



การเลือกทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
เพื่อเชื่อมโยงรถไฟลาว-จีน (บ่อเต็น – เวียงจันทน์):

กรณีศึกษาบริษัทขนส่ง XYZ

THE LOCATION SELECTION OF DISTRIBUTION CENTER USING
MATHEMATICAL MODEL FOR CONNECTING LAOS-CHINA
RAILWAY (BOTEN-VIENTIANE): A CASE STUDY
OF XYZ LOGISTICS COMPANY

ภัทรวดี ประสมทรัพย์¹, ศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ^{1*}

Pattarawadee Prasomsab¹, Sirikarn Chansombat^{1*}

¹คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: sirikarnc@nu.ac.th

วันที่เข้าระบบ 3 ตุลาคม 2565

วันที่แก้ไขบทความ 27 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 27 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ

รถไฟลาว-จีน ได้ถูกสร้างขึ้นเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางสายไหมแห่งศตวรรษที่ 21 และได้เปิดใช้งานอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2564 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งนี้ได้ก่อให้เกิดผลกระทบด้านเศรษฐกิจและการขนส่งของประเทศต่าง ๆ ในภูมิภาคอาเซียน โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทย บริษัทโลจิสติกส์ XYZ ได้ให้บริการขนส่งพัสดุทั้งภายในและต่างประเทศ สำหรับการขนส่งพัสดุไปยังต่างประเทศได้ดำเนินการขนส่งผ่านทางอากาศโดยบริษัทขนส่งที่มีความร่วมมือระหว่างกัน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์เพื่อสนับสนุนการเลือกทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า โดยมีบริษัทโลจิสติกส์ XYZ เป็นกรณีศึกษา รูปแบบการดำเนินการเป็นการขนส่งจากต้นทางภายในประเทศไปยังสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) ด้วยการใช้รถไฟลาว-จีน แบบจำลองจำนวนเต็มแบบผสมได้ถูกนำเสนอขึ้นเพื่อหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการขนส่ง ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน และต้นทุนการดำเนินงาน โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลโซลเวอร์ถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ผลลัพธ์แสดงว่า จังหวัดอุดรธานีเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการจัดตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า ที่สามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งทางอากาศและตอบสนองต่อความต้องการในการกระจายสินค้าได้ อีกทั้งมีการวิเคราะห์ความไวเพื่อทำให้ทราบถึงผลกระทบของค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรทราบค่าต่าง ๆ ที่มีต่อผลลัพธ์ด้วย

คำสำคัญ: ศูนย์กระจายสินค้า, การเลือกทำเลที่ตั้ง, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, รถไฟลาว-จีน

Abstract

The Laos-China railway was constructed as a part of the Belt and Road Initiative (BRI) strategy and officially opened on December 3rd, 2021. The development of transportation infrastructure under BRI strategy has had an effect on economy and transportation aspect of ASEAN countries, especially Thailand. The XYZ is a logistics company, which is used as a case study, provides domestic and international postal services. For international postal service, the XYZ provided services by air freight in collaboration with logistics partners. This study aimed to propose a mathematical model to support selecting distribution center location based on the XYZ case study. The model of the operation was the transportation from domestic originating cities to Laos by using the Laos-China railway. The proposed model was a mixed-integer linear programming model by minimizing the total cost, which contained transportation cost, fees and operational cost. Microsoft Excel solver was adopted for optimization purpose. The results showed that Udonthani province can be the most appropriate location for the distribution center. The new distribution center can be built to alleviate air transportation cost and meet the demand of postal distribution. A sensitive analysis was also provided to investigate the impact of various parameters coefficients on the results.

Keywords: Distribution center, Location selection, Mathematical model, Laos-China railway

1. บทนำ

โครงการรถไฟลาว-จีน เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางสายไหมแห่งศตวรรษที่ 21 (Belt and road initiative: BRI) ซึ่งเป็นแผนยุทธศาสตร์หลักของจีน โดยเส้นทางรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ได้ถูกสร้างขึ้นและได้เปิดใช้งานอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 3 ธันวาคม พ.ศ. 2564 มีระยะทางยาวทั้งสิ้น 427 กิโลเมตร โดยมีจุดต้นทาง คือ บ่อเต็น แขวงหลวงน้ำทา ณ ชายแดนระหว่างสปป.ลาวและสาธารณรัฐประชาชนจีน และจุดปลายทาง คือ นครหลวงเวียงจันทน์ (Wichitphongsa & Ponanan, 2022) ถึงแม้ว่าเส้นทางรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ จะไม่ได้พาดผ่านประเทศไทย แต่การ

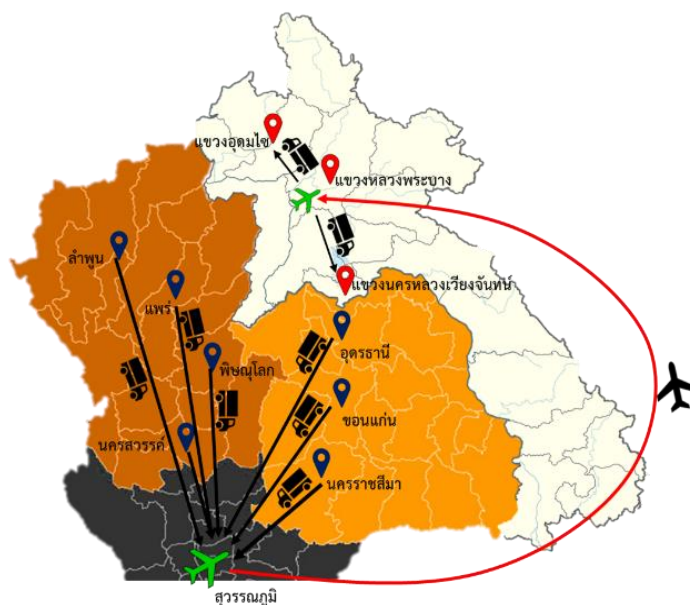
พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งนี้เข้ามาซึ่งผลกระทบด้านเศรษฐกิจ ด้านระบบขนส่งและโลจิสติกส์เป็นอย่างมาก

ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเป็นหนึ่งในปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility location problem: FLP) (Shilong *et al.*, 2018) เป็นการเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการปลูกสร้าง อาคาร โรงงาน คลังสินค้า หรือศูนย์กระจายสินค้าว่าควรตั้งอยู่ที่ใด ซึ่งถือได้ว่าเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั่วไปอย่างมาก เพราะการเลือกทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าถือว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อความสำเร็จของธุรกิจเป็นอย่างมาก โดยการแก้ปัญหา FLP นี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (ปรุพห์, 2014)

สำหรับบริษัทโลจิสติกส์ XYZ เป็นบริษัทให้บริการขนส่งพัสดุทั้งภายในและต่างประเทศ โดยมีศูนย์กระจายสินค้าตั้งอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศไทยทั้งหมด 17 จังหวัด ประกอบด้วย กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดชลบุรี จังหวัดตราขบุรี จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดแพร่ จังหวัดลำพูน จังหวัดพิษณุโลก จังหวัดนครสวรรค์ จังหวัดอุดรธานี จังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดอุบลราชธานี จังหวัดสงขลา จังหวัดนครศรีธรรมราช และจังหวัดชุมพร ซึ่งรูปแบบการขนส่งพัสดุที่มีปลายทางต่างประเทศ จะทำการรวบรวมพัสดุทั้งหมดมาไว้ยังศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดสมุทรปราการ เพื่อดำเนินการขนส่งผ่านทางอากาศยานนั้น โดยอาศัยบริษัทขนส่งที่มีความร่วมมือระหว่างกัน การรวบรวมและการกระจายพัสดุของศูนย์กระจายสินค้าทั้งภายในและต่างประเทศ แสดงในภาพที่ 1 ถึงแม้ว่าพัสดุจะมีจุดหมายปลายทางอยู่ประเทศเพื่อนบ้าน อย่างเช่น สปป.ลาว บริษัทโลจิสติกส์ XYZ ยังคงขนส่งพัสดุผ่านทางอากาศเพียงรูปแบบเดียวเท่านั้น ซึ่งการขนส่งพัสดุด้วยรูปแบบทางอากาศทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งพัสดุมิค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้อัตราค่าบริการในการส่งพัสดุสำหรับลูกค้าสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้กลายเป็นข้อเสียเปรียบทางการแข่งขัน เนื่องด้วยปัจจุบันนี้มีบริษัทที่ให้บริการด้านการขนส่งพัสดุทั้งภายในและต่างประเทศอยู่เป็นจำนวนมาก

สำหรับประเทศไทยและประเทศเพื่อนบ้านอย่าง สปป.ลาว มีแนวชายแดนติดต่อกันเป็นแนวยาว ทำให้มีประตูการค้าทางบกระหว่างกันเป็นจำนวนมาก สามารถเดินทางหรือขนส่งพัสดุด้วยรูปแบบทางถนนได้อย่างสะดวก การเดินทางระหว่างนครหลวงเวียงจันทน์ สปป.ลาว มายังจังหวัดอุดรธานี ประเทศไทย สามารถเดินทางด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล รถไฟ และรถโดยสารระหว่างประเทศลาว-ไทยได้อย่างสะดวก (Sounthavong & Satiennam, 2021) อีกทั้งปัจจุบันนี้ยังมีเส้นทางรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ที่ดำเนินการเสร็จสิ้นและเปิดให้ใช้งานอย่างเป็นทางการแล้วนั้น ถือได้ว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านระบบขนส่งและโลจิสติกส์ ช่วยพัฒนาเครือข่ายด้านโลจิสติกส์เพื่อเชื่อมโยงไปยังต่างประเทศให้มีหลายรูปแบบมากขึ้น ดังนั้นการที่บริษัทโลจิสติกส์ XYZ ยังคงใช้

รูปแบบการขนส่งทางอากาศเพื่อจัดส่งพัสดุไปยังต่างประเทศเพียงรูปแบบเดียวนั้นทำให้มีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง จึงควรมีการปรับเปลี่ยนหรือผสมผสานการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal transport) เพื่อช่วยทำให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นลดต่ำลง



ภาพที่ 1 การรวบรวมและกระจายพัสดุของศูนย์กระจายสินค้า
ในภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาศูนย์กระจายสินค้าที่มีอยู่ของบริษัท โลจิสติกส์ XYZ ที่มีอยู่ทั้ง 17 แห่ง ซึ่งจัดตั้งอยู่ครอบคลุมในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทย เพื่อพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าเพื่อจัดส่งพัสดุที่มีจุดหมายปลายทางไปยังต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศเพื่อนบ้าน อย่างเช่น สปป.ลาว เพื่อเป็นการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับบริษัท อีกทั้งเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบสำหรับการขนส่งทั้งภายในและภายนอกประเทศในอนาคตอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

