วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 ม.ค.–เม.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 1, Jan.–Apr. 2017

บทความวิจัย

การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการจัดสรรเส้นทางการรับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย

ภิกชญา คงแก้ว* และ ธนัญญา วสุศรี
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-6955-8998 อีเมล: p.pikchaya@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.04.001
รับเมื่อ 1 กรกฎาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 7 เมษายน 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 4 ตุลาคม 2559
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันกลุ่มธุรกิจค้าปลีกส่วนใหญ่ใช้วิธีการสั่งซื้อสินค้าจำนวนมากต่อการสั่งซื้อสินค้าหนึ่งครั้ง เพื่อให้ต้นทุนต่อหน่วยลดลง ช่วยเพิ่มอำนาจในการต่อรองกับผู้ขายหรือผู้ผลิตสินค้า และสามารถส่งสินค้าคืนได้ในกรณีที่สินค้าเหลือจากการขายเป็นจำนวนมากหรือเมื่อสินค้ามีสภาพชำรุด กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นบริษัทค้าปลีกที่ต้องการปรับเปลี่ยนรูปแบบการกระจายสินค้าไปยังร้านค้าสาขาจำนวน 9 สาขา ให้ไปส่งและรับสินค้ากลับในเวลาเดียวกัน ด้วยเหตุนี้ ทำให้ปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถยากและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสินค้ามีขนาดและน้ำหนักที่หลากหลาย ซึ่งมีประเภทสินค้าทั้งหมด 4,652 รายการ นอกจากนี้จำนวนรถขนส่งสินค้าที่พร้อมใช้งานมีจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุก 4 ล้อ 6 ล้อ และ 10 ล้อ ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้มีจุดหมายเพื่อพัฒนาฮิวริสติกจากหลักการของ Clarke and Wright Saving Algorithm โดยเพิ่มกระบวนการเลือกยานพาหนะและปรับเปลี่ยนวิธีการเลือกลูกค้าลำดับถัดไป สำหรับการจัดสรรเส้นทางการรับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย พร้อมกับสร้างโปรแกรมรองรับการนำมาใช้งานจริง จากนั้นนำมาทดลองใช้จัดเส้นทางการเดินรถด้วยข้อมูลจริงจำนวน 5 ชุด พบว่าจำนวนยานพาหนะที่ใช้ลดลงเฉลี่ย 27.38 % และสามารถลดระยะทางขนส่งเฉลี่ย 35.52 %

คำสำคัญ: ฮิวริสติก, การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า, การรับและส่งสินค้า, VBA

การอ้างอิงบทความ: ภิกชญา คงแก้ว และ ธนัญญา วสุศรี, "การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อการจัดสรรเส้นทางการรับและส่งสินค้าที่มีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 27, ฉบับที่ 1, หน้า 111–123, ม.ค.–เม.ย. 2560

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 27 ฉบับที่ 1 ม.ค.–เม.ย. 2560
The Journal of KMUTNB., Vol. 27, No. 1, Jan.–Apr. 2017

Research Article

A Heuristic Development for a Pickup and Delivery Problem under Multiple Type and Weight Constraints

Pikchaya Khongkaew* and Thananya Wasusri
Logistics Management, Graduate School of Management and Innovation, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-6955-8998, E-mail: p.pikchaya@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.04.001
Received 1 July 2015; Accepted 7 April 2016; Published online: 4 October 2016
© 2017 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Nowadays, the retail business sector often orders a large order quantity in order to reduce the unit costs and to gain more negotiation power with suppliers an manufacturers. The suppliers or manufacturers will then be requested to accept the products returned once the products are unsold or damaged. The case study of this research concerns a retail business that wants to develop a distribution model for its 9 stores with taking delivery and pickup activities into account. There were 4,652 different product items regarding size and weight. In addition, three types of vehicles were available: 4-wheel trucks, 6-wheel trucks and 10-wheel trucks. Those parameters increase the difficulty in vehicle routing planning. This research aimed to develop a heuristic algorithm from the Clarke and Wright Saving Algorithm by adding the selected vehicles and modifying the way in which the next customer was selected for the appropriate routing for pickup and delivery under multiple type and weight constraints, and also to create a software program to apply this heuristic algorithm for real implementation. The results from the 5 experiments revealed that the average number of vehicles and the average distance were decreased by 27.38 % and 35.52% respectively.

Keywords: Heuristic, Routing, Pickup and Delivery, Visual Basic Application (VBA)

Please cite this article as: P. Khongkaew and T. Wasusri, "A heuristic development for a pickup and delivery problem under multiple type and weight constraints," *The Journal of KMUTNB.*, vol. 27, no. 1, pp. 111–123, Jan.–Apr. 2017 (in Thai).

1. บทนำ

ในปัจจุบันกลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจค้าปลีกให้ความสนใจกับการสั่งซื้อสินค้าจำนวนมากต่อการสั่งซื้อสินค้าหนึ่งครั้งมากยิ่งขึ้น เพราะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยของผู้ค้าปลีกลดลง และช่วยเพิ่มอำนาจในการต่อรองกับผู้ขายสินค้าหรือผู้ผลิตให้สามารถส่งสินค้าคืนได้กรณีที่สินค้าเหลือจากการขายเป็นจำนวนมากหรือเมื่อสินค้ามีสภาพชำรุด บริษัทผู้ค้าปลีกจึงต้องหาวิธีกระจายสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้ได้มากที่สุด เพื่อตอบรับรูปแบบการกระจายสินค้าที่ส่งสินค้าแล้วต้องรับสินค้าคืนจากปลายทาง (Pickup and Delivery; PD) ด้วยเหตุนี้ทำให้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดสรรเส้นทางการเดินรถมีรูปแบบ PD ที่รองรับการขนส่งสินค้าที่มีชนิดของสินค้า รูปร่าง ขนาด และบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการขนส่งที่หลากหลาย

