

# วารสารวิศวกรรมศาสตร์

## การลดระยะทางขนส่งด้วยการถ่ายโอนระหว่าง ยานพาหนะ

โสภา คู่สมรัตน์<sup>a,\*</sup> และ ปวีณา เชาวลิทวงศ์<sup>b</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10330

อีเมล : [sopa.k@student.chula.ac.th](mailto:sopa.k@student.chula.ac.th)<sup>a,\*</sup>, [paveena.c@chula.ac.th](mailto:paveena.c@chula.ac.th)<sup>b</sup>

**บทคัดย่อ** บทความวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติกสำหรับตัดสินใจถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเพื่อลดระยะทางขนส่ง ลักษณะปัญหาเส้นทางขนส่งในบทความนี้เป็นการขนส่งแบบต่อเนื่องที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งและข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สินค้าสามารถขนส่งได้ ฮิวริสติกที่นำเสนอแบ่งการทำงานเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการหาทางที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ซึ่งพิจารณาจากค่าการประหยัดระยะทางสูงสุด ขั้นตอนที่สองเป็นการหาครุณในการถ่ายโอนสินค้า ซึ่งพิจารณาจากเงื่อนไขความจุของรถและเงื่อนไขด้านกรอบเวลา และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลือกสถานที่และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายโอนสินค้า โดยที่สถานที่ถ่ายโอนอาจจะเป็นจุดใดๆ บนเส้นทางเดิม หรือเป็นจุดที่อยู่นอกเส้นทางเดิมก็ได้ จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาดตัวอย่าง 70 ปัญหาพบว่าเมื่อเลือกงานที่จะถูกถ่ายโอนตามลำดับค่าการประหยัดระยะทางสูงสุดจากค่ามากไปน้อย ค่าตอบที่ได้มีค่าห่างจากคำตอบที่ดีที่สุดโดยเฉลี่ยเพียง 2.48 เปอร์เซ็นต์ แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยน้อยกว่าถึงประมาณ 4.5 เท่า

**คำสืบค้น:** การถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง, ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ, ฮิวริสติก

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (ISSN: 1906-3636) ปีที่ 4 ฉบับที่ 1

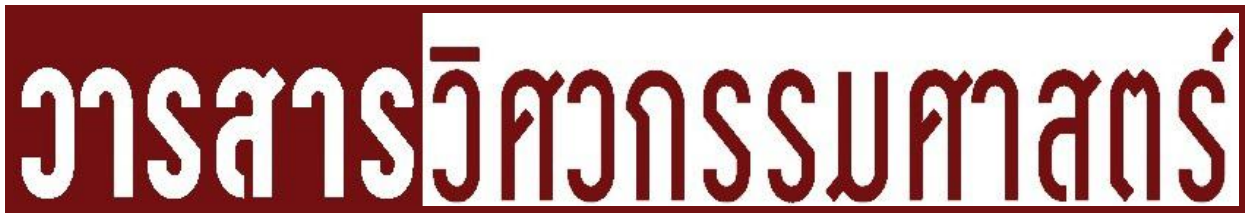
วันที่ส่ง 30 สิงหาคม 2555

วันที่ตอบรับ 17 ตุลาคม 2555

วันที่ตีพิมพ์ 20 พฤศจิกายน 2555

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

DOI:10.4186/ejth.2012.4.1.49



# Travelling Distance Improvement by Inter-Vehicle Transferring

Sopa Kusomrat<sup>a,\*</sup> and Paveena Chaovalitwongse<sup>b</sup>

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

E-mail: [sopa.k@student.chula.ac.th](mailto:sopa.k@student.chula.ac.th)<sup>a,\*</sup>, [paveena.c@chula.ac.th](mailto:paveena.c@chula.ac.th)<sup>b</sup>

**Abstract.** This research proposes heuristics for making decision of inter-vehicle good transfer in order to reduce travelling distance. The vehicle routing problem in this research is continued-mixed pickups and deliveries problem with capacity and time window constraints. The developed heuristic consists of three steps. The first step defines the transferable jobs based on max saving distance value (MD-value). The second step finds the passive vehicle with the available of capacity and time. Last, the appropriate transshipment point and time period of transfer are selected. Additionally, the transshipment point can be a common location (transfer without detour) or a common rendezvous location (transfer with detour). The heuristic was tested on 70 problem samples. The experimental results show that when jobs are transferred in sequence of max to min of MD-value policy, the solutions are greater than the optimum by 2.48% on average while the computational time is about 4.5 times less.

**Keywords:** transfer, vehicle routing problem, heuristic.

Engineering Journal (ISSN: 1906-3636) Volume 4 Issue 1

Received 30 August 2012

Accepted 17 October 2012

Published 20 November 2012

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

DOI:10.4186/ejth.2012.4.1.49

# 1. บทนำ

ในปัจจุบันต้นทุนโลจิสติกส์มีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากต่อต้นทุนสินค้า ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนขนส่งสินค้า ต้นทุนถือครองสินค้า ต้นทุนบริหารคลังสินค้า และต้นทุนบริหารจัดการ [1] การลดต้นทุนดังกล่าวจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และกระจายสินค้า ซึ่งแนวทางการลดต้นทุนได้แก่ การใช้พลังงานทางเลือก การประยุกต์แนวทางการจัดรูปแบบอื่น เช่น การจัดส่งแบบ Milk Run การจัดส่งสินค้าแบบต่อเนื่องเพื่อลดปัญหาการวิ่งเที่ยวเปล่าในขากลับ การจัดส่งสินค้าแบบมีการถ่ายโอนสินค้า (Transshipment)

การถ่ายโอนสินค้า หมายถึง การเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้า ซึ่งมีหลายรูปแบบเช่น การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง ซึ่งจำเป็นต้องมีศูนย์สำหรับกระจายสินค้า โดยอาจเป็นจุดพักสินค้า (DC) หรือจุดผ่านสินค้า (Cross-dock) [2] รูปแบบการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ (Transfer) ก็จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายโอนสินค้า วิธีนี้มีประโยชน์คือช่วยลดต้นทุนการบริหารศูนย์กระจายสินค้าได้ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและการจัดเส้นทางเดินทางพบว่า ส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งเน้นการจัดเส้นทางโดยไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอนสินค้า นอกจากนี้งานวิจัยที่สนใจการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งมีค่อนข้างน้อยและไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดบางอย่างเช่น ความจุรถขนส่ง กรอบเวลาของการส่งมอบสินค้า ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางจัดเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ยากต่อการคำตอบ (NP-Hard) [3] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกที่ใช้สำหรับถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง โดยมุ่งปรับปรุงเส้นทางต่อจากแผนเส้นทางขนส่งที่มีอยู่เดิมซึ่งเป็นการขนส่งแบบไม่มีการถ่ายโอนสินค้า (ขนส่งทางตรง) เพื่อลดต้นทุนขนส่งจากเดิม และเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา

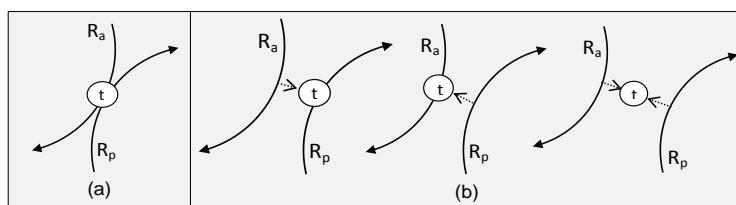
# 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง (Vehicle Routing Problem, VRP) [3, 4] เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งในการจัดการด้านโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นการพิจารณาหาเส้นทางขนส่งที่เหมาะสมเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับรูปแบบการขนส่ง วัตถุประสงค์และข้อจำกัดของปัญหา โดยทั่วไปแล้วจะไม่มี การถ่ายโอนสินค้าเกิดขึ้น [5] ซึ่งวิธีการแก้ปัญหการจัดเส้นทางสามารถแบ่งออกได้ 2 แนวทางคือ วิธีการหาผลเฉลยที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Method) และวิธีการหาผลเฉลยที่ไม่ประกันว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด (Heuristic Method) ซึ่งวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว [6]

จากการศึกษาวิจัย [7] พบว่าการขนส่งด้วยกระบวนการถ่ายโอนสินค้า (Transshipment) เป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง เนื่องจากสามารถช่วยลดระยะทางการขนส่งโดยรวมได้ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางแบบมีการถ่ายโอนสินค้าได้รับการศึกษาในหลายรูปแบบด้วยกัน [8-10] เช่น การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Intermodal Transportation) การขนส่งแบบรวบรวมการจัดส่ง (Cross-Docking with Routing) การขนส่งแบบรถบรรทุกและรถพ่วง (Truck- Trailer Routing) และการขนส่งแบบถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง (Transfer)

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนสินค้าแบบเปลี่ยนถ่ายของระหว่างรถขนส่งโดยไม่มีจุดพักสินค้า Shang และคณะ [11] ได้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับการสร้างเส้นทางที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ โดยการถ่ายโอนสินค้าจะเกิดก็ต่อเมื่อสินค้าบนเส้นทางนั้นไม่สามารถส่งได้ทันภายใต้กรอบเวลา หลังจากนั้น Thangiah และคณะ [12] พัฒนางานวิจัยต่อยอดจาก [11] โดยปรับข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและนำข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-Time) มาประกอบการพิจารณา อย่างไรก็ตามทั้งสองงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดของรถขนส่งในด้านความจุของรถขนส่ง อีกทั้งระยะทางการขนส่งที่ลดลงใน

งานวิจัยของ [12] จะเกิดก็ต่อเมื่อมีจุดถ่ายโอนเป็นจุดที่อยู่บนเส้นทางเดียวกันเท่านั้น อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาเส้นทางขนส่งโดยทั่วไปมักจะเริ่มต้นตั้งแต่การสร้างเส้นทางขนส่ง แต่ในงานวิจัยของ [12] กล่าวว่าวิธีการถ่ายโอนสินค้าในงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นวิธีการหาคำตอบแบบ Neighborhood Local Search ซึ่งจะใช้ปรับปรุงเส้นทางต่อการเดินทางเริ่มต้น (Initial Solution) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแนวคิดนี้มาเป็นแบบในการพัฒนาฮิวริสติกสำหรับถ่ายโอนสินค้าเพื่อใช้ลดระยะทางขนส่งของเส้นทางขนส่งทางตรงที่ได้มีการสร้างไว้แล้ว นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Bouros และคณะ [13] ซึ่งได้นำประโยชน์ของการถ่ายโอนสินค้ามาใช้แก้สถานการณ์ในกรณีที่มีความต้องการขนส่งแบบเรียลไทม์แทรกเข้ามาระหว่างการดำเนินงานขนส่งโดยใช้วิธีการ Shortest Path ซึ่งรถขนส่งสามารถเดินทางออกนอกเส้นทางเดิมเพื่อตอบสนองความต้องการการขนส่งแบบเรียลไทม์ได้ ผู้วิจัยได้นำรูปแบบการถ่ายโอนของ [13] มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปแบบการถ่ายโอน (a) Transfer without detour; (b) Transfer with detour

### 3. รูปแบบปัญหา

งานวิจัยนี้จะประยุกต์การขนส่งแบบถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะมาใช้ในการวางแผนจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งจะพิจารณาจากเส้นทางขนส่งทางตรงที่ได้มีการจัดเส้นทางไว้แล้ว โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการลดระยะทางขนส่งจากแผนขนส่งตั้งต้นเพื่อให้มีระยะทางขนส่งน้อยที่สุด (Minimize Total Travelling Distance) ซึ่งเส้นทางขนส่งที่สนใจปรับปรุงอยู่ในรูปแบบการขนส่งแบบต่อเนื่อง (เมื่อเสร็จการทำงาน ไม่จำเป็นต้องกลับไปยังจุดเริ่มต้น) เส้นทางขนส่งเกิดจากการวางแผนจากงานขนส่งซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาณ (Volume) น้ำหนัก (Weight) จุดรับสินค้า (Pickup Location) จุดส่งสินค้า (Delivery Location) และกรอบเวลาของการขนส่งซึ่งได้แก่ เวลาที่สามารถเริ่มรับสินค้าได้ (Earliness) และเวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้ (Lateness) ให้กับรถขนส่งจำนวน  $k$  คัน ดังนั้นแผนขนส่งที่นำมาพิจารณาจะมีทั้งหมด  $k$  เส้นทาง โดยกระบวนการปรับปรุงจะต้องพิจารณาว่าจากเส้นทางขนส่งเดิมนั้นสามารถแทรกการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งเข้าไปเพื่อให้ระยะทางโดยรวมลดลงได้หรือไม่ ถ้าแทรกได้ควรแทรกอย่างไร ภายใต้ข้อจำกัดเดิมคือ

- 1) ข้อจำกัดของรถขนส่งด้านความจุ (Capacity Constraint)
- 2) ข้อจำกัดของงานขนส่งด้านกรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (Time Window Constraint)

