



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การศึกษาความเหมาะสมของการขนส่งสินค้าเกษตรของจังหวัดตากผ่านศูนย์กระจายสินค้า

The study of agricultural products distribution in Tak province via Distribution Centers (DCs)

ปริดา จิวปัญญา* ปวีณา ห่านใต้ ชญานี นวนใจ ภิญญดา ชนະนินธิกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

Parida Jewpanya* Pawena Hantai Chayanee Nuanjai Phinyada Chananithikun

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Tak 63000

* Corresponding author.

E-mail: parida.jewpanya@gmail.com, parida.jewpanya@rmu.ac.th; Telephone: 098 427 9766

วันที่รับบทความ 12 เมษายน 2565; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 15 มิถุนายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ 9 สิงหาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเหมาะสมของการขนส่งสินค้าเกษตรของจังหวัดตากผ่านศูนย์กระจายสินค้าเกษตรโดยใช้ยานพาหนะหลายประเภท การดำเนินการของคณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลสินค้าเกษตรของจังหวัดตาก จากนั้นได้พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้สำหรับแก้ปัญหาการขนส่งสินค้าเกษตรโดยมีเป้าหมายคือค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด โดยใช้รูปแบบการขนส่ง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 คือรูปแบบเดิม การขนส่งจากแหล่งปลูกไปยังแหล่งปลายทางโดยตรง รูปแบบที่ 2 คือการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center) เท่านั้น และรูปแบบที่ 3 คือการขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสินค้าเกษตรจากสำนักงานเกษตรตาก ปีพ.ศ. 2560 ถึง ปีพ.ศ.2563 รวมระยะเวลา 4 ปี และได้ทำการออกแบบชุดข้อมูลตัวอย่างจำนวน 2 ชุดข้อมูล เพื่อทดสอบผลของคำตอบที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณสินค้าและความต้องการเกิดการเปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการแก้ไขรูปแบบทางคณิตศาสตร์ร่วมกับข้อมูลจากชุดตัวอย่างต่างๆ โดยโปรแกรมสำเร็จรูป AMPL เครื่องมือการแก้ปัญหาคือ GUROBI ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบที่ตรง จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น พบว่า รูปแบบที่ 3 ให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด

คำสำคัญ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การขนส่งสินค้าเกษตร ศูนย์กระจายสินค้า

Abstract

This research aimed to study the suitability of agricultural product transportation in Tak Province by distribution centers (DCs). For the research implementation, the researchers studied the data of agricultural products in Tak Province. Then, we developed a mathematical model to solve the agricultural product transportation problem for the minimum transportation expenses. This was considered together with truck sizes by using 3 transportation models, i.e, Model 1: The regular direct transportation from origins to destinations, Model 2: Transportation by DCs, and Model 3: Transportation by DCs and direct transportation. The researcher collected the data of agricultural products from Tak Provincial Agricultural extension Office for 4 years between 2017 – 2020, and designed the samples of 2 datasets for testing the results of

changeable answers when product volumes and consumer demands changed. Next, the mathematical models were revised together with the data of the datasets by AMPL. GUROBI was used as a problem-solving tool and a valid method. After that, the results were brought for expense analysis. It was found that Model 3: Transportation by DCs and direct transportation generated minimum transportation cost.

Keywords

agricultural product transportation; distribution center; mathematical model

1. บทนำ

จังหวัดตากตั้งอยู่ในภาคเหนือฝั่งทางตะวันตกของประเทศไทยมีเนื้อที่ประมาณ 16,406.65 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 10,324,156.25 ไร่ สภาพพื้นที่โดยทั่วไปของจังหวัดตากประกอบด้วยป่าไม้และเทือกเขาสูงที่แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนด้านตะวันออกและส่วนด้านตะวันตก ส่วนด้านตะวันออกประกอบด้วย 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองตาก อำเภอบ้านตาก อำเภอสามเงา และอำเภอวังเจ้า ส่วนด้านตะวันตกประกอบด้วย 5 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่สอด อำเภอแม่ระมาด อำเภอท่าสองยาง อำเภอพบพระ และอำเภออุ้มผาง จังหวัดตากถือได้ว่าเป็นแหล่งเพาะปลูกทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ โดยพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด เช่น ข้าว ข้าวเหนียว ข้าวโพด กะหล่ำปลี พื้นที่ปลูกมากที่อำเภอพบพระ อำเภอแม่ระมาด อำเภอบ้านตาก และอำเภออุ้มผาง เป็นต้น [1]

สินค้าการเกษตรจากจังหวัดตากส่วนใหญ่มีการส่งไปแปรรูปและจำหน่ายยังแหล่งรับซื้อต่างๆ ทั่วประเทศ โดยมีลักษณะการขนส่งจากแหล่งต้นทางไปยังแหล่งรับซื้อโดยตรง ซึ่งส่งผลให้เกษตรกรต้องใช้รถจำนวนมากสำหรับการขนส่ง และอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุ จนเกิดความล่าช้าในการขนส่งสินค้าได้

คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาการขนส่งสินค้าเกษตรของจังหวัดตากที่มีจำนวนมาก อีกทั้งยังมีแนวทางในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าทางด้านการเกษตรของจังหวัดแต่ยังขาดการวิเคราะห์ที่เป็นรูปธรรม งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์การขนส่งสินค้าเกษตรเพื่อให้ได้ต้นทุนการขนส่งต่ำสุด โดยมีรูปแบบการขนส่งในการศึกษาจำนวน 3 รูปแบบได้แก่ รูปแบบที่ 1 การขนส่งจากแหล่งปลูกไปยังแหล่งปลายทางโดยตรง รูปแบบที่ 2 การขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center) เท่านั้น และรูปแบบที่ 3 การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างขนส่งผ่านศูนย์

กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า ทั้งนี้ในแต่ละรูปแบบยังสามารถพิจารณาความเหมาะสมของยานพาหนะสำหรับการขนส่งอีกด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลสินค้าเกษตรของจังหวัดตากจำนวน 9 อำเภอในระยะเวลา 4 ปี และข้อมูลตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าเกษตรจำนวน 3 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งสามแยกแม่สอด ตำแหน่งวงเวียนแม่สอด ตำแหน่งตลาดสดวังเจ้า

2. ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การขนส่งและการกระจายสินค้าเป็นกิจกรรมที่สำคัญในระบบโลจิสติกส์ และซัพพลายเชน (Logistics and Supply Chain) เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ส่งผลต่อความสามารถในการบรรลุระดับการให้บริการต่อลูกค้าและยังเป็นกิจกรรมหลักที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดต้นทุนของสินค้าอีกด้วย โดยการขนส่งนั้นได้มีการกำหนดเครือข่ายการขนส่งในหลายรูปแบบ เช่น การขนส่งสินค้าแบบการขนส่งตรง (Direct Shipment) การขนส่งแบบรวบรวมและแบบรวมกระจายสินค้า (Milk Run) การขนส่งสินค้าแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Cross Docking) เป็นต้น

การขนส่งสินค้าแบบการขนส่งตรง (Direct Shipment) เป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าเพื่อให้สามารถส่งสินค้าโดยตรงจากต้นทางคือผู้จัดส่งสินค้าไปยังปลายทางซึ่งอาจจะหมายถึงโกดังสินค้า โรงงาน หรือร้านค้าปลีก เป็นต้น ข้อดีของการขนส่งในลักษณะนี้คือ ไม่มีคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าอยู่ระหว่างทางจึงทำให้ง่ายต่อการดำเนินการ สามารถลดต้นทุนการกระจายสินค้าสามารถลดเที่ยววิ่งการขนส่งสินค้าจากโรงงานมาคลังสินค้า และสามารถลดปริมาณสินค้าคงคลังได้ [2] ทั้งนี้ข้อเสียของการดำเนินการคือ กรณีที่ปริมาณสินค้าน้อยไม่เต็มคันรถ (Less Than Truck Load: LTL) จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่งที่อาจจะสูงขึ้น

การขนส่งสินค้าแบบรวมกระจายสินค้า (Milk Run) สามารถลดต้นทุนการขนส่งและสินค้าคงคลัง [3,4] เนื่องจากเป็นกระบวนการขนส่งสินค้าแบบไม่ติดรถกลับมาเปล่าและเป็นการจัดส่งตามเวลาที่กำหนด โดยเมื่อทำการส่งสินค้าจะมีการรับชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบจากผู้จัดหา (Supplier) หลายรายในเส้นทางที่กำหนดไว้ จากนั้นเดินทางกลับมายังโรงงานเพื่อผลิตสินค้า แต่ทั้งนี้ยังพบข้อเสียคือการจัดการเส้นทางขนส่งมีความซับซ้อนเหมาะสมสำหรับสถานที่ที่มีตำแหน่งใกล้เคียงกันและควรจะเป็นการขนส่งรวมสินค้าให้เต็มคัน (Truck Load: TL) จึงจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด [5]

การขนส่งสินค้าแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Cross-Docking) เป็นการขนส่งสินค้าผ่านตัวกลางในการกระจายสินค้า ซึ่งตัวกลางนั้นอาจจะเป็นคลังสินค้า (Warehouse) ที่ทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการรวบรวมสินค้า รับคำสั่งซื้อ จัดหาและนำส่งแก่ลูกค้า สินค้าในการขนส่งรูปแบบนี้จะถูกคัดแยกและรวบรวมในศูนย์กระจายสินค้าในระยะเวลาน้อย จากนั้นจะถูกส่งไปยังลูกค้าปลายทาง [6] ข้อดีของการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าคือต้นทุนการขนส่งต่ำลงเนื่องจากมีการรวมสินค้าให้เต็มคันแต่จะเพิ่มต้นทุนของการดำเนินการ อีกทั้งยังมีความยากในการติดต่อประสานงานภายในศูนย์กระจายสินค้า ดังนั้นต้องมีการจัดการที่เหมาะสมในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นการจัดการสินค้าคงคลัง การออกแบบและจัดการระบบการดำเนินงานที่เหมาะสม [7]

การศึกษาแนวทางการขนส่งได้รับความสนใจในการวิจัย ยุพิน วงษ์วิลาศ [8] ได้ศึกษาการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าภายในเขตพื้นที่ภาคใต้ โดยพิจารณาจากปัจจัยความสัมพันธ์ด้านระยะทางและปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่ง เพื่อลดต้นทุนด้านการขนส่งและระยะทางโดยรวม ด้วยเทคนิคการหาจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) และเทคนิคการหาภาระระยะทางการขนส่ง (Load Distance) จากผลการวิจัยพบว่า การหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าด้วยเทคนิคการหาภาระระยะทางการขนส่งให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าทั้งในด้านต้นทุนการขนส่งและระยะทางโดยรวม กิตติพงศ์ กิตติถาวรกุล และ สิทธิพร พิมพ์สกุล [9] ได้ศึกษาการจัดตารางรถขนส่งเข้าและขาออก

สำหรับศูนย์กระจายสินค้าด้วยวิธีการขนส่งสินค้าแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้า เพื่อลดเวลาล่าช้ารวม โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก ร่วมกับการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมซิลเวอร์ไลท์ (Silverlight) พบว่าวิธีการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการฮิวริสติก มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนร้อยละ 1.15 เมื่อเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการค้นหาคำตอบแบบทุกคำตอบ

Gunawan และคณะ [10] ได้นำเสนอการแก้ไขปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้าที่มีหลากหลายผลิตภัณฑ์ โดยใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม ด้วยซอฟต์แวร์ AMPL ร่วมกับเครื่องมือการแก้ปัญหา CPLEX ภายใต้เงื่อนไข 1) จำนวนยานยนต์ขนส่งที่ใช้ 2) ความจุของยานยนต์ 3) จำนวนคาบในการวางแผน (Planning Horizon) ทั้งกระบวนการ 4) กระบวนการขนส่งและรับสินค้า จากผลการวิจัยพบว่า CPLEX เหมาะสมกับแก้ไขปัญหสำหรับปัญหา (Instance) ขนาดเล็ก (10 โหนด) หากจำนวนปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น (30 โหนด) จะส่งผลให้ระยะเวลาการวิเคราะห์ผลเพิ่มขึ้นมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Issi และคณะ [11] นอกจากนี้ยังพบว่าการวิเคราะห์แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมด้วยซอฟต์แวร์ AMPL ร่วมกับเครื่องมือการแก้ปัญหาระหว่าง CPLEX และ Gurobi ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

กอบกานต์ ตาปัญญา และ วริษา วิสิทธิ์พานิช [12] เสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อลดเวลาปฏิบัติงานโดยรวม (Makespan) ของการโหลดสินค้าลงจากรถบรรทุกขาเข้าจนถึงเวลาที่รถบรรทุกขาออกคันสุดท้ายออกจาก cross-dock Chhun และ Lekhavat [13] ออกแบบรูปแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้าจากแหล่งวัตถุดิบไปถึงยังลูกค้า ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าในศูนย์กระจายสินค้า และต้นทุนการผลิตสินค้าของโรงงาน ผู้วิจัยใช้วิธีการทาง Metaheuristics ชื่อว่า Particle Swarm Optimization with multiple social learning terms (GLNPSO) ในการแก้ปัญหา อีกทั้งในปัจจุบันยังมียานวิจัยที่แก้ปัญหาโดย