กรณีศึกษาเป็นธุรกิจค้าปลีกที่จัดจำหน่ายสินค้าอุปโภคและบริโภค ที่มีรายการสินค้าทั้งหมด 4,652 รายการ มีจำนวนร้านรวมสาขา 9 ร้าน และมีคลังสินค้า 1 แห่ง การไหลของสินค้าเริ่มต้นจากผู้ขายสินค้า (Supplier) ส่งสินค้าตามที่กำหนดไว้ในใบสั่งซื้อไปยังคลังสินค้า จากนั้นจะถูกส่งไปยังร้านค้าสาขาเมื่อมีคำสั่งส่งสินค้า นอกจากนี้ยังมีการไหลกลับของสินค้าหรือการรับสินค้าคืนจากร้านสาขา จากกระบวนการการดำเนินงานของกรณีศึกษาในข้างต้นเมื่อเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งสินค้ามาเป็นแบบ PD มีสิ่งต้องคำนึงถึงคือ ปริมาณสินค้า และน้ำหนัก ที่ไปรับกลับจากร้านค้าสาขานั้นๆ ด้วย เพื่อทำให้ใช้จำนวนรถขนส่งสินค้าให้น้อยคันที่สุด และมีระยะทางรวมต่ำที่สุด นอกจากนั้นวิธีที่นำมาใช้วางแผนนั้นจะต้องง่าย สะดวกต่อการใช้ง่าย ใช้เวลาวางแผนไม่นาน และผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางมีความเหมาะสม

งานวิจัยฉบับนี้จึงพัฒนาฮิวริสติกมาจากหลักการของ Clarke and Wright Saving Algorithm [2] โดยมีการเพิ่มกระบวนการในการเลือกยานพาหนะเพื่อรองรับกรณีที่มียานพาหนะหลายชนิด และปรับเปลี่ยนวิธีการคัดเลือกลูกค้ารายถัดไป พร้อมกับสร้างโปรแกรมรองรับการใช้งานสำหรับการจัดสรรเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าที่มีรูปแบบของการขนส่งสินค้าแบบ PD กรณีที่สินค้ามีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลายโดยมีเป้าหมาย คือ จำนวนยานพาหนะที่ใช้งาน และระยะทางรวมของการส่งและรับสินค้ามีค่าน้อยที่สุด

1.1 Vehicle Routing Problem

ในปี 1959 Danzig และ Ramser [1] ได้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงการจัดการ และการแก้ไขปัญหาโดยยึดหลักตาม Integer Programming ที่เป็นการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย หรือ The Traveling Salesman Problem (TSP) จากนั้นมีการนำปัญหานี้ไปหาวิธีแก้ไขกันอย่างกว้างขวางจึงทำให้มีงานวิจัยหรือบทความวิจัยที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับปัญหา TSP จำนวนมาก ต่อมาในปี 1964 Clark และ Wright [2] ได้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหา TSP กรณีที่พาหนะขนส่งมีมากกว่า 1 คัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวคือ Vehicle Routing Problem (VRP) แต่ไม่ได้นิยาม VRP ในงานวิจัย จนกระทั่งในปี 1972 Golden Magnati และ Nguyan [3] ได้นำนิยามคำว่า VRP มาใช้ในงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เป็นครั้งแรก หลังจากนั้น นักวิจัยจำนวนมากจึงให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการเพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหา VRP โดยมีการเพิ่มข้อจำกัดต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป

สำหรับปัญหา VRP เป็นการหาเส้นทางการเดินรถที่ใช้สำหรับการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยที่ทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีผลรวมของค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยรถบรรทุกสินค้ามีจุดเริ่มต้นที่ศูนย์กระจายสินค้า กระจายสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ และมีจุดสิ้นสุดอยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้าเหมือนเดิม เรียกว่า Closed VRP แต่หากเป็นกรณีที่รถบรรทุกสินค้ามีจุดเริ่มต้นที่ศูนย์กระจายสินค้า กระจายสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ แต่จุดสิ้นสุดไม่ได้อยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้าจะเรียกว่า Open VRP จากนั้นในปี 2002 Toth P. และ Vigo D. [4] ได้เสนอเป้าหมายหลักที่นิยมใช้ในการวางแผนการจัดเส้นทาง มีดังนี้

1. เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า

2. เพื่อลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง

3. เพื่อลดระยะทางในการเดินรถขนส่งสินค้า

4. เพื่อลดทั้งค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่ และค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันคือ ลดจำนวนของรถขนส่งสินค้า เวลา และระยะทางในการเดินทาง

1.2 Pickup and Delivery

ในปี 1997 Mosheiov G. ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินการเดินรถ กรณีที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการจัดหาชุดของเส้นทางรถที่ให้บริการลูกค้าสำหรับการแก้ปัญหาการส่งมอบ และลด Backhaul ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการขนส่งสินค้าที่เรียกว่า Pickup and Delivery (VRPPD) ที่มีรูปแบบการขนส่งสินค้าที่ไปส่งและต้องไปรับสินค้ากลับคืนมาด้วย ซึ่งสอดคล้องกับที่ Toth และ Vigo [4] ได้นิยามความหมายของ Pickup and Delivery ว่าเป็นปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าในกรณีที่มีรูปแบบการขนส่งที่มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน แต่ระหว่างการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย รถขนส่งสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้าแล้วจะต้องรับสินค้ากลับจากลูกค้ารายนั้นๆ ด้วย โดยมีข้อจำกัดที่ต้องคำนึงถึงคือความสามารถของปริมาณการบรรทุกของรถขนส่งสินค้า

จากการศึกษาทฤษฎีที่กล่าวมาในข้างต้นพบว่าปัญหาของกรณีศึกษานี้ คือ การจัดสรรเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าหรือ VRP ที่มีรูปแบบการกระจายสินค้าแบบ Pickup and Delivery ในกรณีที่สินค้ามีขนาดและน้ำหนักที่หลากหลาย มีเป้าหมายคือ ผลลัพธ์ของการจัดสรรเส้นทางการเดินรถจะต้องมีจำนวนยานพาหนะที่ใช้งานและระยะทางรวมของการส่งและรับสินค้ามีค่าน้อยที่สุด