โดยมีขอบเขตและข้อกำหนดในงานวิจัยดังนี้

- รถที่จะถ่ายโอนสินค้า ประกอบไปด้วยรถส่งมอบ (Active Vehicle,  $R_a$ ) และรถรับมอบ (Passive Vehicle,  $R_p$ ) [12] รถทั้งสองต้องมาเจอกันเพื่อถ่ายโอนสินค้าเนื่องจากไม่สามารถฝากสินค้าไว้ ณ สถานที่ใดที่หนึ่งได้ ถ้ารถคันใดมาถึงก่อนจะต้องรอจนกว่าอีกคันหนึ่งจะมาถึง
- จุดถ่ายโอนสินค้า (Transshipment Point,  $t$ ) เป็นจุดที่อยู่ในระบบ ซึ่งเป็นได้ทั้งจุดที่อยู่ในเส้นทาง (Transfer without Detour) และนอกเส้นทาง (Transfer with Detour) ดังรูปที่ 1(a) และ 1(b) ตามลำดับ
- ไม่สามารถแยกสินค้า (Split Order) เพื่อขนส่งได้

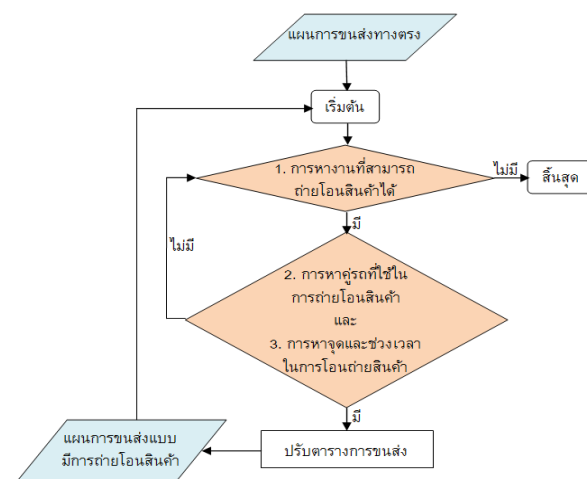
- สนใจการขนถ่ายสินค้าขนาดเล็ก จึงไม่พิจารณาต้นทุนในการยกขนสินค้า (Double Handling)
- เวลาโหลดสินค้าไม่ถูกนำมาพิจารณา

## 4. หลักการและแนวคิดของฮิวริสติก

จากรูปแบบปัญหาดังกล่าว ผลลัพธ์สุดท้ายคือสามารถสรุปได้ว่าจากแผนการขนส่งทางตรงที่มีอยู่ การถ่ายโอนสินค้าสามารถลดระยะทางขนส่งได้หรือไม่ ถ้าสามารถทำได้ต้องแทรกการถ่ายโอนสินค้าอย่างไรจึงจะเหมาะสม จากงานวิจัยของ Drexl [14] กล่าวว่า การถ่ายโอนสินค้ามีลักษณะเป็นการเกิดขึ้นพร้อมกัน (Synchronize) ซึ่งกระบวนการถ่ายโอนสินค้าจะต้องประกอบด้วยข้อมูล 5 ส่วนคือ รถส่งมอบ ปริมาณของสินค้าที่จะถ่ายโอน รถรับมอบ สถานที่ และตำแหน่งของเวลา ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงแบ่งขั้นตอนการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้คือ

- พิจารณาวางงานใดบ้างที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาคือเป็นงานส่งอย่างเดียวที่มีค่าการประหยัดระยะทางสูงสุด (Max Saving Distance, MD) ค่ามากที่สุด โดยที่งานส่งอย่างเดียวหมายถึงการเดินทางเพื่อไปส่งงาน (Delivery) ให้ลูกค้าเท่านั้น แต่ไม่มีการรับงานจากลูกค้ากลับมา
- ถ้าถ่ายโอนได้จะถ่ายโอนงานให้กับรถคันไหน โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาคือเป็นรถที่มีความสามารถในการรับงานไปส่งแทน ซึ่งประกอบด้วยความสามารถในการบรรทุก และเกณฑ์ด้านเวลา
- การถ่ายโอนสินค้าจะเกิด ณ สถานที่ใดและช่วงเวลาใดของเส้นทางขนส่ง โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาคือเกิดระยะการเดินทางไปจุดถ่ายโอนน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์หลักและเกิดเวลารอคอยน้อยที่สุดเป็นเกณฑ์รอง

ลำดับการตัดสินใจเป็นดังรูปที่ 2 โดยที่การตัดสินใจจะพิจารณาวนไปจนกว่าจะไม่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้อีก

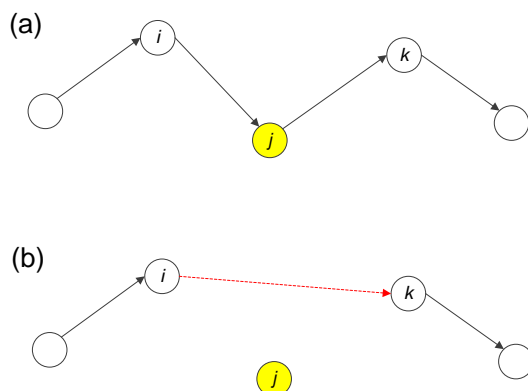


รูปที่ 2 ลำดับการตัดสินใจของฮิวริสติกที่ถูกพัฒนาขึ้น

### 4.1. การหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

เนื่องจากเส้นทางขนส่งที่สนใจเป็นแบบที่มีทั้งรับและส่งสินค้า ดังนั้นในแต่ละจุดขนส่งจะเกิดรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 3 รูปแบบใหญ่ คือ การรับสินค้าอย่างเดียว การส่งสินค้าอย่างเดียว หรือมีทั้งการรับและส่งสินค้า ในงานวิจัยนี้งานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้กำหนดให้เป็นงาน ณ จุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อถ่ายโอน

ให้รถขนส่งคันอื่นไปส่งแทนแล้วจะทำให้เส้นทางขนส่งของรถส่งมอบเปลี่ยนแปลงและเกิดระยะทางลดลงเนื่องจากไม่ต้องไปทำงาน ณ จุดนั้น ตัวอย่างดังรูปที่ 3(a) เป็นเส้นทางเดิมของรถส่งมอบ ซึ่งมีจุด  $j$  เป็นจุดที่มีงานส่งอย่างเดียว เมื่อเกิดการถ่ายโอนงานส่งของจุด  $j$  ให้กับรถคันอื่นแล้ว ทำให้รถส่งมอบไม่จำเป็นต้องเดินทางไปจุด  $j$  อีก ดังนั้นเส้นทางของรถส่งมอบจะเกิดการเปลี่ยนแปลงดังรูป 3(b)



รูปที่ 3 ตัวอย่างลำดับการทำงานที่เปลี่ยนแปลงของรถส่งมอบ: (a) ก่อนการถ่ายโอน; (b) หลังการถ่ายโอน