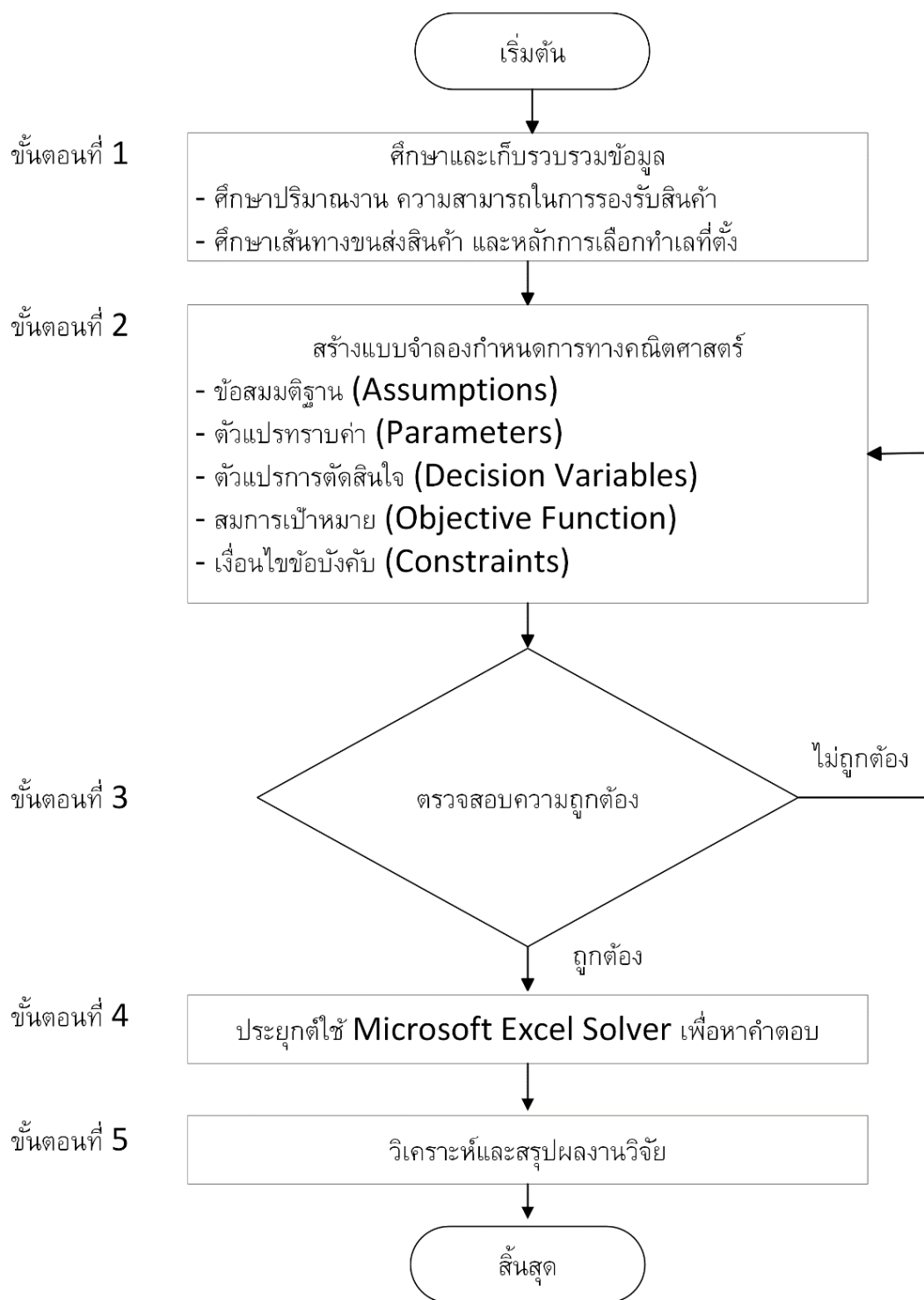
เพื่อพัฒนาแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming: MILP) เพื่อสนับสนุนการเลือกตำแหน่งทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท โลจิสติกส์ XYZ เพื่อเชื่อมโยงกับโครงการรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

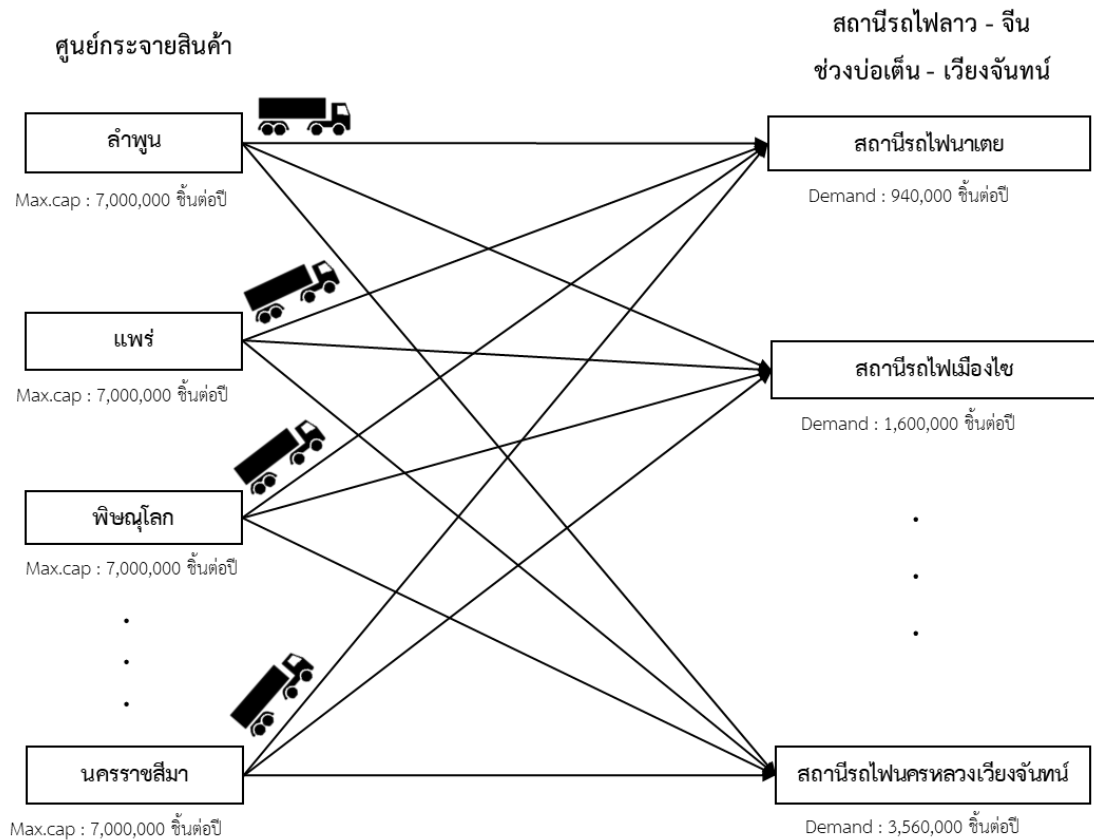
สำหรับวิธีดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) ขั้นตอนการศึกษาและรวบรวมข้อมูล 2) ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ 3) ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 4) ขั้นตอนการหาคำตอบด้วยการประยุกต์ใช้ Microsoft excel solver และ 5) วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย แสดงในภาพที่ 2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนวรรณกรรมและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเลือกตำแหน่งทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ เพื่อพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายพัสดุไปยัง สปป.ลาว ผ่านการขนส่งรูปแบบทางถนนเพื่อเชื่อมต่อไปยังรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พิจารณาศูนย์กระจายสินค้าที่มีความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อไปยังรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ซึ่งเป็นศูนย์กระจายสินค้าที่ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยทั้งสิ้น 7 ศูนย์ ได้แก่ ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดลำพูน แพร่ พิชณุโลก นครสวรรค์ นครราชสีมา อุตรธานี และขอนแก่น และสำหรับสถานีของรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ที่มีความเป็นไปได้ในการเชื่อมต่อกับศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ มีทั้งสิ้น 5 สถานี ได้แก่ สถานีรถไฟนาเดย สถานีรถไฟเมืองไซ สถานีรถไฟหลวงพระบาง สถานีรถไฟวังเวียง และสถานีรถไฟนครหลวงเวียงจันทน์ โครงการการขนส่งพัสดุจากศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ ไปยังสถานีรถไฟของรถไฟลาว-จีน แสดงในภาพที่ 3

สำหรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบแบบจำลอง มีดังต่อไปนี้ ข้อมูลด้านโครงสร้างต้นทุนการขนส่งพัสดุประเภทรถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ เป็นข้อมูลที่ได้รับมาจากกรมการขนส่งทางบก (2559) ดังแสดงในตารางที่ 1 ข้อมูลด้านค่าธรรมเนียมการขนส่งพัสดุข้ามแดนไทย-ลาว ดังแสดงในตารางที่ 2 ข้อมูลด้านระยะทางการขนส่งจากแต่ละศูนย์กระจายสินค้าไปยังแต่ละสถานีรถไฟ ดังแสดงในตารางที่ 3 ข้อมูลด้านต้นทุนการขนส่งพัสดุจากแต่ละศูนย์กระจายสินค้าไปยังแต่ละสถานีรถไฟ ดังแสดงในตารางที่ 4 และสำหรับต้นทุนคงที่ในการพัฒนาศูนย์กระจายสินค้าที่มีอยู่เดิมให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยังต่างประเทศ คือ 2,500,000 บาทและปริมาณความจุสูงสุดของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าที่สามารถรองรับพัสดุได้ คือ 7,000,000 ชิ้น



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3 โครงข่ายการขนส่งพัสดุของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ ที่เป็นไปได้

ตารางที่ 1 โครงสร้างต้นทุนการขนส่งพัสดุด้วยรถบรรทุกทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ (TC)
(กรมการขนส่งทางบก, 2559)

รายการ	ต้นทุนการขนส่ง (บาทต่อกิโลเมตร)
ค่ารถและเครื่องมือ	4.21
ค่าทะเบียน	0.05
ค่าตรวจสอบสภาพรถ	0.02
ค่าประกันภัย	0.75
ค่าพนักงานขับรถและผู้ช่วย	4.2
ค่าเชื้อเพลิง	6.12
ค่ายาง	0.29
ค่าน้ำมันหล่อลื่น	0.3
ค่าซ่อมรถและบำรุงรักษา	0.95
ค่าใช้จ่ายไม่มีใบเสร็จ	0.1
ค่าใช้จ่ายสำนักงาน	0.51
รวม	17.50

ตารางที่ 2 ค่าธรรมเนียมการขนส่งพัสดุข้ามแดนไทย-ลาว (b) (ศูนย์ข้อมูลเพื่อธุรกิจไทยในจีน, 2556)

รายการ	จุดผ่านแดนฝั่งไทย (บาท)	จุดผ่านแดนฝั่ง สปป.ลาว
รถบรรทุก 10 ขึ้นไป	350	94,000 กีบ หรือ 282 บาท
ค่าผ่านแดนรายบุคคล	10	50 บาท

*หมายเหตุ : ค่าเงินกีบเท่ากับ 0.0030 บาท (ข้อมูล ณ วันที่ 25 ธันวาคม 2564)

ตารางที่ 3 ระยะทางการขนส่งพัสดุ (S_{ij})

ศูนย์กระจายสินค้า	ระยะทาง (กิโลเมตร)			
	สถานีนาเตย	สถานีเมืองไซ	...	สถานีนครหลวงเวียงจันทน์
ลำพูน	506	546	...	638
แพร่	507	463	...	475
พิษณุโลก	678	613	...	405
นครสวรรค์	820	755	...	562
ขอนแก่น	772	692	...	189
อุดรธานี	666	592	...	89
นครราชสีมา	1,042	877	...	374

ตารางที่ 4 ต้นทุนการขนส่งพัสดุ (c_{ij})

