การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม

ณัฏฐ์ดนัย สุพัฒน์ธนานนท์[1], ปณัทพร เรืองเชิงชุม[2, *]
[1, 2]วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Received: 25 March 2020
Revised: 19 August 2020
Accepted: 20 August 2020

บทคัดย่อ

การเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมสามารถช่วยลดต้นทุนขนส่งสินค้าลงได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยเก็บและรวบรวมข้อมูลจากคู่ค้าทางธุรกิจของกรณีธุรกิจกระจายสินค้า จำนวน 30 ราย ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 ร่วมกับวิเคราะห์หาต้นทุนขนส่งสินค้าที่ต่ำ ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าเก็บรักษาสินค้า ค่าจ้างพนักงานขับรถบรรทุก ค่าเสื่อมราคา และค่าบำรุงรักษารถบรรทุก ผลการวิจัยพบว่า ปัญหาการกระจายสินค้าดังกล่าวเป็นลักษณะ NP-Hard เนื่องจากมีการพิจารณาหลายศูนย์กระจายสินค้า ลูกค้าหลายแห่ง และรถบรรทุกหลายขนาด ผู้วิจัยจึงเสนอรูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยทดลองจากข้อมูลความต้องการสินค้าจริงจำนวน 5 ชุด ของธุรกิจกรณีศึกษา พบว่าตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มที่สร้างขึ้นมีความถูกต้อง ทำให้ธุรกิจกรณีศึกษาสามารถเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่มที่เหมาะสม ส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนขนส่งสินค้ามากถึง 72.85 ล้านบาทต่อปี หรือคิดเป็น ร้อยละ 58.90

คำสำคัญ: การกระจายสินค้า ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม รถบรรทุกหลายขนาด ต้นทุนขนส่งสินค้า การขนส่งแบบขนส่งตรง

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: rpanut@kku.ac.th

The Optimal Selection of Distribution Model with Mixed Integer Programming: A Case Study of Beverage Distribution Firm

Natdhanai Supattananon[1], Panutporn Ruangchoengchum[2, *]

[1, 2]College of Graduate Study in Management, Khonkaen University

Received: 25 March 2020
Revised: 19 August 2020
Accepted: 20 August 2020

Abstract

The selection of suitable product distribution model leads to the reduction of transportation costs. This research aims to study the suitable product distribution model with the application of a mixed integer programming model. Data from business partners of 30 distribution business cases in the Northeastern region was collected and analyzed by the mixed integer programming model. The LINGO 11.0 Program was applied together with the analysis of low transportation costs, including fuel cost, storage cost, truck driver wage, depreciation cost, and truck maintenance cost. The results showed that the problem of product distribution was that of NP-hard problem because there were multi distribution centers, multi customers, and multi-truck sizes. The researcher therefore proposed the proper distribution model by the application of the mixed integer programming model. The experiment was conducted with five sets of data on real production demand of the case study business. It was found that the generated mathematical model was accurate, which enabled the case study business to select the suitable beverage beverage distribution model. As a result, the transportation costs decreased by up to 72.85 million baht per year or 58.90 percent.

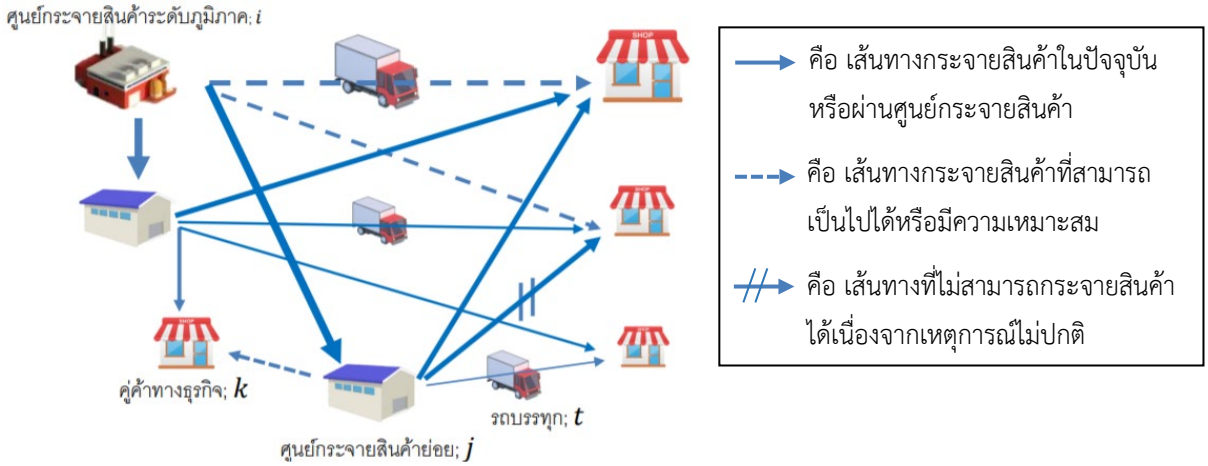
Keywords: Product distribution, Mixed integer programming model, Multi truck sizes, Transportation cost, Direct shipment

*Corresponding Author; E-mail: rpanut@kku.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันธุรกิจหรือหน่วยงานต่างๆ มีการเจริญเติมโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจผู้ผลิตสินค้าประเภทอาหารและเครื่องดื่ม (GSB Research, 2019; Yongpisanphob, 2019) ซึ่งให้ความสำคัญกับการลดต้นทุนการกระจายสินค้า (Phongthong, 2018) เนื่องจากต้นทุนการกระจายสินค้ามีมูลค่ามากกว่า 1 ใน 3 หรือคิดเป็นร้อยละ 30-40 ของมูลค่าสินค้า (Khucharoenphaisan, 2009) และการลดต้นทุนการกระจายสินค้าสามารถสร้างกำไรให้กับธุรกิจได้ (Apiprachyasakul, 2014) เพื่อสร้างความได้เปรียบทางธุรกิจ (Tuzkaya, Onut, and Tuzkaya, 2014) หลายธุรกิจจึงพัฒนารูปแบบการกระจายสินค้าให้มีประสิทธิภาพเพื่อการลดต้นทุนการกระจายสินค้าและกำหนดให้เป็นปัญหาเชิงกลยุทธ์ (Cosma, Pop, and Dănciulescu, 2020)

