

วารสารวิศวกรรมศาสตร์

การจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนถ่าย สินค้าและพักรถสินค้า

ญาณิภา ชินสุวรรณ^a และ นระเกณท์ พุ่มชูศรี^{b,*}

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย

อีเมล: yanipa.c@student.chula.ac.th^a, naragain.p@chula.ac.th^{b,*}

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติก (Heuristic) สำหรับตัดสินใจเพื่อปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่อง โดยหาโอกาสในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าและพักรถสินค้า เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ลักษณะการขนส่งเป็นการเดินรถได้อย่างต่อเนื่องที่ไม่จำเป็นต้องกลับมาที่สถานที่เริ่มต้นเมื่อครบรอบเวลา ตลอดเส้นทางมีการรับ-ส่งสินค้า และสามารถเปลี่ยนถ่ายสินค้าตามสถานที่ที่กำหนดโดยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยกระบวนการคิด 4 ขั้นตอนหลักได้แก่ (1) กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางขนส่ง (2) กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนสินค้าขนส่ง (3) กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนสินค้าขนส่ง และ (4) กระบวนการเลือกหาเส้นทางซึ่งทำการถ่ายโอนเพื่อช่วยในการหาเส้นทางใหม่ ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ เส้นทางใหม่ที่มีการถ่ายโอนและพักรถสินค้าที่มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำ จากการทดลองการจัดเส้นทางพบว่าวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้สามารถลดระยะทางการเดินรถลงได้เฉลี่ย 12.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการเดินรถแบบต่อเนื่องซึ่งไม่มีการเปลี่ยนถ่ายและพักรถสินค้า

คำสืบค้น: การจัดเส้นทางเดินรถ, การเปลี่ยนถ่ายสินค้า, การพักรถสินค้า

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

วันที่ส่ง 23 พฤศจิกายน 2555

วันที่ตอบรับ 5 มีนาคม 2556

วันที่ตีพิมพ์ 31 พฤษภาคม 2556

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

DOI:10.4186/ejth.2012.4.3.15



Continuous Move Routing with Transshipments and Stopovers

Yanipa Chinsuwan^a and Naragain Phumchusri^{b,*}

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

E-mail: yanipa.c@student.chula.ac.th^a, naragain.p@chula.ac.th^{b,*}

Abstract. The goal of this paper is to develop a heuristic for continuous move routing to search for transshipments and stopovers opportunities in reducing transportation cost. This continuous-move system allows vehicles to route without having to return back to their home base at the end of the cycle time. It allows continuous pick-up and delivery with possible transshipments and stopovers. The developed heuristic consists of four main step: (1) searching jobs that allow transshipment opportunity, (2) searching paths that allow transshipment opportunity, (3) matching paths, and (4) selecting jobs to create new paths with transshipment. The output of this decision is an improved continuous routing that allows transshipments and stopovers with lower transportation cost. From the computational experiments, the proposed method can reduce the system's total distance up to 12.42 percent as compared to the typical routing without transshipment and stopover.

Keywords: Vehicle routing and scheduling, transshipment, stopover.

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

Received 23 November 2012

Accepted 5 March 2013

Published 31 May 2013

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

DOI:10.4186/ejth.2012.4.3.15

1. บทนำ

การขนส่งเป็นกิจกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมของประเทศไทยซึ่งได้มีนโยบายผลักดันให้เกิดการพัฒนาเพื่อเป็นศูนย์กลางโลจิสติกส์ในอาเซียน [1] จากสถิติในปี 2553 ต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยมีมูลค่ารวมประมาณ 1.64 ล้านล้านบาท หรือคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับร้อยละ 15.2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) โดยต้นทุนนี้มีส่วนประกอบหลักคือ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าซึ่งมีมูลค่าถึง 776.4 พันล้านบาท [2] ดังนั้นหากองค์กรใดมีการบริหารจัดการทางด้านโลจิสติกส์โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ย่อมจะช่วยทำให้ต้นทุนรวมลดลง การหาโอกาสในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าเป็นหนทางหนึ่งที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการนำหลักการเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment) มาพัฒนาให้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและยกระดับประสิทธิภาพในโซ่อุปทาน โดยนำเส้นทางที่เป็นไปได้มาเป็นเส้นทางเริ่มต้นแล้วหาวิธีการปรับปรุงเส้นทางจากเส้นทางเดิมเพื่อลดระยะทางรวมของการขนส่งในระบบ

การเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment) มีคำนิยามที่หลากหลาย [1] นิยามหนึ่งของการเปลี่ยนถ่ายสินค้า คือ การรองรับสินค้าเปลี่ยนถ่ายลำ โดยเชื่อมโยงการขนส่งสินค้ากับภูมิภาคสำคัญอื่น ๆ ทั่วโลก การเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment) ในนิยามที่มีความเกี่ยวข้องกับคงคลังหรือห่วงโซ่อุปทานของการขนส่ง [3-4] หมายถึงการถ่ายสินค้าจากยานพาหนะหนึ่งไปยังอีกยานพาหนะหนึ่งหรือการเคลื่อนที่ของสินค้าระหว่างสถานที่ในระดับเดียวกัน เพื่อช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการดำเนินการโดยการใช้ประโยชน์ร่วมกันระหว่างยานพาหนะที่ทำการถ่ายโอน อีกนิยามหนึ่งที่จำกัดความโดย Surhone และคณะ [5] กล่าวว่า Transshipment เป็นการจัดส่งสินค้าหรือตู้คอนเทนเนอร์ (Container) ไปยังสถานที่ที่เป็นสื่อกลาง แล้วจากนั้นจึงไปยังปลายทางที่กำหนด เหตุผลหนึ่งที่ทำให้การเปลี่ยนถ่าย คือ การเปลี่ยนวิธีการขนส่งในระหว่างการเดินทาง (เช่น จากเรือเปลี่ยนเป็นการขนส่งทางถนน) อีกเหตุผลหนึ่ง คือ การรวมการจัดส่งขนาดเล็กเป็นขนส่งขนาดใหญ่ หรือการแบ่งการขนส่งขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อการส่งต่อ การถ่ายโอนมักเกิดขึ้นในฮับ (Hub) การขนส่ง อย่างไรก็ตาม สำหรับในงานวิจัยนี้ การเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment) หมายถึง การถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะและอาจมีการพักสินค้าระหว่างรอการถ่ายโอนได้ ณ สถานที่ที่กำหนดหากจำเป็น โดยมีการจัดส่งสินค้าจากสถานที่รับไปยังสถานที่พักสินค้าที่อนุญาต แล้วจึงส่งต่อด้วยรถอีกคันหนึ่งไปยังสถานที่ส่งที่ต้องการสินค้านั้นๆ ต่อไป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติก (Heuristic) ในการปรับปรุงเส้นทางขนส่งเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในระบบที่ต่ำ โดยหาโอกาสในการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างการขนส่งสำหรับรูปแบบการขนส่งต่อเนื่อง โดยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยกระบวนการคิด 4 ขั้นตอน หลักได้แก่ (1) กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางขนส่ง (2) กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนหรือขนส่ง (3) กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนหรือขนส่ง และขั้นตอนสุดท้าย คือ (4) กระบวนการเลือกหรือขนส่งที่ทำการถ่ายโอน เพื่อช่วยในการหาเส้นทางใหม่ โดยตลอดเส้นทางมีการรับ-ส่งสินค้า และการเปลี่ยนถ่ายสินค้าตามสถานที่ที่อนุญาตให้มีการพักสินค้าภายใต้ช่วงเวลาและเงื่อนไขที่กำหนด

2. ทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการจัดเส้นทางรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วง 3-4 ทศวรรษที่ผ่านมา โดย VRP มักจะมีบทบาทสำคัญในการออกแบบระบบการกระจายสินค้า โดยทั่วไป VRP จะเกี่ยวข้องกับการหาเส้นทางของการออกแบบสำหรับยานพาหนะที่มีการให้บริการของลูกค้าซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์ดังกระจาย เพื่อให้มีค่าใช้จ่าย

น้อยที่สุด กฤตณภัทร [6] ได้เสนอการจัดเส้นทางแบบพลวัตที่มีจำกัดด้านเวลาและความจุของยานพาหนะ ซึ่งข้อมูลความต้องการการขนส่งจะทยอยเข้ามาในระบบ โดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบ Insertion และ GRASP ในการหาคำตอบในการจัดเส้นทาง โดยฮิวริสติกจะทำงานวนซ้ำ 3 กระบวนการ คือ กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล กระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการกำหนดเวลาออกของยานพาหนะ ขณะที่ Nag และคณะ [7] ทำการวิจัยการจัดเส้นทางโดยมีการใช้ยานพาหนะหลายขนาดและมีเงื่อนไขของเซตการส่งที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ประเภทยานพาหนะ โดยใช้ First-cut algorithm เป็นวิธีการเลือกยานพาหนะที่เหมาะสมก่อน และใช้เทคนิค Sweep เป็นวิธีการในการจัดเส้นทาง และใช้เทคนิค 2-opt เป็นวิธีการในการปรับปรุงเส้นทาง