ในแต่ละจุดที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียวย สามารถคำนวณระยะทางที่ลดลงได้แตกต่างกันตามสมการ (1) ซึ่งระยะทางนี้เรียกว่าค่าการประหยัดระยะทางสูงสุด (Max Saving Distance, MD-Value)

$$MD_j = d_{ij} + d_{jk} - d_{ik} \quad (1)$$

โดยที่	$L$	คือ เซตของจุดขนส่งทั้งหมดในระบบ
	$X$	คือ เซตของจุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียวยของทุกเส้นทางขนส่ง, $X \in L$
	$j$	คือ จุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียวย, $j \in X$
	$i$	คือ จุดบนเส้นทางที่อยู่ในลำดับก่อนหน้าจุด $j$ หนึ่งจุด, $i \in L$
	$k$	คือ จุดบนเส้นทางที่อยู่ในลำดับหลังจากจุด $j$ หนึ่งจุด, $k \in L$
	$MD_j$	คือ ค่าการประหยัดระยะทางสูงสุด (Max Saving Distance) ของจุด $j$
	$d_{ij}$	คือ ค่าระยะทางจากจุดขนส่ง $i$ ไปยังจุด $j$ , $i \in L, j \in L$

ค่า  $MD_j$  แสดงถึงโอกาสที่สามารถลดระยะทางจากเดิมได้สูงสุด ซึ่งจะใช้เป็นขอบเขตบนของค่าระยะทางที่สามารถเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการเดินทางไปจุดถ่ายโอนสำหรับการพิจารณาหาจุดถ่ายโอนในขั้นตอนที่ 4.3 สำหรับขั้นตอนนี้จะพิจารณาเลือกรถที่มีจุดที่ให้ค่า  $MD_j$  สูงสุดมาพิจารณาการถ่ายโอนก่อน โดยงานที่อยู่ ณ จุดนี้เรียกว่างานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ( $J_d$ )

## 4.2. การหาจุดรถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

จากขั้นตอนก่อนหน้าจะได้งานที่ต้องการถ่ายโอน ( $J_d$ ) ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลความจุน้ำหนัก ความจุปริมาตร จุดรับ จุดส่ง

และกรอบเวลาในการส่งมอบ ในขั้นตอนนี้เป็นการหากรอบเวลาที่สามารถรับมอบงาน  $J_d$  จากรถส่งมอบได้ เนื่องจากเส้นทางที่พิจารณาหลายเส้นทาง ดังนั้นวิธีการพิจารณาหาผู้รถที่เหมาะสมจะใช้วิธีการตัดทอนคำตอบเพื่อหาเส้นทางที่สามารถทำได้จริง โดยมีลำดับการพิจารณาดังนี้

- กำหนดให้จุด  $x$  แทนจุดส่งของงาน  $J_d$  ที่ถูกพิจารณาก่อน
- รถรับมอบจะต้องมีจุด  $x$  เป็นจุดหนึ่งที่ต้องไปทำงาน
- ความจุที่เหลืออยู่ของรถรับมอบก่อนที่จะไปทำงานที่จุด  $x$  ต้องเหลือเพียงพอที่จะบรรจุน้ำหนักและปริมาตรของงานที่ต้องการถ่ายโอนได้ ดังสมการ (2) – (5)

$$V = \sum_{d=1}^D v_d \quad (2)$$

$$W = \sum_{d=1}^D w_d \quad (3)$$

$$LV_{x-1} \geq V \quad (4)$$

$$LW_{x-1} \geq W \quad (5)$$

โดยที่	$D$	คือ เซตของงานส่ง ณ จุด $x$
	$d$	คือ งานส่งอย่างเดียวน, $d \in D$
	$v_d$	คือ ความจุปริมาตรของงานส่ง $d$
	$w_d$	คือ ความจุน้ำหนักของงานส่ง $d$
	$V$	คือ ผลรวมของความจุปริมาตรของกลุ่มงานส่ง
	$W$	คือ ผลรวมของความจุน้ำหนักของกลุ่มงานส่ง
	$LV_{x-1}$	คือ ความจุปริมาตรของรถขนส่งที่เหลืออยู่ก่อนถึงจุด $x$ หนึ่งจุด
	$LW_{x-1}$	คือ ความจุน้ำหนักของรถขนส่งที่เหลืออยู่ก่อนถึงจุด $x$ หนึ่งจุด

- เวลาที่รถรับมอบไปถึงจุด  $x$  ของแผนขนส่งเดิมจะต้องไม่เกินเวลาช้าสุดที่ส่งของได้ (Latest Time) ที่มีค่าน้อยที่สุดของกลุ่มงานส่งที่ต้องการถ่ายโอน ดังสมการ (6) และ (7)

$$t_x \leq l_D \quad (6)$$

$$l_D = \min(l_1, l_2, l_3, \dots) \quad (7)$$

โดยที่	$t_x$	คือ เวลาที่รถรับมอบสินค้าไปถึงจุด $x$
	$l_d$	คือ เวลาช้าสุดที่ส่งของได้ของงานส่งที่ต้องการถ่ายโอน $d$ , $d \in D$
	$l_D$	คือ ค่าน้อยที่สุดของเวลาช้าสุดที่ส่งของได้ของกลุ่มงานส่งที่ต้องการถ่ายโอน

ในขั้นตอนนี้จะได้รถที่มีความสามารถในการรับโอนงานขนส่ง ซึ่งอาจมีรถรับมอบได้มากกว่าหนึ่งคัน ดังนั้นขั้นตอนนี้ถัดไปจะเป็นการพิจารณาเลือกรับมอบที่ดีที่สุดให้กับรถส่งมอบ

#### 4.3. การหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า

จากขั้นตอน 4.2 จะได้รับรถขนส่งที่มีความสามารถรับมอบงานขนส่ง ในขั้นตอนนี้จะเป็นการพิจารณาหาจุดถ่ายโอนสินค้า (Transshipment Point,  $t$ ) และช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อคัดเลือกคู่รถขนส่งที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้า (Increasing Distance,  $ID_t$ ) และเวลารอคอย (Waiting Time,  $WT_t$ ) ที่จุดถ่ายโอนสินค้า  $t$  ใดๆ ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา (Time Window Constraint) โดยมีกระบวนการดังนี้