พิจารณาหลายวัตถุประสงค์เพื่อให้การการใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้าใกล้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงมากยิ่งขึ้น [14,15]

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแก้ไขปัญหาการขนส่งสินค้าเกษตรโดยการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์จำนวน 3 รูปแบบ ซึ่งปัญหาการขนส่งนั้นสามารถพัฒนาเป็นปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear programming) ที่ประกอบไปด้วย การกำหนดตัวแปรตัดสินใจที่เป็นจำนวนเต็มคือ จำนวนของสินค้าที่ต้องการขนส่งจากแหล่งต้นทางไปยังแหล่งปลายทาง การกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่ต้องการหาค่าต้นทุนการขนส่งต่ำสุด และการออกแบบฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดของพาหนะ ปริมาณอุปทาน (Supply) ปริมาณอุปทาน (Demand) เป็นต้น

3. วิธีการดำเนินโครงการ

3.1 ศึกษารวบรวมข้อมูลการขนส่งสินค้าเกษตรของจังหวัดตาก

การศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งสินค้าเกษตรจังหวัดตาก มีต้นทางในการปลูกผลิตผลทางการเกษตรจำนวนทั้งหมด 9 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแม่สอด อำเภอพบพระ อำเภอแม่ระมาด อำเภอบ้านตาก อำเภอเมืองตาก อำเภอสามเงา อำเภอท่าสองยาง อำเภอวังเจ้า และอำเภออุ้มผาง ส่งสินค้ามีปลายทางทั้งหมด 6 แห่ง ศูนย์กระจายสินค้าทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ สามแยกแม่สอด วงเวียนใหญ่ และตลาดสดวังเจ้า โดยใช้รถในการขนส่งจำนวน 2 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุก 4 ล้อ และรถบรรทุก 6 ล้อ ทำการศึกษาข้อมูลการทำเกษตรของแต่ละอำเภอและศึกษาแหล่งรับซื้อที่มีความต้องการสินค้าการเกษตรจำนวน 12 ชนิด ตั้งแต่ พ.ศ. 2560 - 2563

3.2 การออกแบบรูปแบบทางคณิตศาสตร์การขนส่งสินค้าเกษตรจำนวน รูปแบบ 3

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเพื่อวิเคราะห์การขนส่งสินค้าเกษตรของจังหวัดตากโดยการออกแบบรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการขนส่งจำนวน 3 รูปแบบ เพื่อเปรียบเทียบ

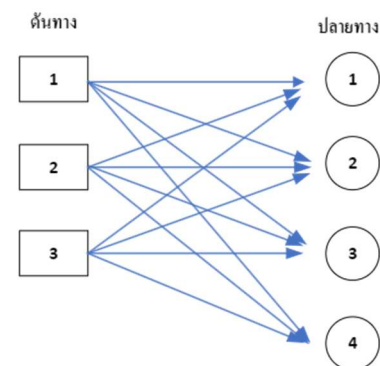
หาแนวทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมที่สุดและใช้งบประมาณการขนส่งต่ำสุด ดังนี้

รูปแบบที่ 1 การขนส่งโดยตรงจากแหล่งปลูกไปยังแหล่งปลายทาง (Direct Shipment) แสดงในรูปที่ 1 เกษตรกรในแต่ละอำเภอดำเนินการขนส่งสินค้าไปยังตลาดผู้รับซื้อสินค้าเกษตรโดยตรง ไม่ผ่านศูนย์กระจายสินค้า

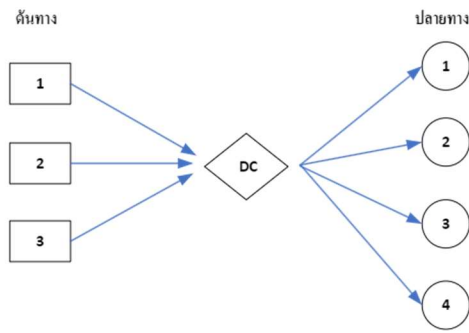
รูปแบบที่ 2 การขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center) แสดงในรูปที่ 2 เกษตรกรส่งสินค้าผ่านศูนย์กระจายสินค้าเพื่อไปรวบรวมและคัดแยกสินค้า จากนั้นส่งออกไปยังตลาดผู้รับซื้อ

รูปแบบที่ 3 การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า แสดงในรูปที่ 3 เป็นการขนส่งแบบผสมผสานระหว่างรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 เกษตรกรสามารถขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้าหรือส่งสินค้าผ่านศูนย์กระจายสินค้าก็ได้

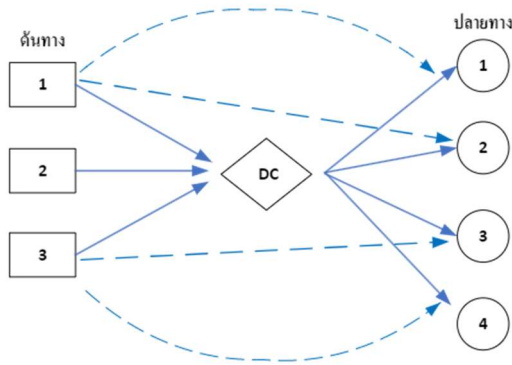
ปัญหาการขนส่งทั้ง 3 รูปแบบเป็นปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็ม ซึ่งประกอบไปด้วย แหล่งต้นทาง (Origins) เป็นแหล่งปลูกสินค้าเกษตร แหล่งปลายทาง (Destinations) เป็นแหล่งที่มีความต้องการสินค้าเกษตร ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center) เป็นแหล่งรวบรวมและกระจายสินค้า ต้นทุนค่าขนส่ง (Transportation cost) เกิดจากการขนส่งสินค้าจากแหล่งต้นทางไปยังแหล่งปลายทาง โดยจะมีอัตราค่าขนส่งที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับยานพาหนะแต่ละประเภท วัตถุประสงค์ (Objective) ของตัวแบบคือการหาค่าต่ำสุดของต้นทุนการขนส่งรวม



รูปที่ 1 การขนส่งสินค้าแบบตรง (Direct Shipment)



รูปที่ 2 การขนส่งสินค้าแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center : DC)



รูปที่ 3 การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า

Index (ดัชนี)