1.3 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

ปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถ หรือ VRP มีการศึกษาไว้มากมาย ซึ่งเครื่องมือที่นำมาใช้แก้ปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดคือการใช้วิธีฮิวริสติกและการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยตัดสินใจแต่กรณีที่ต้องการแก้ไขปัญหาเพื่อ รองรับกรณีศึกษาใดๆ หรือใช้งานจริงนิยมใช้วิธีฮิวริสติก

วิธีฮิวริสติกที่ได้รับความนิยมคือวิธี Saving จัดเป็นฮิวริสติกชนิด Constructive หมายถึงกระบวนการต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับการแก้ไขปัญหา และทำให้ได้คำตอบที่ต้องการ วิธี Saving Algorithm ถูกเสนอโดย Clarke และ Wright ในปี 1964 [2] และต่อมาวิธีนี้กลายเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติ เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สำหรับปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก นอกจากนั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้โดยไม่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วยประมวลผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ค่าความประหยัด (Saving) คือ ค่าของปัจจัยต่างๆ ที่สนใจที่สามารถลดได้ เช่น ระยะทาง ต้นทุน ระยะเวลา เป็นต้น ดังนั้น ค่าความประหยัดสูง หมายถึงสามารถลดค่าปัจจัยนั้นๆ ได้มาก ซึ่งค่าความประหยัดเขียนแทนด้วย S_{ij} หมายถึง ค่าความประหยัดระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j ดังสมการที่ (1)

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij} \quad (1)$$

โดยที่

0 คือจุดเริ่มต้นในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้า i และ j

S_{ij} คือค่าประหยัดระหว่างจุดส่งสินค้า i และ j

d_{0i} คือค่าประหยัดระหว่างจุดส่งสินค้า 0 และ j

d_{0j} คือค่าประหยัดระหว่างจุดส่งสินค้า 0 และ j

d_{ij} คือค่าประหยัดระหว่างจุดส่งสินค้า i และ j

ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้วิธีฮิวริสติกมาหาผลลัพธ์ เช่น การแก้ไขปัญหา VRP โดยคำนึงถึงต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม [5] ฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางการเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง [6] การประยุกต์ใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมในปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งอิฐบล็อก [7] การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการด้านธุรกิจขนส่งสินค้า [8]

การพัฒนาระบบเว็บสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการจัดเส้นทางการเดินรถรับส่งพนักงานโดยใช้แผนที่กูเกิ้ล [9] การขนส่งลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็ง [10] ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการจัดสรรเส้นทางการกระจายสินค้า [11]

จากการศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า พบว่าการแก้ไขปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถสำหรับการขนส่งที่มีรูปแบบ PD ในกรณีที่สินค้ามีขนาด และน้ำหนักที่หลากหลาย สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการจัดสรรเส้นทางการเดินรถที่ดีที่สุด และวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถที่มีความซับซ้อนเพื่อความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงเนื่องจากใช้งานง่าย และได้ผลลัพธ์เหมาะสม เป็นที่น่าพอใจภายในเวลาที่ต้องการ

2. การจัดสรรเส้นทางการเดินรถด้วยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดสรรเส้นทางการเดินรถของกรณีศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ คือต้องการวางแผนการขนส่งสินค้ารองรับรูปแบบการขนส่งแบบ PD กรณีที่สินค้ามีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย เพื่อกระจายสินค้าจากคลังสินค้า 1 แห่งไปยังร้านค้าสาขา 9 ร้านสาขา โดยมีเป้าหมายให้ระยะทางรวมของการส่งสินค้าต่ำที่สุด

2.1 ดัชนี (Indices)

i ดัชนีแทนลำดับของร้านสาขาที่ i

j ดัชนีแทนลำดับของร้านสาขาที่ j

k ดัชนีแทนลำดับของรถบรรทุกสินค้าคันที่ k

2.2 Sets

$\{0\}$ เซตตัวแทนของคลังสินค้า (มีแห่งเดียว)

S เซตของร้านสาขาทั้งหมด

S_e เซตของร้านสาขาที่เป็นตัวแทนของร้านสาขาที่ได้รับบริการรับหรือคืนสินค้า

S_u เซตของร้านสาขาที่เป็นตัวแทนของร้านสาขาที่ยังไม่ได้ที่เป็นตัวแทนของร้านสาขา

S_{eu} เซตของร้านสาขาที่เป็นตัวแทนของร้านสาขาที่ยังไม่ได้ที่ได้รับบริการรับหรือคืนสินค้าและยังไม่ได้รับที่ยังไม่ได้บริการรับหรือคืนสินค้า

K เซตของรถบรรทุกสินค้าทั้งหมด

2.3 ข้อมูลนำเข้า (Input Parameters)

M จำนวนที่มีค่ามาก (Big M)

QD_j จำนวนพาเลทที่ต้องส่งให้ร้านสาขาที่ j

QP_j จำนวนพาเลทที่ต้องรับจากร้านสาขาที่ j

WD_j น้ำหนักของสินค้าที่ต้องส่งให้ร้านสาขาที่ j

WP_j น้ำหนักของสินค้าที่ต้องรับจากร้านสาขาที่ j

C_k ปริมาณจำนวนพาเลทที่รถคันที่ k บรรทุกได้

C_k ปริมาณน้ำหนักของสินค้าที่ k บรรทุกได้

2.4 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

Q_{jk} จำนวนพาเลทเมื่อมาถึงร้านสาขาที่ j ด้วยที่ยังไม่ได้รถบรรทุกสินค้าคันที่ k

W_{jk} น้ำหนักของสินค้าเมื่อมาถึงร้านสาขาที่ j ด้วยที่ยังไม่ได้รถบรรทุกสินค้าคันที่ k

x_{ijk} การตัดสินใจเดินทางจากร้านสาขาที่ i ไปยังที่ยังไม่ได้ร้านสาขาที่ j ด้วยรถคันที่ k

