



JOURNAL OF LOGISTICS AND DIGITAL SUPPLY CHAIN

วารสารโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน

Vol. 3 No. 2 May – August 2025

Launched Journal From

**FACULTY OF LOGISTICS AND DIGITAL SUPPLY CHAIN,
NARESUAN UNIVERSITY**

Issn 2985-0088 (Print) Issn 2985-0096 (Online)



กองบรรณาธิการ

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพล สุขโหดุ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บรรณาธิการอำนวยการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐพล ไพศาลวิโรจน์รักษ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

กองบรรณาธิการ

Prof. Dr. SHABBIR H. GHEEWALA

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. จักรกฤษณ์ ดวงพิสดรา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีดา พิษยาพันธ์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อลงกรณ์ เมืองไหว

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

รองศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย เทพภรณ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปริญ วีระพงษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. ชวิศ บุญมี

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร. กฤตณะ พุกษากร

มหาวิทยาลัยมหิดล

Dr-Ing Jettarat Janmontree

Institute for Logistics and Material Handling Systems,

Otto von Guericke University, Magdeburg, Germany

Asst. Prof. Dr. Teerawat Kumrai

Osaka University

ดร. สุกิจ ขอเชื้อกลาง

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. กุลภา ไสรัตน์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ดร. สุนันท์ ธาติ

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไกล่รุ่ง พรอนันต์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

เลขานุการและผู้ประสานงาน

นางประภาพร ช้างเผือก

มหาวิทยาลัยนเรศวร

นางสุนิษา แสนศรี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

คำนำ

วารสารโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน (Journal of Logistics and Digital Supply Chain) เป็นวารสารวิชาการที่จัดทำโดยคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 3 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม - สิงหาคม พ.ศ. 2564 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการศึกษาค้นคว้า และเผยแพร่บทความวิชาการ บทความวิจัยและบทความปริทัศน์ แก่นักวิจัย นักวิชาการ คณาจารย์ และนักศึกษา อันจะนำไปสู่การสนับสนุน ส่งเสริมการศึกษา การสอน การวิจัย บทความทั้งหมดที่ได้รวบรวมมาในฉบับนี้เป็นบทความที่มีคุณภาพซึ่งได้ผ่านการพิจารณาโดยผู้ทรงคุณวุฒิก่อนที่จะนำมาเผยแพร่เป็นองค์ความรู้

โดยขอบเขตของบทความในวารสารนี้เกี่ยวข้องกับองค์ความรู้หลัก 6 สาขา ได้แก่ การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน การขนส่งและการเดินทาง ความยั่งยืน วิทยาการจัดการ การค้าระหว่างประเทศและเทคโนโลยีและสารสนเทศ ซึ่งในวารสารฉบับนี้มีบทความที่อยู่ในขอบเขตของงานวิจัยที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้วทั้งหมด 6 บทความ เนื้อหาและองค์ความรู้ทั้ง 6 บทความดังกล่าวเป็นองค์ความรู้ที่ควรค่าอย่างยิ่งแก่การนำไปต่อยอดงานวิจัยและการให้แนวความคิดแก่การพัฒนาความรู้ใหม่ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพล สุขโหดุ

บรรณาธิการวารสารโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน

มหาวิทยาลัยนเรศวร

เกี่ยวกับวารสาร

เป้าหมายและขอบเขตของวารสาร

วารสารโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน เป็นวารสารวิชาการของคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการศึกษาค้นคว้า และเผยแพร่บทความวิชาการ บทความวิจัยและบทความปริทัศน์ แก่นักวิจัย นักวิชาการ คณาจารย์และนักศึกษา เพื่อสนับสนุน ส่งเสริมการศึกษา การสอน การวิจัย โดยขอบเขตของวารสารที่เปิดรับบทความ 6 สาขาที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชนดังต่อไปนี้

- การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics and Supply Chain Management)
- การขนส่งและการเดินทาง (Transportation)
- ความยั่งยืน (Sustainability)
- วิทยาการจัดการ (Management Science)
- การค้าระหว่างประเทศ (International Trade)
- เทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information Technology)

ประเภทของผลงานที่รับตีพิมพ์ในวารสาร

1. บทความวิจัย (Research Article) เป็นบทความที่มีการค้นคว้าอย่างมีระบบและมีความมุ่งหมายชัดเจน เพื่อให้ได้ข้อมูลหรือหลักการบางอย่างที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการ หรือการนำวิชาการมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ บทความวิจัยมีลักษณะเป็นเอกสารที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ เช่น มีการตั้งสมมติฐานหรือมีการกำหนดปัญหาที่ชัดเจนสมเหตุผล โดยจะต้องระบุวัตถุประสงค์ที่เด่นชัดแน่นอน มีการรวบรวมข้อมูล พิจารณาวิเคราะห์ ตีความและสรุปผลการวิจัยที่สามารถให้คำตอบหรือบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ต้องการได้