ธุรกิจกรณีศึกษาประกอบธุรกิจการกระจายสินค้าเครื่องดื่มในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ของประเทศไทย มีการกระจายสินค้าจากโรงงานผลิตในเขตพื้นที่ภาคกลางไปยังภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศ ผ่านศูนย์กระจายสินค้าระดับภูมิภาค (Regional Distribution Center: RDC) และศูนย์กระจายสินค้าย่อย (Sub Distribution Center: SDC) ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจที่ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ต่างๆ ทั่วภาคตะวันออกเฉียงเหนือทั้งหมด 30 ราย ตามคำสั่งของฝ่ายแผนงาน จากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของธุรกิจกรณีศึกษาเพื่อหาปัญหาที่ก่อให้เกิดต้นทุนสูญเปล่าของการกระจายสินค้า พบว่า ต้นทุนสูญเปล่าเกิดจากการจัดรถบรรทุก การคัดเลือกเส้นทาง และรูปแบบการกระจายสินค้าไม่เหมาะสม เนื่องจาก มีรถบรรทุกหลายขนาด มีคู่ค้าทางธุรกิจหรือลูกค้าย่อยหลายราย และมี SDC หลายแห่ง จึงทำให้การจัดการกระจายสินค้าโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงานส่งผลกระทบต่อต้นทุน ยกตัวอย่างเช่น คู่ค้าทางธุรกิจ A ตั้งอยู่ระหว่างเส้นทาง RDC กับ SDC แต่ความต้องการสินค้าของคู่ค้าทางธุรกิจดังกล่าวได้รับการให้บริการจาก SDC ทำให้เกิดการเดินทางทับซ้อนและมากเกินความจำเป็น ซึ่งระยะทางดังกล่าวมีค่าเท่ากับระยะทางไปกลับระหว่าง SDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจนั้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปัญหาการกระจายสินค้า

จากภาพที่ 1 เมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายสินค้าในปัจจุบัน พบว่า การกระจายสินค้าถูกแบ่งออกเป็น 2 ระดับ หรือทางด้านโลจิสติกส์เรียกว่า 2 เชน ได้แก่ 1) การกระจายสินค้าจาก RDC ไปยัง SDC ซึ่งธุรกิจกระจายสินค้าขนาดใหญ่ในประเทศไทยนิยมตั้งศูนย์กระจายสินค้าในพื้นที่ที่เป็นศูนย์กลางของภูมิภาคต่างๆ เช่น จังหวัด

นครราชสีมาเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคอีสาน จังหวัดปทุมธานีเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคกลาง จังหวัดสงขลาเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคใต้ และจังหวัดเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้าเขตภาคเหนือ เป็นต้น และ 2) การกระจายสินค้าจาก SDC ไปยังธุรกิจคู่ค้าทางธุรกิจหรือลูกค้า เป็นต้น

การกระจายสินค้าด้วยรูปแบบการขนส่งตรงถูกพิจารณาเมื่อคู่ค้าทางธุรกิจมีความต้องการสินค้าแบบเต็มคันรถ (Full Truck Load: FTL) ซึ่งสามารถจำลองด้วยปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem) และแก้ไขได้ด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Programming: MIP) (Holzapfel, et al., 2018) โดยทั่วไป ปัญหาดังกล่าวมีเป้าหมายในการหาระยะทางที่สั้นที่สุด หรือลดต้นทุนการขนส่งสินค้า เพื่อให้ต้นทุนการกระจายสินค้ามีมูลค่าต่ำที่สุดและตอบสนองต่อความต้องการของคู่ค้าทางธุรกิจ (Arkararungraingkul, et al., 2019) แต่หลายกรณีที่เส้นทางที่สั้นที่กว่าถูกกำหนดให้ไม่สามารถเดินทางผ่านได้หรือจำกัดไว้ เนื่องจากเส้นทางนั้นเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น ภัยธรรมชาติ (Zhang, et al., 2019, Wisetjindawat, et al., 2019, Esper Angillieri, 2020) การจราจรหรือสภาพถนนไม่เอื้ออำนวย (Wisetjindawat, et al., 2019; He, et al., 2017; Yap, et al., 2020; Bassolas, et al., 2020) เหตุก่อการร้าย (Solano-Charris, 2014) และเงื่อนไขของคู่ค้าทางธุรกิจหรืออิทธิพลของสังคม (Yun, et al., 2020; Orlis, et al., 2020) เป็นต้น

ดังนั้น ผู้เขียนจึงศึกษาการลดต้นทุนด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการกระจายสินค้าแบบผสม ที่มีการจำกัดเส้นทาง: กรณีศึกษาธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่ม ที่ดำเนินการกับโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 ซึ่งจะทำให้ธุรกิจกรณีศึกษาสามารถพัฒนาระบบการจัดการกระจายสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีต้นทุนการกระจายสินค้าที่ต่ำลง

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลปฐมภูมิ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บและรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้า ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ยานพาหนะที่ใช้กระจายสินค้า และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง (ตามภาพที่ 2) โดยศึกษาจากธุรกิจกระจายสินค้าเครื่องดื่มขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทยเป็นธุรกิจกรณีศึกษา ในส่วนของข้อมูลทุติยภูมิ ผู้วิจัยศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ตั้งแต่ (1) รูปแบบการกระจายสินค้า (2) ต้นทุนค่าขนส่ง (3) ข้อจำกัดด้านการขนส่ง (4) การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ และ (5) โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 บนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ i5-5200U CPU @2.20GHz RAM 4.00 เพื่อสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ โดยกำหนดตัวแปรและพารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ รวมถึงฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ดังนี้

