

แบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่ความจุไม่จำกัด กรณีศึกษา ผู้ให้บริการขนส่งอาหารแช่แข็ง

นันทน์ กลิ่นพลับ*¹ และ สรวิชัย เยาวสุวรรณไชย²

คณะบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชากรูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแช่แข็ง ให้บริการกับโรงงานผลิตไอศกรีมในการจัดส่งสินค้าไปยังร้านสะดวกซื้อ 3,953 สาขา เนื่องจากสาขามีจำนวนมากทางบริษัทกรณีศึกษาจึงมีการแบ่งสาขาเป็นสองกะทำงานและสองรอบวันทำงาน โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกศึกษาเฉพาะกะทำงานกลางคืนและรอบวันทำงานรอบแรก คือ วันจันทร์ พุธ ศุกร์ เพราะมีปริมาณสาขาจัดส่งมากที่สุดโดยมีรถทั้งหมด 37 คันที่ต้องส่งสินค้า 40 สาขาขึ้นต่อคันตามโรงงานกำหนดและทำงานไม่เกิน 8 ชั่วโมง เนื่องจากสินค้าที่ส่งเป็นสินค้าขนาดเล็กทำให้ในบริษัทกรณีศึกษาจะบรรทุกไม่เต็มตู้รถขนส่ง จากลักษณะปัญหาดังกล่าวพบว่าเป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple Traveling Salesmen Problem: mTSP) คล้ายคลึงกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem:VRP) แตกต่างในเรื่องของความจุไม่จำกัด จึงได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Bektas [1] โดยผู้วิจัยได้เลือกแบบจำลอง Assignment-based และ Flow-based มาปรับปรุงต่อยอดให้สามารถแก้ไขปัญหของบริษัทกรณีศึกษาได้ ด้วยการเพิ่ม 2 เงื่อนไข คือ 1.กำหนดจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง 2.รถแต่ละคันวิ่งไม่เกิน 8 ชั่วโมง ลำดับต่อมาผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองคณิตศาสตร์ ด้วยปัญหาทดสอบจำนวน 27 ปัญหาสามารถแบ่งลักษณะปัญหาเป็น 3 รูปแบบ ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลอง Flow-based มีประสิทธิภาพดีกว่าและเหมาะสมกับกรณีศึกษา

คำสำคัญ: แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลายคน

* Corresponding author. E-mail: nammon.k@mail.kmutt.ac.th

¹ นักศึกษาปริญญาโท คณะบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะบัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Mathematical Modeling of Vehicle Routes with Unlimited Capacity: A Case Study of a Frozen Food Transporter

Nammon Klinplub*¹ and Sorawit Yaovasuwanchai²

Faculty Graduate School of Management and Innovation, Field of study Logistics Management
King Mongkut's University of Technology Thonburi, 26 Pracha Uthit Rd, Bang Mot, Thung Khru,
Bangkok 10140

Abstract

The company in this case study is a frozen food transporter who serves the services for the ice-cream manufacturer that wish to deliver their products to 3,953 convenience store branches. With a large number of branches, the works of the company thus are assigned into two shifts (in 1-day period) and two shifts (in 1-week period). In this study, the researchers focused on studying only a night shift and a first shift of 1-week period (Monday, Wednesday, and Friday) because of the highest volume of delivery works in these shifts. This required total of 37 vehicles to perform the delivery works and each vehicle is required to deliver products to at least 40 branches specified by the manufacturer and their work must be no more than 8 hours per day. Since the size of the products delivered is small, the company's delivering vehicle cannot achieve a full-load capacity. This issue is considered as Multiple Traveling Salesmen Problem (mTSP), which is similar to Vehicle routing problem (VRP). The difference between two problems is the matter of unlimited capacity. Therefore, in this study, researchers examined the mathematical model developed by Bektas [1]. Assignment-based and flow-based models were selected to extend the mathematical model by adding two conditions in order to solve the problem facing the company. Two additional conditions are 1). Number of branches required each vehicle delivers the products must be determined, and 2) Each vehicle must work not more than 8 hours. Then, the researchers tested the mathematical model with 27 problems. The problems could be divided into 3 types based on their characteristics. The results showed that flow-based model had higher efficiency than another model and thus would be suitable for the case study company.

Keywords: mathematical modeling, Vehicle routing problem, Multiple Traveling Salesmen Problem

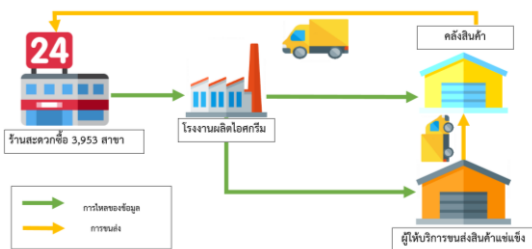
* Corresponding author. E-mail: nammon.k@mail.kmutt.ac.th

¹ Graduate students Faculty Graduate School of Management and Innovation, Field of study Logistics Management, King Mongkut's University of Technology Thonburi

² Asst. Prof Faculty Graduate School of Management and Innovation, Field of study Logistics Management, King Mongkut's University of Technology Thonburi

1. บทนำ

บริษัทธนศึกษาเป็นผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแช่แข็ง เป็นบริษัทที่ทำธุรกิจให้บริการโลจิสติกส์บุคคลที่ 3 (Third-Party Logistics: 3PL) โดยให้บริการกับโรงงานผลิตไอศกรีม ในการจัดส่งสินค้าไปยังร้านสะดวกซื้อ จำนวน 3,953 สาขา โดยใช้พนักงานในการจัดเส้นทางเดินรถและโรงงานผลิต ไอศกรีมได้กำหนดเงื่อนไข ให้ทางบริษัทต้องดำเนินการส่ง สินค้า 40 สาขาขั้นต่ำต่อคันและข้อจำกัดของระยะเวลา ทำงาน 8 ชั่วโมงทางบริษัทมีรถให้บริการจำนวน 37 คัน และมีกะทำงาน กลางวัน กลางคืน รอบวันทำงานแบ่งเป็น 2 รอบ รอบแรกประกอบด้วยวันจันทร์ พุธ ศุกร์และรอบที่สอง ประกอบด้วยวันอังคาร พฤหัสบดี เสาร์ โดยมีกระบวนการ ทำงานดังต่อไปนี้ ร้านสะดวกซื้อส่งข้อมูลความต้องการสินค้า ให้แก่โรงงานผลิตไอศกรีมเมื่อได้ข้อมูลจะส่งข้อมูลให้สองฝ่าย ที่เกี่ยวข้องคือคลังสินค้าเพื่อหยิบสินค้ามาวางรอจัดขึ้น รถบรรทุกและ ผู้ให้บริการขนส่งสินค้าแช่แข็งเพื่อจัดเส้นทาง เดินรถ ตามดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 1 กระบวนการทำงาน