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบต่อเนื่อง (Continuous Move) [8] ได้ศึกษาปัญหาการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านเวลาเป็นช่วง (Time Window) เข้ามาเกี่ยวข้อง และพยายามรวมเที่ยวการส่งสินค้าหลายๆ เที่ยวเข้าด้วยกัน เพื่อสามารถบรรทุกได้เต็มคันยานพาหนะ การเดินรถแบบนี้จะมีสถานที่เริ่มต้นและสถานที่ปลายทางหลายแห่ง โดยนำเสนอการพิจารณาความต้องการการขนส่งเป็นรอบการขนส่ง โดย [8] ใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เข้าช่วยในการแก้ปัญหา (Exact Column Generation Based Branch-and-bound Algorithm) และนำเสนอวิธีฮิวริสติก (Heuristic) เพื่อการสร้างแบบจำลองลดขนาด (Reduced Size Problem) โดยหากผลที่ได้ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดก็จะเพิ่มตัวแปรที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นได้ และแก้ปัญหาใหม่จนกระทั่งได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้านั้น Dondo และคณะ [4] ได้เสนอให้มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าจากยานพาหนะหนึ่งไปอีกยานพาหนะหนึ่งเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นต่อการบริหารห่วงโซ่อุปทาน โดยใช้ MILP-based strategy แบบใหม่ในการหาเซตของการตัดสินใจ ซึ่งรูปแบบของปัญหาเป็นแบบ Pickup and Delivery Problem (PDP) และเพิ่มส่วนขยายในการเปลี่ยนถ่ายสินค้า ที่ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งลงได้ Mitrovic-Minic และ Laporte [9] ได้ทำการวิจัยเพิ่มเติม เพื่อสร้างความยืดหยุ่นของการเปลี่ยนถ่ายสินค้ามากขึ้น จากการกำหนดให้รอบเวลาความต้องการเป็นช่วง (Time Window) และใช้วิธีฮิวริสติกในการหาคำตอบ โดยทำการแยกการขนส่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนสถานที่รับถึงสถานที่เปลี่ยนถ่ายสินค้า และสถานที่เปลี่ยนถ่ายสินค้าถึงสถานที่ส่ง การประมวลผลผลลัพธ์ของ [9] จะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนโครงสร้างพื้นฐานและส่วนการปรับปรุง ซึ่งจะหยุดเมื่อผลลัพธ์ที่ได้ดีกว่าผลลัพธ์เดิม

อย่างไรก็ดี งานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ([3]-[7] และ [9]-[12]) เป็นการศึกษาการออกแบบการเปลี่ยนถ่ายสินค้าในเส้นทางขนส่งแบบไม่ต่อเนื่อง โดยกำหนดให้ยานพาหนะขนส่งกลับมาสถานที่เริ่มต้นภายใต้กรอบระยะเวลาหรือเงื่อนไขที่กำหนด นอกจากนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการขนส่งที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าส่วนใหญ่ (เช่น [4], [9] , และ [13]) อนุญาตให้มีการถ่ายโอนสินค้าเพียงครั้งเดียว หรือมีการถ่ายโอนสินค้าเพียงครั้งเดียวต่อหนึ่งรอบการพิจารณา (เมื่อจบรอบการพิจารณาจะมีการถ่ายโอนของรหัสการขนส่งเพียงครั้งเดียวแต่สามารถพิจารณารหัสการขนส่งนั้นซ้ำได้) โดยงานในบทความวิจัยนี้แตกต่างจากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากศึกษาปัญหา VPR แบบ Pickup and Delivery ของการขนส่งแบบต่อเนื่องซึ่งไม่จำเป็นต้องกลับมาที่สถานที่เริ่มต้นเสมอ หากมีการกลับมาที่สถานที่เริ่มต้น ก็จะเป็นการแวะเพื่อทำกิจกรรมที่จำเป็น การเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างทางต้องคำนึงถึงเวลาการพักสินค้า เวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าขึ้น-ลงในสถานที่พัก และจำนวนครั้งในการพักสินค้า โดยอนุญาตให้สามารถพักสินค้าได้ 2 ครั้งต่อการพิจารณาในแต่ละรอบ โดยเมื่อรหัสการขนส่งได้มีการเปลี่ยนถ่ายครบแล้วจะไม่มีการทำซ้ำอีก

3. ลักษณะของปัญหา

การปรับปรุงเส้นทางการเดินทางในงานวิจัยนี้ หมายถึง การปรับเปลี่ยนเส้นทางของยานพาหนะที่ได้รับการวางแผนให้มีความคุ้มค่าในการดำเนินงานลดลงจากแผนการขนส่งแบบต่อเนื่องที่ได้รับมาเบื้องต้น โดยอาศัยการเปลี่ยนถ่ายและพักสินค้า ซึ่งหมายถึง การแลกเปลี่ยนหรือฝากสินค้าของรถขนส่งระหว่างยานพาหนะใหม่หรือยานพาหนะเดิม จากช่วงเวลาที่สามารถขนส่งให้ทันต่อกำหนดการ สำหรับรูปแบบที่นำเสนอในบทความนี้ อยู่ในรูปแบบของฮิวริสติก เพื่อหาเส้นทางใหม่ของยานพาหนะและสถานที่ในการพักสินค้า ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงเส้นทางนั้น มาจากข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งทั่วไป ได้แก่ ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่, ข้อมูลระยะเวลาระหว่างสถานที่, ข้อมูลความต้องการการขนส่ง (ชื่อสถานที่รับ-ส่ง, เวลาในการขนส่ง, ความจุของสินค้า, หมายเลขรถขนส่ง) โดยข้อมูลนี้จะกล่าวแทนด้วย "รถขนส่ง", ข้อมูลรายละเอียดของสถานที่ (อนุญาตให้พักสินค้าหรือไม่) , และข้อมูลยานพาหนะ ผสมกับข้อมูลของเส้นทางการเดินทางแบบต่อเนื่องที่ได้รับการจัดแล้วเบื้องต้น โดยการปรับเส้นทางมีเงื่อนไขที่ต้องทำให้รถขนส่งทุกรถส่งได้ทันเวลา และค่าใช้จ่ายเมื่อมีการออกนอกเส้นทางเพื่อทำการเปลี่ยนถ่ายหรือพักสินค้าจะต้องน้อยกว่าค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดิม ดังนั้นกระบวนการคิดของการปรับเส้นทางในงานวิจัยนี้มีการตัดสินใจของเส้นทางของแต่ละยานพาหนะในการขนส่ง ซึ่งจะพิจารณาจากเส้นทางขนส่งเดิมว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งโดยการแทรกการเปลี่ยนถ่ายหรือพักสินค้าได้หรือไม่ ภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของระบบ คือ

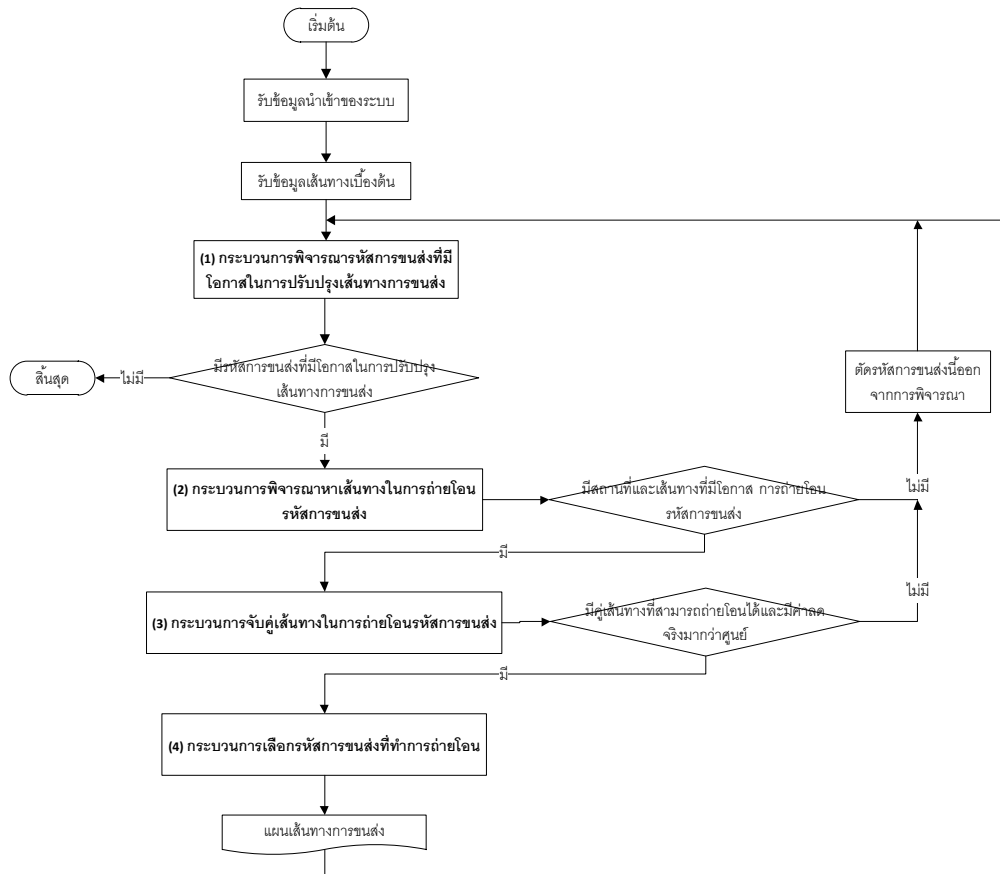
- 1) เงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะ (Vehicle Capacity Constraints)
- 2) เงื่อนไขด้านความสัมพันธ์ของยานพาหนะ (Vehicle-Related Constraints)
- 3) เงื่อนไขด้านเวลา (Time Constraints)