ศูนย์กระจายสินค้า	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)			
	สถานีนาเตย	สถานีเมืองไซ	...	สถานีนครหลวงเวียงจันทน์
ลำพูน	8,855	9,555	...	11,165
แพร่	8,873	8,103	...	8,313
พิษณุโลก	11,865	10,728	...	7,088
นครสวรรค์	14,350	13,213	...	9,835
ขอนแก่น	13,510	12,110	...	3,308
อุดรธานี	11,655	10,360	...	1,558
นครราชสีมา	18,235	15,348	...	6,545

ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming: MILP) เพื่อสนับสนุนการเลือกตำแหน่งทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท โลจิสติกส์ XYZ เพื่อเชื่อมโยงกับโครงการรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ข้อสมมติฐาน (Assumptions)

- 1) การขนส่งพัสดุของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ ดำเนินการขนส่งด้วยรถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ เท่านั้น
- 2) รถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซล 10 ล้อ สามารถบรรจุพัสดุของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ ได้เต็มตามความจุของรถบรรทุกจำนวน 20,000 ชิ้นต่อรอบการขนส่ง
- 3) สามารถรู้ปริมาณการขนส่งได้ล่วงหน้าและมีปริมาณความต้องการการขนส่งพัสดุที่แน่นอน

ดัชนี (Indices)

i คือ หมายเลขของศูนย์กระจายสินค้า โดยที่ $i = 1, 2, \dots, n$; 1=ศูนย์ลำพูน, 2=ศูนย์แพร่, 3=ศูนย์พิษณุโลก, 4=ศูนย์นครสวรรค์, 5=ศูนย์ขอนแก่น, 6=ศูนย์อุดรธานี, 7=ศูนย์นครราชสีมา

j คือ หมายเลขของสถานีรถไฟ โดยที่ $j = 1, 2, \dots, m$; 1=สถานีรถไฟนาเดย, 2=สถานีรถไฟเมืองไซ, 3=สถานีรถไฟหลวงพระบาง, 4=สถานีรถไฟวังเวียง, 5=สถานีรถไฟนครหลวงเวียงจันทน์

ตัวแปรค่า (Parameters)

n คือ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า

m คือ จำนวนสถานีรถไฟ

f_i คือ ต้นทุนคงที่ในการพัฒนาศูนย์กระจายสินค้าให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยังต่างประเทศของศูนย์กระจายสินค้าที่ i (หน่วย : บาท)

c_{ij} คือ ต้นทุนการขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าที่ i ไปยังสถานีรถไฟที่ j (หน่วย : บาทต่อรอบการขนส่ง)

d_j คือ ปริมาณความต้องการพัสดุเพื่อจัดส่งไปยังสถานีรถไฟที่ j (หน่วย : ชิ้นต่อปี)

S_{ij} คือ ระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าที่ i ไปยังสถานีรถไฟที่ j (หน่วย : กิโลเมตร)

TC คือ ต้นทุนการขนส่งพัสดุโดยรถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ (หน่วย : บาทต่อกิโลเมตร)

Q คือ ปริมาณความจุสูงสุดของรถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ ที่สามารถรองรับได้ (หน่วย : ชิ้นต่อรอบการขนส่ง)

MC_i คือ ปริมาณความจุสูงสุดของศูนย์กระจายสินค้าที่ i ที่สามารถรองรับได้ (หน่วย : ชิ้นต่อปี)

b_{ij} คือ ค่าธรรมเนียมการขนส่งพัสดุข้ามแดนไทย-ลาว จากศูนย์กระจายสินค้าที่ i ไปยังสถานีรถไฟที่ j (หน่วย : บาท)

ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision variables)

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อถูกเลือกให้ตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้าเพื่อรองรับและขนส่งพัสดุไปยัง} \\ & \text{รถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

x_{ij} คือ ปริมาณพัสดุที่ถูกขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าที่ i ไปยังสถานีรถไฟที่ j

กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

ในบทความนี้ได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming: MILP) เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทโลจิสติกส์ XYZ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน และต้นทุนการดำเนินงาน โดยมีรูปแบบของแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ ดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (1) แสดงถึง ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน และต้นทุนการดำเนินงาน

$$\text{Minimise} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} + \sum_{j=1}^m b_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n f_i y_i \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อบังคับ (Subject to)

สมการที่ (2) แสดงถึง ปริมาณพัสดุที่ขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังสถานีรถไฟที่ j เพื่อให้เป็นไปตามรอบของการขนส่งพัสดุ

$$x_{ij} = d_j / Q \quad ; \forall_j \quad (2)$$

สมการที่ (3) แสดงถึง ปริมาณพัสดุที่ขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังสถานีรถไฟที่ j ต้องไม่เกินความสามารถของศูนย์กระจายสินค้าที่รองรับได้

$$x_{ij} \leq \sum_{i=1}^n (MC_i / Q) y_i \quad ; \forall_{i,j} \quad (3)$$

สมการที่ (4) แสดงถึง ต้นทุนการขนส่งพัสดุด้วยรถบรรทุกเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 10 ล้อ จาก ศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังสถานีรถไฟที่ j

$$c_{ij} = TC \times S_{ij} \quad ; \forall_{i,j} \quad (4)$$

ข้อจำกัดที่ (5) การกำหนดตัวแปรต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ และเป็นจำนวนเต็ม

$$x_{ij} \geq 0 \text{ and integer} \quad ; \forall_{i,j} \quad (5)$$

ข้อจำกัดที่ (6) การกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรการตัดสินใจ

$$y_i \in \{0,1\} \quad ; \forall_{i,j} \quad (6)$$

เมื่อพัฒนาแบบจำลองแล้ว ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่า สามารถให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์ ภายใต้ข้อบังคับต่างๆ หรือไม่ ด้วยการประยุกต์ใช้ โปรแกรม Microsoft excel solver ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่ามีความถูกต้องตาม วัตถุประสงค์และเงื่อนไขข้อบังคับที่กำหนด

