรรจุทุกอยู่บนเส้นทางแต่ละจุดจะต้องไม่เกินความจุปริมาตรที่ขนส่งได้
 - ผลรวมของน้ำหนักสินค้าที่บรรจุทุกอยู่บนเส้นทางแต่ละจุดจะต้องไม่เกินน้ำหนักบรรทุกที่ขนส่งได้
- ซึ่งสินค้าที่จะทำการขนส่งได้จะต้องผ่านทั้งข้อจำกัดปริมาตรและน้ำหนักบรรทุก
- เวลามาถึงแต่ละโหนดต้องไม่น้อยกว่าเวลารับสินค้า ถ้าจุดนั้นเป็นการรับสินค้า และถ้าโหนดนั้นเป็นการส่งสินค้า เวลามาถึงต้องไม่เกินเวลาส่งสินค้าของงานนั้น

ถ้ารถขนส่งมาถึงก่อนเวลารับสินค้าเร็วสุดให้ทำการปรับเวลาที่ตำแหน่งนั้น มีค่าเท่ากับเวลาเร็วสุดที่เริ่มรับสินค้าได้ โดยมีเงื่อนไขของการคอย คือ เวลาที่มาถึงโหนดต่างๆ บนเส้นทางที่เหลือทั้งหมดจะต้องสามารถดำเนินการขนส่งได้ภายใต้กำหนดส่งมอบของงานนั้นๆ ที่อยู่บนแต่ละโหนด โดยเวลามาถึงแต่ละโหนดคำนวณได้จากเวลาเริ่มต้นจากจุดก่อนหน้ารวมกับเวลาเดินทางระหว่างโหนด

การตัดสินใจในการเลือกเส้นทางขนส่งที่ให้ค่าต้นทุนขนส่งรวมต่ำสุดซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของฮิวริสติกในงานวิจัยนี้จากเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด จะทำการพิจารณาจากการคำนวณต้นทุนการขนส่งรวมจากการแทรกงานใหม่ลงบนเส้นทางเดิมและทำการเปรียบเทียบเส้นทางที่เป็นไปได้ แล้วจึงเลือกเส้นทางที่ให้ค่าต้นทุนขนส่งรวมน้อยสุดของการแทรกงานขนส่งในรอบนั้น โดยต้นทุนการขนส่งในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะต้นทุนแปรผันของระยะทาง วิธีการคำนวณต้นทุนเป็นผลมาจากผลรวมระยะทางระหว่างระยะทางของเส้นทางเดินรถใหม่หลังการแทรกงานรวมกับระยะทางของเส้นทางขนส่งเดิมของรถคันอื่นที่ไม่ได้ทำการแทรกงาน ตัวอย่างการคำนวณแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนการขนส่งจากการแทรกงาน

รถคันที่ (k)	แทรกงานลงบนรถคันที่ 1	แทรกงานลงบนรถคันที่ 2	แทรกงานลงบนรถคันที่ 3
k=1	 cost=400	 cost=300	 cost=300
k=2	 cost=300	 cost=500	 cost=300
k=3	 cost=400	 cost=400	 cost=650
Total Cost	1,100	1,200	1,250

จากตัวอย่างเป็นการแทรกงานขนส่งจากโหนด 5 (เครื่องหมาย + หมายถึง รับสินค้า) ไปยังโหนด 6 (เครื่องหมาย - หมายถึง ส่งสินค้า) ลงบนเส้นทางเดิมของรถแต่ละคัน ซึ่งต้นทุนที่ได้จากการแทรกงานเกิดจากการคำนวณต้นทุนขนส่งตามระยะทางของเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้น ในที่นี้คือเส้นทางที่มีโหนด 5 และโหนด 6 อยู่บนเส้นทาง รวมกับต้นทุนขนส่งตามระยะทางเดิมของรถขนส่งคันอื่น เป็นต้นทุนการขนส่งรวม ซึ่งจากตัวอย่างมี 3 ทางเลือกในการแทรกงานโดยเส้นทางที่จะถูกเลือกนั้นคือ เส้นทางที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งรวมของรถทุกคันต่ำสุดตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ในที่นี้เมื่อเปรียบเทียบ

ทั้ง 3 ทางเลือกแล้วพบว่า การแทรกงานขนส่งลงบนรถคันที่ 1 นั้นให้ค่าต้นทุนรวมต่ำสุด จึงให้งานขนส่งจากโหนด 5 ไปยังโหนด 6 ดำเนินการโดยรถคันที่ 1