โดยลักษณะในการขนส่งสินค้าแต่ละครั้งจะมี จำนวนสินค้าไม่เต็มความจุของรถขนส่ง เนื่องจากขนาดของ สินค้าไอศกรีมที่ส่งมีขนาดเล็กทำให้จำนวนสินค้าไม่เต็มความ จุของรถขนส่งโดยปัจจุบันทางบริษัทยังไม่สามารถตอบสนอง ตามที่ลูกค้ากำหนดเงื่อนไข ดังนั้นทางผู้วิจัยได้ศึกษาและพบ วิธีการแก้ไขปัญห โดยปัญหาที่พบมีลักษณะคล้ายคลึงกับ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) แตกต่างในเรื่องของความไม่จำกัด จึงทำ ให้ปัญหาที่พบนี้นั้นเป็นปัญหาอีกรูปแบบอื่น คือ ปัญหาการ เดินทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple Traveling Salesmen Problem: mTSP) จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจะ นำเสนอ วิธีการแก้ไขปัญหาดังด้วย วิธีการกำหนดการเชิงเส้น

(Linear Programming) ซึ่งผู้วิจัยได้นำแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของ Bektas [1] ได้แก่แบบจำลอง Assignment-based และ Flow-based มาปรับปรุงต่อยอดเพื่อให้สามารถ แก้ไขปัญหาของบริษัทธนศึกษาได้ โดยในแบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ของ Bektas [1] จะสนใจแต่การจัดเส้นทางเดิน รถเพื่อให้มีระยะทางรวมจากรถทุกคันให้ต่ำที่สุดเท่านั้น ซึ่งยังไม่ตรงกับเงื่อนไขของบริษัทธนศึกษาที่มีข้อกำหนดเพิ่มเติม 2 ข้อ 1.รถแต่ละคันจะต้องแวะส่งสินค้าให้ร้านสะดวกซื้อใน จำนวนสาขาที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันและ 2.รถแต่ละคันมี เวลาทำงานไม่เกิน 8 ชั่วโมง

2. จุดประสงค์ของงานวิจัย

จุด ประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อปรับปรุง แบบจำลองคณิตศาสตร์ของ Bektas [1] เพื่อจัดเส้นทางเดิน รถสำหรับขนส่งสินค้าของธนศึกษาโดยเพิ่มเติมข้อจำกัด เรื่องจำนวนสาขาที่รถแต่ละคันมีแวะส่งสินค้าให้มีค่าเท่ากัน หรือใกล้เคียงกัน และข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาทำงานไม่เกิน 8 ชั่วโมง โดยผู้วิจัยได้เลือกสองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จาก งานวิจัยของ Bektas [1] ได้แก่แบบจำลอง Assignment-based และแบบจำลอง Flow-based มาทำการปรับปรุง และผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของ ทั้งสองแบบจำลองว่าแบบจำลองไหนมีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับกรณีศึกษามากที่สุด

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Bektas[1] ได้ทบทวนวรรณกรรมของ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องปัญหาการเดินทางของพนักงานขายหลาย คน (Multiple Traveling Salesman Problem :mTSP) โดย ปัญหานี้จะมีลักษณะทั่วไปคล้ายกับปัญหาการเดินทางของ พนักงาน(Traveling Salesman Problem :TSP) ซึ่งเป็นที่ รู้จักอย่างมากโดยลักษณะของปัญหา TSP คือ พนักงานขาย หนึ่งคนมีลูกค้าที่จะต้องไปส่งหลายแห่งและต้องกลับมาที่ จุดเริ่มต้น โดยในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา mTSP ยังมี น้อยและกระจัดกระจาย Bektas จึงได้ทำการรวบรวม งานวิจัยเกี่ยวกับ mTSP และได้กล่าวถึงลักษณะทั่วไปและ เงื่อนไขของปัญหาได้แก่ ศูนย์กระจายแห่งเดียวหรือหลาย แห่ง,จำนวนพนักงานขาย,ค่าใช้จ่าย,ข้อจำกัดด้านระยะเวลา,

ข้อจำกัดพิเศษอื่นๆและกล่าวถึงการเชื่อมโยงกับลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินทาง (Vehicle Routing Problem:VRP) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกันหมดแต่ปัญหา mTSP จะคล้ายข้อจำกัดในเรื่องความจุของรถบรรทุกไป นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Bektas จะรวบรวมเหตุการณ์ที่มีการนำปัญหา mTSP ไปประยุกต์ใช้งานในการแก้ไขปัญหาดังต่อไปนี้เช่น การจัดตารางแท่นพิมพ์โดย Gorenstein [2] และมีการพัฒนาการจัดตารางแท่นพิมพ์ โดย Carter และ Ragsdale [3] การจัดตารางลูกเรือโดย Svestka และ Huckfeldt [4] การจัดตารางเดินรถนักเรียนโดย Angel et al. [5] การจัดตารางสัมภาษณ์งานโดย Gilbert และ Hofstra[6] การวางแผนภารกิจที่ใช้ในการทหารโดย Brummit และ Stentz [7] การจัดตารางการรีดร้อนในอุตสาหกรรมผลิตเหล็กโดย Tang et al. [8] การออกแบบระบบดาวเทียมนำทางสำรวจทั่วโลกโดย Saleh และ Chelouah [9] และ Bektas[1] ยังมีการรวบรวมวิธีการแก้ไขปัญหา mTSP ได้แก่ Exact algorithms, Heuristic และการแปลงจากปัญหา mTSP เป็นปัญหา TSP โดยในงานวิจัย Bektas ได้สรุปแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา mTSP โดยมีทั้งหมด 4 แบบจำลองคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

1.แบบจำลองคณิตศาสตร์ Assignment-based โดย Miller et al.[11] เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้ในการแก้ไขปัญหา mTSP เนื่องจากมี 2 ดัชนีในการแทนค่าจึงง่ายต่อการนำไปใช้งาน โดยในแบบจำลองได้มีการคิดวิธีการแก้ไขปัญหาดูทางย่อย ในแบบจำลองไว้หลายแบบ Bektas ได้สรุปว่าวิธีที่ดีที่สุดคิดโดย Kara และBektas [10]

2.แบบจำลองคณิตศาสตร์โดย Laporte และ Nobert [12] ในแบบจำลองนี้จะมี 2 ดัชนีในการแทนค่าคล้ายกับแบบจำลองแบบจำลองคณิตศาสตร์ Assignment-based แต่มีการเพิ่มในเรื่องของเพิ่มเงื่อนไขในการคิดค่าใช้จ่ายขึ้นมาด้วย

3.แบบจำลองคณิตศาสตร์ k-Degree centre tree-based โดย Christofides et al.[13] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มีสมการซับซ้อนมากกว่าแบบจำลองอื่นๆ

4.แบบจำลองคณิตศาสตร์ Flow-based โดย Christofides et al.[13] มีการใช้ 3 ดัชนีในการสร้าง