4. ผลการวิจัย

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการวิจัยที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม Microsoft excel solver ที่รันบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) แบบ AMD Ryzen(R) 5 – 3500 ด้วยความถี่ 2.10 GHz และมีหน่วยความจำ (RAM) 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 10 ผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 6

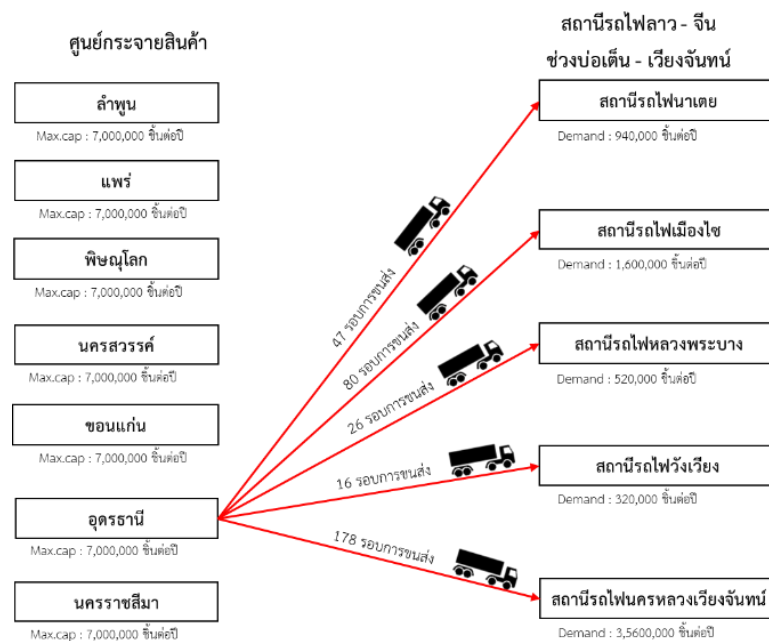
จากตารางที่ 6 แสดงถึง ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็ม แบบผสม ด้วยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft excel solve เพื่อทำให้ทราบถึงต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน และต้นทุนการดำเนินงาน จากผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดอุดรธานี ได้ถูกเลือกให้เป็น ศูนย์กระจายสินค้าที่ควรได้รับการพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยังประเทศเพื่อน

บ้าน คือ สปป.ลาว เพื่อเชื่อมต่อไปยังรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น—เวียงจันทน์ ที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด แสดงในภาพที่ 4

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม Microsoft excel solve

ศูนย์กระจายสินค้า	การพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยังต่างประเทศ	จำนวนรอบของการขนส่งพัสดุแต่ละสถานี				
		นาเตย	เมืองไซ	หลวงพระบาง	วังเวียง	นครหลวงเวียงจันทน์
ลำพูน	0	-	-	-	-	-
แพร่	0	-	-	-	-	-
พิษณุโลก	0	-	-	-	-	-
นครสวรรค์	0	-	-	-	-	-
ขอนแก่น	0	-	-	-	-	-
อุดรธานี	1	47	80	26	16	178
นครราชสีมา	0	-	-	-	-	-
ต้นทุนรวมทั้งหมด (บาท)		4,640,169				

*หมายเหตุ : กำหนดให้ 1 รอบการขนส่งสามารถจุสินค้าได้ 20,000 ชิ้น



ภาพที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม



เมื่อทราบถึงผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองแล้ว การวิเคราะห์ความไว (Sensitive analysis) เป็นส่วนที่สำคัญมากในการศึกษาถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทราบค่าหรือพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ได้รับจากแบบจำลองนั้น เป็นคำตอบที่เกิดจากการประมาณค่าพารามิเตอร์บางตัว ซึ่งในชีวิตจริง ค่าพารามิเตอร์เหล่านั้นอาจเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทราบค่า ด้วยการใช้ Data table ของ Microsoft excel โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทราบค่าต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความไว โดยการใช้การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการขนส่งสินค้า (c_{ij})

การวิเคราะห์ความไว โดยการเพิ่มหรือลดระยะทางในการขนส่ง						
$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ ลดระยะทางลง 40 กิโลเมตร จากระยะทางที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)						
	นาเตย (j=1)	เมืองไช (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	8,155	8,855	11,655	10,343	10,465	4,397,269
แพร่ (i=2)	8,173	7,403	8,803	7,473	7,613	
พิษณุโลก (i=3)	11,165	10,028	9,153	8,645	6,388	
นครสวรรค์ (i=4)	13,650	12,513	11,655	11,410	9,135	
ขอนแก่น (i=5)	12,810	11,410	8,173	4,865	2,608	
อุดรธานี (i=6)	10,955	9,660	6,423	3,115	858	
นครราชสีมา (i=7)	17,535	14,648	11,410	8,103	5,845	
$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ ลดระยะทางลง 20 กิโลเมตร จากระยะทางที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)						
	นาเตย (j=1)	เมืองไช (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	8,505	9,205	12,005	10,693	10,815	4,518,719
แพร่ (i=2)	8,523	7,753	9,153	7,823	7,963	
พิษณุโลก (i=3)	11,515	10,378	9,503	8,995	6,738	
นครสวรรค์ (i=4)	14,000	12,863	12,005	11,760	9,485	
ขอนแก่น (i=5)	13,160	11,760	8,523	5,215	2,958	
อุดรธานี (i=6)	11,305	10,010	6,773	3,465	1,208	
นครราชสีมา (i=7)	17,885	14,998	11,760	8,453	6,195	
$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ ระยะทางที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)						
	นาเตย (j=1)	เมืองไช (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	8,855	9,555	12,355	11,043	11,165	4,640,169