2. บทความวิชาการ (Academic Article) เป็นบทความในลักษณะวิเคราะห์วิจารณ์ หรือเสนอแนวคิดใหม่ จากพื้นฐานทางวิชาการที่ได้เรียบเรียงจากผลงานทางวิชาการของตนเองหรือของผู้อื่น หรือเป็นบทความทางวิชาการที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นความรู้ที่มีประโยชน์ให้กับบุคคลทั่วไปที่สนใจ

3. บทความปริทัศน์ (Review Article) เป็นงานวิชาการที่ประเมินสถานะล่าสุดทางวิชาการ (State of the Art) เฉพาะทางที่มีการศึกษาค้นคว้า มีการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ทั้งทางกว้างและทางลึกอย่างทันสมัย โดยให้ข้อวิพากษ์ที่ชี้ให้เห็นแนวโน้มที่ควรศึกษาและพัฒนาต่อไป

กำหนดเผยแพร่ : ปีละ 3 ฉบับ

ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – เมษายน

ฉบับที่ 2 เดือนพฤษภาคม – สิงหาคม

ฉบับที่ 3 เดือนกันยายน - ธันวาคม

ภาษาที่รับตีพิมพ์ : ภาษาไทย หรือ ภาษาอังกฤษ

เจ้าของวารสาร : คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ให้การสนับสนุน : คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

สารบัญ

TABLE OF CONTENTS

Forecasting Fish Feed Demand :A Case Study of Nile Tilapia Feed Distributors Operated by
Phan Fisheries Cooperative, Phan District, Chiang Rai Province

การพยากรณ์ความต้องการอาหารปลากรณีศึกษาจากผู้จำหน่ายอาหารปลานิลที่ดำเนินการโดยสหกรณ์ประมง
พานจำกัดอำเภอพานจังหวัดเชียงราย

Noth Phacharathananon, Pitthinan Somchaiwong, Autchara Deekumpa and Panatda Yommana

นฐ พชรธนนท์, พิทธินันท์ สมไชยวงศ์, อัจฉราดี คำป่า และปนัดดา ยมนา.....1

A Proposed Demand Forecasting Method for Aircraft Maintenance Spare Parts in Aircraft
Maintenance Operations: A Case Study

Pramote Chaiman and Woramol C. Watanabe.....22

Analysis of Factors Influencing China's Cross-Border E-Commerce Supply Chain Resilience
Based on the Fuzzy DEMATEL Model

Xinwei Pan and Woramol C. Watanabe.....37

Analysis of Intention to Purchase Souvenir Exploratory Factor

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

Chuennapha Nilsonthi, Purim Srisawat, Surapat Mangkalee and Jessada Pochan

ชื่นภา นิลสนธิ, ปุริม ศรีสวัสดิ์, สุรพัฒน์ มังคะลี และเจษฎา โพธิ์จันทร์.....52

Supply Chain Management of Fresh Durian Export from Thailand to People's Republic of
China

การจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีน

Teerawat Pimpuang and Sakkarin Nonthapot

ธีรวัฒน์ พิมพ์พวง และศักรินทร์ นนทพจน์.....	81
---	----

Improve Performance the Discrete Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA) for symmetric travelling salesman problem (TSP)

การปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้สำหรับการเดินทางของพนักงานขาย

Supaporn Kamtaeja, Waranya Songseesai, Sasicha Sukkay, Nakorn Chaiwongsakda, Wilasinee Srisuwan and Seksan Winyangkul

สุภาพร คำเตจา, วรัญญา สองสีใส, ศศิชา สุขกาย, นครไชย วงศ์ศักดิ์, วิลาสินี ศรีสุวรรณ

และเสกสรรค์ วินยงค์กุล.....107

**การพยากรณ์ความต้องการอาหารปลา กรณีศึกษากลุ่มผู้จำหน่ายอาหารปลานิล
ที่ดำเนินการโดย สหกรณ์ประมงพาน จำกัด อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย**

**Forecasting Fish Feed Demand : A Case Study of Nile Tilapia Feed Distributors
Operated by Phan Fisheries Cooperative, Phan District, Chiang Rai Province**