แบบจำลอง โดย 2 ดัชนี แทนจุดที่จะไป ส่วนอีก 1 ดัชนีแทนรถบรรทุก

จากการทบทวนวรรณกรรมเท่าที่ผู้วิจัยสามารถสืบค้นพบได้ว่ายังพอมีงานวิจัยของประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับ mTSP ได้แก่ งานวิจัยของปวิณ สุข [14] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาของระบบการเติมเต็มสินค้าคงคลังโดยมีคลังหลักแห่งเดียวแต่มีหลายผู้ค้าปลีก โดยใช้ในแนวคิดการบริหารคลังสินค้ามาประยุกต์ใช้กับคลังสินค้าเพื่อให้บริหารสินค้าคงคลังได้มีประสิทธิภาพและวางแผนการขนส่งสินค้าโดยใช้วิธี mTSP เพื่อจัดลำดับการส่งสินค้าให้ผู้ค้าปลีก เนื่องจากการขนส่งเป็นตัวกำหนดระดับสินค้าคงคลังของผู้ค้าปลีก โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จัดเส้นทางเดินรถขนส่งให้มีระยะทางต่ำที่สุด โดยมีการนำเสนอแนวคิดยานพาหนะเติมคันเพื่อเป็นตัวกำหนดระดับคลังสินค้าของผู้ค้าปลีก และนำวิธีการหาขนาดการสั่งซื้อที่ประหยัดมาเปรียบเทียบกับในกรณีที่มีต้นทุนสูงมากขึ้นเมื่อส่งสินค้ามากขึ้น จากการเปรียบเทียบพบว่าเมื่อค่าสัดส่วนการถือครองสินค้ามีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3. วิธีการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์จากการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัย Bektas [1] จำนวน 2 แบบจำลองจาก 4 แบบจำลองมาศึกษา เนื่องจากมีลักษณะรูปแบบเงื่อนไขและตัวแปรมีลักษณะใกล้เคียงกับกรณีศึกษา แบบจำลองที่เลือกมาศึกษามีดังนี้คือแบบจำลอง Assignment-based โดย Miller et al.[11] และแบบจำลอง Flow-based โดย Christofides et al.[13]

ผู้วิจัยจะขอนำแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลองของ Bektas มาแสดงอีกครั้งหนึ่ง ณ ที่นี้ โดยแบบจำลองมีสมมติฐานและสมการคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

สมมติฐาน (Assumption) ของทั้ง 2 แบบจำลอง

- 1) มีคลังสินค้าเพียง 1 แห่ง
- 2) รถบรรทุกแต่ละคันหากได้ใช้งานจะต้องเริ่มต้นออกเดินทางที่คลังสินค้าและกลับมาสิ้นสุดที่คลังสินค้าเช่นเดิม
- 3) ความจุของรถบรรทุกมีไม่จำกัด
- 4) ทราบจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อ และตำแหน่งที่ตั้งที่แน่นอน
- 5) ทราบปริมาณความต้องการสินค้าของสาขาของร้านสะดวกซื้อ ก่อนล่วงหน้า

แบบจำลอง Assignment-based (Bektas [1])

Notations:

Indices:

i : ดัชนีแทนลำดับสาขาของร้านสะดวกซื้อ i

j : ดัชนีแทนลำดับสาขาของร้านสะดวกซื้อ j

Input Parameters:

n : จำนวน node ของสาขาของร้านสะดวกซื้อ รวมกับ 1 node ของคลังสินค้า

C_{ij} : ข้อมูลระยะทางจาก node i ไป node j (มีหน่วยเป็น กิโลเมตร)

m : จำนวนรถบรรทุก

L : จำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อ ที่รถบรรทุกแต่ละคันสามารถแวะส่งสินค้าได้มากที่สุด

H : จำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อ ที่รถบรรทุกแต่ละคันสามารถแวะส่งสินค้าได้น้อยที่สุด

Decision Variables:

x_{ij} : ตัวแปรตัดสินใจโดยถ้า $x_{ij} = 1$ แสดงว่ามี
การเดินทางจาก node i ไป node j

ถ้า $x_{ij} = 0$ แสดงว่าไม่มีการเดินทางจาก node i ไป node j

u_i, u_j : ตัวแปรที่ใช้ในการทำ lay sub tour ใน
Constraint A6-A8

Objective :

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (A1)$$

Subject to :

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m, \quad (A2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m, \quad (A2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 2, \dots, n, \quad (A3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 2, \dots, n, \quad (A4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n, \quad (A5)$$

$$u_i + (L - 2)x_{1i} - x_{i1} \leq L - 1, \quad i = 2, \dots, n, \quad (A6)$$

$$u_i + x_{1i} + (2 - H)x_{i1} \geq 2, \quad i = 2, \dots, n, \quad (A7)$$

$$u_i - u_j + Lx_{ij} + (L - 2)x_{ji} \leq L - 1, \quad 2 \leq i \neq j \leq n. \quad (A8)$$

คำอธิบาย constraint

Constraint (A1) เป็น Constraint เป้าหมายเป็นการคำนวณหาค่าระยะทางที่ต่ำที่สุด

Constraint (A2) กำหนดให้รถแต่ละคันจะต้องเริ่มที่ node 1 และต้องกลับมา node 1

Constraint (A3) กำหนดให้แต่ละ node j สามารถมีรถแวะได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ยกเว้น node 1

Constraint (A4) กำหนดให้แต่ละ node i สามารถมีรถแวะได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น ยกเว้น node 1

Constraint (A5) กำหนดให้ตัวแปร x_{ij} มีค่าได้เป็นได้แค่ 0 หรือ 1

Constraint (A6- A8) ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้เกิด

Sub tour (Subtour elimination) ตามที่ในงานวิจัยของ Bektas [1]

แบบจำลอง Flow-based (Bektas [1])

Notations:

Indices: (เพิ่มเติมจาก Assignment-based)

k : ดัชนีแทนลำดับของรถบรรทุก k

Decision Variables:

x_{ijk} : ตัวแปรตัดสินใจโดยถ้า $x_{ijk} = 1$ แสดงว่ามีการเดินทางจาก node i ไป node j โดยรถบรรทุกคันที่

k ถ้า $x_{ijk} = 0$ แสดงว่าไม่มีการเดินทางจาก node i ไป node j โดยรถบรรทุกคันที่ k

Objective :

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk}, \quad (F1)$$

Subject to :

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (F2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ipk} - \sum_{j=1}^n x_{pjk} = 0, \quad (F3)$$

$$k = 1, \dots, m, \quad p = 1, \dots, n,$$

$$\sum_{j=1}^n x_{1jk} = 1, \quad k = 1, \dots, m, \quad (F4)$$

$$u_i - u_j + n \sum_{k=1}^m x_{1jk} \leq n - 1, \quad (F5)$$

$$i \neq j = 2, \dots, n,$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j, k, \quad (F6)$$

คำอธิบาย Constraint

Constraint (F1) กำหนดให้ **Constraint** เป้าหมายเป็นการคำนวณหาค่าระยะเวลาเดินทางรวมที่ต่ำที่สุด

Constraint (F2) กำหนดให้ รถแต่ละคันสามารถวิ่งเข้า node ได้เพียงครั้งเดียว(โดยในบทความของ Bektas [1])

กำหนดให้ค่า $j = 1, \dots, n$ แต่เมื่อผู้วิจัยได้นำแบบจำลองไปทดสอบพบว่า Constraint F2 ยังไม่ถูกต้อง และ ต้องเปลี่ยนจาก $j = 1, \dots, n$ เป็น $j = 2, \dots, n$ แทนมื่อนั้น รถแต่ละคันจะไม่สามารถวิ่งกลับมาที่คลังสินค้าได้)

Constraint (F3) กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันวิ่งเข้า node ไหน ก็ต้องออกจาก node นั้น