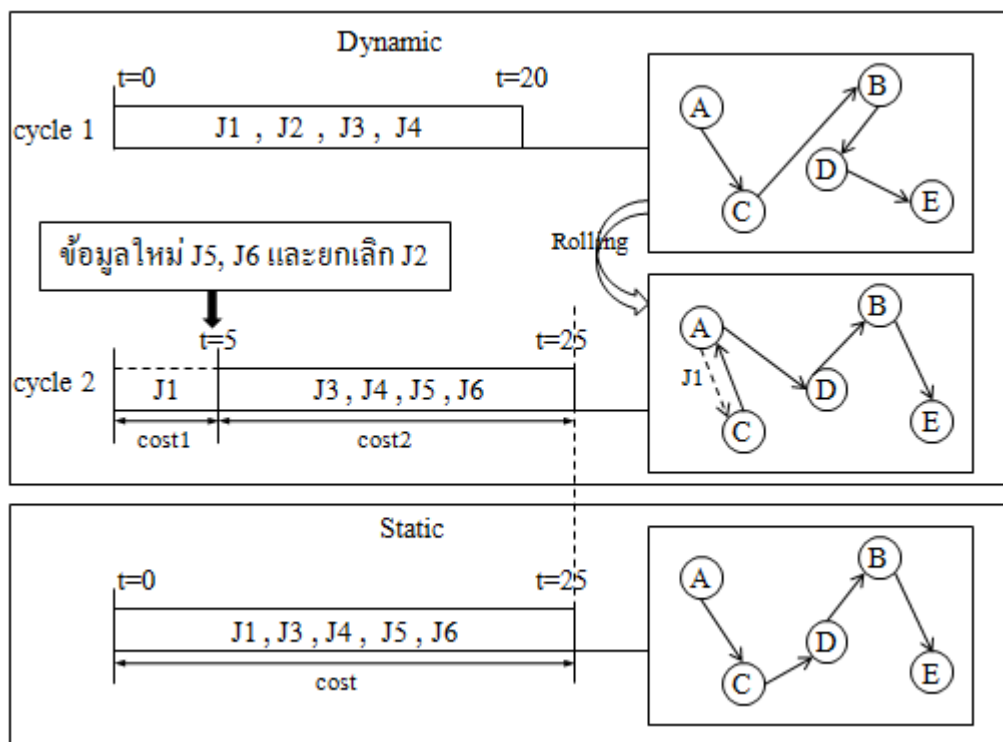
5. ผลการทดสอบ

การทดสอบคุณภาพฮิวริสติกของรูปแบบปัญหงานวิจัยการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดสำหรับการรับและส่งสินค้าด้วยข้อมูลแบบพลวัตที่ข้อมูลความต้องการขนส่งทยอยรับเข้าและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Dynamic) โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการปรับเส้นทาง เพื่อตอบคำถามของวัตถุประสงค์การทดสอบด้วยกัน 2 ข้อ คือ 1) ฮิวริสติกที่นำเสนอด้วยวิธีการแทรกงาน (Insertion Heuristic) มีประสิทธิภาพในการให้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับรูปแบบปัญหาที่มีการปรับเส้นทาง โดยทำการทดสอบคุณภาพฮิวริสติกจากผลคำตอบที่ได้จากการจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic) เปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบสถิต (Static) ที่ให้คำตอบของการจัดเส้นทางที่ดีที่สุด เพราะเป็นการนำข้อมูลงานขนส่งจริงทั้งหมดจัดเส้นทางเพียงครั้งเดียว ซึ่งถ้าฮิวริสติกที่นำเสนอที่ใช้กับการปรับเส้นทางให้คำตอบที่ดีใกล้เคียงกับการจัดเส้นทางสถิตที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดได้นั้นก็จะแสดงให้เห็นว่า ฮิวริสติกนี้มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดเส้นทางของแบบปัญหาพลวัต (Dynamic) และวัตถุประสงค์การทดสอบที่ 2) ฮิวริสติกที่นำเสนอด้วยวิธีการจัดเส้นทางแบบแทรก (Insertion Heuristic) มีประสิทธิภาพที่สามารถลดต้นทุนขนส่งได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีการอื่นที่มีผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยวิธีการจัดเส้นทางอย่างง่ายที่ผู้วิจัยเลือกมาทำการเปรียบเทียบคือ Nearest Neighbor Heuristic มีหลักการคือ เป็นการจัดเส้นทางโดยพยายามวิ่งไปที่จุดใกล้ที่สุดจากจุดปัจจุบัน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [13] Nearest Neighbor เป็นวิธีการหนึ่งของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ที่สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางเดินรถได้อย่างง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