นฐ พชรธนนท์, พิทธินันท์ สมไชยวงศ์, อัจฉรา ดีคำปา และ ปณัตตา ยมนา*

Noth Phacharathananon, Pitthinan Somchaiwong, Autchara Deekumpa and
Panatda Yommana*

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ประเทศไทย 57120
Logistics Management Program, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology
Lanna, Chiang Rai, Thailand 57120

*Corresponding author E-mail: panatdacu@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มุ่งแก้ไขปัญหาค่าความไม่แน่นอนของความต้องการอาหารปลา ซึ่งส่งผลต่อการวางแผนการขายและสั่งซื้อวัตถุดิบของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด วัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ 2) เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เพื่อหาความแม่นยำของการพยากรณ์ 3) เพื่อเสนอแนะแนวทางในการวางแผนขายอาหารปลาให้กับสหกรณ์ประมงพาน จำกัด วิจัยใช้ข้อมูลยอดขายอาหารปลาย้อนหลัง 2 ปี และสัมภาษณ์พนักงาน โดยนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก และการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล เพื่อเปรียบเทียบ ความแม่นยำในการพยากรณ์ ผลการวิจัย พบว่า วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด โดยเฉพาะอาหารปลารหัส SN8901 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ 64.08% การวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดพบว่า อาหารปลารหัส SN8901 อยู่ที่ 813 ถุงต่อปี ลดต้นทุนได้ 7,094.38 บาท อาหารปลารหัส SN8901B อยู่ที่ 2,376 ถุงต่อปี ลดต้นทุนได้ 7,112.42 บาท อาหารปลารหัส SN8902 อยู่ที่ 1,479 ถุงต่อปี ลดต้นทุนได้ 3,462.66 บาท และอาหารปลารหัส 8501S อยู่ที่ 250 ถุงต่อปี ลดต้นทุนได้ 3,456.83 บาท ผู้ประกอบสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปวางแผนการขายอาหารปลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขายได้

คำสำคัญ : การพยากรณ์, การวางแผนการขาย, จุดสั่งซื้อที่ประหยัด

ได้รับเมื่อ 25 พฤษภาคม 2568; แก้ไขเมื่อ 7 มิถุนายน 2568; ตอรับการตีพิมพ์เมื่อ 16 มิถุนายน 2568

Abstract

This research aims to address the problem of uncertainty in fish feed demand, which affects the sales planning and raw material ordering of the Phan Fisheries Cooperative. The objectives are: 1) to forecast customer demand using quantitative forecasting techniques, 2) to compare forecast errors in order to assess forecasting accuracy, and 3) to propose guidelines for planning fish feed sales for the cooperative. The study used historical sales data over the past two years and conducted interviews with staff. Data were analyzed using three forecasting techniques: Simple Moving Average, Weighted Moving Average, and Exponential Smoothing, to compare forecasting accuracy.

The results showed that the 3-month Weighted Moving Average method yielded the lowest forecast error, particularly for fish feed code SN8901, which had the lowest Mean Absolute Percentage Error (MAPE) at 64.08%. The analysis of the Economic Order Quantity (EOQ) revealed that the optimal order quantity for SN8901 was 813 bags per year, reducing purchasing costs by 7,094.38 baht. For SN8901B, the optimal order was 2,376 bags per year, reducing costs by 7,112.42 baht. SN8902 was 1,479 bags per year, reducing costs by 3,462.66 baht. and 8501S was 250 bags per year, reducing costs by 3,456.83 baht. The findings can be used by business operators to plan fish feed sales more efficiently and improve inventory management.

Keywords: Forecasting, Sales Planning, Economic Order Quantity

Received: April 25, 2025; Revised: June 07, 2025; Accepted: June 16, 2025

1. บทนำ

ปลานิล เป็นปลาน้ำจืดที่มีต้นกำเนิดจากทวีปแอฟริกา ในปัจจุบันเป็นปลาเศรษฐกิจที่มีความนิยมเพาะเลี้ยงและบริโภคแพร่หลายไปทั่วโลกส่งผลให้มีผลผลิตจากการเพาะเลี้ยงมากที่สุดเป็นอันดับ 1 ของโลก รวมทั้งในประเทศไทยปลานิลเริ่มมีบทบาทในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของไทยมานานกว่า 50 ปี เนื่องจากเป็นปลาที่มีรสชาติดีเพาะเลี้ยงง่ายเจริญเติบโตเร็วทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีราคาถูก หากเทียบกับเนื้อสัตว์