Constraint (F4) กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันจะเริ่มวิ่งจาก node 1 เท่านั้น

Constraint (F5) ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้เกิด Sub tour (Subtour elimination) ตามที่ระบุในงานวิจัยของ Bektas [1]

Constraint (F6) กำหนดให้ตัวแปร x_{ijk} มีค่าได้เป็นได้แค่ 0 หรือ 1

จากการศึกษา แบบจำลอง Assignment-based และ แบบจำลอง Flow-based พบว่ารูปแบบ Constraint และตัวแปรตรงกับกรณีศึกษาแต่ยังขาดอีก 2 เงื่อนไขในเรื่อง 1.กำหนดจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง 2.รถบรรทุกแต่ละคันมีเวลาทำงานไม่เกิน 8 ชม. หรือเท่ากับ 640 กม. มาจากปรับเปลี่ยนข้อจำกัดของระยะเวลาทำงานมาเป็นระยะทาง โดยมาจากความเร็วที่บริษัทกำหนด 80 กม.ต่อชม. ดังนั้นทำงานไม่เกิน 8 ชม. เท่ากับคือ $80 \times 8 = 640$ กม. ก่อนจะเพิ่ม 2 เงื่อนไข ผู้วิจัยได้นำ **Constraint** เป้าหมายของทั้งสองแบบจำลองมาทดสอบความสามารถใน

การหาคำตอบว่าแบบจำลองอันไหนมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังในตารางที่ 1 และ 2

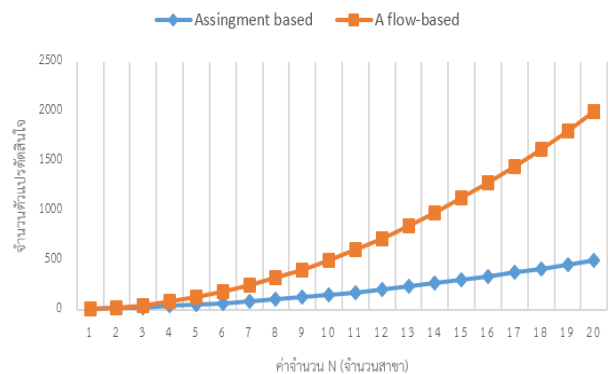
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบจำนวนตัวแปรตัดสินใจของทั้งสองแบบจำลอง

แบบจำลองคณิตศาสตร์	Assignment-based	Flow-based
Constraint เป้าหมายของแบบจำลองคณิตศาสตร์	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$	$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk}$
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	$n^2 + mn$	mn^2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของจำนวนตัวแปรตัดสินใจระหว่างแบบจำลอง 2 แบบจำลอง เมื่อสมมติให้ค่า $m = 5$ เมื่อแทน

n	n^2	Assignment-based	Flow-based
1	1	6	5
2	4	14	20
3	9	24	45
4	16	36	80
5	25	50	125
6	36	66	180
7	49	84	245
8	64	104	320
9	81	126	405
10	100	150	500
11	121	176	605
12	144	204	720
13	169	234	845
14	196	266	980
15	225	300	1125
16	256	336	1280
17	289	374	1445
18	324	414	1620
19	361	456	1805
20	400	500	2000

กราฟเส้นเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของจำนวนตัวแปรตัดสินใจ



รูปที่ 2 กราฟเส้นเปรียบเทียบอัตราการเติบโตของจำนวนตัวแปรตัดสินใจระหว่าง 2 แบบจำลองก่อนเพิ่ม 2 เงื่อนไข

จากกราฟจะแสดงให้เห็นขนาดของปัญหาและขนาดของตัวแปรที่มีจำนวน มากน้อยต่างกันของแบบจำลอง โดยแบบจำลอง Assignment-based ดีกว่าแบบจำลอง Flow-based เนื่องจากถ้ามีจำนวนตัวแปรเพิ่มมา ขึ้นจะทำให้จำนวนข้อมูลที่ต้องอ่านเพื่อประมวลผลของแบบจำลอง Flow-based มีปริมาณมากขึ้นจึงทำให้ใช้ระยะเวลาเวลานั้นเอง จากเปรียบเทียบทั้งสองแบบจำลองจะพบว่าแบบจำลอง Assignment-based มีประสิทธิภาพดีกว่าในเรื่องระยะเวลาหาคำตอบของแบบจำลอง Flow-based ลำดับต่อมาผู้วิจัยได้การปรับปรุงทั้งสองแบบจำลองโดยเพิ่มสองเงื่อนไขเพื่อให้ตรงกับเป้าหมายของงานวิจัย เพื่อที่จะนำไปทดสอบเมื่อมีการเพิ่มเงื่อนไขเข้าไปแล้วจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้งสองเปลี่ยนไปอย่างไร โดยเงื่อนไขที่เพิ่มมีดังนี้ 1.กำหนดจำนวนสาขาของร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง โดยในงานวิจัยจะเรียก Constraint นี้ว่า Constraint BN ซึ่งมาจาก (Bound on the Number of Visited Nodes) 2.รถบรรทุกแต่ละคันต้องวิ่งไม่เกิน 640 กิโลเมตร (คิดจาก เทียบกับ ความเร็วที่บริษัทกำหนด 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังนั้น 8 ชั่วโมงคือ $80 \times 8 = 640$ กิโลเมตร)ในงานวิจัยจะเรียก Constraint นี้ว่า Maximum distance ดังต่อไปนี้

การปรับปรุงแบบจำลอง Assignment-based

Notations:

Input Parameters: (เพิ่มเติม)

d : ระยะทางที่มากที่สุดที่รถแต่ละคันจะวิ่งไปได้
($d = 640$)

f : จำนวนสาขาร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง

G : ค่าคงที่ที่มีค่ามากๆ (Big M)

Decision Variables: (เพิ่มเติม)

y_{ik} : ตัวแปรตัดสินใจสำหรับเลือกว่าสาขาของร้านสะดวกซื้อที่ตั้งอยู่ ณ node i ถูกแวะโดยบนรถคันที่ k หรือไม่โดยมีค่าเป็นได้แค่ 0 หรือ 1

y_{jk} : ตัวแปรตัดสินใจสำหรับเลือกว่าสาขาของร้านสะดวกซื้อที่ตั้งอยู่ ณ node j ถูกแวะโดยบนรถคันที่ k หรือไม่โดยมีค่าเป็นได้แค่ 0 หรือ 1