ตัวแปรและพารามิเตอร์:

i คือ เซตของ RDC ; $i \in \{1\}$

j คือ เซตของ SDC ; $j \in \{1, 2, 3\}$

k คือ เซตของคู่ค้าทางธุรกิจหรือลูกค้าย่อย ; $k \in \{1, 2, ..., 30\}$

t คือ เซตของรถบรรทุก ; $t \in \{1, 2, ..., 324\}$ ซึ่งเป็นการลดจำนวนตัวแปร โดยรวมรถบรรทุกทั้ง 3 ขนาด เข้าด้วยกันแล้วกำหนดให้รถบรรทุกขนาดที่ 1 (รถบรรทุก 18 ล้อ) มีค่า $t \in \{1, 2, ..., 84\}$ รถบรรทุกขนาดที่ 2 (รถบรรทุก 10 ล้อ) มีค่า $t \in \{85, 86, ..., 184\}$ และรถบรรทุกขนาดที่ 3 (รถบรรทุก 6 ล้อ) มีค่า $t \in \{185, 186, ..., 324\}$ เพื่อให้ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์สามารถดำเนินการด้วยเวลาที่สั้นลง (Arkararungraingkul, et al., 2019)

DIK_{ik} คือ ระยะทางระหว่าง RDC ที่ i ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ k (กิโลเมตร)

DIJ_{ij} คือ ระยะทางระหว่าง RDC ที่ i ไปยัง SDC ที่ j (กิโลเมตร)

DJK_{jk} คือ ระยะทางระหว่าง SDC ที่ j ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ k (กิโลเมตร)

$FCOST_t$ คือ ต้นทุนคงที่ของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกเดินทาง 1 เที่ยว (บาท)

$VCOSTF_t$ คือ ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกเดินเที่ยวเปล่า (บาท/กม.)

$VCOSTW_t$ คือ ต้นทุนผันแปรของรถบรรทุก t เมื่อรถบรรทุกขนสินค้า (บาท/พาเลท/กม.)

$INVCOST_j$ คือ ต้นทุนผันแปรของ SDC ที่ j เมื่อมีการขนส่งผ่าน SDC (บาท/พาเลท)

CAP_t คือ ปริมาณการบรรทุกสินค้าสูงสุดของรถบรรทุก t (พาเลท)

$Demand_k$ คือ ความต้องการสินค้าของคู่ค้าทางธุรกิจ k (พาเลท)

ตัวแปรตัดสินใจ: กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจหลักเป็นตัวแปรแบบไบนารี ซึ่งมีเท่ากับ 1 หรือ 0 เท่านั้น โดยค่าคำตอบที่ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงการตัดสินใจดำเนินการ และเท่ากับ 0 หมายถึงไม่ดำเนินการ ดังนี้

$$X_{tik} = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } i \text{ ไปยัง } k \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$Y_{tij} = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } i \text{ ไปยัง } j \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$Z_{tjk} = \begin{cases} 1 \text{ เมื่อตัดสินใจขนส่งจาก } j \text{ ไปยัง } k \text{ ด้วยรถบรรทุก } t \\ 0 \text{ กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์: เป็นค่าคำตอบของการจัดการกระจายสินค้าไปยังคู่ค้าทางธุรกิจโดยผ่าน SDC และพิจารณาการขนส่งตรงจาก RDC เพื่อให้ต้นทุนการกระจายสินค้าที่ต่ำที่สุด ดังสมการที่ (1)

$$\text{Min} = \sum_{t}^{324}\sum_{i}^{1}\sum_{k}^{30}((2DIK_{ik}VCOSTF_t + FCOST_t) + (CAP_tVCOSTW_tDIK_{ik}))\,X_{tik} \quad (1)$$

$$+\sum_{t}^{324}\sum_{i}^{1}\sum_{j}^{3}((2DIJ_{ij}VCOSTF_t + FCOST_t) + (CAP_tVCOSTW_tDIJ_{ij}))Y_{tij}$$

$$+\sum_{t}^{324}\sum_{i}^{1}\sum_{j}^{3}\left(CAP_t INVCOST_j\right)Y_{tij}$$

$$+\sum_{t}^{324}\sum_{j}^{3}\sum_{k}^{30}\left(\left(2DJK_{jk}VCOSTF_t + FCOST_t\right) + \left(CAP_t VCOSTW_t DJK_{jk}\right)\right)Z_{tjk}$$

จากสมการวัตถุประสงค์ พบว่า ต้นทุนการกระจายสินค้าของรถบรรทุกถูกพิจารณาด้วยปริมาณสินค้าแบบเต็มคันรถ เนื่องจากเป็นนโยบายของธุรกิจกรณีศึกษา เกี่ยวกับการกระจายสินค้าให้มากกว่าหรือเท่ากับความต้องการของคู่ค้าทางธุรกิจแต่ไม่เกินความสามารถสูงสุดในการบรรทุกของรถบรรทุกคันนั้น ดังนั้นสมการวัตถุประสงค์จึงหาต้นทุนค่ากดทับจากสินค้าด้วย CAP_t นอกจากนี้ พจน์ที่มีความสัมพันธ์กับระยะทางจะถูกคูณด้วย 2 เนื่องจากเป็นการคิดระยะทางการกระจายสินค้าทั้งขาไปและกลับด้วยเส้นทางเดิมของรถบรรทุก เช่น $2DIK_{ik}$ หมายถึงระยะทางทั้งขาไปและกลับของการเดินทางจาก RDC i ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ k และกลับมาที่จุดเดิม