บ่ออื่นๆ การเพาะเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันเป็นการเพาะเลี้ยงเชิงพัฒนา โดยมีรูปแบบการเลี้ยงแบบพิเศษเดียวทำให้ลูกพันธุ์ปลานิลถูกพัฒนาเทคนิคในการแปลงเพศให้เป็นเพศผู้ล้วนซึ่งต้องพึ่งพาการใช้ฮอร์โมนเพศชายสังเคราะห์เข้าช่วยในการเหนี่ยวนำการเปลี่ยนเพศแม้ว่า จะมีรายงานการวิจัยว่าการใช้ฮอร์โมนนี้ไม่มีผลให้ฮอร์โมนตกค้างในเนื้อปลาแต่ตลาดส่งออกในบางพื้นที่ ไม่เป็รับผลผลิตปลานิลจากวิธีการนี้ประกอบกับในปัจจุบันกระแสของการบริโภคมุ่งเน้นผลผลิตที่มีคุณภาพได้รับการรับรองมาตรฐานมากยิ่งขึ้นระบบการเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์สวนใหญ่จะได้รับรอง มาตรฐานการปฏิบัติทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดี แต่ในระดับมาตรฐานการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอินทรีย์ ซึ่งมีระดับความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อมที่สูงขึ้นยังไม่มีรายงานฟาร์มที่ได้รับการรับรองผลผลิตนี้ซึ่งหากสามารถส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงที่ได้รับการรับรองมาตรฐานนี้จะเป็ผลดีต่อสุขภาพ ของผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อมรวมทั้งสามารถส่งออกและเพิ่มมูลค่าของปลานิลได้มากยิ่งขึ้น (อานุกาพ วรณคณาพล และ ดารชาต์ เทียมเมือง, 2565)

ประเทศไทยมีการเลี้ยงปลานิลในทั่วทุกภูมิภาคของประเทศและจังหวัดที่มีผลผลิตปลานิลที่มากที่สุดในระดับประเทศ 5 อันดับ คือ สมุทรปราการ เชียงราย นครปฐม ขอนแก่นและสมุทรสาคร ซึ่งจังหวัดเชียงราย ถือว่ามีผลผลิตของปลานิลมากที่สุดเป็นอันดับ 2 ของประเทศ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2559) ในด้านจังหวัดเชียงรายถือเป็นจุดยุทธศาสตร์ที่ง่ายต่อการขนส่งปลานิลออกไปขายยังตลาดต่างประเทศ เช่น ประเทศพม่าและประเทศสาธารณรัฐ ประชาธิปไตยประชาชนลาว ซึ่งแหล่งผลิตปลานิลที่สำคัญในจังหวัดเชียงราย คือ อำเภอพานโดยสามารถดูได้จากพื้นที่ในการเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ในเชียงรายที่มีทั้งหมด 7,000 ไร่ ซึ่งเป็นพื้นที่การเลี้ยงปลานิลประมาณ 6,000 ไร่ โดยอยู่ในเขตของอำเภอพาน (หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, 2559) ชาวอำเภอพาน ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพ เกษตรกรรม ปศุสัตว์ และประมง ต่อมาเมื่อเกษตรกรเริ่มเปลี่ยน คำนิยมจาก การทำนาไปประกอบอาชีพอื่นที่เห็นว่ามีรายได้ที่แน่นอนกว่าเนื่องจากเล็งเห็นว่าปลานิล เป็นสัตว์ที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์ และคณะ, 2559) ซึ่งการเลี้ยงปลานิลของเกษตรกร ในอำเภอพานนั้นจะมีการเข้าร่วมกลุ่มที่ลงทะเบียนกับวิสาหกิจชุมชนโดยหัวหน้ากลุ่มนั้น จะมีสวัสดิการให้กับเกษตรกร เกษตรกรจะได้รับสิทธิซื้ออาหารปลาในราคาซื้อและผลผลิตปลาจะมีการให้ราคาประกันกับเกษตรกร และทางหัวหน้ากลุ่มชมรมจะเป็นผู้จัดการดูแลการจับปลาแก่เกษตรกร ตลอดจนรับผลผลิตปลาไปจำหน่าย จากสภาวะการณ์ปัจจุบันแนวโน้มในการผลิตปลานิลในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น (ส่วนเศรษฐกิจประมง, 2559) ทำให้เกิดการแข่งขันในด้านของราคาปลานิลอย่างรุนแรง การบริหารจัดการโซ่อุปทานได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันของเกษตรกร (จิรรัตน์ ธีระวราพฤกษ์และ ปาริชาติ ชื่นวัฒนกุล, 2560) ซึ่งจะเป็นกลยุทธ์สำคัญในการแข่งขันของเกษตรกร