Constraints : (เพิ่มเติม)

$$\sum_{k=1}^m y_{ik} = 1, \quad i = 2, \dots, n, \quad (A9)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{jk} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n y_{ik} c_{i1} x_{i1} \leq d \quad (A10)$$

$$k = 1, \dots, m, \quad i = 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ik} = f, \quad k = 1, \dots, m, \quad (A11)$$

$$y_{ik} = y_{jk}, \quad \text{if } x_{ij} = 1 \quad (A12)$$

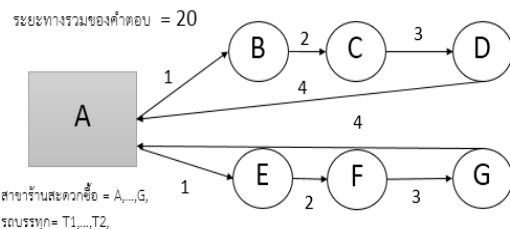
$$i = 2, \dots, n, \quad j = 2, \dots, n, \quad k = 1, \dots, m,$$

$$y_{ik} \in \{0,1\} \forall i, k. \quad (A13)$$

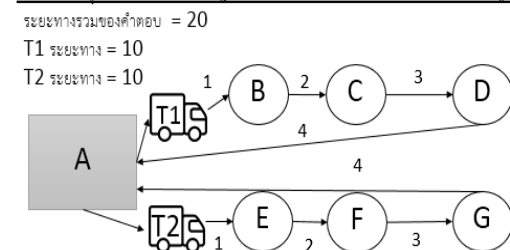
คำอธิบายตัวแปรและ Constraint ใหม่ที่เพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงแบบจำลอง Assignment-based

ตัวแปร y_{ik}, y_{jk} กำหนดขึ้นมาเนื่องจาก ในแบบจำลอง Assignment-based ก่อนการปรับปรุง แทนค่าดัชนี เพียงแค่ดัชนี i และ j คือค่าลำดับสาขาของร้านสะดวกซื้อ ทำให้ในแบบจำลอง Assignment-based จะทราบเพียงแต่ละลำดับสาขาของร้านสะดวกซื้อที่ต้องวิ่งแวะ แต่ไม่ทราบว่ารถคันไหนวิ่งไปสาขาไหน และทราบเพียงระยะทางรวมของคำตอบ เมื่อนำเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่กำหนดเงื่อนไข รถบรรทุกแต่ละคันต้องวิ่งไม่เกิน 640 กิโลเมตร จึงดำเนินการปรับปรุงแบบจำลอง Assignment-based โดยการสร้างตัวแปร y_{ik}, y_{jk} เพิ่มเติมขึ้นมาเพื่อให้ทราบว่าแต่ละ node i และ node j ที่มีรถบรรทุกคันที่ k ผ่านให้อยู่บนรถคันที่ k เดียวกันเพื่อจะได้ทราบระยะทางที่รถบรรทุกคันที่ k วิ่งไประยะทางเท่าไรเพื่อให้ไม่เกิน 640 กิโลเมตรตามเงื่อนไขของกรณีศึกษา โดยได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง Assignment-based ก่อนการกับหลังปรับปรุงเพิ่ม ตัวแปร y_{ik}, y_{jk} ดังรูปภาพที่ 3

แบบจำลอง Assignment-based ก่อนการปรับปรุง



การปรับปรุงแบบจำลอง Assignment-based โดยการสร้างตัวแปร y_{ik}, y_{jk}



รูปที่ 3 เปรียบเทียบแบบจำลอง Assignment-based ก่อนการกับหลังปรับปรุงเพิ่ม ตัวแปร y_{ik}, y_{jk}

โดยการเพิ่มดัชนี k ในตัวแปรตัดสินใจเนื่องจากถ้าเพิ่ม k ในค่าดัชนี จะทำให้แบบจำลอง Assignment-based

ไม่ใช่รูปแบบเดิม ดังนั้นจึงเพิ่มในรูปแบบตัวแปรตัดสินใจเพื่อใช้ใน Constraint (A10-A12)

Constraint (A9) กำหนดให้แต่ละ node i หรือแต่ละสาขาสามารถมีรถบรรทุกทุกแฉะได้แค่คันเดียวเท่านั้น

Constraint (A10) กำหนดให้รถบรรทุกทุกคันห้ามวิ่งเกินระยะทางที่กำหนดนั่นก็คือ ห้ามเกินค่า d เมื่อ $d = 640$ หรือเรียกว่า Constraint Maximum distance

Constraint (A11) กำหนดให้จำนวนสาขาที่รถแต่ละคันต้องแวะเท่ากับ f หรือเรียกว่า Constraint BN

Constraint (A12) กำหนดให้รถแต่ละคันที่ผ่าน node i และ node j และอยู่บนรถคันที่มี k เดียวกันค่า y_{ik} และ y_{jk} ต้องมีค่าเท่ากับ 1 แต่เนื่องจาก Constraint (A12) ปัจจุบันอยู่ในรูปแบบ if แต่เพื่อความเข้าใจมากยิ่งขึ้นผู้วิจัยแปลงให้เป็นรูปแบบ xy ได้ดังต่อไปนี้

$$y_{ik} = y_{jk}, \text{ if } x_{ij} = 1 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m,$$

แปลงเป็น

$$(y_{ik} - y_{jk}) = 0 \text{ if } x_{ij} = 1 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m$$

แปลงเป็น

$$x_{ij}(y_{ik} - y_{jk}) = 0 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m$$

แปลงเป็น

$$x_{ij}y_{ik} - x_{ij}y_{jk} = 0 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m$$

แต่เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านผู้วิจัยจึงแทน Constraint (A12) ด้วยรูปแบบ if ในแบบจำลอง โดย Constraint เป็นสมการที่ไม่เป็นเส้นตรงจึงได้นำแนวคิดมาจากงานวิจัยของ วรวิภา วรรณศิริ [15] เพื่อปรับสมการให้เป็นสมการเส้นตรงโดยใช้ค่า G มาช่วยดังนี้

$$y_{ik} = y_{jk}, \text{ if } x_{ij} = 1 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m,$$

ปรับเป็น

$$y_{ik} \geq y_{jk} - G(1 - x_{ij}) \quad (A12) *$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m,$$

$$y_{ik} = y_{jk}, \text{ if } x_{ij} = 1 \quad (A12)$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m,$$

ปรับเป็น

$$y_{ik} \leq y_{jk} + G(1 - x_{ij}) \quad (A12) *$$

$$i = 2, \dots, n, j = 2, \dots, n, k = 1, \dots, m,$$

Constraint (A13) กำหนดให้ตัวแปร y_{ik} และ y_{jk} มีค่าได้แค่ 0 และ 1

การปรับปรุงแบบจำลอง Flow-based

Constraints : (เพิ่มเติม)

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} \sum_{k=1}^m x_{ijk} \leq d, k = 1, \dots, m, (F7)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq f + 1, k = 1, \dots, m, (F8)$$

คำอธิบาย Constraint ปรับปรุงแบบจำลอง Flow-based

Constraint (F7) กำหนดให้รถบรรทุกทุกคันห้ามวิ่ง

เกินระยะทางที่กำหนด หรือเรียกว่า Constraint Maximum distance

Constraint (F8) กำหนดให้รถแต่ละคันต้องแวะเท่ากับ f หรือเรียกว่า Constraint BN

4. ผลการศึกษา

จากการปรับปรุงแบบจำลองให้มี 2 เงื่อนไขเพื่อให้ตรงกับเป้าหมายของงานวิจัย จะพบว่าทั้งสองแบบจำลอง Assignment-based และแบบจำลอง Flow-based จะมีจำนวน Constraint ที่สร้างเพิ่มแตกต่างกันโดยในแบบจำลอง Assignment-based จะมีการสร้าง Constraint จำนวนมากกว่าเนื่องจากรูปแบบ Constraint เดิมนั้นไม่ได้มีการระบุว่ารถคันไหนวิ่งไปสาขาไหนจึงทำให้ไม่สามารถทราบถึงระยะทางที่วิ่งไป ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการสร้างปัญหาทดสอบ (Test Problem) เป็น 3 รูปแบบโดย รูปแบบที่หนึ่ง เป็น