สมการข้อจำกัด:

$$\sum_{i}^{1}\sum_{k}^{30}X_{tik} \leq 1 \qquad \forall_t \qquad (2)$$

$$\sum_{i}^{1}\sum_{j}^{3}Y_{tij} \leq 1 \qquad \forall_t \qquad (3)$$

$$\sum_{j}^{3}\sum_{k}^{30}Z_{tjk} \leq 1 \qquad \forall_t \qquad (4)$$

$$\sum_{i}^{1}\sum_{k}^{30}X_{tik} + \sum_{i}^{1}\sum_{j}^{3}Y_{tij} + \sum_{j}^{3}\sum_{k}^{30}Z_{tjk} \leq 1 \qquad \forall_t \qquad (5)$$

$$\sum_{t}^{324}\sum_{i}^{1}CAP_t X_{tik} + \sum_{t}^{324}\sum_{j}^{3}CAP_t Z_{tjk} \geq Demand_k \qquad \forall_k \qquad (6)$$

$$\sum_{t}^{324}\sum_{i}^{1}CAP_t Y_{tij} = \sum_{t}^{324}\sum_{k}^{30}CAP_t Z_{tjk} \qquad \forall_j \qquad (7)$$

$$\sum_{i}^{1}\sum_{k}^{30}X_{tik} = 0 \qquad \forall_{t\in\{185,186,\ldots,324\}} \qquad (8)$$

$$\sum_{t}^{324}X_{tik} = 0 \qquad \forall_{i=1,k=18} \qquad (9)$$

$$X_{tik},\ Y_{tij},\ Z_{tjk} \in \{0,\ 1\} \qquad \forall_{tijk} \qquad (10)$$

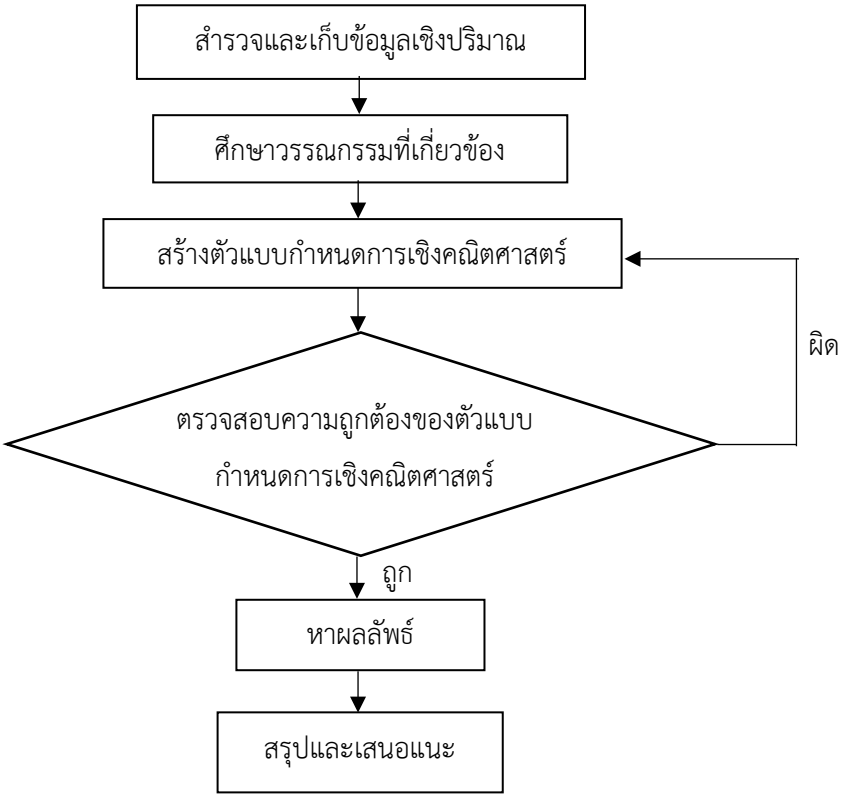
สมการที่ (2) ถึง (4) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคันสามารถขนส่งได้วันละหนึ่งเที่ยว สมการที่ (5) หมายถึง รถบรรทุกแต่ละคันสามารถขนส่งได้ในเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น กล่าวคือ ขนส่งตรงจาก RDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ หรือขนส่งตรงจาก RDC ไปยัง SDC หรือขนส่ง SDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจ ทางใดทางหนึ่งเท่านั้น สมการที่ (6) หมายถึง การตัดสินใจขนส่งสินค้าด้วยการขนส่งผ่าน SDC รวมกับการขนส่งตรงต้องเพียงพอต่อความต้องการของคู่ค้าทางธุรกิจ สมการที่ (7) หมายถึง ปริมาณสินค้าใน SDC ต้องได้รับการเติมเต็มจาก RDC เท่ากับปริมาณสินค้าที่คู่ค้าทางธุรกิจได้รับจาก SDC นั้น สมการที่ (8) หมายถึง รถบรรทุก 6 และ 10 ล้อ ไม่สามารถขนส่งแบบส่งตรงจาก RDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจได้ เนื่องจากเป็นเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา สมการที่ (9) หมายถึง ข้อจำกัดด้านเส้นทางการขนส่งสินค้า ซึ่งเกิดจากเหตุการณ์ไม่ปกติและธุรกิจกรณีศึกษากำหนด (โดยทั่วไปจะพิจารณาเหตุการณ์ไม่ปกติ เช่น น้ำท่วม การชุมนุม และการปิดเส้นทางอื่นๆ) งานวิจัยนี้จะปิดเส้นทางระหว่าง RDC กับคู่ค้าทางธุรกิจที่ 18 (บจก. เดอะมอลล์ นครราชสีมา) เนื่องจากเหตุการณ์ก่อการร้าย ในทางตรงกันข้ามตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์นี้สามารถจำกัดให้คู่ค้าทางธุรกิจใดๆ ให้รับสินค้าจาก SDC แห่งใดแห่งหนึ่งได้จากสมการนี้ โดยกำหนดให้ $\sum_{t}^{324} Z_{tjk}$ เท่ากับ 1 และสมการที่ (10) หมายถึง กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจหลักเป็นตัวแปรแบบไบนารีที่มีค่าคำตอบเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