$p = \{1, 2, 3, \dots, P\}$ โดยที่ P คือ จำนวนประเภทสินค้า

$i = \{1, 2, 3, \dots, I\}$ โดยที่ I คือ จำนวนแหล่งต้นทาง

$j = \{1, 2, 3, \dots, J\}$ โดยที่ J คือ จำนวนของแหล่งปลายทาง

$v = \{1, 2, 3, \dots, V\}$ โดยที่ V คือ จำนวนประเภทรถที่ใช้

$e = \{1, 2, 3, \dots, E\}$ โดยที่ E คือ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า

Parameter (พารามิเตอร์)

S_{ij} ระยะทางระหว่างตำแหน่ง i ไป j

S_{ie}^1 ระยะทางระหว่างตำแหน่ง i ไป e

S_{ej}^2 ระยะทางระหว่างตำแหน่ง e ไป j

Ca_v ปริมาณน้ำหนักที่รถประเภท v สามารถบรรทุกได้ (ตัน)

C_v ต้นทุนค่าน้ำมันของรถประเภท v (บาทต่อกิโลเมตร)

T_v จำนวนรถประเภท v ที่ใช้สำหรับการขนส่งโดยตรงจากตำแหน่ง i ไป j (คัน)

T_v^1 จำนวนรถประเภท v ที่ใช้สำหรับการขนส่งโดยตรงจากตำแหน่ง i ไป e (คัน)

T_v^2 จำนวนรถประเภท v ที่ใช้สำหรับการขนส่งโดยตรงจากตำแหน่ง e ไป j (คัน)

D_{pj} ปริมาณความต้องการของสินค้าแต่ละประเภท p ที่จุด j (ตัน)

L_{pi} ปริมาณสินค้าประเภท p ที่ผลิตได้โดยตำแหน่ง i (ตัน)

Decision Variable (ตัวแปรตัดสินใจ)

x_{pijv} ปริมาณสินค้าชนิด p ที่ส่งออกจาก i ไป j โดยใช้รถประเภท v (ตัน)

x_{piev}^1 ปริมาณสินค้าชนิด p ที่ส่งออกจาก i ไป e โดยใช้รถ v (ตัน)

x_{pejv}^2 ปริมาณสินค้าชนิด p ที่ส่งออกจาก e ไป j โดยใช้รถ v (ตัน)

n_{pijv} จำนวนรถ v ที่ใช้สำหรับบรรทุกสินค้า p จากตำแหน่ง i ไป j (คัน)

n_{piev}^1 จำนวนรถ v ที่ใช้สำหรับบรรทุกสินค้า p จากตำแหน่ง i ไป e (คัน)

n_{pejv}^2 จำนวนรถ v ที่ใช้สำหรับบรรทุกสินค้า p จากตำแหน่ง e ไป j (คัน)

รูปแบบที่ 1: การขนส่งโดยตรง (Direct Shipment)

Objective Function (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

$$\text{Min} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S_{ij} \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V n_{pijv} \quad (1)$$

Constraint (ฟังก์ชันเงื่อนไขบังคับ)

$$\sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{pijv} \leq L_{pi} \quad ; \forall i, p \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{pijv} \geq D_{pj} \quad ; \forall j, p \quad (3)$$

$$n_{pijv} \geq \frac{x_{pijv}}{Ca_v} \quad ; \forall p, i, j, v \quad (4)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{pijv} \leq T_v \quad ; \forall v \quad (5)$$

$$n_{piev}^1 \geq \frac{x_{piev}^1}{Ca_v} \quad ; \forall p, i, e, v \quad (10)$$

$$n_{pejv}^2 \geq \frac{x_{pejv}^2}{Ca_v} \quad ; \forall p, e, j, v \quad (11)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E n_{piev} \leq T_v^1 \quad ; \forall v \quad (12)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J n_{pejv} \leq T_v^2 \quad ; \forall v \quad (13)$$

จากการสร้างตัวแบบแทนลักษณะของปัญหาการขนส่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) มีเป้าหมายในการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ของการขนส่งภายใต้เงื่อนไขข้อบังคับคือ เงื่อนไขข้อบังคับ (2) จำนวนสินค้าที่ส่งทั้งหมดจะต้องไม่เกินปริมาณสินค้าที่มีในแต่ละแหล่งต้นทาง และจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณที่แหล่งปลายทางต้องการ เงื่อนไขข้อบังคับ (3) และ เงื่อนไขข้อบังคับ (4) คำนวณหาจำนวนพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละเส้นทาง โดยจำนวนพาหนะแต่ละประเภทต้องไม่เกินจำนวนพาหนะที่มีอยู่ แสดงในเงื่อนไขข้อบังคับ (5)

รูปแบบที่ 2: การขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center)

Objective Function (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

$$\begin{aligned} \text{Min} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E S_{ie}^1 \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V n_{piev}^1 \right) \\ + \left(\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J S_{ej}^2 \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V n_{pejv}^2 \right) \end{aligned} \quad (6)$$

Constraint (ฟังก์ชันเงื่อนไขข้อบังคับ)

$$\sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V x_{piev}^1 \leq L_{pi} \quad ; \forall i, p \quad (7)$$

$$\sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V x_{pejv}^2 \geq D_{pj} \quad ; \forall j, p \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{piev}^1 - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{pejv}^2 = 0 \quad ; \forall e, p \quad (9)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (6) มีเป้าหมายในการหาค่าต่ำสุดของการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้า ภายใต้เงื่อนไขข้อบังคับคือ เงื่อนไขข้อบังคับ (7) จำนวนสินค้าทั้งหมดจากแหล่งต้นทางที่ส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้าจะต้องไม่เกินปริมาณสินค้าที่มี และจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณที่แหล่งปลายทางต้องการแสดงในเงื่อนไขข้อบังคับ (8) เงื่อนไขข้อบังคับ (9) แสดงปริมาณสินค้าที่ส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าต้องเป็นศูนย์ภายหลังจากการดำเนินการเงื่อนไขข้อบังคับ (10) และ (11) คำนวณหาจำนวนพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละเส้นทาง โดยจำนวนพาหนะแต่ละประเภทต้องไม่เกินจำนวนพาหนะที่มีอยู่แสดงในเงื่อนไขข้อบังคับ (12) และ (13)

รูปแบบที่ 3: การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า

Objective Function (ฟังก์ชันวัตถุประสงค์)

$$\begin{aligned} \text{Min} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J S_{ij} \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V n_{pijv} \right) \\ + \left(\sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E S_{ie}^1 \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V n_{piev}^1 \right) \\ + \left(\sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J S_{ej}^2 \times \sum_{v=1}^V C_v \times \sum_{p=1}^P \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V n_{pejv}^2 \right) \end{aligned} \quad (14)$$