- จับคู่เส้นทางระหว่างรถส่งมอบและรถรับมอบ
- ในแต่ละคู่เส้นทางทำการแบ่งเส้นทางออกเป็นช่วงๆ (Path) โดยที่
  - การแบ่งเส้นทางของรถส่งมอบจะเริ่มจากจุดสุดท้ายที่รับงาน  $J_a$  ไปจนถึงจุดที่อยู่หลัง  $x$  โดยไม่พิจารณาจุด  $x$
  - การแบ่งเส้นทางของรถรับมอบจะเริ่มจากจุดที่รถสามารถบรรทุกงาน  $J_a$  ได้ไปจนถึงจุด  $x$
- จับคู่ path ที่แบ่งได้ระหว่าง path ของรถส่งมอบและ path ของรถรับมอบ ดังรูปที่ 4(a)
- ในแต่ละคู่ path ทำการหาจุดร่วมที่อยู่ระหว่างกันดังรูปที่ 4(b) โดยใช้วิธีการอินเตอร์เซกชัน (Intersection) ดังสมการ (8)

$$T = A \cap B \cap C \cap D - \{x\} \quad (8)$$

โดยที่	$x$	คือ จุดส่งงานที่สนใจ
	$a - b$	คือ ลำดับการขนส่งจากจุด $a$ ไป $b$ ของ path ของรถส่งมอบ
	$c - d$	คือ ลำดับการขนส่งจากจุด $c$ ไป $d$ ของ path ของรถรับมอบ
	$A$	คือ เซตของจุดที่มีระยะห่างจากจุด $a$ ไม่เกินค่า $\max(d_{ab}, d_{ac}, d_{ad})$
	$B$	คือ เซตของจุดที่มีระยะห่างจากจุด $b$ ไม่เกินค่า $\max(d_{ba}, d_{bc}, d_{bd})$
	$C$	คือ เซตของจุดที่มีระยะห่างจากจุด $c$ ไม่เกินค่า $\max(d_{ca}, d_{cb}, d_{cd})$
	$D$	คือ เซตของจุดที่มีระยะห่างจากจุด $d$ ไม่เกินค่า $\max(d_{da}, d_{db}, d_{dc})$
	$T$	คือ เซตของจุดถ่ายโอนสินค้าที่อยู่ระหว่างคู่เส้นทาง

- เมื่อได้จุดถ่ายโอนสินค้าแล้ว แต่ละจุด  $t$  ให้คำนวณหาค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้านี้ดังสมการ (9) โดยที่ค่าดังกล่าวจะต้องไม่เกินค่า  $MD$  ตั้งต้นดังสมการ (10) จากนั้นคำนวณเวลารอคอยที่เกิดขึ้นดังสมการ (11) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4(c)

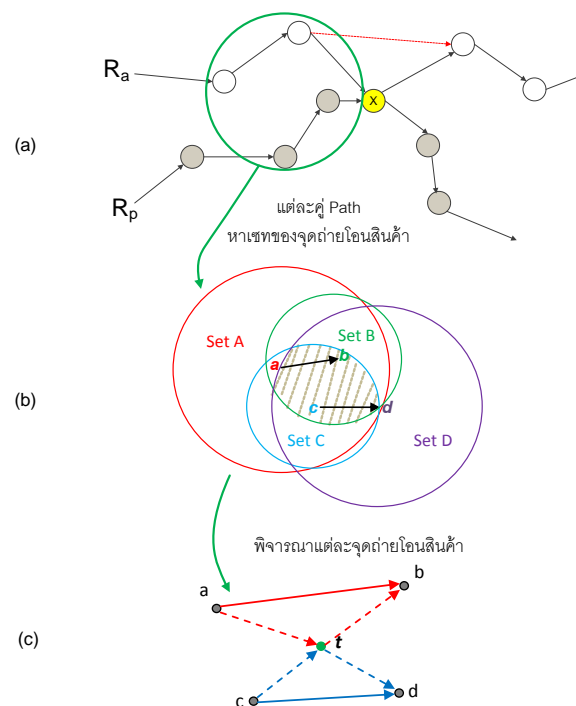
$$ID_t = (d_{at} + d_{tb} - d_{ab}) + (d_{ct} + d_{td} - d_{cd}) \quad (9)$$



$$ID_t < MD \quad (10)$$

$$WT_t = |(T_a + t_{at}) - (T_c + t_{ct})| \quad (11)$$

โดยที่  $ID_t$  คือ ค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งที่จุด  $t$   
 $WT_t$  คือ เวลารอคอยเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งที่จุด  $t$   
 $d_{ij}$  คือ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางจากจุด  $i$  ไปจุด  $j$   
 $t_{ij}$  คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด  $i$  ไปจุด  $j$   
 $T_a$  คือ เวลาที่รถส่งมอบเดินทางไปถึงจุด  $a$   
 $T_c$  คือ เวลาที่รถรับมอบเดินทางไปถึงจุด  $c$



รูปที่ 4 กระบวนการพิจารณาหาจุดถ่ายโอนสินค้า: (a) การแบ่งและจับคู่ path ระหว่างรถส่งมอบและรถรับมอบ; (b) การหาเซตของจุดถ่ายโอนสินค้าระหว่างคู่ path; (c) เส้นทางที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อไปจุดถ่ายโอนสินค้า

ซึ่งถ้าค่า  $(T_a + t_{at}) - (T_c + t_{ct})$  เป็นบวกแสดงว่ารถรับมอบจะเป็นฝ่ายรอ

แต่ถ้าค่า  $(T_a + t_{at}) - (T_c + t_{ct})$  เป็นลบแสดงว่ารถส่งมอบจะเป็นฝ่ายรอ

แต่ถ้าค่า  $(T_a + t_{at}) - (T_c + t_{ct})$  เป็นศูนย์แสดงว่าทั้งรถรับมอบและรถส่งมอบมาเจอกันพอดี

- พิจารณาจุด  $t$  ที่มีค่า  $ID_t$  น้อยที่สุดก่อน ในกรณีที่  $ID_t$  มีค่าเท่ากันให้เลือกจุด  $t$  ที่มี  $WT_t$  น้อยก่อน แล้วทดสอบความเป็นไปได้ (feasible) ของจุด  $t$  โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อข้อจำกัดด้านรอบเวลาที่สามรถขนส่งได้ของลำดับงานที่เหลืออยู่หลังจากถ่ายโอนงาน  $J_a$  ที่จุด  $t$

- ถ้าพบจุด  $t$  ใดมีความเป็นไปได้ที่จะถ่ายโอนสินค้าก่อน ให้ปรับตารางแผนการขนส่งใหม่โดยแทรกการถ่ายโอนสินค้าเข้าไป แล้วเริ่มพิจารณาหาทางที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในขั้นตอนที่ 4.1 ใหม่อีกครั้ง จนกว่าแผนขนส่งดังกล่าวจะไม่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้อีก