โดย

$x_{ijk} = 1$ หมายถึง ยานพาหนะ k เดินทางจากจุด i ไปส่งและรับสินค้าที่จุด j

$x_{ijk} = 0$ หมายถึง ยานพาหนะ k ไม่เดินทาง จากจุด i ไปส่งและรับสินค้าที่จุด j

Objective

$$min\, z = \sum_{i \in S} \sum_{j \in S_{eu}} \sum_{k \in K} d_{ij} x_{ijk} \qquad (2)$$

Subject to

1. การตัดสินใจจากจุด i ไปส่งและรับสินค้าที่จุด j จะต้องใช้ยานพาหนะไม่ซ้ำกัน

$$\sum_{j\in S}\sum_{k\in K}x_{ijk}=1, \qquad \forall i\in S_{eu}, \tag{3}$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{k\in K}x_{ijk}=1, \qquad \forall j\in S_{eu}, \tag{4}$$

2. เมื่อมีการเดินทางเข้าโหนดใดๆ จะต้องมีการเดินทางออกจากโหนดนั้นนั้นด้วย

$$\sum_{i\in S}x_{ipk}-\sum_{j\in S}x_{pjk}=0, \qquad \forall p\in S,k\in K, \tag{5}$$

3. สำหรับการเดินทางจากจุดเริ่มต้น i ใดๆ ไปยังปลายทาง j ใดๆ จำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าที่ยานพาหนะ k บรรทุกจะต้องไม่เกินจำนวนพาเลทและน้ำหนักที่จะต้องส่งยังปลายทาง j

$$Q_{jk}\geq QD_j-M(1-\sum_{j\in S}x_{ijk}), \quad \forall i\in S_{eu},k\in K, \tag{6}$$

$$W_{jk}\geq WD_j-M(1-\sum_{j\in S}x_{ijk}), \quad \forall i\in S_{eu},k\in K, \tag{7}$$

4. เมื่อเดินทางรับ-ส่งสินค้าในแต่ละช่วง จำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ

For All $i\in S_{eu},k\in K$

$$\left(Q_{ik}-QD_i+QP_i\right)-M(1-\sum_{j\in S}x_{ijk})\leq C_k, \tag{8}$$

$$\left(W_{ik}-WD_i+WP_i\right)-M(1-\sum_{j\in S}x_{ijk})\leq C_k, \tag{9}$$

5. จำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าจะต้องมีค่าไม่เกินจำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าเมื่อเริ่มต้นออกจากคลังสินค้า

$$Q_{jk}\leq \hat{Q}_k+M\left(1-x_{0jk}\right), \qquad \forall j\in S_u,k\in K \tag{10}$$

$$W_{jk}\leq \hat{W}_k+M\left(1-x_{0jk}\right), \ \forall j\in S_u,k\in K \tag{11}$$

6. การกำหนดค่าของจำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าที่เหลืออยู่ในยานพาหนะคันที่ k ก่อนจะต้องไปส่งยังปลายทาง j (กรณีที่โหนด i และ j ที่ยังไม่ได้รับบริการเลย)

For All $i\in S_u,j\in S_u,k\in K$

$$Q_{jk}\geq Q_{ik}-QD_i+QP_i-M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{12}$$

$$Q_{jk}\leq Q_{ik}-QD_i+QP_i+M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{13}$$

$$W_{jk}\geq W_{ik}-WD_i+WP_i-M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{14}$$

$$W_{jk}\leq W_{ik}-WD_i+WP_i+M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{15}$$

7. การกำหนดค่าของจำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าที่เหลืออยู่ในยานพาหนะคันที่ k ก่อนจะต้องไปส่งยังปลายทาง j (กรณีที่โหนด i ได้รับการบริการแล้วแต่ j ยังไม่ได้รับบริการ)

For All $i\in S_e,j\in S_u,k\in K$

$$Q_{jk}\geq Q_{ik}-QD_i+QP_i-M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{16}$$

$$Q_{jk}\leq \bar{Q}_{ik}-QD_i+QP_i+M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{17}$$

$$W_{jk}\geq \bar{W}_{ik}-WD_i+WP_i-M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{18}$$

$$W_{jk}\geq \bar{W}_{ik}-WD_i+WP_i+M\left(1-x_{ijk}\right), \tag{19}$$

8. การตัดสินใจจากจุด i ไปส่งและรับสินค้าที่จุด j ยานพาหนะ k จะต้องเป็น 0 หรือ 1

$$x_{ijk}\in\{0,1\}, \qquad \forall i\in S,j\in S,k\in K, \tag{20}$$

จากการการแก้ปัญหาการจัดสรรเส้นทางด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่ามีความซับซ้อนมากและไม่มีความยืดหยุ่นในการนำไปใช้งานเพื่อการแก้ไขปัญหา

การจัดสรรเส้นทางการเดินรถของกรณีศึกษานี้ ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงพัฒนาฮิวริสติกพร้อมกับพัฒนาโปรแกรมที่สามารถรองรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าวและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

3. การจัดสรรเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติก

การพัฒนาฮิวริสติกเพื่อรองรับรูปแบบการขนส่งสินค้าแบบ PD ของธุรกิจค้าปลีกที่สินค้ามีชนิดและน้ำหนักที่หลากหลาย จะต้องคำนึงถึงปริมาณและน้ำหนักของสินค้าขาส่งและขารับกลับ โดยมีเป้าหมายคือ จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด

ด้วยเหตุนี้ ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นจึงแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การสุ่มเลือกรถขนส่งสินค้า จะคำนึงจำนวนพาเลทและน้ำหนักของสินค้าที่เหลือทั้งหมดที่จะต้องไปรับและส่งยังร้านสาขาเพื่อเลือกใช้ยานพาหนะให้คุ้มค่ามากที่สุด มีขั้นตอนดังรูปที่ 1