4. หลักการและแนวคิดของฮิวริสติก

ในการหาคำตอบของการจัดเส้นทางเดินทางแบบต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการพิจารณาเป็น 4 ขั้นตอนหลัก โดย 3 ขั้นตอนแรกเป็นกระบวนการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง ได้แก่ (1) กระบวนการพิจารณาการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง (2) กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนรถขนส่ง (3) กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรถขนส่ง โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก 3 ขั้นตอนแรก คือ แผนเส้นทางที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ของรถขนส่งหนึ่งๆ โดยจะถูกนำไปตัดสินใจในขั้นตอนสุดท้ายคือ (4) กระบวนการเลือกรถขนส่งที่ทำการถ่ายโอน เพื่อหาเส้นทางที่สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายรวมของระบบได้มากที่สุด โดยภาพรวมแนวคิดของแต่ละกระบวนการที่ใช้ในการพิจารณาแสดงดังตารางที่ 1 และภาพสรุปขั้นตอนต่างๆ แสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 แนวคิดของแต่ละกระบวนการและเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา

กระบวนการ	รายละเอียด	เกณฑ์ที่ใช้
(1) พิจารณารหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง	หาทางที่หากมีการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งแล้วมีโอกาสทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบลดลงซึ่งทำให้รหัสการขนส่งนั้นมีโอกาสนำมาพิจารณาต่อในกระบวนการถัดไปได้ โดยทำการตั้งรหัสการขนส่งออกจากระบบ	ค่าใช้จ่ายโดยรวมลดลงจากแผนขนส่งแบบต่อเนื่องเริ่มต้น
(2) พิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง	หาเส้นทางที่จะนำไปใช้ในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง โดยนำรหัสการขนส่งที่ถูกดึงออกจากระบบการแรกนำไปใส่ตามเส้นทางต่างๆ ของยานพาหนะแต่ละคัน	ไม่เกินข้อจำกัดต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ถูกระบุไว้และไม่เกินกว่าค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้จากกระบวนการแรก
(3) จับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่งนั้น	หาคู่ของเส้นทางที่เป็นเส้นทางรับและเส้นทางส่งสำหรับการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง โดยอาจมีเส้นทางการถ่ายโอนระหว่างเส้นทางรับและเส้นทางส่งหากมีการถ่ายโอน 2 ครั้ง โดยเรียงลำดับเส้นทางตามเวลาและสถานที่	ไม่เกินข้อจำกัดต่างๆ ตามเงื่อนไขด้านเวลาและไม่เกินเวลาพักสูงสุดที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มจากการถ่ายโอนต้องไม่เกินกว่าค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้จากกระบวนการแรก
(4) เลือกรหัสการขนส่งที่ทำการถ่ายโอน	เลือกแผนเส้นทางของรหัสการขนส่งและทำการพิจารณาซ้ำจนกว่าจะไม่สามารถทำการถ่ายโอนรหัสการขนส่งได้อีก	ค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงสูงสุดในแต่ละรอบ



รูปที่ 1 ภาพรวมแนวคิดลำดับการตัดสินใจของฮิวริสติก

จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้น ในส่วนต่อไปจะเป็นการอธิบาย (1) สมมติฐาน ซึ่งกล่าวถึงลักษณะระบบที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ (2) ตัวแปร รวมถึง สมการวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไขของระบบ และ (3) ขั้นตอนการดำเนินการ ซึ่งอธิบายถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนของฮิวริสติก (Heuristic)

4.1. สมมติฐาน

- 1) สถานที่ในระบบมีเวลาการดำเนินงานเหมือนกัน โดยมีการดำเนินงานตลอด 24 ชั่วโมง
- 2) ผู้ใช้จะระบุระยะเวลาของแผนการขนส่งสินค้า
- 3) ความต้องการการรับและส่งสินค้าไม่สามารถแยกกันได้ กรณีที่ยานพาหนะคันที่ความจุมากที่สุดไม่สามารถดำเนินการได้ รหัสการขนส่งนั้นจะไม่นำมาพิจารณาในระบบ
- 4) ยานพาหนะแต่ละคันไม่จำเป็นต้องมีสถานที่เริ่มต้นและสถานที่สุดท้ายเป็นสถานที่เดียวกัน
- 5) ยานพาหนะแต่ละคันไม่จำเป็นต้องกลับมาที่สถานที่ศูนย์กลางภายในเวลาที่กำหนด
- 6) อนุญาตให้มีการขนส่งสินค้าระหว่างโรงงาน
- 7) แผนการซ่อมบำรุงยานพาหนะแต่ละคันมีความแตกต่างกัน เมื่อถึงเวลาซ่อมบำรุง ยานพาหนะจะถูกนำไปซ่อมบำรุง โดยระหว่างการซ่อมบำรุงยานพาหนะไม่สามารถทำงานได้
- 8) ระยะเวลาระหว่าง 2 สถานที่ที่มีค่าคงที่ และถูกระบุโดยผู้ใช้ หรือ ถูกระบุจากความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะที่กำหนดโดยผู้ใช้เทียบกับระยะห่างระหว่างสถานที่

- 9) ต้นทุนการขนส่งของยานพาหนะของบริษัทขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่งเป็นหลัก
- 10) เส้นทางที่ใช้ในการขนส่งจากสถานที่หนึ่งไปอีกสถานที่หนึ่ง กำหนดให้มีเพียงเส้นทางเดียว
- 11) เส้นทางที่ใช้เริ่มแรกนั้นได้รับมาจากระบบแล้ว

4.2. ตัวแปรและสมการของระบบ

4.2.1. ตัวแปร

ตารางที่ 2 เซตและพารามิเตอร์ของระบบ

เซต (Sets)		พารามิเตอร์ (Parameters)	
I	คือ สถานที่(จุด)ในระบบ(โรงงาน, คลังสินค้า, ศูนย์กระจายสินค้า, ลูกค้า)	d_{ij}	คือ ระยะทางจากสถานที่ i ไปสถานที่ j
N	คือ เหตุการณ์	c_v	คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางของรถขนส่ง
S	คือ รหัสการขนส่ง (ความต้องการการขนส่ง)	w_i	คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการพักสินค้า ณ
V	คือ ยานพาหนะที่สามารถใช้งานได้ของระบบ		สถานที่ i (หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงต่อ
I_v	คือ สถานที่ของรถขนส่งยานพาหนะขนส่ง v ต้องแวะ		บาท)
IM	คือ สถานที่ที่พักรับสินค้าใด ๆ ของระบบ ($IM \subset I$)	o_i	คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการ ณ
ID	คือ สถานที่ส่งสินค้าใด ๆ ของระบบ ($ID \subset I$)		สถานที่ i (หน่วย: บาทต่อครั้ง)
IP	คือ สถานที่รับสินค้าใด ๆ ของระบบ ($IP \subset I$)	vt_s	คือ เวลาที่ใช้ในการ load/unload ของ รหัสการ
N_i	คือ เซตของเหตุการณ์ที่เกิด ณ สถานที่ i		ขนส่ง s
V_i	คือ เซตของยานพาหนะที่แวะสถานที่ i	qw_v	คือ น้ำหนักสูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่ง
IM_s	คือ เซตของสถานที่พักรับสินค้าของรหัสการขนส่ง s		ยานพาหนะขนส่ง v
ID_s	คือ เซตของสถานที่ส่งสินค้าของรหัสการขนส่ง s	qv_v	คือ ปริมาตรสูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ของรถขนส่ง
IP_s	คือ เซตของสถานที่รับสินค้าของรหัสการขนส่ง s		ยานพาหนะขนส่ง v
		a_s	คือ เวลาเร็วสุดที่สามารถรับรหัสการขนส่ง s
		b_s	คือ เวลาช้าสุดที่สามารถส่งรหัสการขนส่ง s
		uw_s	คือ หน่วย-น้ำหนักของรหัสการขนส่ง s
		uv_s	คือ หน่วย-ปริมาณของรหัสการขนส่ง s
		WT	คือ เวลาที่อนุญาตให้สินค้าสามารถพักได้สูงสุด (หน่วย: ชั่วโมง)