ผู้วิจัยได้ตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูล ตั้งแต่วิธีการดำเนินงานวิจัย รวมถึงตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยตรวจสอบการออกแบบตามตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์รวมถึงตามข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษาเพื่อเป็นตัวอย่างประกอบการวิจัยนี้ อย่างไรก็ตาม การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้ หากตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความผิดพลาด หรือมีความคลาดเคลื่อน โดยไม่สามารถหาค่าคำตอบได้ หรือค่าคำตอบที่ได้ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ หรือค่าคำตอบที่ได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของกรณีศึกษา หรือค่าคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้ามากกว่าวิธีเดิมของกรณีศึกษา ผู้วิจัยจะตรวจสอบและยืนยันความถูกต้องของข้อมูล โดยย้อนกลับไปดำเนินการในขั้นตอนก่อนหน้า (ตามขั้นตอนออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์) อีกครั้ง แต่ในกรณีที่ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง ผู้วิจัยจะดำเนินการหาผลลัพธ์จากข้อมูลความต้องการจริงของกรณีศึกษาและสรุปผลการวิจัยตามลำดับต่อไป

ขั้นตอนการวิจัย

เพื่อให้งานวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ มีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ ผู้เขียนจึงออกแบบการศึกษาวิจัยโดยนำเสนอเป็นขั้นตอนดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

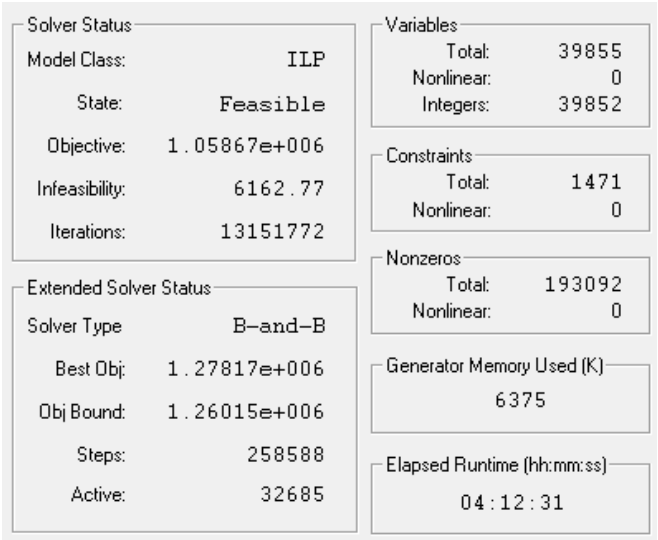
จากภาพที่ 2 พบว่า การศึกษาวิจัยเริ่มต้นจากการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้า ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ยานพาหนะที่ใช้กระจายสินค้า และองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดให้ธุรกิจกระจายสินค้าขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทยเป็นธุรกิจกรณีศึกษา หลังจากนั้นผู้เขียนศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ 1) รูปแบบการกระจายสินค้า 2) ต้นทุนค่าขนส่ง 3) ข้อจำกัดด้านการขนส่ง 4) การสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ และ 5) โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการดำเนินงานวิจัย ต่อมาจึงเริ่มออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ตามข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา เพื่อเป็นตัวอย่างประกอบการศึกษาวิจัยนี้ก่อนตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนนี้ ถ้าตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความผิดพลาด กล่าวคือ ไม่สามารถหาค่าคำตอบได้หรือค่าคำตอบที่ได้ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ หรือค่าคำตอบที่ได้ไม่ตรงตามเงื่อนไขของกรณีศึกษา หรือค่าคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้ามากกว่าวิธีเดิมของกรณีศึกษาผู้เขียนจะย้อนกลับไปดำเนินการในขั้นตอนการออกแบบตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์อีกครั้ง แต่ในกรณีที่ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้องจะดำเนินการหาผลลัพธ์จากข้อมูลความต้องการจริงของกรณีศึกษาและสรุปผลการวิจัยตามลำดับ

ผลการวิจัย

ผลจากการศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ภายใต้ข้อมูลความต้องการสินค้า (เครื่องดื่ม) จริงของคู่ค้าทางธุรกิจของธุรกิจกรณีศึกษา ซึ่งพิจารณาการกระจายสินค้าจาก RDC 1 แห่ง ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจรวม 30 ราย พบว่าสามารถแบ่งคู่ค้าทางธุรกิจออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดใหญ่ 4 ราย ขนาดกลาง 13 ราย และขนาดเล็ก 13 ราย เป็นต้น (ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย) นอกจากนี้ เมื่อวิเคราะห์รูปแบบการกระจายสินค้าพบว่า เป็นแบบผสมระหว่างสองรูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการกระจายสินค้าแบบผ่าน SDC และแบบส่งตรงจาก RDC

อย่างไรก็ตาม พบว่า ในกรณีที่ตัดสินใจเลือกรูปแบบการกระจายสินค้าแบบขนส่งผ่าน SDC คู่ค้าทางธุรกิจสามารถเลือกรับสินค้าจาก SDC ทั้ง 3 แห่ง หรือแห่งใดแห่งหนึ่ง โดยการวางแผนกระจายสินค้าจะต้องคัดเลือกรถบรรทุกที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการ รวมถึงเส้นทางและมีต้นทุนที่ต่ำที่สุด นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากรถบรรทุก 3 ขนาด ที่มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน รวมทั้งหมด 320 คัน พบว่า สามารถยกตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากข้อมูลชุดที 1 ดังภาพที่ 3