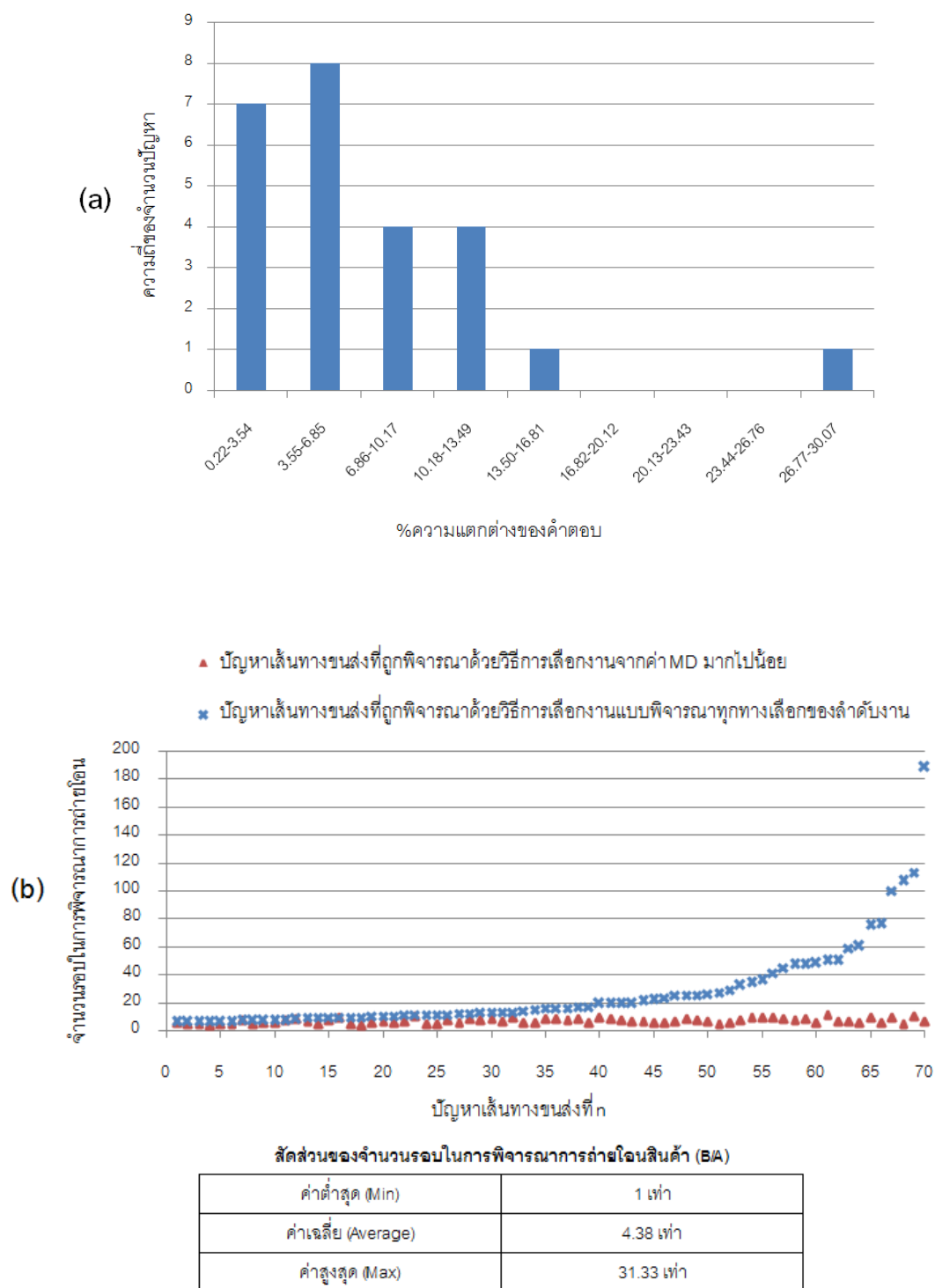
## 5. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นกับแผนการขนส่งตั้งต้นนั้น ฮิวริสติกได้ถูกสร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Basic 2010 Express ที่มีการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลเส้นทางขนส่งในโปรแกรม Microsoft Office Access 2007 ส่วนแผนขนส่งตั้งต้นถูกสร้างจากความต้องการขนส่งด้วยวิธีการ Push Forward Insertion ให้กับรถขนส่งจำนวน 3 คันที่มีความจุเท่ากัน ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่งและกรอบเวลาที่สามารถขนส่งสินค้าได้ โดยที่ข้อมูลความต้องการขนส่งถูกสร้างด้วยวิธีการดังนี้

- สุ่มความต้องการขนส่งจำนวน 8-10 งาน แต่ละงานสุ่มขนาดน้ำหนักที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ของความจุรถขนส่ง โดยที่ขนาดปริมาตรแปรผันตรงกับขนาดน้ำหนัก
- สุ่มจุดรับและจุดส่งภายใต้สถานที่ที่กำหนดขึ้น ซึ่งงานขนส่งทั้งหมดสามารถเริ่มดำเนินการได้ตั้งแต่วันที่ 0 และเวลาสุดท้ายที่สามารถส่งสินค้าได้เกิดจากการสุ่มเวลาที่ 24, 48 และ 72

จากการทดสอบเบื้องต้นกับแผนขนส่งตั้งต้นพบว่าฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นสามารถช่วยลดระยะทางขนส่งได้ โดยพบว่าลำดับของการเลือกงานที่จะพิจารณาถ่ายโอนสินค้ามีผลต่อระยะทางสุดท้ายหรือปริมาณระยะทางขนส่งที่ลดลงได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการเลือกงานแบบเรียงลำดับตามค่าการประหยัดระยะทางสูงสุด (MD) จากค่ามากไปน้อย (วิธี A) จากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกในด้านคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีการเลือกงาน ด้วยวิธี A เปรียบเทียบกับวิธีการเลือกงานแบบพิจารณาทุกทางเลือกของลำดับงาน (วิธี B) โดยในด้านของคำตอบจะวัดความแตกต่างของคำตอบที่ได้จากวิธี A เทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธี B ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะเปรียบเทียบจากจำนวนรอบที่ใช้ในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า

ผลการทดสอบกับปัญหาคำถามตัวอย่างเส้นทางขนส่งจำนวน 70 ปัญหาที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ พบว่าระยะทางสุดท้ายที่ได้จากวิธี A มีคำตอบแตกต่างจากวิธี B เฉลี่ยประมาณ 2.48% ซึ่งจากปัญหาทั้งหมดพบว่ามีจำนวน 45 ปัญหาที่ได้คำตอบเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธี B ส่วนที่เหลือจำนวน 25 ปัญหาได้คำตอบที่ดีน้อยกว่าโดยมีลักษณะการกระจายของค่าความแตกต่างดังรูปที่ 5(a) แต่อย่างไรก็ตามในด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบพบว่าวิธี A ใช้รอบในการพิจารณาค้นหาข้อขัดข้องที่ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี B ดังรูปที่ 5(b) โดยที่วิธี A ใช้จำนวนรอบน้อยกว่าวิธี B เฉลี่ยประมาณ 4.38 เท่า