ตารางที่ 3 ตัวแปรและความหมาย

ตัวแปร (Variable)	
CV_v	คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งที่เกิดขึ้นของรถจักรยานพาหนะขนส่ง v
CW_i	คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการรอกของสินค้าระหว่างทำการขนส่ง ณ สถานที่ i
$AWL_{ni,sv}$	คือ น้ำหนักทั้งหมดของรถจักรยานขนส่ง s ที่รับขึ้นบนยานพาหนะ v จากสถานที่เริ่มถึงสถานที่หยุด (n,i)
$AWU_{ni,sv}$	คือ น้ำหนักทั้งหมดของรถจักรยานขนส่ง s ที่ส่งโดยยานพาหนะ v จากสถานที่เริ่มถึงสถานที่หยุด (n,i)
$AVL_{ni,sv}$	คือ ปริมาณทั้งหมดของรถจักรยานขนส่ง s ที่รับขึ้นบนยานพาหนะ v จากสถานที่เริ่มถึงสถานที่หยุด (n,i)
$AVU_{ni,sv}$	คือ ปริมาณทั้งหมดของรถจักรยานขนส่ง s ที่ส่งโดยยานพาหนะ v จากสถานที่เริ่มถึงสถานที่หยุด (n,i)
$WL_{ni,sv}$	คือ น้ำหนักที่รับขึ้นของรถจักรยานขนส่ง s ที่สถานที่รับ i โดยยานพาหนะ v
$WU_{ni,sv}$	คือ น้ำหนักที่ส่งลงของรถจักรยานขนส่ง s ที่สถานที่ส่ง i โดยยานพาหนะ v
$VL_{ni,sv}$	คือ ปริมาณที่รับขึ้นของรถจักรยานขนส่ง s ที่สถานที่รับ i โดยยานพาหนะ v
$VU_{ni,sv}$	คือ ปริมาณที่ส่งลงของรถจักรยานขนส่ง s ที่สถานที่ส่ง i โดยยานพาหนะ v
$saving1_{max}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดจากการไม่แวะสถานที่
$saving2_{max}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดจากการสลับเส้นทาง
$saving1_i$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดโดยการไม่แวะไปสถานที่ i
$saving2_{ni,vv'}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดจากการสลับเส้นทางระหว่างยานพาหนะ v และยานพาหนะ v' ที่สถานที่ i
$saving^s_{max}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดหากไม่มีการเดินทางเพื่อรับรถจักรยานขนส่ง s
$saving_{max}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดหากไม่มีการเดินทางเพื่อรับรถจักรยานขนส่งที่พิจารณา
$saving_s$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้จริงสูงสุดของรถจักรยานขนส่ง s
$saving$	คือ ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้จริงสำหรับแต่ละรอบการพิจารณา
$waiting_{i,s}$	คือ เวลาที่ต้องใช้ในการรอก ณ สถานที่พักสินค้าเพื่อรับรถจักรยานขนส่งจากคู่เส้นทาง
tw_i	คือ เวลาช้าสุดที่สิ้นสุดการทำงานได้ ณ สถานที่ i
ST_{sv}^i	คือ เวลาเริ่มต้นทำงาน ณ สถานที่ i ของยานพาหนะ v
ET_{sv}^i	คือ เวลาสิ้นสุดการทำงาน ณ สถานที่ i ของยานพาหนะ v
$od_{ni,sv}$	คือ ระยะทางที่เพิ่มจากการแวะไปสถานที่ i โดยยานพาหนะ v
$oc_{ni,sv}$	คือ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มจากการแวะไปสถานที่ i โดยยานพาหนะ v
OC_s	คือ ค่าใช้จ่ายสุทธิที่เพิ่มของคู่เส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอนของรถจักรยานขนส่ง s

4.2.2. สมการวัตถุประสงค์และสมการเงื่อนไข

4.2.2.1. สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือผลรวมของค่าใช้จ่ายจากการเดินทางของ ยานพาหนะและค่าใช้จ่ายในการพักผ่อนค้า อธิบายได้ดังสมการ

$$\text{Min}(\sum_{v \in V} CV_v + \sum_{i \in IM} CW_i) \quad (1)$$

โดยที่

$$CW_i = \sum_{s \in S} ((\text{wating}_{i,s} \times w_i) + o_i) \quad (2)$$

$$\forall i \in IM_s$$

และ

$$CV_v = \left(\sum_{i \cup j \in I_v} d_{ij} \times c_v \right) + \sum_{i \in I_v \cap IP} o_i + \sum_{j \in I_v \cap ID} o_j \quad (3)$$

$$\forall v \in V$$

4.2.2.2. สมการเงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะ (Vehicle capacity constraints) อธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

ผลรวมของน้ำหนักบนยานพาหนะ v ต้องไม่เกินค่าความจุด้านน้ำหนักสูงสุดที่ยานพาหนะรับได้ อธิบายได้ดังสมการ

$$\sum_{s \in S} u w_s (AWL_{ni,sv} - AWU_{ni,sv}) \leq q w_v \quad (4)$$

$$\forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

ผลรวมของปริมาตรบนยานพาหนะ v ต้องไม่เกินค่าความจุด้านปริมาตรสูงสุดที่ยานพาหนะรับได้ อธิบายได้ดังสมการ

$$\sum_{s \in S} u v_s (AVL_{ni,sv} - AVU_{ni,sv}) \leq q v_v \quad (5)$$

$$\forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

ผลต่างของน้ำหนักที่รับขึ้นบนยานพาหนะ v กับน้ำหนักที่ส่งลงของยานพาหนะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ อธิบายได้ดังสมการ

$$AWL_{ni,sv} - AWU_{ni,sv} \geq 0 \quad (6)$$

$$\forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall s \in S, \forall v \in V$$

ผลต่างของปริมาตรที่รับขึ้นบนยานพาหนะ v กับปริมาตรที่ส่งลงของยานพาหนะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ อธิบายได้ดังสมการ

$$AVL_{ni,sv} - AVU_{ni,sv} \geq 0 \quad (7)$$

$$\forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall s \in S, \forall v \in V$$

4.2.2.3. สมการเงื่อนไขด้านความสัมพันธ์ของยานพาหนะ (Vehicle-related Constraints) อธิบายตามสมการต่อไปนี้

น้ำหนักที่รับขึ้นบนยานพาหนะต้องมีค่าเท่ากับน้ำหนักที่ส่งลง อธิบายได้ดังสมการ

$$\sum_{i \in (IP \cup IM)} \sum_{n \in N_i} wL_{ni,sv} = \sum_{i \in (ID \cup IM)} \sum_{n \in N_i} wU_{ni,sv} \quad (8)$$

$$\forall s \in S, \forall v \in V$$

ปริมาตรที่รับขึ้นบนยานพาหนะต้องมีค่าเท่ากับปริมาตรที่ส่งลง อธิบายได้ดังสมการ

$$\sum_{i \in (IP \cup IM)} \sum_{n \in N_i} vL_{ni,sv} = \sum_{i \in (ID \cup IM)} \sum_{n \in N_i} vU_{ni,sv} \quad (9)$$

$$\forall s \in S, \forall v \in V$$

4.2.2.4. สมการเงื่อนไขด้านเวลา (Time Constraints) อธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

รหัสการขนส่งสามารถรับได้ตั้งแต่เวลาเร็วสุดที่สามารถรับรหัสการขนส่งนั้น อธิบายได้ดังสมการ

$$a_s \geq ST_{sv}^i \quad (10)$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

รหัสการขนส่งสามารถส่งได้ช้าสุดไม่เกินเวลาช้าสุดที่สามารถส่งรหัสการขนส่งนั้น อธิบายได้ดังสมการ

$$b_s \leq ET_{sv}^i \quad (11)$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

รหัสการขนส่งสามารถดำเนินการได้ช้าสุดไม่เกินเวลาช้าสุดที่สิ้นสุดการทำงานได้ ณ สถานที่ i อธิบายได้ดังสมการ

$$ET_{sv}^i \leq tw_i \quad (12)$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

เวลาสิ้นสุดการทำงานของรหัสการขนส่งเป็นเวลาที่ได้จากเวลาเริ่มต้นการทำงานบวกกับเวลาในการ load/unload ของรหัสการขนส่ง อธิบายได้ดังสมการ

$$ST_{sv}^i + vt_s = ET_{sv}^i \quad (13)$$

$$\forall s \in S, \forall i \in I_v, \forall v \in V$$

4.3. ขั้นตอนการดำเนินการ

การหาคำตอบในงานวิจัยนี้ใช้หลักการฮิวริสติกซึ่งมีทั้งหมด 4 ขั้นตอน โดย 3 ขั้นตอนแรกเรียกว่ากระบวนการปรับปรุงเส้นทางการขนส่งซึ่งพิจารณาปรับปรุงแผนเส้นทาง โดยผลลัพธ์จากกระบวนการดังกล่าว คือ เส้นทางที่ได้มีการปรับปรุงเพื่อลดระยะทางของแต่ละรหัสการขนส่ง โดยขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลือกเส้นทางและรหัสการขนส่งที่มีความเหมาะสมกับการปรับปรุงแผนเส้นทางการขนส่งโดยรวม แนวคิดการปรับปรุงแผนเส้นทางการขนส่งแต่ละกระบวนการแสดงดังรูปที่ 2

4.3.1.1. กระบวนการพิจารณาข้อหาการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- การหาโอกาสในการถ่ายโอนของรหัสการขนส่ง จะทำการพิจารณาที่ละรหัสการขนส่งจากการหาค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้สูงสุด หากไม่มีการเดินทางเพื่อรับรหัสการขนส่งนั้นๆ โดยการหาเส้นทางดังกล่าว แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะเส้นทาง คือ (1) เส้นทางใหม่ไม่ต้องไปสถานที่รับหรือสถานที่ส่ง (ไปเพียงสถานที่เดียว) (2) เส้นทางใหม่ไม่ต้องไปทั้งสถานที่รับและสถานที่ส่ง และ (3) เส้นทางใหม่ต้องไปทั้งสถานที่รับและสถานที่ส่ง (ไปทั้ง 2 สถานที่)

$$\begin{aligned} \text{saving1}_{\max} &= \text{saving1}_{\text{ip}_s} + \text{saving1}_{\text{id}_s} \\ \forall \text{ip}_s \in \text{IP}_s, \forall \text{id}_s \in \text{ID}_s \end{aligned} \quad (14)$$

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 3, ISSN 1906-36361 (<http://www.ej.eng.chula.ac.th/>)