Constraint (ฟังก์ชันเงื่อนไขข้อบังคับ)

$$\sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V x_{piev}^1 + \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{pijv} \leq L_{pi} \quad ; \forall i, p \quad (15)$$

$$\sum_{e=1}^E \sum_{v=1}^V x_{pejv}^2 + \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{pijv} \geq D_{pj} \quad ; \forall j, p \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{piev}^1 - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{pejv}^2 = 0 \quad ; \forall e, p \quad (17)$$

$$n_{pijv} \geq \frac{x_{pijv}}{Ca_v} \quad ; \forall p, i, j, v \quad (18)$$

$$n_{piev}^1 \geq \frac{x_{piev}^1}{Ca_v} \quad ; \forall p, i, e, v \quad (19)$$

$$n_{pejv}^2 \geq \frac{x_{pejv}^2}{Ca_v} \quad ; \forall p, e, j, v \quad (20)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{pijv} \leq T_v \quad ; \forall v \quad (21)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E n_{piev} \leq T_v^1 \quad ; \forall v \quad (22)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{e=1}^E \sum_{j=1}^J n_{pejv} \leq T_v^2 \quad ; \forall v \quad (23)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (14) มีเป้าหมายในการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ของการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขข้อบังคับคือ เงื่อนไขข้อบังคับ (15) และ (16) แสดงจำนวนสินค้าที่ส่งโดยตรง และส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้ารวมกันจะต้องไม่เกินปริมาณสินค้าที่มีในแต่ละแหล่งต้นทาง และจะต้องไม่น้อยกว่าปริมาณที่แหล่งปลายทางต้องการ เงื่อนไขข้อบังคับ (17) แสดงปริมาณสินค้าที่ส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าต้องเป็นศูนย์ภายหลังจากการดำเนินการ เงื่อนไขข้อบังคับ (18) (19) และ (20) คำนวณหาจำนวนพาหนะที่ใช้ในการขนส่งในแต่ละเส้นทาง โดยจำนวนพาหนะแต่ละประเภทต้องไม่เกินจำนวนพาหนะที่มีอยู่

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 ประเภทยานพาหนะ

ในงานวิจัยใช้ยานพาหนะสำหรับขนส่งสินค้าจำนวน 2 ประเภท แสดงในตารางที่ 1 ประกอบไปด้วย รถบรรทุก 4 ล้อ และรถบรรทุก 6 ล้อ ที่สามารถขนส่งสินค้าได้หลายประเภท

และปรับเปลี่ยนปริมาณในการจัดส่งได้ตามความเหมาะสม สามารถกระจายสินค้าไปยังจุดต่างๆ ได้ตลอด 24 ชั่วโมง [16]

4.1.2 แหล่งต้นทางและแหล่งปลายทางรับซื้อสินค้า

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลสินค้าการเกษตรของจังหวัดตากตั้งแต่ปี พ.ศ. ถึง 2560 พ.ศ. จาก 2563 สำนักงานการเกษตรจังหวัดตากโดยมีจำนวนสินค้า ทั้งหมดประเภท ได้แก่ ข้าว ข้าวเหนียว 12 ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ อ้อย มันสำปะหลัง ยางพารา กาแฟ หนาก อโวคาโด ลำไย กระหล่ำปลี และพริก โดยข้อมูลเป็นปริมาณสินค้าเกษตรของแหล่งต้นทางจากทั้ง อำเภอ ได้แก่ 9 อำเภอแม่สอด อำเภอพบพระ อำเภอแม่ระมาด อำเภอบ้านตาก อำเภอวังเจ้า อำเภอเมือง อำเภอสามเงา อำเภอท่าสองยาง และอำเภออุ้มผาง แสดงในตารางที่ 2 ถึง 5 ข้อมูลศูนย์กระจายสินค้าเกษตร จำนวน ตำแหน่ง ได้แก่ 3 ตำแหน่งสามแยกแม่สอด ตำแหน่งวงเวียนแม่สอด ตำแหน่งตลาดสดวังเจ้า ข้อมูลแหล่งรับซื้อสินค้าซึ่งเป็นตำแหน่งของตลาดจำนวน 2 แห่ง และบริษัทรับซื้อสินค้าเกษตรขนาดใหญ่จำนวน 4 แห่ง โดยแต่ละแห่งจะรับซื้อสินค้าการเกษตรแต่ละประเภทที่แตกต่างกันออกไป

ตารางที่ 1 ประเภทยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

ประเภทยานพาหนะในการขนส่ง		ความกว้าง (เมตร)	ความยาว (เมตร)	ความสูง (เมตร)	น้ำหนักบรรทุก สูงสุด (ตัน)	อัตราการใช้ เชื้อเพลิง (กม./ลิตร)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (ดีเซล) (กม./บาท)
รถบรรทุก	รถบรรทุกล้อ 4	1	2.2	2.1	2	10	2.579
	รถบรรทุก 6 ล้อ	2.2	5.5	2.2	8	6	4.298

หมายเหตุ : อ้างอิงจากราคาน้ำมันวันที่ มิถุนายน พ.ศ 252564

ตารางที่ 2 ปริมาณผลผลิตสินค้าการเกษตร พ.ศ. 2560 (ตัน)

อำเภอ	แม่สอด	พบพระ	แม่ระมาด	บ้านตาก	เมืองตาก	สามเงา	ท่าสองยาง	วังเจ้า	อุ้มผาง
ข้าวเจ้า	20,533.3	2,918.0	1,190.23	13,970.5	40,532.1	8,360.3	14,553.7	4,979.9	11,138.3
ข้าวเหนียว	1,474.0	182.5	9,517.0	35.3	2,615.6	271.3	4.0	1,646.8	51.1
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	80,693.9	41,360.5	69,070.3	10,616.4	9,719.6	8,655.9	24,706.6	15,373.8	62,064.6
อ้อย	44,406.4	2,244.7	30,957.5	388.8	6,736.6	10,316.5	51.2	29,402.7	75.2
มันสำปะหลัง	25,224.6	29,112.7	22,797.7	8,100.2	127,458.2	18,645.3	19,720.7	83,817.1	828.0
ยางพารา	216.3	80.9	128.0	3.6	1.3	0.0	41.3	117.0	280.1
กาแฟ	1,502.1	513.0	71.1	0.0	285.3	0.0	174.6	54.0	335.3
หมาก	245.0	0.0	40.0	0.0	32.0	0.0	216.0	0.0	3261.4
อะโวคาโด	309.8	13,972.7	207.0	0.0	1,269.0	0.0	0.0	0.0	1,199.3
ลำไย	31.0	25.3	8.7	585.5	839.2	1,131.6	0.0	5,205.6	2,424.4
กะหล่ำปลี	27.0	7,015.5	0.0	4.5	166.5	0.0	54.0	9,865.7	0.0
พริกชี้หนู	94.5	4,838.9	72.5	2.5	80.0	39.1	0.0	12.0	176.0