รูปที่ 5 ผลการทดสอบฮิวริสติกกับตัวอย่างเส้นทาง (a) ด้านคุณภาพของคำตอบ (b) ด้านเวลาในการหาคำตอบ

## 6. สรุปผลวิจัย

บทความนี้เป็นนํานำเสนอวิธีสถิติสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ โดยจะเป็นการปรับปรุงต้นทุนการขนส่งสำหรับเส้นทางการขนส่งทางตรงที่ได้วางแผนไว้แล้ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีสถิติที่ออกแบบขึ้นสามารถลดระยะทางขนส่งโดยรวมลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการขนส่งตั้งต้น จากการสังเกตแผนการขนส่งทางตรงที่จะถ่ายโอนสินค้าได้ดีมักจะเป็นแผนที่มีเส้นทางขนส่งที่จุดหมายปลายทางทับซ้อนกัน นอกจากนี้การเลือกงานด้วยวิธีเรียงลำดับค่า MD จากมากไปน้อย แม้จะได้คำตอบที่ดีไม่เท่ากับการพิจารณาทุกทางเลือกของลำดับงาน แต่วิธีนี้สามารถลดระยะเวลาการหาคำตอบลงได้ อย่างไรก็ตามปัญหาหนึ่งที่จะตามมาจากการลดระยะทางด้วยการถ่ายโอนสินค้าคือการเกิดเวลารอคอยนานปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่ขอบเขตการรอคอยเข้าไปในส่วนการตัดสินใจดังสมการ (12) เพื่อใช้เป็นข้อจำกัดสำหรับการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า โดยที่ขอบเขตการรอคอยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน

$$WT_t \leq \text{Maximum Waiting Time} \quad (12)$$

## บรรณานุกรม

- [1] อัคร พิศาลวานิช, "การศึกษาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยและการวิเคราะห์ผลกระทบจากราคาน้ำมัน," วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, ปีที่ 30, ฉบับที่ 1, 2553.
- [2] ไชยยศ ไชยมั่นคง และ มยุขพันธ์ ไชยมั่นคง, กลยุทธ์โลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อแข่งขันในตลาดโลก, นนทบุรี: ซี.วาย. ซี.เอ็ม. พรินติ้ง จำกัด, 2550.
- [3] ณกร อินทร์พยุ่ง, การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและโลจิสติกส์, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2548.
- [4] B. Eksioglu, A. V. Vural and A. Reisman, "The vehicle routing problem: A taxonomic review," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 57, no. 4, pp. 1472-1483, 2009.
- [5] M. W. P. Savelsbergh and M. Sol, "The general pickup and delivery problem," *Transportation Science*, vol. 29, pp. 17-29, 1995.
- [6] กฤตณภัทร สวาสดี, "การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.
- [7] S. Mitrovic-Minic and G. Laporte, "The pickup and delivery problem with time windows and transshipment," *INFOR*, vol. 44, no. 3, pp. 217-217-227, 2006.
- [8] C. Mues and S. Pickl, "Transshipment and time windows in vehicle routing," in *the 8th International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN'05)*, 2005, pp.113-119.
- [9] R. Dondo, C. A. Méndez and J. Cerdá, "The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 35, pp. 3002-3024, 2011.
- [10] M. Drexler, "Branch-and-price and heuristic column generation for the generalized truck-and-trailer routing problem," *Quantitative Methods for Economics and Business Administration*, vol.12, pp. 5-38, 2011.

- [11] J. S. Shang and C. K. Cuff, "Multicriteria pickup and delivery problem with transfer opportunity," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 30, pp. 631-645, 1996.
- [12] S. R. Thangiah, A. Fergany and S. Awan, "Real-time split-delivery pickup and delivery time window problems with transfer," *Central European Journal of Operations Research*, vol. 15, no. 4, pp. 329-349, 2007.
- [13] P. Bouros, D. Sacharidis, T. Dalamagas, and T. K. Sellis, "Dynamic Pickup and Delivery with Transfers," in *Proc. SSTO*, 2011, pp.112-129.
- [14] M. Drexel, "Synchronization in Vehicle Routing-A Survey of VRPs with Multiple Synchronization Constraints," Gutenberg School of Management and Economics, Johannes Gutenberg University Mainz, no. 1103, 2011.

## ภาคผนวก

ในส่วนนี้จะแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อให้เห็นภาพของกระบวนการพิจารณาถ่ายโอนสินค้าที่ออกแบบขึ้น ซึ่งเริ่มพิจารณาจากตัวอย่างแผนขนส่งตั้งต้นดังตารางที่ 1 โดยที่รถขนส่งแต่ละคันมีความจุด้านน้ำหนักเท่ากับ 1000 หน่วย และความจุปริมาตรเท่ากับ 20 หน่วย ซึ่งในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าจะต้องใช้ข้อมูลงานขนส่งดังตารางที่ 2 ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่ดังตารางที่ 3 และข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่ดังตารางที่ 4 มาร่วมประกอบการพิจารณาด้วย

ตารางที่ 1 รายละเอียดเส้นทางขนส่งของตัวอย่างแผนขนส่งตั้งต้น (+ คือ รับงาน, - คือ ส่งงาน)

รถขนส่งคันที่ n	เวลาที่ t	สถานที่	งานขนส่ง	ความจุบรรทุกที่เหลืออยู่	
				น้ำหนัก	ปริมาตร
1	0	A	+1	900	18
	12	C	-1	1000	20
2	0	B	+8	600	12
			+9	100	2
	5	E	-8	500	10
			+4	0	0
	15	H	-9	500	10
	18	D	-4	1000	20
3	0	C	+5	700	14
			+6	500	10
	12	F	+2	300	6
			+7	200	4
	18	G	-5	500	10
			-7	600	12
			+3	200	4
	22	B	-3	600	12
	27	E	-6	800	16
	44	C	-2	1000	20
ระยะทางรวม			4358		

ตารางที่ 2 ข้อมูลงานขนส่ง

งานขนส่งที่ n	น้ำหนัก	ปริมาตร	จุดรับ	จุดส่ง	เวลาเริ่ม	เวลาสิ้นสุด
1	100	2	A	C	0	24
2	200	4	F	C	0	48
3	400	8	G	B	0	72
4	500	10	E	D	0	24
5	300	6	C	G	0	48
6	200	4	C	E	0	72
7	100	2	F	G	0	24
8	400	8	B	E	0	48
9	500	10	B	H	0	72

ตารางที่ 3 ระยะทางระหว่างสถานที่

From/To	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	762	700	300	700	990	640	361
B	762	-	806	700	300	400	224	500
C	700	806	-	400	990	700	583	447
D	300	700	400	-	762	806	510	200
E	700	300	990	762	-	700	447	583
F	990	400	700	806	700	-	361	640
G	640	224	583	510	447	361	-	316
H	361	500	447	200	583	640	316	-