2) การหาโอกาสในการถ่ายโอนของรหัสการขนส่งจากการสลับเส้นทางระหว่างยานพาหนะ

การหาสถานที่ในแต่ละเส้นทางที่มีโอกาสทำการสลับเส้นทาง จากยานพาหนะที่แวะไปสถานที่ในเส้นทางและไม่มีรหัสการขนส่งใดอยู่บนยานพาหนะ สามารถแบ่งได้ 2 ช่วง คือ พิจารณาก่อนรับรหัสการขนส่งใดๆ หรือพิจารณาหลังส่งรหัสการขนส่งใดๆ ณ สถานที่นั้น เมื่อพิจารณาจนครบแล้วจึงนำที่ละคู่สถานที่ที่อยู่บนยานพาหนะคนละคันกัน มาสลับเส้นทางระหว่างยานพาหนะทั้งสองนั้น โดยเวลาไม่เกินเวลาช้าสุดที่ส่งได้ของสถานที่ แล้วจับคู่เส้นทางที่ผ่านการพิจารณาข้างต้นที่ละคู่ และเลือกคู่ที่ให้ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุด

- ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดจากการสลับเส้นทาง อธิบายได้ดังสมการ

$$\text{saving2}_{\max} = \text{Max}(\text{saving2}_{ni, vv'}) \quad (15)$$

$$\forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall v \in V, \forall v' \in V'$$

3) การพิจารณาหาโอกาสในการถ่ายโอนของรหัสการขนส่งจากการสลับเส้นทางระหว่างยานพาหนะ

เปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดจากการไม่แวะสถานที่กับค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดจากการสลับเส้นทางและเลือกค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุด

- ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดของรหัสการขนส่ง อธิบายได้ดังสมการ

$$\text{saving}_{\max}^s = \text{Max}(\text{saving1}_{\max}, \text{saving2}_{\max}) \quad (16)$$

$$\forall s \in S$$

4) การพิจารณารหัสการขนส่งจนครบทุกรหัส

4.3.1.2. กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1) การเลือกรหัสการขนส่ง

การเลือกรหัสการขนส่งในกระบวนการหาเส้นทางในการถ่ายโอนนี้จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้สูงสุดของแต่ละรหัสการขนส่งเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าที่มากที่สุด อธิบายได้ดังสมการ

$$\text{saving}_{\max} = \text{Max}(\text{saving}_{\max}^s) \quad (17)$$

$$\forall s \in S$$

2) การหาสถานที่และเส้นทางที่เป็นไปได้ในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง

การเลือกสถานที่และเส้นทางที่นำมาพิจารณาความเป็นไปได้ในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง จะต้องคำนึงถึงความจุของยานพาหนะ ณ สถานที่ในเส้นทางที่แวะว่าสามารถรับรหัสการขนส่งที่เลือกได้

3) การพิจารณาสถานที่และเส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง

การหาสถานที่และเส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอนรหัสการขนส่งนั้น ทำได้โดยนำเส้นทางที่แวะแต่ละสถานที่มาพิจารณาทีละเส้นทาง โดยเลือกจากสถานที่และเส้นทางที่เป็นไปได้ในการถ่ายโอนรหัสการขนส่งที่ผ่านการพิจารณาข้างต้นแล้ว จากนั้น

จึงหาเส้นทางหรือสร้างเส้นทางที่แวะไปสถานที่รับรหัสการขนส่ง, สถานที่ส่งรหัสการขนส่ง และสถานที่พักสินค้าใดๆ ในระบบ

- รับรหัสการขนส่งที่เลือกแล้วเวลาไม่เกินเวลาช้าสุดที่ส่งได้
 - คำนวณระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากการแวะไปสถานที่รับรหัสการขนส่ง, สถานที่ส่งรหัสการขนส่ง และสถานที่พักสินค้าใดๆ ในระบบ
 - คำนวณค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการแวะไปสถานที่รับรหัสการขนส่ง, สถานที่ส่งรหัสการขนส่ง และสถานที่พักสินค้าใดๆ ในระบบ อธิบายได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} oc_{ni,sv} &= od_{ni,sv} \times c_v \\ \forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall s \in S, \forall v \in V \end{aligned} \quad (18)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} oc_{ni,sv} &< saving_{max} \\ \forall n \in N_i, \forall i \in I_v, \forall s \in S, \forall v \in V \end{aligned} \quad (19)$$

- พิจารณาจนครบทุกสถานที่และเส้นทาง และหากมีการเลือกรหัสการขนส่งใหม่ จะต้องพิจารณาเพื่อหาเส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่งใหม่

4.3.1.3. กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1) การหาคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง

เส้นทางที่นำมาจับคู่ต้องเป็นเส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอนเท่านั้น โดยพิจารณาเลือกเส้นทางที่ละคู่ จากนั้นหาสถานที่พักสินค้าร่วมกันระหว่างคู่เส้นทางที่เลือก โดยเส้นทางที่จับคู่กันต้องประกอบด้วยสถานที่รับและสถานที่ส่งสินค้าของรหัสการขนส่ง เนื่องจากสินค้าต้องมีการส่งที่สถานที่พักสินค้าร่วมกันก่อนจึงสามารถรับสินค้าของรหัสการขนส่งที่เลือกได้ โดยเมื่อสินค้ามีการส่งที่สถานที่พักสินค้าแล้ว สถานที่พักสินค้านั้นจะกลายเป็นสถานที่รับสินค้าของรหัสการขนส่ง โดยมีเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

- ไม่สามารถรับรหัสการขนส่งที่ถ่ายโอน ณ สถานที่พักสินค้าร่วมกันได้ หากไม่มีการส่งสินค้าที่สถานที่พักสินค้าร่วมกันแห่งนั้นก่อน (ไม่สามารถรับได้หากไม่มีสินค้า)
- การจับคู่เส้นทาง จะพิจารณาเวลาพักสินค้า ณ สถานที่พักสินค้าที่แวะร่วมกันระหว่างคู่เส้นทางโดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ
 - หากเส้นทางที่แวะสถานที่รับรหัสการขนส่ง (ยานพาหนะที่ใช้รับสินค้ามาจากสถานที่รับรหัสการขนส่ง) มาถึงสถานที่พักสินค้าร่วมกันก่อนเส้นทางที่แวะสถานที่ส่งรหัสการขนส่ง (ยานพาหนะที่ใช้ส่งสินค้าไปสถานที่ส่งรหัสการขนส่ง) ต้องพิจารณาเวลาในการพักสินค้าด้วย
 - หากเส้นทางที่แวะสถานที่รับรหัสการขนส่ง (ยานพาหนะที่ใช้รับสินค้ามาจากสถานที่รับรหัสการขนส่ง) มาถึงสถานที่พักสินค้าร่วมกันหลังเส้นทางที่แวะสถานที่ส่งรหัสการขนส่ง (ยานพาหนะที่ใช้ส่งสินค้าไปสถานที่ส่งรหัสการขนส่ง) พิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายที่เพิ่มของเส้นทางที่จับคู่กันและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการของสถานที่พักสินค้าร่วม ไม่มีเวลาการพักสินค้า

- เวลาของการจับคู่เส้นทางที่พิจารณาเวลารอของสินค้า ณ สถานที่พักสินค้าที่แวะร่วมกันต้องไม่เกินเงื่อนไขเวลาที่อนุญาตให้สามารถพักสินค้าได้
- เวลาพักสินค้ารวม อธิบายได้ดังสมการ

$$\sum_{i \in IM_s} wating_{i,s} \leq WT \quad (20)$$

$$\forall s \in S$$

- 2) การพิจารณาจับคู่เส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอนจนครบและเลือกเส้นทางที่ให้ค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้จริงมากที่สุด

กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่งจะพิจารณาทีละคู่เส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอน หากคู่เส้นทางที่เลือกมานั้นไม่มีสถานที่รับหรือสถานที่ส่งสินค้าของรหัสการขนส่ง ให้ทำการเพิ่มเส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอน และเริ่มหาคู่เส้นทางในการถ่ายโอนซ้ำอีกครั้ง สำหรับคู่เส้นทางที่มีสถานที่รับหรือสถานที่ส่งสินค้าแล้ว จะทำการเรียงลำดับเส้นทางจนครบทุกเส้นทางที่มีโอกาสในการถ่ายโอน แล้วเลือกคู่เส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้จริงมากที่สุด

คำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงของเส้นทางที่จับคู่กัน อธิบายได้ดังสมการ

$$saving_{ni,n'i} = saving_{max}^s - (OC_s + \sum_{i \in IM_s} \sum_{s \in S} (wating_{i,s} \times w_i) + \sum_{i \in IM_s} o_i) \quad (21)$$

$$\forall n \in N_i, \forall n' \in N_{i'}$$

ค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงของรหัสการขนส่ง อธิบายได้ดังสมการ

$$saving_s = \text{Max}(saving_{ni,n'i}) \quad (22)$$

$$\forall n \in N_i, \forall n' \in N_{i'}, \forall i' \cup i \in IM_s, \forall s \in S, i \neq i'$$

4.3.1.4. กระบวนการเลือกรหัสการขนส่งที่ทำการถ่ายโอน มีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- 1) การรับข้อมูล

ข้อมูลที่น่ามาพิจารณาสำหรับกระบวนการนี้ ประกอบด้วย ข้อมูลนำเข้าของระบบซึ่งมาจากข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งทั่วไป ข้อมูลรหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางของการขนส่ง และข้อมูลเส้นทางเบื้องต้นสำหรับการถ่ายโอนรหัสการขนส่งที่พิจารณาจากกระบวนการพิจารณารหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางของการขนส่ง และข้อมูลเส้นทางและลำดับในการถ่ายโอนของแต่ละรหัสการขนส่ง และค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงจากกระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง

- 2) การพิจารณารหัสการขนส่งและเส้นทางในการถ่ายโอน

เส้นทางที่เลือกนั้นเป็นเส้นทางที่สามารถถ่ายโอนรหัสการขนส่งแล้วได้ค่าสูงสุดสำหรับรหัสการขนส่งนั้นเท่านั้น โดยต้องเปรียบเทียบกับรหัสการขนส่งอื่นเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับการปรับปรุงเส้นทางของการขนส่งในแต่ละรอบการพิจารณา โดยเส้นทางในการถ่ายโอนของรหัสการขนส่งและรหัสการขนส่งที่เลือกต้องมีค่าสูงสุดสำหรับการพิจารณาในรอบนั้นๆ

การหาค่ารหัสการขนส่งที่ให้ค่าสูงสุด อธิบายได้ดังสมการ

$$\text{saving} = \text{Max}(\text{saving}_s) \quad (23)$$

$$\forall s \in S$$

3) การพิจารณาทุกระหัสการขนส่งที่เป็นไปได้

หลังจากปรับปรุงเส้นทางแล้ว จะนำเส้นทางดังกล่าวมาเป็นเส้นทางเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงเส้นทางในรอบถัดไป ทำซ้ำจนไม่สามารถหาเส้นทางที่ทำการปรับปรุงได้แล้ว หรือไม่มีรหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางอีก โดยเส้นทางที่มีการถ่ายโอนของแต่ละรหัสการขนส่งมีโอกาสใช้ยานพาหนะที่แตกต่างกันได้ไม่เกิน 3 คัน เนื่องจากงานวิจัยนี้อนุญาตให้มีการถ่ายโอนมากที่สุดไม่เกิน 2 ครั้ง นอกจากนี้การถ่ายโอนแต่ละครั้งสามารถใช้ยานพาหนะคันเดิมได้ สำหรับการหาโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางรอบใหม่หลังจากได้ทำการปรับปรุงการขนส่งแต่ละรอบแล้ว ต้องเริ่มทำขั้นตอนทั้ง 4 ที่กล่าวข้างต้นใหม่ทั้งหมด เนื่องจากเส้นทางในการถ่ายโอนแต่ละรอบเป็นเส้นทางเฉพาะของรอบนั้น ๆ

5. การทดสอบฮิวริสติก

ผู้วิจัยทำการทดสอบคำตอบของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นผ่านโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2010 Express ที่เชื่อมโยงฐานข้อมูลกับโปรแกรม Microsoft Office Access 2007 โดยคำนวณผ่านเครื่อง Intel Core i3 ทำงานที่ 2.2 GHz มีหน่วยความจำชั่วคราว(RAM) 4 Gbytes ซึ่งข้อมูลเส้นทางเบื้องต้นถูกสร้างจาก Insertion Algorithms รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

รายละเอียด	ลักษณะตัวอย่าง
จำนวนข้อมูลความต้องการการขนส่ง (หน่วย : รหัสการขนส่ง)	20, 40, 60 (แบบสุ่ม)
จำนวนตัวอย่างที่ทดสอบ (หน่วย : ตัวอย่าง)	180 (ชุดข้อมูลละ 30 ตัวอย่าง)
จำนวนสถานที่ในระบบ (หน่วย : สถานที่)	5, 10, 15
จำนวนยานพาหนะในระบบ (หน่วย : คัน)	6 (ความจุเท่ากัน)
ค่าความจุของรหัสการขนส่ง	น้อยกว่าหรือเท่ากับความจุสูงสุดของยานพาหนะ (แบบสุ่ม)

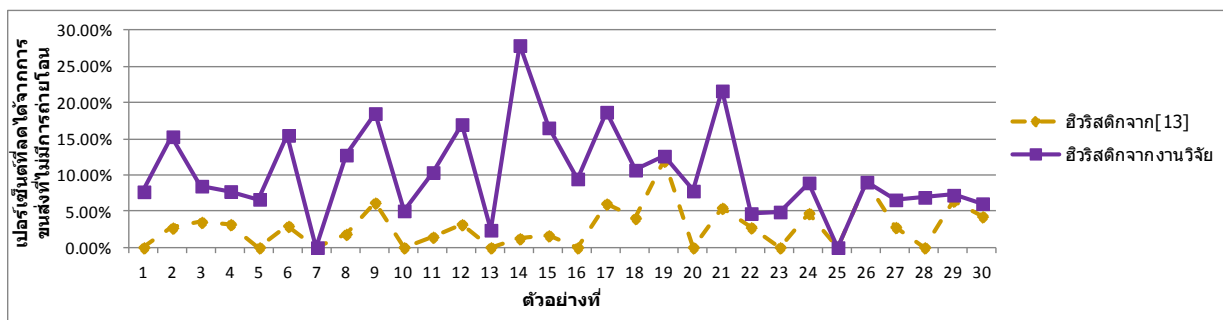
5.1. การเปรียบเทียบระยะทางที่ลดได้ระหว่างวิธีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าโดยการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะกับวิธีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าโดยฮิวริสติกจากงานวิจัยนี้

วิธีการที่นำมาทดสอบ คือ

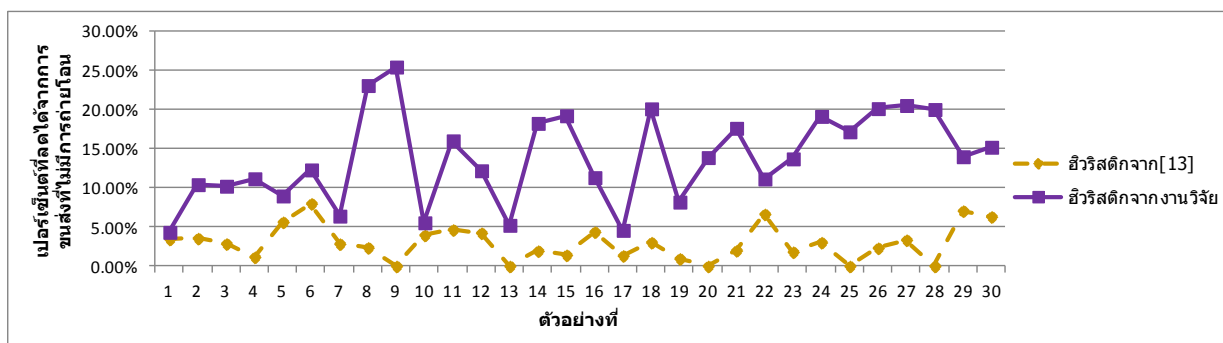
- (1) วิธีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าโดยการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะ หมายถึง วิธีการถ่ายโอนสินค้าที่ไม่มีการอนุญาตให้ทำการพักสินค้าไว้ในสถานที่ใดเลยระหว่างการขนส่ง แต่อนุญาตให้สามารถถ่ายโอนสินค้าได้เมื่อยานพาหนะทั้ง 2 คัน มาพบกันในพื้นที่ที่อนุญาตให้สามารถทำการถ่ายโอนได้ กล่าวคือ จะไม่มีการนำสินค้ามาพักไว้ในสถานที่ แต่อาจมีการพักสินค้าไว้บนยานพาหนะระหว่างรอยานพาหนะอีกคันหนึ่งมาเพื่อการถ่ายโอน โดยได้นำฮิวริสติกของ [13] มาเพื่อใช้สำหรับการทดสอบนี้
- (2) วิธีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าโดยฮิวริสติกจากงานวิจัย หมายถึง วิธีการที่ผู้วิจัยได้นำเสนอฮิวริสติกในการหาคำตอบจากงานวิจัยนี้ โดยเป็นวิธีการถ่ายโอนสินค้าที่มีการอนุญาตให้ทำการพักสินค้าไว้ในสถานที่พักสินค้าระหว่างการขนส่งได้

การหาคำตอบจากการทดสอบเมื่อวิธีการจัดเส้นทางแตกต่างกัน เป็นการเปรียบเทียบคำตอบโดยการหาผลต่างของระยะทางการขนส่งที่ไม่มีการถ่ายโอนรหัสการขนส่งและวิธีการขนส่งที่มีการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง และนำค่าผลต่างแปลงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากการขนส่งที่ไม่มีการถ่ายโอน อธิบายได้ดังสมการ

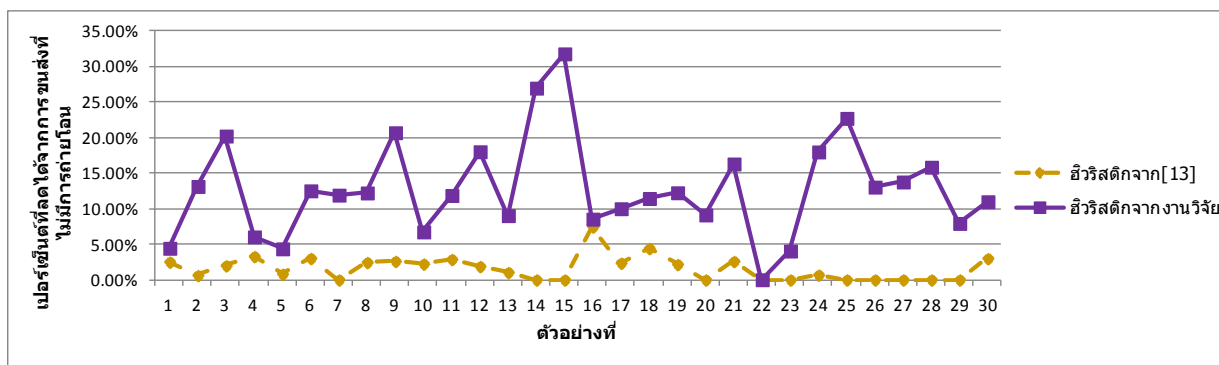
$$\text{เปอร์เซ็นต์ที่ลดลง} = \frac{\text{คำตอบจากการขนส่งที่ไม่มีการถ่ายโอน} - \text{คำตอบจากการขนส่งที่มีการถ่ายโอน}}{\text{คำตอบจากการขนส่งที่ไม่มีการถ่ายโอน}} \times 100 \quad (24)$$