ตารางที่ 3 ปริมาณผลผลิตสินค้าการเกษตร พ.ศ. 2561 (ตัน)

อำเภอ	แม่สอด	พบพระ	แม่ระมาด	บ้านตาก	เมืองตาก	สามเงา	ท่าสองยาง	วังเจ้า	อุ้มผาง
ข้าวเจ้า	22,432.3	3,220.2	15,941.7	14,535.0	44,682.1	9,291.3	18,244.8	6,628.8	14,713.6
ข้าวเหนียว	948.0	55.7	7,301.6	37.6	2,177.1	241.9	2.0	1,643.3	67.9
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	93,466.2	43,736.5	69,996.2	18,560.5	12,345.1	24,985.8	24,160.0	17,414.4	49,005.0
อ้อย	63,154.0	2,763.5	59,142.4	187.2	10,326.8	14,285.1	0.0	36,358.1	129.6
มันสำปะหลัง	17,603.0	25,666.3	22,100.2	9,602.8	169,230.3	19,649.7	21,935.9	69,401.1	175.3
ยางพารา	162.1	116.4	105.6	2.9	4.9	0.0	41.7	99.9	172.5
กาแฟ	1,540.9	671.2	68.9	0.0	252.0	0.0	216.7	52.2	695.6
หมาก	62.0	364.2	188.0	0.0	177.3	0.0	320.6	0.0	12,691.3
อะโวคาโด	672.0	30,766.7	36.0	0.0	2,277.0	0.0	135.0	40.5	882.0
ลำไย	23.9	23.6	12.3	631.7	1,073.9	16,24.6	0.0	5,853.1	10.2
กะหล่ำปลี	0.0	6,360.8	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.0	1,548.9
พริกชี้หนู	65.5	7,060.3	110.0	0.0	78.0	1.0	0.0	20.0	112.0

ตารางที่ 4 ปริมาณผลผลิตสินค้าการเกษตร พ.ศ. 2562 (ตัน)

อำเภอ	แม่สอด	พบพระ	แม่ระมาด	บ้านตาก	เมืองตาก	สามเงา	ท่าสองยาง	วังเจ้า	อุ้มผาง
ข้าวเจ้า	21,766.9	3,165.1	15,037.7	13,391.4	39,431.0	9,974.2	20,496.1	6,456.6	16,081.4
ข้าวเหนียว	1,271.5	161.4	8,154.9	35.6	2,520.6	277.2	6.2	1,641.7	39.1
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	87,114.6	46,419.7	74,050.8	11,340.1	14,881.2	21,281.4	24,341.3	23,149.4	68,973.1
อ้อย	11,143.7	1,558.5	215.8	0.0	174.4	690.3	0.0	396.8	0.0
มันสำปะหลัง	18,564.2	46,147.1	24,632.8	16,667.4	212,607.9	36,916.0	27,304.7	99,792.1	4,868.9
ยางพารา	127.1	0.0	120.6	111.3	109.2	108.9	102.7	0.0	218.0
กาแฟ	702.0	0.0	666.0	614.7	603.0	601.2	567.0	0.0	1,172.7
หมาก	465.0	848.2	320	0.0	36.9	0.0	262.6	0.0	3,878.2
อะโวคาโด	1,037.3	7,219.2	0.0	0.0	270.0	0.0	36.0	0.0	13.5
ลำไย	38.7	36.0	17.0	428.4	784.3	1,847.9	67.2	7,306.8	6.7
กะหล่ำปลี	7,020.0	747.0	6,660.0	0.0	6,030.0	0.0	0.0	0.0	2,396.3
พริกชี้หนู	270.8	10,683.5	125	0.0	9.0	2.0	0.0	254.0	293.5

ตารางที่ 5 ปริมาณผลผลิตสินค้าการเกษตร พ.ศ. 2563 (ตัน)

อำเภอ	แม่สอด	พบพระ	แม่ระมาด	บ้านตาก	เมืองตาก	สามเงา	ท่าสองยาง	วังเจ้า	อุ้มผาง
ข้าวเจ้า	21,734.1	3,486.9	14,798.7	17,203.9	47,930.7	10,451.0	14,695.7	7610.6	16,935.4
ข้าวเหนียว	1489.1	210.0	8,846.9	13.3	1,906.2	268.8	21.3	1,563.8	73.1
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	103,031.2	47,752.6	86,963.7	11,332.3	20,340.1	21,734.4	28,716.9	18,556.2	67,166.9
อ้อย	101,960.9	2,626.1	54,210.6	82.5	5,586.6	5,860.9	0.0	26,470.5	51.2
มันสำปะหลัง	38,689.7	105,206.7	41,295.6	19,692.0	224,281.4	51,139.7	32,643.8	155,620.6	18,352.5
ยางพารา	354.4	141.4	146.9	0.0	8.2	1.7	111.3	118.8	433.5
กาแฟ	1,579.1	411.1	52.2	205.2	4,071.9	20.0	48.2	36.0	1,531.1
หมาก	594.6	625.0	338.0	0.0	224.9	0.0	448.4	0.0	78,282.6
อะโวคาโด	4,608.1	52,218.0	776.3	738.0	4,655.3	0.0	541.2	0.0	5,169.6
ลำไย	53.6	57.2	20.5	1,595.6	2,404.3	4,675.3	12.3	9,525.3	21.1
กะหล่ำปลี	90.0	9,922.3	805.5	0.0	49.5	0.0	0.0	0.0	2,991.5
พริกชี้หนู	361.8	9,959.3	68.8	6.3	100.0	2.5	16.0	26.0	182.0

4.1.3 ระยะทางการขนส่งสินค้า

ผู้วิจัยได้รวบรวมระยะทางในการขนส่งสินค้า ระยะทางจากต้นทางไปยังแหล่งรับซื้อสินค้า ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังแหล่งรับซื้อสินค้า และระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังแหล่งรับซื้อสินค้า ดังตารางที่ 6 – 8

4.2 การแก้ปัญหาอุปสรรคทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาอุปสรรคทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป AMPL เพื่อหาคำตอบที่