ซึ่งจากภาพที่ 3 พบว่า ข้อมูลชุดที่ 1 ให้ค่าคำตอบแบบ Feasible ที่ต้นทุน 1,278,173 บาท นั่นคือค่าคำตอบ ณ ช่วงเวลาที่ต้องการ ซึ่งเกิดจากการที่ฝ่ายแผนงานของธุรกิจหยุดเวลาก่อนที่จะค้นพบค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือ Global Optimal เนื่องจาก ข้อจำกัดด้านเวลาในการหาค่าคำตอบ (ธุรกิจกรณีศึกษากำหนดให้ใช้เวลาในการหาค่าคำตอบไม่เกิน 240 นาที) อย่างไรก็ตาม ผลการวิจัยพบว่าค่าคำตอบดังกล่าวต่างจากค่าขอบล่างของวัตถุประสงค์ (Objective Bound) เท่ากับ ร้อยละ 1.41 ดังนั้น ค่าคำตอบจึงมีความเหมาะสม โดยสามารถอ่านค่าให้อยู่ในรูปของตารางการจัดการขนส่งสินค้าได้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 1



ภาพที่ 3 ผลลัพธ์จากโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบรูปแบบการขนส่งสินค้าด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 กับรูปแบบเดิม

คู่ค้าทางธุรกิจ	รูปแบบเดิม			รูปแบบที่นำเสนอ		
	รูปแบบการขนส่งสินค้า	รถขนาด (พาเลท: คัน)	ต้นทุน (บาท)	รูปแบบการขนส่งสินค้า	รถขนาด (พาเลท: คัน)	ต้นทุน (บาท)
1	ผ่าน SDC 1	20: 19	152,897.87	ตรงจาก RDC	20: 15, 12: 2	70,750.67
3	ผ่าน SDC 1	20: 21	56,848.89	ตรงจาก RDC	12: 35	10,967.95
5	ผ่าน SDC 2	12: 9	179,095.80	ผ่าน SDC 1	20: 3,12: 4	68,179.36
7	ผ่าน SDC 1	12: 10	53,274.40	ผ่าน SDC 1	12: 10	53,274.40
9	ผ่าน SDC 2	12: 11	147,188.89	ตรงจาก RDC	20: 5, 12: 2	86,951.94
				ผ่าน SDC 2	6: 1	9,400.96
18	ผ่าน SDC 1	6: 6	14,530.50	ผ่าน SDC 1	12: 3	7,190.32
30	ผ่าน SDC 3	6: 5	78,697.25	ผ่าน SDC 3	20: 1, 6: 1	30,908.64

จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นถูกต้อง เนื่องจากมีค่าคำตอบตรงตามเงื่อนไขของธุรกิจกรณีศึกษา กล่าวคือ ใช้งานรถบรรทุกแต่ละขนาดไม่เกินจำนวนที่มีอยู่ รวมถึงคู่ค้าทางธุรกิจทุกรายได้รับบริการจาก RDC หรือ SDC ตามปริมาณความต้องการ นอกจากนี้ เส้นทางที่ถูกจำกัดไว้ในสมการไม่มีรถบรรทุกคันใดเดินทางผ่าน และ SDC ได้รับเติมเต็มสินค้าทุกครั้งที่ให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจ เป็นต้น ดังนั้น ต้นทุนการกระจายสินค้าด้วยรูปแบบที่นำเสนอมีค่าต่ำกว่ารูปแบบเดิมของธุรกิจกรณีศึกษา ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งสินค้าระหว่างรูปแบบเดิมและรูปแบบที่นำเสนอ

ข้อมูลชุดที่	ความต้องการรวม (พาเลท)	ต้นทุนการขนส่งสินค้า (บาท)		ผลต่าง (บาท)	% ผลต่าง (ร้อยละ)
		รูปแบบเดิม	รูปแบบที่นำเสนอ		
1	2,514.00	3,235,776.36	1,278,173.00	1,957,722.36	60.50
2	2,474.00	2,850,469.46	1,467,505.00	1,382,964.46	48.52
3	1,745.00	2,323,461.15	1,086,409.00	1,237,052.15	53.24
4	2,271.00	4,015,305.83	1,352,443.00	2,662,862.83	66.32
5	2,145.00	3,949,339.72	1,345,119.00	2,604,220.72	65.94
เฉลี่ย	2,229.80	3,274,870.50	1,305,906.00	1,968,964.50	58.90

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการศึกษารูปแบบการกระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม พบว่า การกระจายสินค้าเครื่องดื่มให้มีต้นทุนที่ต่ำลงควรพิจารณาการออกแบบการขนส่งสินค้าแบบผสมระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าร่วมกับการขนส่งแบบขนส่งตรง เมื่อวิเคราะห์จากการสร้างตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด พบว่าแผนการกระจายสินค้าใหม่ควรออกแบบให้ตอบสนองต่อธุรกิจที่มีศูนย์กระจายสินค้าทั้ง 4 แห่ง และควรมีรถบรรทุก 3 ขนาด รวมถึงมีคู่ค้าทางธุรกิจรวม 30 ราย นอกจากนี้ ควรพิจารณา

ต้นทุนอย่างครบถ้วน ได้แก่ ต้นทุนค่าพลังงานหรือเชื้อเพลิง รวมถึงต้นทุนค่าเก็บรักษา ต้นทุนค่าบำรุงรักษาและค่าเสื่อมสภาพรถบรรทุก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผลจากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์มีความถูกต้อง ดังนั้นค่าคำตอบของต้นทุนการกระจายสินค้าที่ได้จึงต่ำกว่ารูปแบบเดิม จึงสรุปว่าตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สามารถช่วยให้ต้นทุนการกระจายสินค้าของธุรกิจกรณีศึกษาลดลงเฉลี่ย 1.96 ล้านบาทต่อสัปดาห์ หรือคิดเป็นร้อยละ 58.90 หรือคิดเป็นเงิน 72.85 ล้านบาทต่อปี (เมื่อทำงาน 37 สัปดาห์/ปี)