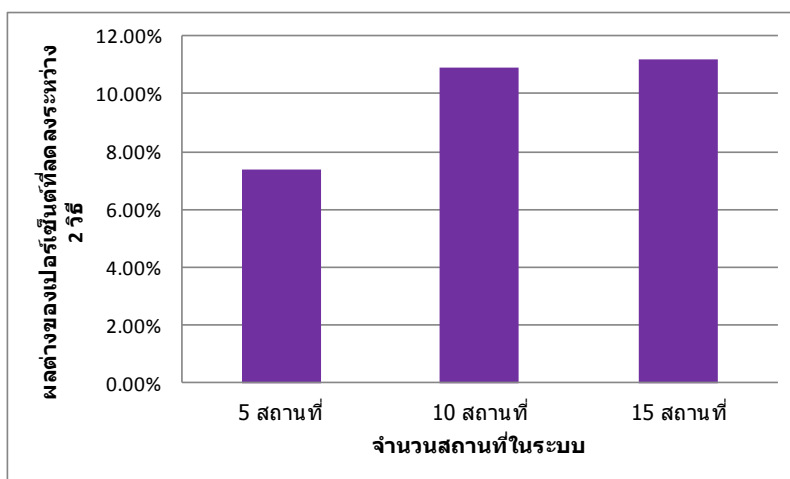
รูปที่ 3(a) เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางเมื่อแบ่งตามวิธีการจัดเส้นทางโดยมีจำนวนสถานที่ในระบบ 5 สถานที่



รูปที่ 3(b) เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางเมื่อแบ่งตามวิธีการจัดเส้นทางโดยมีจำนวนสถานที่ในระบบ 10 สถานที่



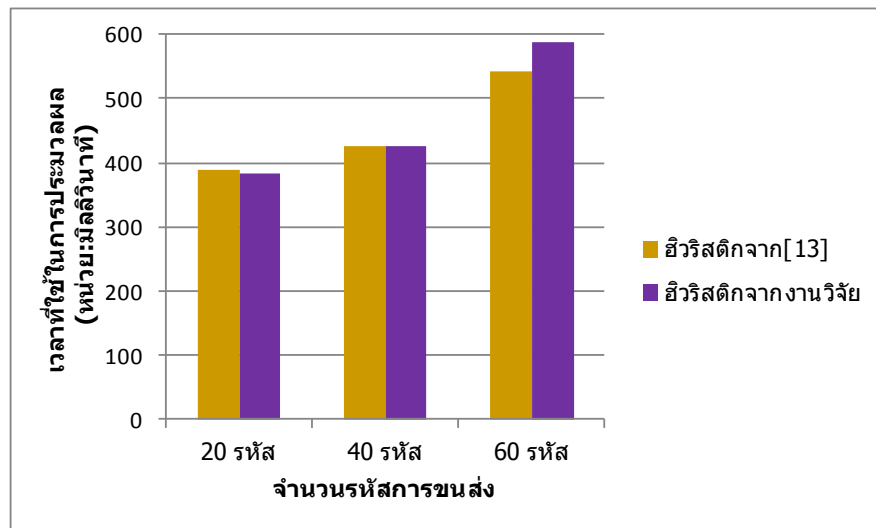
รูปที่ 3(c) เปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางเมื่อแบ่งตามวิธีการจัดเส้นทางโดยมีจำนวนสถานที่ในระบบ 15 สถานที่



รูปที่ 4 ผลต่างเปอร์เซ็นต์ของระยะทางโดยเฉลี่ยที่ลดลงระหว่าง 2 วิธีการที่แบ่งตามวิธีการจัดเส้นทาง

จากรูปที่ 3(a)-รูปที่ 3(c) แสดงถึงผลต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางที่มีการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะซึ่งได้จากอีวีรสถิกที่พัฒนาขึ้นโดย [13] เปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางจากวิธีการอีวีรสถิกที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ แบ่งตามจำนวนสถานที่ในระบบ จากการทดสอบพบว่าการถ่ายโอนจากวิธีการอีวีรสถิกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดระยะทางสูงกว่าการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะโดยไม่มีการพักรถสินค้า [13] เนื่องจากการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะโดยไม่มีการพักรถสินค้า จำเป็นต้องใช้ยานพาหนะอย่างน้อย 2 คันที่จะต้องรอคอยกันในการถ่ายโอน ทำให้สูญเสียโอกาสในการถ่ายโอนบางส่วนไปหากคันใดคันหนึ่งมีข้อจำกัดด้านเวลามากกว่า โดยค่าเฉลี่ยของผลต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางที่มีการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะ เท่ากับ 2.47% (จำนวนสถานที่ในระบบ 5, 10, 15 มีค่าเฉลี่ย 2.86%, 2.95%, 1.60% ตามลำดับ) ขณะที่ค่าเฉลี่ยของผลต่างของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางที่มีการถ่ายโอนจากวิธีการอีวีรสถิกจากงานวิจัยนี้เท่ากับ 12.30% (จำนวนสถานที่ในระบบ 5, 10, 15 มีค่าเฉลี่ย 10.25%, 13.36%, 12.79% ตามลำดับ) เมื่อนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของทั้ง 2 วิธีการ มาหาผลต่างแบ่งตามจำนวนสถานที่ในระบบ แสดงในรูปที่ 3 พบว่าแนวโน้มค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนสถานที่ที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงจากวิธีการอีวีรสถิกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสูงกว่าถึง 9.83 % เมื่อเทียบกับการขนส่งที่ไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอน

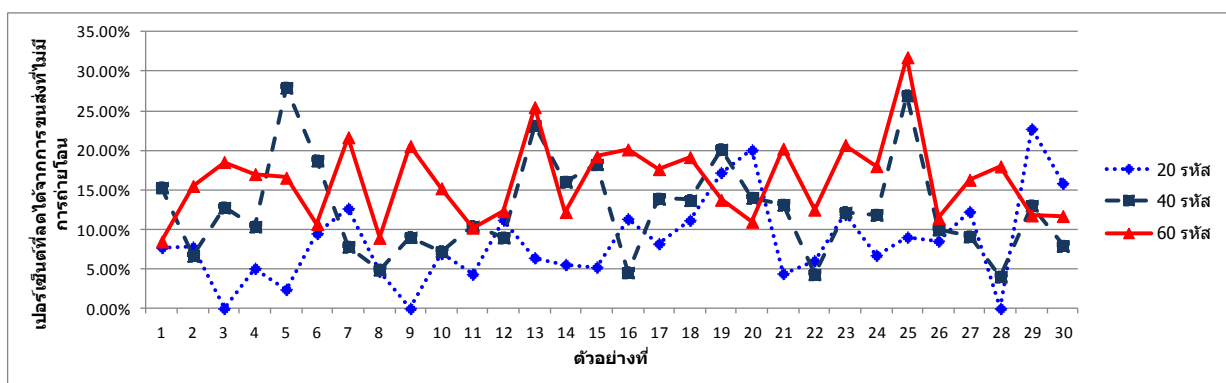
เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่างวิธีการทั้ง 2 (แสดงดังรูปที่ 5) พบว่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากตัวอย่างทั้ง 90 ตัวอย่าง โดยอิวิริสติกจาก [13] และอิวิริสติกจากงานวิจัยนี้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 452 และ 465 มิลลิวินาที ตามลำดับ ซึ่งอิวิริสติกจาก [13] หรือการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะนั้นใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าวิธีการอิวิริสติกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น เฉลี่ย 13 มิลลิวินาที หรือ 0.013 วินาที นอกจากนั้นเมื่อมีจำนวนรหัสการขนส่งเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของทั้ง 2 วิธีการมีแนวโน้มจะสูงขึ้นตาม (อิวิริสติกจาก [13] เท่ากับ 389, 426, และ 542 มิลลิวินาที และอิวิริสติกจากงานวิจัยนี้ เท่ากับ 383, 426, 587 มิลลิวินาทีสำหรับข้อมูลที่มีจำนวนรหัสการขนส่งเท่ากับ 20, 40 และ 60 ตามลำดับ)



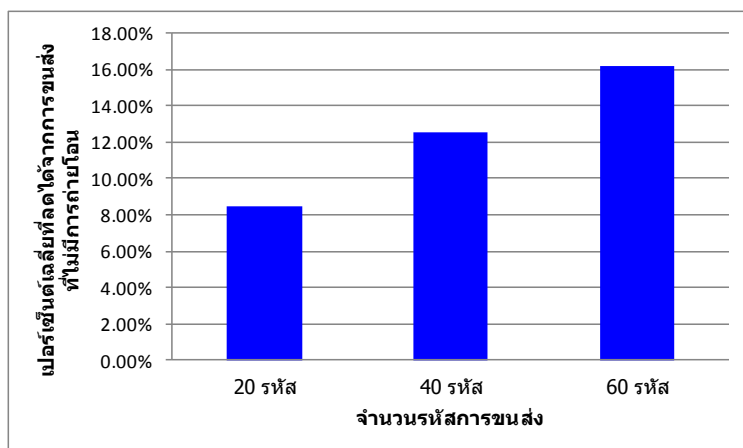
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลระหว่าง 2 วิธีการ