แพร่ (i=2)	8,873	8,103	9,503	8,173	8,313
พิษณุโลก (i=3)	11,865	10,728	9,853	9,345	7,088
นครสวรรค์ (i=4)	14,350	13,213	12,355	12,110	9,835
ขอนแก่น (i=5)	13,510	12,110	8,873	5,565	3,308
อุดรธานี (i=6)	11,655	10,360	7,123	3,815	1,558
นครราชสีมา (i=7)	18,235	15,348	12,110	8,803	6,545

$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ เพิ่มระยะทาง 20 กิโลเมตร จากระยะทางที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	9,205	9,905	12,705	11,393	11,515	
แพร่ (i=2)	9,223	8,453	9,853	8,523	8,663	
พิษณุโลก (i=3)	12,215	11,078	10,203	9,695	7,438	
นครสวรรค์ (i=4)	14,700	13,563	12,705	12,460	10,185	4,761,619
ขอนแก่น (i=5)	13,860	12,460	9,223	5,915	3,658	
อุดรธานี (i=6)	12,005	10,710	7,473	4,165	1,908	
นครราชสีมา (i=7)	18,585	15,698	12,460	9,153	6,895	

$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ เพิ่มระยะทาง 40 กิโลเมตร จากระยะทางที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	9,555	10,255	13,055	11,743	11,865	
แพร่ (i=2)	9,573	8,803	10,203	8,873	9,013	
พิษณุโลก (i=3)	12,565	11,428	10,553	10,045	7,788	
นครสวรรค์ (i=4)	15,050	13,913	13,055	12,810	10,535	4,883,069
ขอนแก่น (i=5)	14,210	12,810	9,573	6,265	4,008	
อุดรธานี (i=6)	12,355	11,060	7,823	4,515	2,258	
นครราชสีมา (i=7)	18,935	16,048	12,810	9,503	7,245	

$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ ลดต้นทุนการขนส่ง 2 บาท/กิโลเมตร จากต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	7,843	8,463	10,943	9,781	9,889	
แพร่ (i=2)	7,859	7,177	8,417	7,239	7,363	
พิษณุโลก (i=3)	10,509	9,502	8,727	8,277	6,278	4,423,021
นครสวรรค์ (i=4)	12,710	11,703	10,943	10,726	8,711	



ขอนแก่น (i=5)	11,966	10,726	7,859	4,929	2,930
อุดรธานี (i=6)	10,323	9,176	6,309	3,379	1,380
นครราชสีมา (i=7)	16,151	13,594	10,726	7,797	5,797

$C_{ij} = TC \times S_{ij}$ ลดต้นทุนการขนส่ง 1 บาท/กิโลเมตร จากต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นตามจริง

(หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	8,349	9,009	11,649	10,412	10,527	
แพร่ (i=2)	8,366	7,640	8,960	7,706	7,838	
พิษณุโลก (i=3)	11,187	10,115	9,290	8,811	6,683	
นครสวรรค์ (i=4)	13,530	12,458	11,649	11,418	9,273	4,531,595
ขอนแก่น (i=5)	12,738	11,418	8,366	5,247	3,119	
อุดรธานี (i=6)	10,989	9,768	6,716	3,597	1,469	
นครราชสีมา (i=7)	17,193	14,471	11,418	8,300	6,171	

$C_{ij} = TC \times S_{ij}$ ต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นตามจริง (หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	8,855	9,555	12,355	11,043	11,165	
แพร่ (i=2)	8,873	8,103	9,503	8,173	8,313	
พิษณุโลก (i=3)	11,865	10,728	9,853	9,345	7,088	
นครสวรรค์ (i=4)	14,350	13,213	12,355	12,110	9,835	4,640,169
ขอนแก่น (i=5)	13,510	12,110	8,873	5,565	3,308	
อุดรธานี (i=6)	11,655	10,360	7,123	3,815	1,558	
นครราชสีมา (i=7)	18,235	15,348	12,110	8,803	6,545	

$C_{ij} = TC \times S_{ij}$ เพิ่มต้นทุนการขนส่ง 1 บาท/กิโลเมตร จากต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นตามจริง

(หน่วย : บาท)

	นาเตย (j=1)	เมืองไซ (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	Min total cost
ลำพูน (i=1)	9,361	10,101	13,061	11,674	11,803	
แพร่ (i=2)	9,380	8,566	10,046	8,640	8,788	
พิษณุโลก (i=3)	12,543	11,341	10,416	9,879	7,493	
นครสวรรค์ (i=4)	15,170	13,968	13,061	12,802	10,397	4,748,743
ขอนแก่น (i=5)	14,282	12,802	9,380	5,883	3,497	
อุดรธานี (i=6)	12,321	10,952	7,530	4,033	1,647	

นครราชสีมา (i=7)	19,277	16,225	12,802	9,306	6,919	
$c_{ij} = TC \times S_{ij}$ เพิ่มต้นทุนการขนส่ง 2 บาท/กิโลเมตร จากต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นตามจริง						
(หน่วย : บาท)						Min total cost
	นาเตย (j=1)	เมืองไช (j=2)	หลวงพระบาง (j=3)	วังเวียง (j=4)	นครหลวงเวียงจันทน์ (j=5)	
ลำพูน (i=1)	9,867	10,647	13,767	12,305	12,441	
แพร่ (i=2)	9,887	9,029	10,589	9,107	9,263	
พิษณุโลก (i=3)	13,221	11,954	10,979	10,413	7,898	
นครสวรรค์ (i=4)	15,990	14,723	13,767	13,494	10,959	4,857,317
ขอนแก่น (i=5)	15,054	13,494	9,887	6,201	3,686	
อุดรธานี (i=6)	12,987	11,544	7,937	4,251	1,736	
นครราชสีมา (i=7)	20,319	17,102	13,494	9,809	7,293	

จากตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทราบค่าหรือพารามิเตอร์ของต้นทุนการขนส่งพัสดุที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง เมื่อต้นทุนการขนส่งพัสดุลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดมีค่าลดลงด้วย และเมื่อต้นทุนการขนส่งพัสดุเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ต้นทุนรวมทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed integer linear programming: MILP) เพื่อสนับสนุนการเลือกตำแหน่งทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท โลจิสติกส์ XYZ เพื่อเชื่อมโยงกับโครงการรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นต่ำที่สุด ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน และต้นทุนการดำเนินงาน จากการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft excel solver เพื่อหาผลลัพธ์ของแบบจำลอง พบว่า ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดอุดรธานี เป็นตำแหน่งทำเลที่เหมาะสมที่สุด ในการพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยัง สปป.ลาว ผ่านการขนส่งด้วยรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ โดยมีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด คือ 4,640,169 บาท รายละเอียดของต้นทุน ประกอบด้วย ต้นทุนการขนส่ง คือ 1,900,045 บาท ค่าธรรมเนียมการขนส่งสินค้าข้ามแดน คือ 240,124 บาท และต้นทุนการดำเนินงาน คือ 2,500,000 บาท โดยมีการขนส่งพัสดุไปยังสถานีรถไฟนาเตยจำนวน 47 รอบต่อปี หรือคิดเป็น 940,000 ชิ้นต่อปี สถานีรถไฟเมืองไชจำนวน 80 รอบต่อปี หรือคิดเป็น 1,600,000 ชิ้นต่อปี สถานีรถไฟหลวงพระบางจำนวน 26 รอบต่อปี หรือคิดเป็น 520,000 ชิ้นต่อปี สถานีรถไฟวังเวียง 16 รอบต่อปี หรือคิดเป็น 320,000 ชิ้นต่อปี และสถานีนครหลวง

เวียงจันทน์จำนวน 178 รอบต่อปี หรือคิดเป็น 3,560,000 ขึ้นต่อปี โดยศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดอุดรธานีจะทำการจัดส่งพัสดุไปยัง สปป.ลาว ผ่านการเชื่อมต่อกับรถไฟลาว-จีน ช่วงบ่อเต็น-เวียงจันทน์ ทั้งหมด 6,940,000 ขึ้นต่อปี หรือจำนวน 347 รอบต่อปี

สำหรับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น เป็นข้อมูลที่ได้รับจากบริษัทโลจิสติกส์ XYZ ซึ่งบางข้อมูลเป็นข้อมูลที่ได้รับจากการประมาณการณ์ของบุคคลากรในบริษัท และมีบางข้อมูลที่ได้รับจากการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งในการปฏิบัติงานจริง อาจมีเงื่อนไขข้อจำกัดส่วนอื่น รวมถึงระเบียบข้อตกลงทางด้านกฎหมายที่ไม่ได้มีการพิจารณาในการพัฒนาแบบจำลองนี้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นแนวทางเพื่อสนับสนุนการเลือกตำแหน่งทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่มีอยู่เดิม เพื่อพัฒนาให้เป็นศูนย์รวบรวมและกระจายสินค้าไปยังสปป.ลาว ในอีกรูปแบบหนึ่ง ที่จะสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งทางอากาศและตอบสนองต่อความต้องการในการกระจายสินค้าได้ เพื่อเสนอเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อประกอบการพิจารณาในการวางแผนทางธุรกิจในอนาคตต่อไป สำหรับการศึกษาเพิ่มเติม หากมีการเพิ่มขนาดของปัญหา เพิ่มจำนวนตัวแปรการตัดสินใจ เติมนโยบายข้อบังคับมากขึ้น อาจจะนำวิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristics) หรือเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) มาใช้ในการแก้ปัญหาที่ร่วมกับแบบจำลองกำหนดการทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้สามารถค้นหาคำตอบได้ภายในระยะเวลาที่จำกัดเมื่อขนาดของปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่มากขึ้น เพื่อให้แบบจำลองที่พัฒนานั้นมีความสมจริงและครอบคลุมกับเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ ของการขนส่งสินค้าข้ามแดนมากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางบก. (2559). **โครงการศึกษาต้นทุนการขนส่งและกระจายสินค้าเพื่อรองรับการพัฒนาสถานีขนส่งสินค้าทั่วประเทศ**. ค้นจาก <http://www.thaitruckcenter.com>
- ปรุพท์ มะยะเฉียว. (2014). การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง. **Princess of Naradhiwas University Journal**, 6(1), 132-145.
- ศูนย์ข้อมูลเพื่อธุรกิจไทยในจีน. (2556). **สะพานข้ามโขงแห่งใหม่: ความหวังที่จะเป็นประตูเชื่อมการค้าอาเซียน-จีนตอนใต้**. ค้นจาก <https://thaibizchina.com/สะพานข้ามโขงแห่งใหม่-คว/>



- Shilong, L., Zhenlin, W., & Ailing, H. (2018). Location Selection of Urban Distribution Center with a Mathematical Modeling Approach based on the Total Cost. **IEEE Access**, 6(1), 61833-61842.
- Sounthavong, V., & Satiennam, W. (2021). A Mode Choice Model for Cross-Border Transportation: A Case Study Between Vientiane Capital and Udonthani Province. **KKU Research Journal**, 21(2), 104-116.
- Wichitphongsa, W., & Ponanan, K. (2022). A Development of Mode Choice Models for Modal Shift Potential Towards Intermodal Transportation: A Case Study of Vientiane - Boten Railway. **ABAC Journal**, 42(1), 222-236.