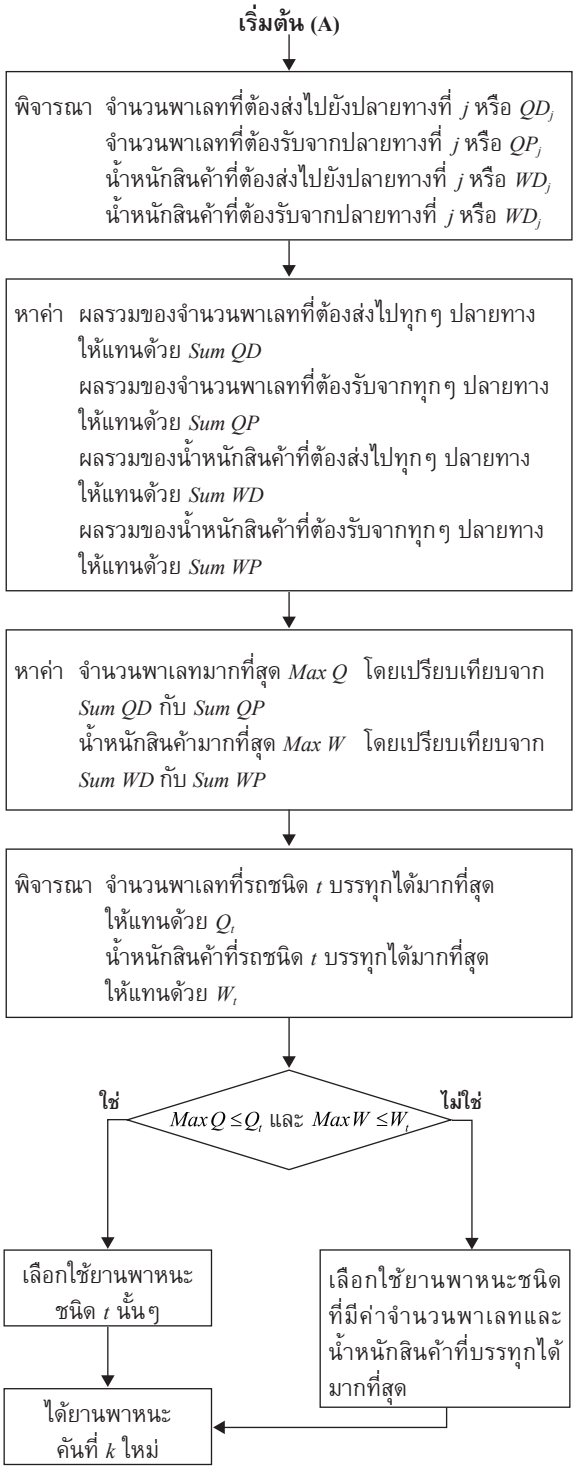
2. การเลือกจุดหมายโดยนำหลักการของ Clarke and Wright Saving Algorithm มาประยุกต์ใช้ คือการคำนวณค่า Saving ของการเดินทางจากจุด i ไป j เพื่อนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกจุดหมายปลายทางถัดไป จากเดิมตามทฤษฎีของ Clarke and Wright [2] เลือกจัดลำดับการส่งสินค้าตามลำดับของค่า Saving แต่วิธีฮิวริสติกในงานวิจัยนี้ปรับเปลี่ยนวิธีการเลือกโหนดของลูกค้ารายถัดไป โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 คำนวณค่า Saving ได้จากสมการที่ (1)

2.2 เรียงลำดับค่า Saving (S_{ij}) จากมากไปน้อย สมมติให้ p แทนลำดับที่ 1,2, ... ,P เรียงจากมากไปน้อย ตัวอย่างผลการเรียงลำดับค่า Saving ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลการเรียงลำดับค่า Saving S_{ij}

ลำดับที่ (p)	i	j	S_{ij}
1	4	7	119.8
2	3	7	114.7
3	7	2	110.5



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนสำหรับการสุ่มเลือกรถขนส่งสินค้า

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลคำสั่งรับและส่งสินค้า

No. Order	Store	Name	Delivery		Pickup	
			Quantity (Pallet)	Weight (Tons)	Quantity (Pallets)	Weight (Tons)
1	3	Store B	6	13.30	-	-
2	4	Store C	3	1.92	-	-
3	5	Store D	9	27.75	-	-
4	6	Store E	-	-	1	0.25
5	7	Store F	1	2.51	-	-
6	8	Store G	-	-	1	1.35
7	9	Store H	5	12.66	7	22.66
Total			24	58.14	11	27.49

จากตารางที่ 1 การเดินทางเริ่มต้นคือ จากจุด 4 ไป 7

2.3 เลือกการเดินทางที่จุดเริ่มต้น (i) หรือค่าของจุดปลายทาง (j) ของลำดับใดๆ เท่ากันกับค่าของจุดปลายทาง (j) ของลำดับก่อนหน้า จากขั้นตอนที่ 2.1 ปลายทางของลำดับก่อนหน้าคือ 7

ดังนั้นจากค่า Saving ในตารางที่ 1 สามารถเลือกลำดับที่ $p = 2$ และ $p = 3$ ได้ทั้งสองลำดับ

2.4 พิจารณา ค่า S_{ij} ของลำดับ p ที่เลือกมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ S_{ij} ของลำดับ p ใดๆ

กรณีที่เลือก S_{ij} หมายถึงเลือกลำดับการเดินทางจาก i ไป j ของลำดับ p ที่เลือก

กรณีที่เลือก S_{ij} หมายถึงเลือกลำดับการเดินทางจาก j ไป i ของลำดับ p ใดๆ

จากขั้นตอนที่ 2.3 ค่า S_{ij} เมื่อ $p = 3$ ให้ค่าสูงกว่า ดังนั้นลำดับการเดินทางคือ จาก 4, 7 และ 3 ตามลำดับ

3. การจัดลำดับการเดินรถส่งสินค้ามีขั้นตอนดังรูปที่ 2

4. ผลลัพธ์ของการจัดสรรเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น

ข้อมูลที่นำมาทดสอบเป็นข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษามีรถขนส่งที่พร้อมใช้งานจำนวน 3 ชนิด คือ รถบรรทุก 4, 6 และ 10 ล้อ สามารถบรรทุกสินค้าได้ 5, 10 และ 20 พาเลทตามลำดับ และสามารถรับน้ำหนักสินค้าได้ 5, 7 และ 28 ตันตามลำดับ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลคำสั่งรับและส่งสินค้าจากร้านค้าสาขาต่างๆ ดังตารางที่ 2