อภิปรายผล

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 พบว่า ต้นทุนการกระจายสินค้าที่ได้จากรูปแบบที่นำเสนอด้วยตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป LINGO 11.0 มีค่าต่ำกว่ารูปแบบเดิมของธุรกิจกรณีศึกษาทุกชุดข้อมูล เนื่องจากการวางแผนกระจายสินค้าด้วยรูปแบบที่นำเสนอถูกผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่าน SDC กับการขนส่งแบบขนส่งตรง นอกจากนี้ จากตารางที่ 1 พบว่า ธุรกิจกรณีศึกษาให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจรายที่ 9 มีรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่มด้วยการขนส่งสินค้าจาก RDC ผ่าน SDC ที่ 2 ด้วยรถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 11 คัน ส่งผลทำให้เกิดต้นทุนค่าขนส่ง 3 ส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนค่าขนส่งขาเข้า SDC (ขนส่งจาก RDC ไปยัง SDC ที่ 2 ระยะทาง 270 กิโลเมตร) จำนวน 141,997.03 บาท 2) ต้นทุนค่าจัดเก็บสินค้าเท่ากับ 1,109.40 บาท และ 3) ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าขาออก (ขนส่งจาก SDC ที่ 2 ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจที่ 9 ระยะทาง 7 กิโลเมตร) จำนวน 4,082.46 บาท ดังนั้น ต้นทุนรวมจึงเท่ากับ 147,188.89 บาท และขนส่งด้วยระยะทางรวมเท่ากับ 277 กิโลเมตร ในขณะที่ต้นทุนจากรูปแบบที่นำเสนอใช้การกระจายสินค้าแบบผสมระหว่างการขนส่งแบบขนส่งตรงด้วยรถบรรทุกสองขนาด คือ 1) รถบรรทุก 18 ล้อ จำนวน 5 คัน และ 2) รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยรถบรรทุกทั้ง 2 ขนาด ขนส่งสินค้าจาก RDC ไปยังคู่ค้าทางธุรกิจที่ 9 ด้วยระยะทาง 230 กิโลเมตร เกิดต้นทุน 86,951.94 บาท และการกระจายสินค้าผ่าน SDC ที่ 2 ด้วยรถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน เพื่อให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจที่ 9 ตามปริมาณความต้องการสินค้าที่เหลือ ด้วยระยะทางขนส่งรวม 277 กิโลเมตร ทำให้เกิดต้นทุน 9,400.96 บาท ดังนั้น ต้นทุนรวมจึงเท่ากับ 96,352.90 บาท

ผลจากการวิจัยข้างต้น พบว่า ความแตกต่างของรูปแบบการกระจายสินค้าเครื่องดื่ม ควรพิจารณาในประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. ผู้ประกอบการควรมีรูปแบบการกระจายสินค้าแบบผสม ขณะที่การขนส่งแบบขนส่งตรงควรพิจารณาในกรณีที่คู่ค้าทางธุรกิจมีความต้องการสินค้าจำนวนมาก หรือระยะทางระหว่าง RDC กับคู่ค้าทางธุรกิจมีระยะทางสั้นกว่าการส่งผ่าน SDC อย่างไรก็ตาม จากการวิจัยพบว่าการให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจรายที่ 9 ได้ใช้รูปแบบที่นำเสนอทำให้สามารถลดระยะทางได้ถึง 47 กิโลเมตร เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของคู่ค้าทางธุรกิจที่ 9 อยู่ระหว่าง RDC และ SDC ที่ 2 ดังนั้น รูปแบบการกระจายสินค้าแบบส่งตรงจึงมีความเหมาะสมมากกว่าการส่งผ่าน SDC ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม รูปแบบการกระจายสินค้าควรส่งผ่าน SDC สำหรับความต้องการที่เหลือ เนื่องจากการขนส่งแบบขนส่งตรง จะใช้เฉพาะรถบรรทุก 18 และ 10 ล้อ เท่านั้น ดังนั้น ในกรณีที่ต้องใช้รถบรรทุก 6 ล้อ ควรต้องส่งผ่าน SDC ตามเงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษา

2. ผู้ประกอบการควรทำการคัดเลือกรถบรรทุกที่เหมาะสม เนื่องจาก ผลการวิจัยจากตารางที่ 1 พบว่า รูปแบบการกระจายสินค้าที่นำเสนอแนะนำให้ธุรกิจกรณีศึกษาควรให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจรายที่ 30 ด้วยรถบรรทุก 2 ขนาด ได้แก่ รถบรรทุก 18 ล้อ จำนวน 1 คัน และ รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 1 คัน เพื่อรองรับความต้องการสินค้าไม่เกิน 26 พาเลท แทนการใช้รถบรรทุก 6 ล้อ จำนวน 5 คัน ที่รองรับความต้องการสินค้า 30 พาเลท เนื่องจากมีความเหมาะสมมากกว่า ขณะที่คู่ค้าทางธุรกิจรายที่ 30 มีความต้องการสินค้า 26 พาเลท เท่านั้น นอกจากนี้ การใช้รถบรรทุก 18 ล้อ ทั้งที่มีต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับรถบรรทุก 10 และ 6 ล้อ ของรูปแบบการกระจายสินค้าที่นำเสนอมีความเหมาะสมกว่ารูปแบบเดิม เนื่องจากใช้รถน้อยลงเพียง 3 คัน แต่ให้บริการได้เท่ากัน จึงสามารถลดต้นทุนขนส่งที่ไม่จำเป็นและทำให้สามารถลดระยะทางและต้นทุนการใช้พลังงานหรือเชื้อเพลิงในการขนส่งเครื่องดื่มซึ่งเป็นต้นทุนหลักของค่าขนส่งได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Eiamworawutthikul, et al., (2018) ที่ยืนยันว่าต้นทุนขนส่งที่ไม่จำเป็นควรถูกกำจัดออกจากต้นทุนค่าขนส่งเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกระจายสินค้าเครื่องดื่มได้ต่อไป อย่างไรก็ตาม ธุรกิจกรณีศึกษาควรพิจารณาถึงการต้องมี SDC อยู่ เพื่อสามารถให้บริการคู่ค้าทางธุรกิจที่มีความต้องการแบบแปรผันหรือไม่แน่นอน หรือป้องกันการเสียโอกาสในการเข้าถึงคู่ค้าทางธุรกิจต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 ตัวแบบกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถปรับปรุงให้เหมาะสมกับธุรกิจที่ดำเนินธุรกิจใกล้เคียงกันได้ แต่การหาค่าคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่ากรณีศึกษาของงานวิจัยนี้อาจจะใช้เวลามากขึ้น หรือไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทันเวลา

1.2 วิจัยนี้พิจารณาเฉพาะต้นทุนเท่านั้น เนื่องจากธุรกิจกรณีศึกษามีจำนวนรถบรรทุกที่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานและมีกำลังในการจัดเตรียมสินค้าที่ทันเวลา ดังนั้น ถ้าธุรกิจที่ใกล้เคียงกันจะนำไปประยุกต์ใช้ควรพิจารณาเงื่อนไขของหน้าต่างเวลาเพิ่มเติม

2. ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ในกรณีที่มีปัญหาขนาดใหญ่ควรพิจารณาด้วยวิธีการอื่น เช่น วิธีทางฮิวริสติกส์ และวิธีอัลกอริทึมอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งอาจจะให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด ณ ช่วงเวลา หรือ Local Optimum เท่านั้น

2.2 ในอนาคตสามารถออกแบบให้ดึงข้อมูล (Input) จากโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ทั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Apiprachyasakul, K. (2014). *Goods Transportation in Logistics Works*. Bangkok: Focus Media and Publishing. (in Thai)

Arkararungraingkul, R., Supattananon, N., and Pimpatchim, A. (2019). The Mixed Integer Programming Model for Outbound Truck Arrangement: A Case Study of Beverage Distribution Firm. *Journal of Industrial Technology*, 9 (1), 41-54. (in Thai)

Bassolas, A., Gallotti, R., Lamanna, F., Lenormand, M., and Ramasco, J.J. (2020). Scaling in the recovery of urban transportation systems from massive events. *Scientific Reports*, 10(2746), 1-20.

Cosma, O., Pop, P.C., and Dănciulescu, D. (2020). A novel matheuristic approach for a two-stage transportation problem with fixed costs associated to the routes. *Computers and Operations Research*, 118(106906), 1-10.

Eiamworawutthikul, C., Manisri, C., Promwattanapakdee, T., and Jenkarn, W. (2018). Guidelines for the Calculation of Specific Energy Consumption (SEC) as Energy Performance Indicator in Transportation Operations. *Sripatum Review of Science and Technology,* 9(1), 118-127.

Esper Angillieri, M.Y. (2020). Debris flow susceptibility mapping using frequency ratio and seed cells, in a portion of a mountain international route, Dry Central Andes of Argentina. *Catena*, 189(104504), 1-9.

GSB Research. (2019). Food and beverage industry. *Industry Update*, 2562(1), 1-3. (in Thai)

He, Y., Qin, J., and Hong, J. (2017). Comparative analysis of quantitative efficiency evaluation methods for transportation networks. *PLoS ONE*, 12(4), 1-8.

Holzapfel, A., Kuhn, H., and Sternbeck, M.G. (2018). Product Allocation to Different Types of Distribution Center in Retail Logistics Networks. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 948-966.

Khucharoenphaisan, R. (2009). *Marketing Channels of Distribution and Logistics*. Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)

Orlis, C., Laganá, D., Dullaert, W., and Vigo, D. (2020). Distribution with Quality of Service Considerations: The Capacitated Routing Problem with Profits and Service Level Requirements. *Omega (United Kingdom),* 93(102034), 1-15.

Phongthong, P. (2018). Logistics Management for the Competitive Advantage in the Pallet Renting Business. *Journal of Humanities and Social Sciences, Rajapruk University*, 4(1), 91-100. (in Thai)

Solano-Charris, E.L., Prins, C., and Santos, A.C. (2014). Heuristic approaches for the robust vehicle routing problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 8596, 384-395.

Supattananon, N., Supattananon, N.D., and Arkararungraingkul, R. (2019). Distribution Model Improvement with Direct Shipment Using a Mixed Integer Linear Programming. *The Proceedings of the First National and International Conference of Kalasin University*, Kalasin: Kalasin University, 185-197. (in Thai)

Tuzkaya, U.R., Onut, S., and Tuzkaya, G. (2014). A strategic planning methodology for the multimodal transportation systems: A case study from Turkey. *Journal of Applied Mathematics*, 2014(931456), 1-24.

Wisetjindawat, W., Wilson, R.E., Bullock, S., and de Villafranca, A.E.M. (2019). Modeling the Impact of Spatial Correlations of Road Failures on Travel Times during Adverse Weather Conditions. *Transportation Research Record,* 2673(7), 157-168.

Yap, M., Cats, O., and van Arem, B. (2020). Crowding valuation in urban tram and bus transportation based on smart card data. *Transportmetrica A: Transport Science,* 16(1), 23-42.

Yongpisanphob, W. (2019). Beverage industry. *Krungsri Research*, 2562(1), 1-13. (in Thai)

Yun, Y., Chuluunsukh, A., and Gen, M. (2020). Sustainable closed-loop supply chain design problem: A hybrid genetic algorithm approach. *Mathematics,* 8(84), 1-18.

Zhang, M., Hu, X., and Wang, J. (2019). A method to assess and reduce pollutant emissions of logistic transportation under adverse weather. *Sustainability*, 11(5961), 1-19.