การทดสอบคุณภาพของฮิวริสติกที่นำเสนอเป็นการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างต้นทุนการขนส่งตามระยะทางที่ได้จากการจัดเส้นทางแบบสถิต (Static) กับต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic) มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ ความแตกต่างต้นทุน} = \frac{\text{ต้นทุนปรับเส้นทาง(dynamic)} - \text{ต้นทุนเส้นทางสถิต(static)}}{\text{ต้นทุนเส้นทางสถิต(static)}} \times 100$$

โดยที่ต้นทุนเส้นทางสถิต (Static) คือ ต้นทุนที่คำนวณได้จากเส้นทางของงานขนส่งทั้งหมดหลังการปรับปรุงข้อมูลแล้วและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก ส่วนต้นทุนปรับเส้นทาง (Dynamic) คือ ต้นทุนที่คำนวณได้จากเส้นทางใหม่หลังการแทรกงานตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณและวิธีการคำนวณต้นทุนจากการจัดเส้นทางทั้ง 2 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การคำนวณต้นทุนปรับเส้นทางและต้นทุนเส้นทางสุทธิ

จากรูปที่ 7 ในส่วนของการจัดเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาผ่านไป (Dynamic) สามารถอธิบายได้ดังนี้ งานขนส่งที่เป็นข้อมูลครั้งแรก (cycle1) ของการจัดเส้นทาง คือ J1, J2, J3, J4 เส้นทางที่ได้คือ A-C-B-D-E ใช้เวลาในการเดินทางขนส่ง $t=0$ ถึง $t=20$ เมื่อเวลาผ่านไป $t=5$ ข้อมูลงานขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงโดยงานขนส่งเดิม J2 ยกเลิกและมีงานขนส่งใหม่ J5 และ J6 เพิ่มเข้ามา ทำให้เส้นทางขนส่งเดิมหลังจาก $t=5$ เป็นต้นไปมีการปรับแผนการเดินทาง (rolling) ซึ่งเส้นทางใหม่ที่ได้จากการจัดครั้งที่สอง (cycle2) คือ C-A-D-B-E และสิ้นสุดการขนส่งที่ $t=25$ ต้นทุนจากการปรับเส้นทางที่เกิดขึ้น คือ ต้นทุนเส้นทางของงาน J1 (cost1) และต้นทุนเส้นทางของงาน J3, J4, J5, J6 (cost2) รวมกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดเส้นทางที่ข้อมูลทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลง (static) เป็นการ จัดเส้นทางครั้งเดียวตั้งแต่ $t=0$ ถึง $t=25$ ของงานขนส่ง J1, J3, J4, J5, J6 และต้นทุนขนส่งจากการจัดเส้นทางด้วยข้อมูลสุทธิ (cost) คือ ต้นทุนการขนส่งของเส้นทาง A-C-D-B-E

ในการทดสอบคุณภาพผู้วิจัยได้ทำการออกแบบลักษณะข้อมูลความต้องการขนส่งดังนี้

1. สุ่มจำนวนความต้องการขนส่งสินค้า 50 – 200 งาน แต่ละงานสุ่มขนาดน้ำหนักและปริมาตรระหว่าง 20% - 100% ของความจุรถขนส่ง
2. สุ่มจุดรับและจุดส่งสินค้าของงานขนส่งจากจุดทั้งหมดที่กำหนดขึ้น ซึ่งงานขนส่งจะมีช่วงกว้างของระยะเวลาการขนส่งอยู่ระหว่าง 2-3 วัน
3. สุ่มระดับของจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากจำนวนงานขนส่งทั้งหมด การเปลี่ยนแปลงความต้องการขนส่งที่มีความเป็นไปได้ ได้แก่ การเพิ่มเข้ามาของข้อมูลใหม่ หรือข้อมูลเดิมมีการเปลี่ยนแปลงเวลารับส่งสินค้า หรือมีการยกเลิกข้อมูลเดิม โดยปัจจัยการทดสอบด้านเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงมีความสำคัญต่อการทดสอบคุณภาพฮิวริสติกในการปรับเส้นทางขนส่งเพื่อที่จะสามารถตอบได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ให้คำตอบที่มี

ประสิทธิภาพหรือไม่ และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลเป็นอย่างไร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลนั้นเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในงานวิจัยนี้

ในการทดสอบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตามปัจจัยที่ออกแบบไว้โดยแต่ละระดับของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทดสอบซ้ำด้วยกัน 4 ปัญหา เพื่อหาค่าเฉลี่ยของแต่ละคำตอบจากแต่ละวิธีการคำนวณการจัดเส้นทาง ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการจัดเส้นทางเพียงครั้งเดียว (Static) และต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการปรับเส้นทางเป็นรอบด้วยวิธีฮิวริสติกแบบการแทรกงานที่น่าเสนอ (Insertion Heuristic) และจากวิธีการ Nearest Neighbor Method เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยต้นทุนการขนส่งตามระยะทาง

% ข้อมูลเปลี่ยนแปลง	ต้นทุนเส้นทางสถิต (Static)	ต้นทุนปรับเส้นทาง (Dynamic)	
		Insertion	Nearest Neighbor
5	26,526	26,633	28,038
8	40,429	40,879	43,300
10	42,210	42,422	46,220
12	35,889	36,399	38,689
15	40,231	41,518	43,892
17	46,673	47,625	50,220
18	42,332	44,096	46,057
20	52,278	53,895	57,140
22	53,395	55,970	59,162
24	49,620	50,788	53,292
25	58,279	60,393	64,981
28	53,055	54,583	59,793
30	55,481	58,035	61,307
% ความแตกต่างต้นทุน		2.55%	9.06%

จากผลการทดสอบกับปัญหาด้อย่างการจัดเส้นทางจำนวน 52 ปัญหาพบว่า ต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตามระดับของจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบคำตอบต้นทุนปรับเส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทางเป็นรอบด้วยข้อมูลความต้องการขนส่งแบบพลวัต (Dynamic) ด้วยวิธีการจัดเส้นทางของฮิวริสติก Insertion Method ที่นำเสนอให้ค่าใกล้เคียงกับต้นทุนเส้นทางสถิต (Static) ที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดจากการจัดเส้นทางของข้อมูลความต้องการขนส่งจริงทั้งหมดเพียงครั้งเดียว ซึ่งต้นทุนปรับเส้นทางมีค่าห่างจากต้นทุนเส้นทางสถิตเท่ากับ 2.55% โดยเฉลี่ย และที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนงานขนส่งต่ำนั้น ต้นทุนการปรับเส้นทางกับต้นทุนสถิตไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่ทำให้การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดของการปรับแผนการขนส่งยังคงให้คำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากการคำนวณปรับแผนเส้นทางทุกครั้งเมื่อ

มีงานขนส่งใหม่เข้ามาและด้วยวิธีฮิวริสติกที่เป็นการแทรกงานลงบนเส้นทางเดิมที่ให้คำตอบที่มีระยะทางต่ำอยู่แล้วนั้น ทำให้เส้นทางใหม่ที่ได้ไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก จึงสามารถสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอในการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดของงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือสำหรับการจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic) ที่จะต้องทำการปรับเส้นทางเมื่อมีข้อมูลความต้องการขนส่งทยอยรับเข้าและสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

จากผลการทดสอบตารางที่ 2 ซึ่งให้เห็นว่าการจัดเส้นทางด้วยวิธี Insertion Heuristic ของงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ โดยต้นทุนปรับเส้นทางจากวิธีของ Insertion Heuristic มีค่าต่ำกว่าจากวิธี Nearest Neighbor เฉลี่ย 6.51% และเมื่อพิจารณาปัจจัยการทดสอบด้านระดับจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลงแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าความแตกต่างต้นทุนจากการปรับเส้นทางจะแปรผันตามระดับของจำนวนการขนส่งที่เปลี่ยนแปลง แต่จากการสังเกตค่าความแตกต่างของต้นทุนเส้นทางสถิต (Static) กับต้นทุนปรับเส้นทางของวิธีการ Insertion สามารถตอบสนองต่อข้อมูลพลวัต (Dynamic) ได้ดีกว่า โดยให้ค่าคำตอบความแตกต่างต้นทุนเฉลี่ยอยู่ที่ 2.55% และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นแบบคงที่ ทำให้ผลที่ได้มีช่วงกว้างของคำตอบที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Nearest Neighbor ที่มีความแตกต่างต้นทุนเฉลี่ยเท่ากับ 9.06% โดยต้นทุนการขนส่งจะเพิ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงมาก เพราะวิธีการแทรกงานนั้นเป็นการเพิ่มงานขนส่งลงในเส้นทางเดิมที่ก่อนหน้านี้ได้ทำการจัดเส้นทางให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำอยู่แล้ว รวมถึงวิธีการแทรกงานยังมีการคำนวณเปรียบเทียบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการของ Nearest Neighbor เพื่อเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำสุดนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถทำให้สรุปได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธีการ Insertion Heuristic ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ค่าของคุณภาพคำตอบที่ดีในการลดต้นทุนการขนส่ง รวมถึงยังให้ผลคำตอบที่รวดเร็วในการปรับเปลี่ยนเส้นทางใหม่อีกด้วย