เหมาะสม ดำเนินการแก้ปัญหาข้อมูลจำนวน 2 ชุดข้อมูล ประกอบไปด้วยข้อมูลชุดที่ 1 ข้อมูลการส่งสินค้าเกษตรของปี พ.ศ. 2560 - พ.ศ. 2563 จำนวน 4 ข้อมูล และข้อมูลชุดที่ 2 ชุดข้อมูลที่สร้างขึ้นเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคำตอบเมื่อจำนวนสินค้าเกษตรของแต่ละอำเภอเปลี่ยนแปลงไป (Sensitivity analysis) โดยทำการเพิ่มปริมาณสินค้าเกษตรที่สำคัญของอำเภอนั้นๆ จำนวน 9 ข้อมูล ผลการคำนวณจะทำการเปรียบเทียบผลต่างของต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรูปแบบการขนส่งแต่ละประเภท

ตารางที่ 6 ระยะทางจากต้นทางไปยังแหล่งรับซื้อสินค้า (กิโลเมตร)

อำเภอ (I)	แหล่งรับซื้อสินค้า (J)					
	(J1)	(J2)	(J3)	(J4)	(J5)	(J6)
แม่สอด (I1)	452.10	467.80	499.00	475.30	305.00	509.00
พบพระ (I2)	495.60	511.00	542.00	518.80	349.00	553.00
แม่ระมาด (I3)	480.40	496.10	527.00	503.60	334.00	537.00
บ้านตาก (I4)	401.60	417.30	448.00	424.80	255.00	459.00
เมืองตาก (I5)	377.50	393.20	419.00	400.70	231.00	435.00
สามเงา (I6)	432.10	447.70	479.00	455.30	265.00	489.00
ท่าสองยาง (I7)	530.40	546.00	577.00	553.50	383.00	588.00
วังเจ้า (I8)	360.60	376.30	405.00	383.80	214.00	418.00
อุ้มผาง (I9)	612.40	628.00	658.00	636.00	465.00	670.00

ตารางที่ 7 ระยะทางจากต้นทางไปยังศูนย์กระจายสินค้า (กิโลเมตร)

อำเภอ (I)	ศูนย์กระจายสินค้า (E)		
	สามแยกแม่สอด (E1)	วงเวียนแม่สอด (E2)	ตลาดสดวังเจ้า (E3)
แม่สอด (I1)	79.60	3.70	104.00
พบพระ (I2)	123.10	47.10	147.00
แม่ระมาด (I3)	107.80	34.70	132.00
บ้านตาก (I4)	29.10	105.00	53.90
เมืองตาก (I5)	5.00	80.90	29.60
สามเงา (I6)	59.50	135.00	85.70
ท่าสองยาง (I7)	157.80	84.70	182.00
วังเจ้า (I8)	14.10	87.90	14.20
อุ้มผาง (I9)	239.80	164.00	264.00

ตารางที่ 8 ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังแหล่งรับซื้อสินค้า (กิโลเมตร)

ศูนย์กระจายสินค้า (E)	แหล่งรับซื้อสินค้า (J)					
	(J1)	(J2)	(J3)	(J4)	(J5)	(J6)
สามแยกแม่สอด (E1)	374.70	390.40	420.20	397.90	182.60	432.00
วงเวียนแม่สอด (E2)	458.00	460.00	494.00	496.00	252.00	504.00
ตลาดสดวังเจ้า (E3)	350.00	365.00	395.00	373.00	158.00	407.00

จากตารางที่ 9 แสดงค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าเกษตรในชุดข้อมูลที่ 1 จำนวน 4 ข้อมูล โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายพบว่า รูปแบบที่ 2 และ รูปแบบที่ 3 ให้ต้นทุนเฉลี่ยต่ำกว่ารูปแบบที่ 1 ที่ 1,194,225 บาท และ 1,838,900 บาท ตามลำดับ โดยจากตารางสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบที่ 3 คือการขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้าเป็นรูปแบบที่ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งต่ำสุด

ตารางที่ 10 แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของการขนส่งสินค้าเกษตรในชุดข้อมูลที่ 1 โดยพิจารณาการใช้จ่ายยานพาหนะที่แตกต่างกันออกไปสำหรับการขนส่งในรูปแบบที่ 3 ผลการศึกษาพบว่า การใช้รถบรรทุก 4 ล้อสำหรับการขนส่งให้ต้นทุนการขนส่งสูงสุด และการผสมผสานใช้รถทั้ง 2 ประเภทให้ทุนการขนส่งต่ำสุด

ตารางที่ 11 แสดงคำตอบของต้นทุนการขนส่งเมื่อปริมาณสินค้าของแต่ละอำเภอเปลี่ยนแปลงไป จากชุดข้อมูลที่ 2 ซึ่งมีตัวอย่างจำนวน 9 ข้อมูล พบว่ารูปแบบที่ 3 ให้ต้นทุนการขนส่งโดยเฉลี่ยต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับชุดที่ 1 และ 2 จากคำตอบแสดงให้เห็นว่า การขนส่งที่ดีที่สุดคือการขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไป

ยังลูกค้า ทั้งนี้เนื่องจากการขนส่งในกรณีที่มีสินค้าแบบเต็มคัน การขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้าจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ถ้าการขนส่งนั้นๆ มีสินค้าที่ไม่เต็มคันรถ การนำเอาสินค้าไปรวบรวมที่ศูนย์กระจายสินค้าจากนั้นส่งกระจายไปยังปลายทางต่างๆ จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการขนส่งสูงสุด

ตารางที่ 9 ค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าการเกษตร 3 รูปแบบของข้อมูลชุดที่ 1

ข้อมูล	ปี	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาท)			ผลต่างต้นทุน	ผลต่างต้นทุน
		รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	ระหว่างรูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 2	ระหว่างรูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 3
1	2560	122,527,400	121,195,500	120,660,400	-1,331,900	-1,867,000
2	2561	166,248,900	164,627,900	163,859,200	-1,621,000	-2,389,700
3	2562	190,552,400	190,214,200	190,173,600	-338,200	-378,800
4	2563	229,555,500	228,069,700	226,835,400	-1,485,800	-2,720,100
ค่าเฉลี่ย		177,221,050	176,026,825	175,382,150	-1,194,225	-1,838,900

ตารางที่ 10 ตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เมื่อเลือกใช้ยานพาหนะแต่ละประเภท

รูปแบบการขนส่ง	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาท)		
	รถบรรทุก 4 ล้อ	รถบรรทุก 6 ล้อ	ใช้รถบรรทุก 4 ล้อ และรถบรรทุก 6 ล้อ
รูปแบบที่ 1	294,060,200	122,530,000	122,527,400
รูปแบบที่ 2	290,865,900	121,198,600	121,195,500
รูปแบบที่ 3	289,581,600	120,663,500	120,660,400

ตารางที่ 11 ค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าการเกษตร รูปแบบของข้อมูลชุดที่ 2 3