ตารางที่ 4 ระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่

From/To	A	B	C	D	E	F	G	H
A	-	13	12	5	12	17	11	6
B	13	-	13	12	5	7	4	8
C	12	13	-	7	17	12	10	7
D	5	12	7	-	13	13	9	3
E	12	5	17	13	-	12	7	1
F	17	7	12	13	12	-	6	11
G	11	4	10	9	7	6	-	5
H	6	8	7	3	1	11	5	-

### ขั้นตอนที่ 1 หางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

จากตารางที่ 1 พบว่า

รถคันที่ 1 มีงานส่งอย่างเดียวที่จุด C มีค่า  $MD = d_{AC} = 700$  หน่วย

รถคันที่ 2 มีงานส่งอย่างเดียวที่จุด H มีค่า  $MD = d_{EH} + d_{HD} - d_{ED} = 21$  หน่วย

D มีค่า  $MD = d_{HD} = 200$  หน่วย

รถคันที่ 3 มีงานส่งอย่างเดียวที่จุด B มีค่า  $MD = d_{GB} + d_{BE} - d_{GE} = 77$  หน่วย

E มีค่า  $MD = d_{BE} + d_{EC} - d_{BC} = 484$  หน่วย

C มีค่า  $MD = d_{EC} = 990^*$  หน่วย

เนื่องจากรถคันที่ 3 ที่จุด C มี  $MD$  ค่ามากที่สุด ดังนั้นจะเลือกถ่ายโอนงาน ณ จุด C (งาน 2)

### ขั้นตอนที่ 2 หาสูตรที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

- หารถคันอื่นที่ไปจุด C (จุดส่งของงาน 2) ซึ่งมีแค่คันเดียวคือรถคันที่ 1
- เนื่องจากงานที่สนใจถ่ายโอนคืองานที่ 2 ซึ่งมีความจุด้านน้ำหนักรวม ( $W$ ) เท่ากับ 200 หน่วย และปริมาตรรวม ( $V$ ) เท่ากับ 4 หน่วย ซึ่งรถคันที่ 1 ก่อนที่จะมาทำงานที่จุด C มีความจุบนรถขนส่งด้านน้ำหนักและปริมาตรเหลือเท่ากับ 900 หน่วย และ 18 หน่วยตามลำดับ แสดงว่ารถคันที่ 1 มีความสามารถในการบรรทุกงาน 2 ได้
- เนื่องจากงาน 2 มีเวลาช้าสุดที่ส่งของได้คือเวลาที่ 48 ซึ่งรถคันที่ 1 ไปทำงานที่จุด C เวลาที่ 12 ดังนั้นรถขนส่งคันนี้สามารถไปส่งงาน 2 ที่จุด C ได้
- ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะได้รับมอบคือ รถคันที่ 1

### ขั้นตอนที่ 3 หาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า

- รถส่งมอบคือรถคันที่ 3 แบ่งเส้นทางได้คือ F-G, G-B, B-E และ E-C
- รถรับมอบคือรถคันที่ 1 แบ่งเส้นทางได้คือ A-C
- จับคู่เส้นทางได้ 4 คู่ คือ F-G กับ A-C, G-B กับ A-C, B-E กับ A-C และ E-C กับ A-C
- ในแต่ละคู่ให้หาจุดถ่ายโอนสินค้าที่อยู่ระหว่างเส้นทางยกตัวอย่างเช่น กรณี F-G กับ A-C
 

Set $F = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$	เนื่องจาก $\max(d_{FG}, d_{FA}, d_{FC}) = 990$ หน่วย
Set $G = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$	เนื่องจาก $\max(d_{GF}, d_{GA}, d_{GC}) = 640$ หน่วย
Set $A = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$	เนื่องจาก $\max(d_{AF}, d_{AG}, d_{AC}) = 990$ หน่วย
Set $C = \{A, C, D, F, G, H\}$	เนื่องจาก $\max(d_{CF}, d_{CG}, d_{CA}) = 700$ หน่วย

ดังนั้น Set  $T = \{A, D, F, G, H\}$
- แต่ละจุดถ่ายโอนนำไปคำนวณหาค่า  $ID$  ตัวอย่างเช่น ถ้าจุดถ่ายโอนเป็นจุด G ของคู่เส้นทาง F-G กับ A-C ดังนั้นค่า  $ID$  มีค่าเท่ากับ  $(d_{FG} + d_{GG} - d_{FG}) + (d_{AG} + d_{GC} - d_{AC}) = 523$  หน่วย
- เช็คว่า  $ID$  จะต้องไม่เกินค่า  $MD$  ( $523 < 990$ )
- เมื่อได้ค่า  $ID$  ของจุดถ่ายโอนสินค้าทั้งหมดแล้ว ให้เลือกจุดถ่ายโอนที่มีค่า  $ID$  ต่ำสุด ซึ่งในที่นี้คือจุด G ของคู่เส้นทาง F-G กับ A-C
- ตรวจสอบเวลารอคอยที่เกิดขึ้น  $WT = |(18 + 0) - (0 + 11)| = 7$  หน่วย โดยที่รถรับมอบเป็นฝ่ายรอ (รถคันที่ 1)
- ตรวจสอบความเป็นไปได้ (Feasibility) ของแผนขนส่งที่มีการถ่ายโอนสินค้านี้ตามตารางที่ 5 โดยตรวจสอบเวลาขนส่งที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นไปตาม Time Window Constraint
- ถ้าการถ่ายโอนใดเป็นไปได้จริง ให้ปรับตารางขนส่งแล้วเริ่มพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าใหม่อีกครั้ง



ตารางที่ 5 รายละเอียดเส้นทางขนส่งของตัวอย่างแผนขนส่งที่มีการถ่ายโอนสินค้า (+ คือ รับงาน, - คือ ส่งงาน)

รถขนส่งคันที่ n	เวลาที่ t	สถานที่	งานขนส่ง	ความจุบรรทุกที่เหลืออยู่	
				น้ำหนัก	ปริมาตร
1	0	A	+1	900	18
	11	G		900	18
	<b>18</b>	<b>G</b>	<b>+2</b>	700	14
	28	C	-1	800	16
		C	-2	1000	20
2	0	B	+8	600	12
			+9	100	2
	5	E	-8	500	10
			+4	0	0
	15	H	-9	500	10
	18	D	-4	1000	20
3	0	C	+5	700	14
			+6	500	10
	12	F	+2	300	6
			+7	200	4
	<b>18</b>	<b>G</b>	<b>-2</b>	400	8
			-5	700	14
			-7	800	16
			+3	400	8
	22	B	-3	800	16
	27	E	-6	1000	20
ระยะทางรวม			3891		