ปัญหาทดสอบที่อยู่ใน Constraint BN มีค่า f เป็นค่าคงที่มี และมี Constraint Maximum distance (รถแต่ละคันห้ามทำงานเกิน 8 ชม.หรือวิ่ง 640 กม.) รูปแบบที่สอง เป็นปัญหาทดสอบที่อยู่ใน Constraint BN มีค่า f เป็นค่าคงที่มีแต่ไม่มี Constraint Maximum distance (นั่นคือรถแต่ละคันสามารถทำงานเกิน 8 ชม.หรือวิ่งเกิน 640 กม.ได้)

รูปแบบที่สาม เป็นปัญหาทดสอบที่อยู่ใน Constraint BN มีค่า f เป็นช่วง (คือมีกำหนดจำนวนสาขาขั้นต่ำที่รถแต่ละคันจะต้องแวะ และจำนวนสาขาที่รถแต่ละคันห้ามแวะเกิน) และมี Constraint Maximum distance การทดสอบทั้งหมด 27 ปัญหาแบ่งขนาดปัญหาเป็นขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ โดยปัญหาที่ทดสอบมีดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลของปัญหาทดสอบ (Test Problem) เพื่อใช้เปรียบเทียบแบบจำลองทั้ง 2 แบบจำลอง

หมายเลข ปัญหา	ขนาดของ ปัญหา	ปัญหาทดสอบรูปแบบปัญหาที่ 1			ปัญหาทดสอบรูปแบบปัญหาที่ 2			ปัญหาทดสอบรูปแบบปัญหาที่ 3			
		มี Constraint BN เมื่อ f มีค่าคงที่มีใช้ Maximum distance			มี Constraint BN เมื่อ f มีค่าคงที่ไม่มีใช้ Constraint Maximum distance			มี Constraint BN เมื่อ f มีค่าเป็นช่วงมีใช้ Maximum distance			
		จำนวน รถบรรทุก (m)	จำนวน สาขา (n)	f	จำนวน รถบรรทุก (m)	จำนวน สาขา (n)	f	จำนวน รถบรรทุก (m)	จำนวน สาขา (n)	f ห้าม ต่ำกว่า	f ห้าม เกิน
S1	เล็ก	3	13	4	3	13	4	3	14	4	5
S2		4	17	4	4	17	4	4	18	4	5
S3		5	21	4	5	21	4	5	22	4	5
M1	กลาง	5	31	6	5	31	6	5	32	6	7
M2		6	37	6	6	37	6	6	38	6	7
M3		7	43	6	7	43	6	7	44	6	7
L1	ใหญ่	7	50	7	7	50	7	7	51	7	8
L2		8	57	7	8	57	7	8	58	7	8
L3		9	64	7	9	64	7	9	65	7	8

หมายเหตุ: f คือ จำนวนสาขาที่รถบรรทุกแต่ละคันจะต้องไปส่ง

ในรูปแบบปัญหาที่สามนั้นจะมีกำหนดค่า f ห้ามต่ำกว่า และ f ห้ามเกิน โดยการกำหนดค่า f กำหนดโดยให้เหมาะสมกับปัญหาทดสอบ อย่างเช่น ขนาดปัญหามินิเล็ก หมายเลขปัญหา S1 ที่มีการกำหนด f ห้ามต่ำกว่า คือ 4 f ห้ามเกิน คือ 5 เมื่อทำการทดลองจะได้คำตอบที่รถแต่ละคันแวะร้านสะดวกซื้อ เป็น 4 และ 5 แต่ถ้ากำหนดค่า f ห้ามต่ำกว่า คือ 4 f ห้ามเกิน คือ 6 ผลลัพธ์ที่ได้ก็จะเหมือนเดิม การกำหนดค่า f ห้ามต่ำกว่า และ f ห้ามเกิน ขึ้นอยู่กับความ

เหมาะสมของปัญหาทดสอบ ว่ามีจำนวนจำนวนสาขาที่ร้านสะดวกซื้อ และรถบรรทุกจำนวนเท่าใด โดยแต่ละขนาดของปัญหาที่ทำการทดสอบจะมีระยะเวลาในการ RUN ผลเพื่อทดสอบแตกต่างกันโดยในขนาดปัญหามินิเล็กผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 1 ชั่วโมงในการหาคำตอบ ปัญหามินิกลางใช้ระยะเวลาไม่เกิน 12 ชั่วโมงในการหาคำตอบ และปัญหามินิใหญ่ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 24 ชั่วโมง โดยการกำหนดระยะเวลาในการ RUN ผลของขนาดปัญหามินิเล็ก กลางและใหญ่

ถ้าสามารถ RUN ผลได้ในระยะเวลาที่กำหนดผลที่ได้จะแสดงค่าสถานะ Global Optimum หรือ Local Optimum แต่ถ้าไม่ได้ตามระยะเวลาที่กำหนดจะหยุดการ RUN ผล สถานะที่ได้จะเป็น Feasible หรือ N/a โดยในการ

ทดสอบสิ่งที่ต้องการวัดจากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง Assignment-based และแบบจำลอง Flow-based คือ การใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบ และ ค่า Constraint เป้าหมาย (ระยะทางรวมจากรถทุกคัน มีหน่วยเป็น กิโลเมตร) โดยผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบของรูปแบบปัญหาที่ 1 และ 2

รูปแบบปัญหา	ขนาดของปัญหา	ปัญหาที่ทดสอบ			state		เวลาในการหาคำตอบ (ชม:นา:วินาที)		ระยะทางรวมของคำตอบ	
		จำนวนรถบรรทุก (m)	จำนวนสาขา (n)	f	Assignment-based	Flow-based	Assignment-based	Flow-based	Assignment-based	Flow-based
รูปแบบปัญหาที่ 1	เล็ก	3	13	4	Local Optimum	Global Optimum	0:01:06	0:16:25	513.4	513.4
		4	17	4	Local Optimum	Feasible	0:18:07	1:00:40	650.5	658.1
		5	21	4	Feasible	Feasible	1:00:37	1:00:35	798.4	797.7
	กลาง	5	31	6	Feasible	Feasible	12:00:46	12:00:30	836	844.8
		6	37	6	Feasible	Feasible	12:00:11	12:00:11	1031.3	1015.9
		7	43	6	Feasible	Feasible	12:04:01	12:04:12	1180.8	1331
	ใหญ่	7	50	7	Feasible	Feasible	24:00:54	24:00:18	1445.4	1357.3
		8	57	7	Feasible	Feasible	24:00:41	24:00:42	1548.1	1459.9
		9	64	7	Feasible	Feasible	24:00:18	24:00:58	1929.8	1805.4
รูปแบบปัญหาที่ 2	เล็ก	3	13	4	Global Optimum	Global Optimum	0:00:01	0:16:25	513.4	513.4
		4	17	4	Global Optimum	Feasible	0:00:05	1:00:04	650.5	664.7
		5	21	4	Global Optimum	Feasible	0:00:22	1:00:07	779	790.9
	กลาง	5	31	6	Global Optimum	Feasible	11:09:53	12:01:38	798.4	881.7
		6	37	6	Feasible	Feasible	12:00:53	12:01:44	925.9	1004.9
		7	43	6	Feasible	Feasible	11:09:05	12:01:53	1043	1224
	ใหญ่	7	50	7	Feasible	Feasible	24:00:47	24:00:28	1048.2	1333.2
		8	57	7	Feasible	Feasible	24:00:50	24:00:35	1152.2	1605.9
		9	64	7	Feasible	Feasible	24:00:50	24:00:41	1305.2	1738.7