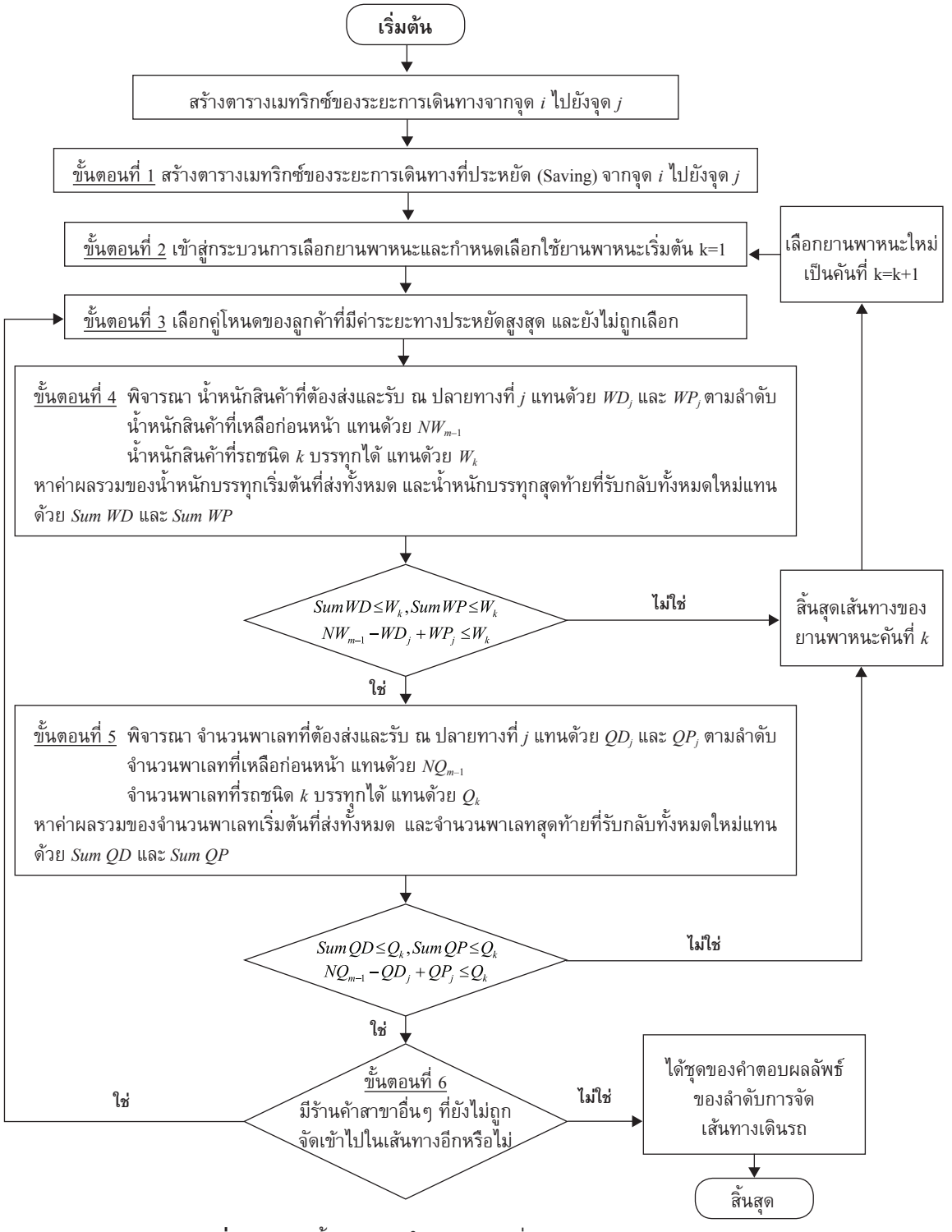
จากข้อมูลในตารางที่ 2 นำมาจัดเส้นทางการขนส่งตามขั้นตอนของฮิวริสติกที่ได้พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 1 และ 2 สามารถอธิบายวิธีการจัดเส้นทางเป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าระยะทางที่ประหยัด และจัดลำดับค่าระยะทางที่ประหยัดจากมากไปหาน้อย คำนวณหาค่าระยะทางที่ประหยัดเมื่อเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง หาได้จากสมการที่ (1) ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าระยะที่ประหยัดที่ใช้ในการเดินทาง

	3	4	5	6	7	8	9
3		14.1	62	55.6	79.5	57.3	30.1
4	33.1		86.4	72.1	29	24.3	23.6
5	64.4	73.7		198.4	62.8	40.6	10.3
6	38.2	77.3	198.8		64.1	41.9	2.8
7	79.4	10.1	57.9	59.3		240.4	134.4
8	70.6	20.3	29.7	50.5	254		153.9
9	42.7	8.4	12	3.6	140.8	146.9	

จากนั้นนำมาจัดลำดับค่าระยะทางที่ประหยัดจากมากไปน้อยได้ดังตารางที่ 4 เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนต่อๆ ไป



รูปที่ 2 แผนผังขั้นตอนการใช้ฮิวริสติกเพื่อจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลของการเรียงลำดับของค่าระยะทางที่ประหยัดจากมากไปน้อย

No.	Start Node	End Node	Saving Distances (Kilometers)
1	8	7	254.00
2	7	8	240.40
3	6	5	198.80
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
42	6	9	2.80

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มยานพาหนะหรือรถบรรทุกสินค้าที่จะเลือกใช้จากข้อมูลในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงข้อมูลคำสั่งการรับและส่งสินค้า พบว่าจำนวนพาเลทรวมที่มากที่สุด คือ 24 พาเลทและน้ำหนักของสินค้ารวมที่มากที่สุด คือ 58.14 ตัน ดังนั้นเลือกใช้รถขนส่งชนิด 10 ล้อ เนื่องจากมีความสามารถในการบรรทุกจำนวนพาเลทมากที่สุดได้ 20 พาเลท และรองรับน้ำหนักของสินค้ารวมได้ 28 ตัน