6. สรุปผลวิจัย

บทความนี้เป็น การนำเสนอฮิวริสติกของการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing) ที่รถขนส่งไม่จำเป็นต้องกลับมายังจุดตั้งต้นปล่อยรถ และมีข้อมูลความต้องการขนส่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงและเพิ่มเข้ามาใหม่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การลดต้นทุนการขนส่งรวม จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ 2 ประเด็นคือ (1) วิธีการ Insertion Heuristic ที่ผู้วิจัยเลือกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งโดยให้ค่าคำตอบที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถอย่างง่ายอีกวิธีหนึ่ง และ (2) วิธีการ Insertion Heuristic ที่ผู้วิจัยนำเสนอนี้ยังมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหการจัดเส้นทางเดินรถที่ข้อมูลทยอยรับเข้า (Dynamic) โดยสามารถตอบสนองได้ดีกับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยมีช่วงกว้างของคำตอบที่น้อยกว่าและให้คุณภาพของคำตอบจากการปรับเปลี่ยนเส้นทาง (Dynamic) ที่ใกล้เคียงกับการจัดเส้นทางแบบสถิต (Static) รวมถึงยังใช้เวลาต่ำกว่าในการคำนวณเส้นทางใหม่อีกด้วย อย่างไรก็ตามในการพัฒนาวิธีการทางฮิวริสติกในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบเปิด สามารถทำได้โดยการเพิ่มเงื่อนไขของการขนส่งที่มีคุณสมบัติพิเศษของสินค้า สถานที่แต่ละแห่งที่มีคุณสมบัติต่างกันออกไป อีกทั้งยังสามารถเพิ่มการพิจารณาด้านต้นทุนการขนส่งในเรื่องของต้นทุนคงที่และต้นทุนที่เกิดจากการรอคอย รวมถึงพิจารณาเวลาที่ใช้ในการโหลดสินค้าเพิ่มขึ้นมาด้วย

บรรณานุกรม

- [1] อัคร พิศาลวานิช, “การศึกษาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยและการวิเคราะห์ผลกระทบจากราคาน้ำมัน,” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, 2553.
- [2] D. Sariklis and S. Powell, “A heuristic method for the open vehicle routing problem,” *Journal of the Operation Research Society*, vol. 51, pp. 564-573, 2000.
- [3] S. A. MirHassani and N. Abolghasemi, “A particle swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem,” *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 11547-11551, 2011.
- [4] E. E. Zachariadis and C. T. Kiranoudis, “An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods,” *Computer & Operations Research*, vol. 37, pp. 712-723, 2010.
- [5] F. Li, F. Gloden, and E. Wasil, “The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results,” *Computer & Operation Research*, vol. 34, pp. 2918-2930, 2007.
- [6] R. Liu and Z. Jiang, “The close-open mixed vehicle routing problem,” *European Journal of Operational Research*, vol. 220, pp. 349-360, 2012.
- [7] X. Li, S. C. H. Leung, and P. Tian, “A multistart adaptive memory-based tabu search algorithm for the heterogeneous fixed fleet open vehicle routing problem,” *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 365-374, 2012.
- [8] F. Daneshzand, “The Vehicle-Routing Problem,” in *Logistics Operations and Management*, Elsevier Inc., 2011, pp. 127-153.
- [9] D. Pispinger and S. Ropke, “A general heuristic for vehicle routing problems,” *Computer & Operations*, vol. 34, no. 8, pp. 2403-2435, 2007.
- [10] G. Berbeglia, J. F. Cordeau, and G. Laporte, “Dynamic pickup and delivery problems,” *European Journal of Operational Research*, vol. 202, pp. 8-15, 2010.
- [11] ปารเมศ ชูติมา. *เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
- [12] กฤษณภัทร สวัสดิ์, “การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต,” *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2549.
- [13] C. A. J. Hurkens and G. J. Woeginger, “On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem,” *Operation Research Letters*, vol.32, pp. 1-4, 2004.