จากการทดสอบในตารางที่ 4 จะแสดงถึงผลการทดสอบของรูปแบบปัญหาที่ 1 ในขนาดปัญหาเล็กแบบจำลอง Assignment-based และแบบจำลอง Flow-

based จะได้ระยะทางรวมของคำตอบใกล้เคียงกันจะมีค่าระยะทาง ห่างกันเพียง 1 ถึง 8 กิโลเมตร แต่ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบต่างกันอย่างมาก 10 ถึง 30 นาที

และมี State แตกต่างกัน โดยในแบบจำลอง Assignment-based จะได้คำตอบเป็น Local Optimum เนื่อง Constraint ที่ปรับปรุงเข้าไปในแบบจำลองมีลักษณะเป็นสมการที่ไม่เป็นเส้นตรง แต่ในส่วนแบบจำลอง Flow-based จะได้คำตอบเป็น Global Optimum Constraint ที่ปรับปรุงเข้าไปในแบบจำลองเป็นสมการเส้นตรงแต่เมื่อในขนาดปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ แบบจำลอง Flow-base จะได้ระยะทางรวมของคำตอบที่ดีกว่าแบบจำลอง Assignment-based โดยมีระยะทางรวมของคำตอบต่างกันถึง 80 ถึง 100 กิโลเมตร แต่ในเรื่องระยะเวลาหาคำตอบจะใช้เท่าตามที่ระยะเวลาที่กำหนดและมี State ที่เหมือนกัน คือ Feasible Solution ส่วนที่รูปแบบที่สองคือ Constraint BN มีค่า f เป็นค่าคงที่มีแต่ไม่มี Constraint Maximum distance เมื่อทำการทดสอบจะพบว่าแบบจำลอง

Assignment-based จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบจำลอง Flow-based ทั้งในเรื่องของระยะเวลาในการหา คำตอบ ปัญหาขนาดเล็กจะเร็วกว่า ถึง 1 ชั่วโมง และปัญหาขนาดกลาง ขนาดใหญ่จะใช้เวลาเท่ากันตามระยะเวลากำหนด และระยะทางรวมของคำตอบ ปัญหาขนาดเล็กแตกต่างกันประมาณ 10 ถึง 15 กิโลเมตร ขนาดกลางแตกต่างกัน 70 ถึง 200 กิโลเมตร ขนาดใหญ่แตกต่างกัน 200 ถึง 400 กิโลเมตร และ State ของแบบจำลอง Assignment-based จะเปลี่ยนเป็น Global Optimum เนื่องจากไม่มี Constraint Maximum distance ที่เป็นสมการที่ไม่เป็นเส้นตรง แต่จะทำให้เมื่อได้คำตอบมาแล้วในแบบจำลอง Assignment-based จะไม่ทราบว่ารัดคันไหนวิ่งไประยะทางเท่าไร แต่จะทราบเพียงว่ารัดต้องวิ่งไป node ไหนบ้างไม่เกินค่า f ที่กำหนด

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบของรูปแบบที่ 3 เมื่อ Constraint BN มีค่า f เป็นช่วง

รูปแบบ ปัญหา	ขนาด ของ ปัญหา	ปัญหาที่ทดสอบ				state		เวลาในการหาคำตอบ (ชม:นา:วินาที)		ระยะทางรวมของ คำตอบ	
		จำนวน รถบรร ทุก (m)	จำนวน สาขา (n)	f ห้าม ต่ำกว่า	f ห้าม เกิน	Assignmen t-based	Flow- based	Assignmen t-based	Flow- based	Assignm ent- based	Flow- based
รูปแบบ ปัญหา ที่ 3	เล็ก	3	14	4	5	Local Optimum	Feasible	0:01:17	1:00:43	531.2	531.2
		4	18	4	5	Local Optimum	Feasible	0:27:19	1:00:17	648.2	641.8
		5	22	4	5	Feasible	Feasible	1:09:35	1:00:30	781.1	736.5
	กลาง	5	32	6	7	Feasible	Feasible	12:00:38	12:01:13	1012	820.5
		6	38	6	7	Feasible	Feasible	12:00:43	12:01:17	1048.7	990.3
		7	44	6	7	N/a	Feasible	12:00:47	12:01:19	N/a	1278.7
	ใหญ่	7	51	7	8	N/a	Feasible	24:01:16	24:01:45	N/a	1243.8
		8	58	7	8	N/a	Feasible	24:01:37	24:01:35	N/a	1588.2
		9	65	7	8	N/a	Feasible	24:01:40	24:01:37	N/a	1637.4

หมายเหตุ

N/a หมายถึง โปรแกรม LINGO ไม่สามารถหา Feasible Solution ได้ภายในเวลาที่กำหนด

State หมายถึง สถานะของคำตอบ มีดังนี้ Feasible Solution หมายถึง คำตอบที่เป็นไปได้ Local

Optimum หมายถึงใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด Global Optimum หมายถึงคำตอบที่ดีที่สุด

การทดสอบนี้ใช้ โปรแกรม Lingo 16.0 และ Computer TOSHIBA, Intel® Core™ i5-337u CPU@ 1.80 GHZ RAM 8 GB

จากตารางที่ 5 แสดงถึงผลการทดสอบของรูปแบบปัญหาที่สามคือ Constraint BN มีค่า f เป็นช่วง จะมีการกำหนด f ขั้นต่ำ และ f สูงสุด เมื่อทำการทดสอบพบว่าแบบจำลอง Assignment-based ดีกว่าแบบจำลอง Flow-based ในปัญหาขนาดเล็ก เรื่องของระยะเวลาในการหาคำตอบ แตกต่างกัน 40 นาทีในช่วงสองปัญหาขนาดเล็ก แต่เมื่อเทียบกับระยะทางรวมของคำตอบ แบบจำลอง Flow-based ดีกว่าแบบจำลอง Assignment-based โดยมีระยะทางแตกต่างกันถึง 6 ถึง 40 กิโลเมตร เมื่อปัญหาตัวมีขนาดใหญ่ขึ้นใน ปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ แบบจำลอง Flow-based จะดีกว่า แบบจำลอง Assignment-based ในเรื่องระยะเวลาในการหาคำตอบ และ ระยะทางรวมของคำตอบ โดยในปัญหาขนาดกลางแบบจำลอง Flow-based มีระยะทางรวมของคำตอบแตกต่างกันถึง 40 ถึง 150 กิโลเมตร ในปัญหาขนาดใหญ่แบบจำลอง Assignment-based ไม่สามารถหาคำตอบได้โดยใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบ เท่ากันตามระยะเวลาที่กำหนด