ข้อมูล	อำเภอ	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (บาท)			ผลต่างต้นทุน	ผลต่างต้นทุน
		รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2	รูปแบบที่ 3	ระหว่างรูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 2	ระหว่างรูปแบบที่ 1 กับ รูปแบบที่ 3
1	แม่สอด	139,034,000	137,422,100	136,865,100	-1,611,900	-2,168,900
2	อุ้มผาง	123,424,800	122,094,000	121,556,900	-1,330,800	-1,867,900
3	เมือง	188,612,000	187,031,700	186,197,600	-1,580,300	-2,414,400
4	แม่ระมาด	168,533,100	166,921,900	166,144,100	-1,611,200	-2,389,000
5	พบพระ	170,142,300	168,500,400	170,013,900	-1,641,900	-128,400
6	สามเงา	190,110,400	190,821,400	189,781,500	711,000	-328,900
7	ท่าสองยาง	190,981,300	191,643,100	190,602,100	661,800	-379,200
8	บ้านตาก	230,068,700	228,585,900	227,348,600	-1,482,800	-2,720,100
9	วังเจ้า	228,980,800	227,537,900	226,303,300	-1,442,900	-2,677,500
ค่าเฉลี่ย		181,098,600	180,062,044	179,423,678	-1,036,556	-1,674,922

5. บทสรุปและการอภิปรายผล

จังหวัดตากมีสินค้าเกษตรจำนวนมากโดยสินค้าส่วนใหญ่จะถูกส่งไปแปรรูปและจำหน่ายยังแหล่งรับซื้อต่างๆ ทั่วประเทศ งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนา รูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการวิเคราะห์การขนส่งสินค้าเกษตรเพื่อให้ได้ต้นทุนการขนส่งต่ำสุด โดยมีรูปแบบการขนส่งจำนวน 3 รูปแบบได้แก่ รูปแบบที่ 1 การขนส่งจากแหล่งปลูกไปยังแหล่งปลายทางโดยตรง รูปแบบที่ 2 การขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าเท่านั้น และรูปแบบที่ 3 การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่ารูปแบบที่ให้ต้นทุนการขนส่งต่ำสุดคือ รูปแบบที่ 3 การขนส่งที่ผสมผสานระหว่างการขนส่งผ่านศูนย์กระจายสินค้าและขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้า ทั้งนี้เนื่องจากการขนส่งในกรณีที่มีสินค้าแบบเต็มคัน การขนส่งโดยตรงไปยังลูกค้าจะเกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ถ้ายกการขนส่งนั้นๆ มีสินค้าที่ไม่เต็มคันรถ การนำเอาสินค้าไปรวบรวมที่ศูนย์กระจายสินค้าจากนั้นส่งกระจายไปยังปลายทางต่างๆ จะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการขนส่งสูงสุด

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่าการขนส่งในรูปแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ารวมกับการขนส่งโดยตรง สามารถเข้ามาช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าการเกษตร ดังนั้นจากผลการวิจัย ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถนำไปหาแนวทางบริหารจัดการการขนส่งสินค้าเกษตรในภาพรวมเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ทั้งนี้ในการพิจารณาควรคำนึงถึง น้ำหนักบรรทุก สมรรถนะ การเสื่อมสภาพ และการซ่อมแซมของยานพาหนะ ควบคู่ไปกับระยะทาง ในการขนส่ง เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการคำนวณต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) สำหรับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัย กลุ่ม Basic Research Fund ประจำปี

งบประมาณ 2564 ภายใต้โครงการพัฒนาระบบโลจิสติกส์เพื่อเพิ่มศักยภาพการค้าเมืองชายแดนเขตเศรษฐกิจพิเศษแม่สอด จังหวัดตาก

เอกสารอ้างอิง

- [1] Products and farmland 2017-2020. Tak Provincial Agriculture and Cooperatives Office.
- [2] Somrub C. *A study of distribution models to reduce logistics costs: a case study X. X. X company [dissertation]*. University. of the Thai Chamber of Commerce, Bangkok, Thailand. 2014.
- [3] Wiriyaasahakij T. *Transportation Cost Reduction Study Applying Milk Run Delivery [dissertation]*. Burapha University, Chonburi, Thailand. 2015
- [4] Minh ND, Kien DT, Hau, PK. Applying milk-run method to optimize cost of transport: an mmpirical evidence. *International Journal of Supply and Operations Management*, 2020;7(2): pp. 178-188.
- [5] Meyer A. *Milk Run Design: Definitions, Concepts and Solution Approaches*, Germany: KIT Scientific Publishing, 2017.
- [6] Mavi RK, Goh N, Mavi K, Jie F, Brown K, Biermann S. et al. Cross-Docking: a systematic literature review. *Sustainability Journal*. 2020;12(4789): 1-19,
- [7] Vogt J. The successful cross-dock based supply chain. *Journal of Business Logistic*. 2010; 31(1):99-119.
- [8] Wongwilas Y *Location Selection Analysis for Distribution Center: A Case Study Delivery and Distribution of Consumer Products [dissertation]*. Burapha University, Chonburi, Thailand, 2014.
- [9] Kittitavornkul K, Pimsakul S. Scheduling of inbound and outbound trucks in retail cross docking distribution center by Heuristic methods.

KMUTT Research and Development Journal.
2012;35(2):219-233.

- [10] Gunawan A, Widjaja AT, Gan B, Yu VF, Jodiawan P. Vehicle routing problem for multi-product cross-docking. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Dubai, UAE, March 10-12. 2020.
- [11] Issi GC, Linfati R, Escoabr JW. Mathematical optimization model for truck scheduling in a distribution center with a mixed service-mode Dock area. *Journal of Advanced Transportation*. 2020; pp.1-13.
- [12] Tapanyo K, Wisittipanich W. Development of a mathematical model scheduling of inbound and outbound trucks for cross-docking. *Journal of Engineering and Innovation*. 2021; 15(1): 102-112.
- [13] Lekhavat S, Chhun S. Multi-commodity supply chain network design problem considering production cost and inventory holding cost. *Journal of Engineering and Innovation*. 2022;15(2):11-24.
- [14] Ransikarbum K, Mason SJ. A bi-objective optimisation of post-disaster relief distribution and short-term network restoration using hybrid NSGA-II algorithm. *International Journal of Production Research*. 2021;1-25.
- [15] Wattanasaeng N, Ransikarbum K. Model and analysis of economic-and risk-based objective optimization problem for plant location within industrial estates using epsilon-constraint algorithms. *Computation*. 2021; 9(4): 46.
- [16] Trailer industry company. Available from: <http://trailer-industry.com/> [Accessed 17 March 2021.]