ขั้นตอนที่ 3 เลือกโหนดของลูกค้าที่มีค่าระยะทางประหยัดสูงสุดและยังไม่ถูกเลือก จากข้อมูลตารางที่ 4 เลือกเดินทางจากร้านสาขาที่ 8 ไปยังร้านสาขาที่ 7 เพราะมีค่าระยะทางที่ประหยัดสูงสุด ดังนั้น รถคันที่ 1 เลือกใช้รถ 10 ล้อ เริ่มต้นเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า และออกไปส่งร้านสาขาที่ 8 และ 7 ตามลำดับ สรุปลำดับเส้นทางของรถคันที่ 1 ได้ดังตารางที่ 5

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาน้ำหนักสินค้าที่ต้องส่งและรับของคู่โหนดที่เลือกรวมกับน้ำหนักสินค้าที่ต้องส่งและรับที่ได้จัดไว้ในเส้นทางแล้วก่อนหน้ามีผลรวมไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถ 10 ล้อ แสดงในตาราง ที่ 5 ดำเนินการขั้นตอนการพิจารณาจำนวนพาดเลทต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาว่าจำนวนพาเลทที่ต้องส่งและรับของคู่โหนดที่เลือกรวมกับจำนวนพาเลทที่ต้องส่งและรับที่ได้จัดไว้ในเส้นทางแล้วก่อนหน้ามีผลรวมมีผลรวมไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถ 10 ล้อ แสดงในตารางที่ 5

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณาแล้วพบว่ายังมีร้านค้าสาขาที่ 3, 4, 5, 6 และ 9 ไม่ถูกจัดสรรเข้าไปในเส้นทาง ดังนั้นย้อนกลับไปเริ่มต้นขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง แต่วิธีการเลือกโหนดของลูกค้ารายถัดไปจะหาค่าระยะทางที่ประหยัดที่มีจุดเริ่มต้นหรือปลายทางเท่ากับปลายทางก่อนหน้า ตัวอย่างปลายทางก่อนหน้าคือ 7 จะเลือกค่าระยะทางที่ประหยัดที่มีจุดเริ่มต้นหรือปลายทางคือ 7 ซึ่งมีค่ามากที่สุดและยังไม่ถูกเลือกสุดท้ายจากลำดับก่อนหน้า

เมื่อคิดตามขั้นตอนจนครบแล้วสามารถสรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางด้วยฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ว่า ใช้รถขนส่งสินค้าชนิด 10 ล้อ ทั้งหมด 3 คัน และมีระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 998.00 กิโลเมตร มีการจัดลำดับการขนส่งของรถแต่ละคัน ดังตารางที่ 6, 7 และ 8

กรณีที่รูปแบบการขนส่งสินค้าไม่ใช่แบบ PD ผลลัพธ์แบ่งตามสายส่งและรับสินค้ามีรายละเอียด ดังนี้

1) สายส่งสินค้า ใช้รถขนส่งสินค้าชนิด 10 ล้อ ทั้งหมด 3 คัน และมีระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 735.70 กิโลเมตร

2) สายรับสินค้ากลับจากร้านสาขาใช้รถขนส่งสินค้าชนิด 10 ล้อ 1 คัน และมีระยะทางรวมในการเดินทางทั้งหมด 664.40 กิโลเมตร

ตารางที่ 5 ลำดับการขนส่งของรถคันที่ 1 (ครั้งที่ 1)

			Quantity (Pallets)			Weight (Tons)		
No. Order	Location	Distance (Km)	Delivery	Pickup	Net	Delivery	Pickup	Net
Start	1	0			1			2.51
6	8	206.90	0	1	2	0	1.35	3.86
5	7	90.10	1	0	1	2.51	0	1.35

ตารางที่ 6 ลำดับขนส่งของรถคันที่ 1

			Quantity (Pallets)			Weight (Tons)		
No. Order	**Location**	**Distance (Km)**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**
Start	1	0			6			15.17
6	8	206.90	0	1	7	0	1.35	16.52
5	7	90.10	1	0	6	2.51	0	14.01
7	9	84.80	5	7	7	12.66	22.66	24.01
Finish	1	81.88			7			24.01
Total Distance		469.90						

ตารางที่ 7 ลำดับขนส่งของรถคันที่ 2

			Quantity (Pallets)			Weight (Tons)		
No. Order	**Location**	**Distance (Km)**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**
Start	1	0			9			27.75
4	6	138.80	0	3	12	0	0.25	28.00
3	5	52.20	9	0	3	27.75	0	0.25
Finish	1	112.20			3			0.25
Total Distance		303.20						

ตารางที่ 8 ลำดับขนส่งของรถคันที่ 3

			Quantity (Pallets)			Weight (Tons)		
No. Order	**Location**	**Distance (Km)**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**	**Delivery**	**Pickup**	**Net**
Start	1	0			9			15.22
2	4	84.20	3		6	1.92		13.30
1	3	95.90	6		0	13.30		0
Finish	1	44.80			0			0
Total Distance		224.90						

ดังนั้น การวางแผนการขนส่งรูปแบบ PD ด้วยวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ทำให้ใช้ยานพาหนะลดลง และลดระยะทางรวม 402.10 กิโลเมตร คิดเป็น 28.72 %

ตัวอย่างผลลัพธ์การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าจากชุดข้อมูลคำสั่งรับและส่งสินค้าจำนวน 5 ชุด ระหว่างการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกกับการใช้พนักงานเป็นผู้วางแผน พบว่าจำนวนยานพาหนะที่ใช้รับและส่งสินค้าลดลงเฉลี่ย 1.20 คัน คิดเป็น 27.38 % และมีระยะทางการขนส่งรวมลดลงเฉลี่ย 450.63 กิโลเมตร คิดเป็น 35.52% สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9

5. โปรแกรมจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า

การพัฒนาโปรแกรมนี้ทำขึ้นเพื่อรองรับการจัดเส้นทางการเดินรถกรณีที่มีรูปแบบการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกกับการใช้พนักงานเป็นผู้วางจากชุดข้อมูลจำนวน 5 ชุด

No.	Total Nodes	Delivery		Pickup		Operation Planner		Heuristics	
		Quantity (Pallet)	Weight (Tons)	Quantity (Pallets)	Weight (Tons)	Total Trucks	Distances (Kilometers)	Total Trucks	Distances (Kilometers)
1	8	28	51.55	23	27.42	4	1,298.25	2	860.00
2	8	26	92.19	28	75.77	7	1,436.15	5	929.30
3	7	19	48.23	12	20.12	3	1,219.30	2	768.20
4	7	19	46.14	22	51.96	4	1,229.10	3	754.70
5	7	18	29.61	12	14.40	2	1,161.35	2	778.80
Average						4	1,268.83	2.80	818.20

แบบ PD เพื่อรองรับการใช้งานของธุรกิจค้าปลีกที่มีชนิดและน้ำหนักของสินค้าที่หลากหลายโดยการเขียนโปรแกรมนี้มีกรอบแนวความคิดมาจากฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นในข้างต้น สำหรับภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมคือ VBA หรือ Visual Basic Application ที่ทำงานภายใต้ Microsoft Excel ภายในโปรแกรมมีองค์ประกอบมีที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลคำสั่งรับและส่งสินค้าไปยังปลายทาง

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับรถขนส่งสินค้า

ส่วนที่ 3 ข้อมูลของระยะทางเมื่อ เดินทางจากจุดหนึ่งไปยังจุดหมายปลายทางใดๆ

ส่วนที่ 4 แสดงผลลัพธ์ของการจัดสรรเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า

หลังจากนั้นนำชุดข้อมูลจริงของกรณีศึกษาจำนวน 5 ชุดมาทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่างการกระจายสินค้าแบบเดิมโดยที่จัดเส้นทางการเดินรถแยกการไปรับและไปส่งสินค้าอย่างชัดเจน กับการใช้รูปแบบการขนส่งแบบ PD พบว่ากรณีแบบเดิมใช้ระยะทางรวมเฉลี่ยในการส่งและรับสินค้าเท่ากับ 1,268.83 กิโลเมตรใช้รถขนส่งสินค้าเฉลี่ย 4 คัน แต่เมื่อเลือกใช้วิธีฮิวริสติกวางแผนการขนส่งแบบ PD จำนวนยานพาหนะที่ใช้รับและส่งสินค้าลดลงเฉลี่ย 1.20 คัน คิดเป็น 27.38 % และระยะทางรวมลดลงเฉลี่ย 450.63 กิโลเมตร คิดเป็น 35.52 % นอกจากนั้นจะทำให้ช่วยลดปัญหาการเดินรถเที่ยวเปล่า (Backhaul) ที่จะเกิดขึ้นเมื่อต้องวิ่งรถเปล่าไปรับสินค้ากลับคืนจากร้านค้าสาขาได้

6. สรุป

จากการศึกษางานวิจัยฉบับนี้ได้พัฒนาฮิวริสติกซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนหลักหลัก คือ การสุ่มเลือกรถขนส่งสินค้า การเลือกจุดหมายปลายทางโดยนำหลักการของ Clarke and Wright Saving Algorithm มาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการหาค่าระยะทางที่ประหยัดจากการเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพื่อนำมาจัดลำดับการเดินทางก่อน-หลัง และการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแต่ละคันเพื่อรองรับการจัดสรรเส้นทางการเดินรถในกรณีที่มีการขนส่งแบบ PD ของธุรกิจค้าปลีกภายใต้เงื่อนไขที่สินค้ามีขนาด และน้ำหนักที่หลากหลาย พร้อมกับนำมาเขียนเป็นโปรแกรมด้วยภาษา VBA ภายใต้การทำงานของ Microsoft Excel โดยมีวัตถุประสงค์ คือ จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด ซึ่งต้องคำนึงถึงน้ำหนักของสินค้าและจำนวนพาเลทด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัย จากบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารอ้างอิง

[1] G. B. Dantzig and J. H. Ramser, "The truck dispatching problem," *Management Science*, vol. 6, pp. 80–91, October, 1959.

[2] G. Clark and J. W. Wright, "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operations Research*, vol. 12, pp. 568–581, 1964.

[3] B. L. Golden, T. L. Magnanti, and H. Q. Nguyen, "Implement vehicle routing algorithms," *Network*, vol. 7, pp.113–148, October, 1977.

[4] P. Toth and D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2001.

[5] J. Faulin, A. Juan, F. Lera, and S. Grasman, "Solving the capacitated vehicle routing problem with environmental criteria based on real estimations in road transportation," *Social and Behavioral Sciences*, vol. 20, pp. 323–334, Aug. 2011.

[6] K. Sripathomswat, A. Manee-ngam and A. Udomsakdigool, "Applying saving algorithm for solving concrete block vehicle routing problem," in *The 4th National Conference of Industrial Operations Development*, pp. 57–42, May, 2013 (in Thai).

[7] O. Jaruphat and P. Chaovalitwongse, "Heuristic for open vehicle routing problem to reduce transportation cost," *Engineering Journal*, vol. 4, pp. 57–72, May, 2013 (in Thai).

[8] C. Chanasit and S. Yaovasuwanchai, "Development on vehicle routing problem program: Case study of a transportation service provider," *Walailak Management School Journal of Management*, vol. 2, no. 1, pp. 55–69, 2013 (in Thai).

[9] P. Kasinram, "The development of a web-based decision support system for management of employee transportation routing using google map," M.S. thesis, Department of Information Technology, Faculty of Engineering Suranaree University of Technology, 2009 (in Thai).

[10] C. Panchompoo, "Frozen food transportation," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology Silpakorn University, 2007 (in Thai).

[11] S. Meeyai, "A GIS-based vehicle routing for goods distribution," M.S. thesis, Department of Management of logistics, Graduate School, Chulalongkorn University, 2006 (in Thai).