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการนำผลทดสอบของรูปแบบปัญหาทั้ง 3 รูปแบบของมาเปรียบเทียบ จึงสรุปได้ว่าปัญหารูปแบบที่สามมีลักษณะใกล้เคียงกรณีศึกษา เนื่องจากสาขาร้านสะดวกซื้อที่รถบรรทุกต้องไปจัดส่งในแต่ละครั้งมีค่าเป็นช่วง ไม่ได้เป็นค่าคงที่ จึงตรงกับรูปแบบที่สาม โดยจากการทดสอบรูปแบบที่สามจากจำนวน 9 ปัญหา คือขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ แบบจำลอง Flow-based สามารถใช้เวลาในการหาคำตอบ และระยะทางรวมของคำตอบ ได้ดีกว่าแบบจำลอง Assignment-based ทั้ง 9 ปัญหา จึงสรุปได้ว่า แบบจำลอง Flow-based เหมาะสมกับกรณีศึกษา ส่วนในแบบจำลอง Assignment-based จะเหมาะสมกับปัญหารูปแบบที่สอง มีจำนวนสาขาที่รถบรรทุกแต่ละคันต้องแวะมีค่าเท่ากัน และไม่ต้องการทราบระยะทางของรถแต่ละคัน ทราบเพียงระยะทางรวมของคำตอบ โดยแบบจำลอง Flow-based ถึงจะเหมาะสมกับกรณีศึกษาแต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆที่สามารถใช้เวลาในการหาคำตอบได้ดีกว่า แบบจำลอง Flow-based ก็อาจจะไม่เหมาะสม นอกจากการเปรียบเทียบกับ

รูปแบบปัญหาทั้ง 3 รูปแบบ ผู้วิจัยพบว่าถ้ามีจำนวนตัวแปรของรถบรรทุก และจำนวนสาขา รวมทั้งการเพิ่ม Constraint ใดๆก็ตามจะส่งผลต่อระยะเวลาในการหาคำตอบของทั้งสองแบบจำลอง โดยถ้าในกรณีที่มีการเพิ่ม จำนวนตัวแปรรถบรรทุก และจำนวนสาขา รวมทั้ง Constraint ขึ้นมาจะส่งผลทำให้ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบนานมากยิ่งขึ้น ดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของจำนวนตัวแปรรถบรรทุก และจำนวนสาขา รวมทั้งการเพิ่ม Constraint จะพบว่าในแบบจำลอง Flow-based สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัญหา

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลทดสอบของรูปแบบปัญหาทั้ง 3 รูปแบบของแบบจำลอง Assignment-based และ แบบจำลอง Flow-based ที่ทำการทดสอบด้วย โปรแกรม LINGO ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาของกรณีศึกษาได้ ผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอแนะถึงการนำวิธีการอื่นมาใช้ในการแก้ไขปัญหารวมทั้งการทราบข้อมูลและ ทราบข้อมูลเพิ่มเติมจะทำให้มีความใกล้เคียงกับกรณีศึกษายิ่งขึ้น ดังนี้

- 1.การนำวิธีการฮิวริสติกส์มาแก้ไขกับกรณีศึกษานี้ เนื่องจากวิธีการฮิวริสติกส์เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาก็ได้ผลคำตอบที่ไม่ได้ดีที่สุดแต่เป็นผลคำตอบที่ยอมรับได้และใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยกว่าวิธีที่ของวิธีการกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming)

- 2.ทราบระยะเวลาที่ต้องแวะส่งสินค้าจะทำให้ระยะเวลาหรือระยะทางมากขึ้นทำให้ความสามารถของทั้งสองแบบจำลองเปลี่ยนในการหาคำตอบและใกล้สถานการณ์จริงมาก

- 3.ถ้าคำนึงถึงการจราจรในการขนส่งสินค้าโดยเพิ่มเงื่อนไขในทั้งสองแบบจำลองจะทำให้เห็นถึงคำตอบที่เปลี่ยนไปและทำให้เลือกช่วงเวลาในการขนส่งได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้นงานวิจัยฉบับนี้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถ้าสามารถเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลที่สามารถจัดเก็บข้อมูลแบบ Real-Time ซึ่งสามารถดึงข้อมูลระยะเวลาเดินทาง และสถานที่ต้องไปส่งสินค้า จะทำให้มีเวลาในการ RUN ทดสอบมากยิ่งขึ้น เพื่อให้หาคำตอบที่ดีขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tolga Bektas, "The multiple traveling salesman problem: an overview of formulations and solution procedures", *Omega.*, Vol. 34, pp.209 – 219, 2006.
- [2] Gorenstein S, "Printing press scheduling for multi-edition periodicals", *Management Science.*, Vol.16(6), pp.373–383, 1970.
- [3] Carter AE and Ragsdale CT, "Scheduling pre-printed newspaper advertising inserts using genetic algorithms", *Omega.*, Vol. 30, pp.415–421, 2002.
- [4] Svestka, Joseph and Huckfeldt, Vaughn E. "Computational experience with an m-salesman traveling salesman algorithm", *Management Science .*, Vol. 19 (7), pp.790 - 799, 1973.
- [5] Angel RD, Caudle WL, Noonan R and Whinston A, "Computer assisted school bus scheduling", *Management Science .*, Vol. 18, pp.279–288, 1972.
- [6] Gilbert KC and Hofstra RB, " A new multiperiod multiple traveling salesman problem with heuristic and application to a scheduling problem", *Decision Sciences.*, Vol. 23, pp.250–259,1992.
- [7] Brummit B, Stentz A, " Dynamic mission planning for multiple mobile robots", *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation*, 1996.
- [8] Tang L, Liu J and Rong A, Yang Z, " A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shangai Baoshan Iron & Steel Complex", *European Journal of Operational Research.*, Vol. 124, pp.267–282, 2000
- [9] Saleh HA andChelouah R, "The design of the global navigation satellite system surveying networks using genetic algorithms", *Engineering Applications of Artificial Intelligence.*, Vol. 17, pp.111–122, 2004.
- [10] I.Kara and T.Bektas, "Integer programming formulations of multiple salesman problems and its variations", *Journal of Operational Research.*, Vol. 174, pp.1449–1458, 2006.
- [11] Miller CE, Tucker AW and Zemlin RA, "Integer programming formulation of traveling salesman problems", *Journal of Association for Computing Machinery.*, Vol. 7, pp.326–329, 1960.
- [12] Laporte G and Nohert Y, "A cutting planes algorithm for the m-salesmen problem", *Journal of the Operational Research Society.*, Vol. 31, pp.1017–1023, 1980.
- [13] Christofides N, Mingozzi A and Toth P, "Exact algorithms for the vehicle routing problem", based on spanning tree and shortest path relaxations. *Mathematical Programming.*, Vol.20, pp.255–282, 1981
- [14] ปวิณ สุข, 2556, ระบบการบริหารสินค้าคงคลังโดยผู้ผลิตมาใช้เพื่อหาระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีคลังสินค้าหลักแห่งเดียวกับหลายค้าปลีก, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [15] วรวิภา วรรณศิริ, 2558, การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับช่วยเหลือผู้ประสพภัยพิบัติ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยและนวัตกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.