5.2. การทดสอบผลการลดระยะทางจากจำนวนรหัสการขนส่งที่เพิ่มขึ้น

ในส่วนนี้ผู้วิจัยทำการทดสอบผลการลดระยะทางจากอิวิริสติกที่พัฒนาขึ้น เมื่อระบบมีจำนวนรหัสการขนส่งแตกต่างกัน โดยใช้ชุดข้อมูลจำนวน 3 ชุด โดยชุดที่ 1, 2 และ 3 มีจำนวนรหัสการขนส่ง 20, 40 และ 60 รหัสตามลำดับ ทำการหาผลต่างของระยะทางการขนส่งที่ไม่มีรถถ่ายโอนและวิธีการขนส่งที่มีการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง และนำค่าผลต่างแปลงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่ลดลง อธิบายได้ตามสมการที่ (24) จากนั้นเปรียบเทียบคำตอบระหว่างข้อมูลแต่ละชุด



รูปที่ 6(a) เปอร์เซนต์ที่ลดลงของระยะทางเมื่อแบ่งตามจำนวนรหัสการขนส่งที่ต้องทำในระบบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6(b) เปอร์เซนต์เฉลี่ยที่ลดลงของระยะทางเมื่อแบ่งตามจำนวนรหัสการขนส่งที่ต้องทำในระบบที่แตกต่างกัน

รูปที่ 6(a) แสดงเปอร์เซ็นต์ระยะทางที่ลดลงจากวิธีวิวิธวิธีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเทียบกับการขนส่งที่ไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอนแบ่งตามจำนวนรหัสการขนส่ง จากการทดสอบพบว่าเมื่อระบบมีจำนวนรหัสการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ระยะทางที่ลดได้ของตัวอย่างที่ทำการทดสอบส่วนใหญ่จะสูงขึ้น รูปที่ 6(b) แสดงค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ระยะทางที่ลดลงจากวิธีวิวิธวิธีที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเทียบกับการขนส่งที่ไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอนแบ่งตามจำนวนรหัสการขนส่ง จากการทดสอบพบว่า เมื่อมีจำนวนรหัสการขนส่งเพิ่มมากขึ้น ระยะทางที่ลดได้จะสูงขึ้น โดยค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของระยะทางที่ลดเท่ากับ 8.49%, 12.55%, และ 16.22% สำหรับข้อมูลที่มีจำนวนรหัสการขนส่งเท่ากับ 20 ,40 และ 60 ตามลำดับ โดยจำนวนรหัสการขนส่งที่เพิ่มมากขึ้นมีผลต่อระยะทางที่สามารถลดลงได้ และค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ที่ลดลงของระยะทางที่มีการถ่ายโอนจากวิธีการวิวิธวิธีที่พัฒนาเท่ากับ 12.42% เมื่อเทียบกับการขนส่งที่ไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอนจากตัวอย่างที่ทำการทดสอบทั้งหมด

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาวิธีวิวิธวิธีเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยการนำเส้นทางที่มีการเดินรถอย่างต่อเนื่องมาเป็นเส้นทางเริ่มต้นแล้วหาวิธีการปรับปรุงเส้นทางจากเส้นทางเดิมด้วยการเปลี่ยนถ่ายสินค้า(Transshipment) แบบพักรับสินค้าได้ กระบวนการคิดประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ กระบวนการพิจารณารหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทาง การขนส่ง กระบวนการพิจารณาหาเส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง กระบวนการจับคู่เส้นทางในการถ่ายโอนรหัสการขนส่ง และกระบวนการเลือกรหัสการขนส่งที่ทำการถ่ายโอน โดยตลอดเส้นทางมีการรับ-ส่งสินค้า และการเปลี่ยนถ่ายสินค้าตามสถานที่ที่อนุญาตให้มีการพักรับสินค้า วิธีวิวิธวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ อาศัยข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการขนส่งทั่วไป และข้อมูลเส้นทางเบื้องต้นจากข้อมูลของเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่อง ผ่านขั้นตอนทั้ง 3 ขั้นตอนแรก จะได้ข้อมูลรหัสการขนส่งที่มีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางขนส่ง ข้อมูลเส้นทางเบื้องต้นสำหรับการถ่ายโอนรหัสการขนส่งที่พิจารณา และข้อมูลเส้นทางและลำดับในการถ่ายโอนของแต่ละรหัสการขนส่ง พร้อมกับค่าใช้จ่ายที่ลดได้จริงของแต่ละรหัสการขนส่ง สำหรับเป็นข้อมูลในการตัดสินใจของขั้นตอนสุดท้ายในการหาเส้นทางใหม่ ซึ่งจะทำการพิจารณาที่รหัสการขนส่ง เมื่อรหัสการขนส่งใดได้รับการถ่ายโอนแล้วจะไม่มีรหัสการขนส่งซ้ำและให้เส้นทางที่ได้รับการปรับปรุงเป็นเส้นทางในการเริ่มต้นใหม่ สำหรับการพิจารณารอบถัดไป จากการทดสอบพบว่าวิธีวิวิธวิธีจากงานวิจัยนี้สามารถช่วยลดระยะทางได้เฉลี่ย 12.42% เมื่อเทียบกับการจัดเส้นทางปกติที่ไม่มีถ่ายโอน และมีเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะทางสูงกว่าการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะ

หรือการถ่ายโอนที่ไม่มีการพักสินค้าที่ทำการศึกษาโดย [13] เฉลี่ย 9.83% เมื่อเทียบกับเส้นทางเริ่มต้น โดยใช้ระยะเวลาในการประมวลผลสูงกว่า 0.013 วินาที

ผลการทดสอบจากงานวิจัยนี้พบว่า การเปลี่ยนถ่ายสินค้าแบบพักสินค้าได้นั้น เป็นหนทางหนึ่งที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งแบบต่อเนื่อง ซึ่งหากมีการกระทำอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ค่าใช้จ่ายจากกระยะทางที่ลดลงก็จะถูกสะสมและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ในระยะยาว จึงเป็นแนวทางที่มีประโยชน์ในการลดต้นทุนรวมของระบบ สำหรับแนวคิดในการต่อยอดจากงานวิจัยนี้ เช่น การพิจารณาการถ่ายโอนแบบพักสินค้าในกรณีที่อนุญาตให้มีการวนกลับ สถานที่เริ่มต้นเมื่อครบรอบเวลา โดยกำหนดเงื่อนไขและเวลาการกลับมายังสถานที่เริ่มต้นที่เหมาะสม หรืออาจทำการพิจารณาถ่ายโอนสินค้าในแต่ละรอบมากกว่า 1 รหัสการขนส่ง รวมถึงการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการขนส่งหลายประเภท โดยมีรูปแบบต่อเนื่องและอนุญาตให้มีการถ่ายโอนสินค้า ณ สถานที่พักสินค้า เป็นต้น

บรรณานุกรม

- [1] หนังสือพิมพ์อีคอนนิวส์. (ตุลาคม 2555) ไทยอยากจะเป็นโลจิสติกส์ฉบับไหน? [Online]. Available: <http://www.econnews.org/473/knt4731.html>
- [2] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (กุมภาพันธ์ 2555) รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2554 [Online]. Available: <http://logisticscorner.com/Docfiles/logistics/ThaiLogisticsCost 2554.pdf>
- [3] D. Özdemir, E. Yücesan and Y. T. Herer, "Multi-Location transshipment problem with capacitated production and lost sales," in *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, Monterey, California, USA, December 3-6, 2006, pp.1470-1476.
- [4] R. Dondo, C. A. Méndez, and J. Cerdá, "The supply-chain pick-up and delivery problem with transshipments," *Computer Aided Chemical Engineering*, vol. 26 pp. 1009-1014, 2009.
- [5] L.M. Surhone, M.T. Timplendon, S.F. Marseken, "Transshipment," Betascript Publishing, 2010.
- [6] กฤตฌณภัทร สวาสดี, "การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2549.
- [7] B. Nag, B. L. Golden, and A. A. Assad, "Vehicle routing with site dependencies," in *Vehicle Routing: Methods and Studies*, B. L. Golden and A. A. Assad, Eds. North Holland, Amsterdam, 1988, pp. 149-159.
- [8] ยศศิริ อุดยศักดิ์, "แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบเต็มคันยานพาหนะอย่างต่อเนื่อง," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2549.
- [9] S. Mitrovic-Minic and G. Laporte, "The pickup and delivery problem with time windows and transshipment," *INFOR*, vol. 44, pp. 217-227, 2006.
- [10] J.-F. Cordeau, M. Gendreau, G. Laporte, J.-Y. Potvin, and F. A. Semet, "Guide to vehicle routing heuristics," *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 53, no. 5, pp. 512-522, 2002.
- [11] L. C. Yeun, W. R. Ismail, and K. Omar, "Vehicle routing problem: Models and solutions," *Journal of Quality Measurement and Analysis*, vol. 4, pp. 205-218, 2008.
- [12] ปารเมศ ชูติมา, *เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [13] โสภา คู่สมรัตน์ และ ปวีณา เชาวลิทวงศ์, "การลดระยะทางขนส่งด้วยการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะ," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1, หน้า 49-66, 20 พฤศจิกายน 2555.