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทยมีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจและความมั่นคงด้านอาหารของประเทศ โดยเฉพาะในภาคเหนือที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด เช่น ปลานิล ซึ่งเป็นปลาที่ได้รับความนิยมทั้งในแง่การบริโภคภายในประเทศและการส่งออก เกษตรกรรายย่อยที่ประกอบอาชีพเลี้ยงปลาในหลายพื้นที่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะต้นทุนด้านอาหารปลาที่มีราคาสูงและไม่สม่ำเสมอ ซึ่งในเขตอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ได้มีการก่อตั้ง สหกรณ์ประมงพาน จำกัด ขึ้นเพื่อตอบโจทย์ความท้าทาย โดยมุ่งเน้นการรวมกลุ่มของเกษตรกรเพื่อสร้างอำนาจต่อรองในตลาดเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดซื้ออาหารปลา และพัฒนาคุณภาพการผลิตให้ยั่งยืน (แนวหน้า, 2561)

สหกรณ์ประมงพาน จำกัด ดำเนินการจัดซื้ออาหารปลาจากโรงงานโดยตรง เพื่อลดค่าใช้จ่าย จากพ่อค้าคนกลาง และสร้างความมั่นคงในด้านราคาสำหรับสมาชิก นอกจากนี้ ยังส่งเสริมให้เกษตรกรเข้าใจการเลือกใช้อาหารปลาให้เหมาะสมกับฤดูกาล เช่น ลดโปรตีนในฤดูหนาวเพื่อป้องกันการสะสมอาหารในบ่อ ซึ่งอาจทำให้ปลาป่วยหรือตายได้ (Facebook สหกรณ์ประมงพาน, 2565) ในด้านการพัฒนาองค์ความรู้ สหกรณ์ยังให้ความสำคัญกับการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่นและภูมิปัญญาชาวบ้าน เช่น การนำสมุนไพรพื้นบ้านที่มีคุณสมบัติต้านเชื้อโรคมามาใช้ผสมกับอาหารปลาเพื่อลดการใช้สารเคมี และเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์จากการเลี้ยงปลาอย่างปลอดภัย (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2564) ที่กล่าวมาข้างต้น สหกรณ์ประมงพาน จำกัด จึงไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นผู้จัดหาอาหารปลาเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทในฐานะศูนย์กลางการเรียนรู้ด้านการเลี้ยงปลานิลอย่างยั่งยืน สร้างความเข้มแข็งให้กับเครือข่ายเกษตรกรในระดับชุมชน และมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากของจังหวัดเชียงราย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาเกี่ยวกับการพยากรณ์และวางแผนการขายอาหารปลาของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด โดยศึกษาการวางแผนการขายอาหารปลาและพยากรณ์ความต้องการอาหารปลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา เพื่อให้ทราบถึงความต้องการของลูกค้าและผู้ประกอบการธุรกิจสามารถจำหน่ายอาหารปลาตามความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าอันจะนำไปสู่การวางแผนขององค์กร การพยากรณ์ความต้องการอาหารปลาอย่างแม่นยำ ช่วยให้สามารถประเมินปริมาณที่ต้องการในแต่ละช่วงเวลาได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ส่งผลให้สามารถวางแผนการจัดซื้อได้อย่างเหมาะสม ช่วยลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าเกินความจำเป็น ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนด้านการเก็บรักษา และลดความเสี่ยงของสินค้าคงคลังล้นหรือหมดอายุ นอกจากนี้ยังช่วยลดจำนวนครั้งในการสั่งซื้อ ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการสั่งซื้อ โดยรวมลดลง ในขณะเดียวกัน หากสามารถวางแผนการจัดซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนสินค้าในช่วงที่มีความต้องการสูง โดยเฉพาะในช่วงเทศกาลหรือฤดูเลี้ยงปลา ซึ่งความต้องการอาหารปลามักเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การมีสินค้าพร้อมจำหน่ายตามความต้องการของลูกค้า ไม่เพียงช่วยรักษายอดขาย แต่ยังส่งเสริมความพึงพอใจของสมาชิกและเกษตรกรที่เป็นลูกค้าหลักของสหกรณ์อีกด้วย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพยากรณ์ความต้องการอาหารปลาของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ และเปรียบเทียบความแม่นยำของแต่ละเทคนิค เพื่อนำผลลัพธ์ไปใช้ในการวางแผนการจัดซื้อและการขายอาหารปลาอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ
- 2.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เพื่อหาความแม่นยำของการพยากรณ์
- 2.3 เพื่อเสนอแนะแนวทางในการวางแผนขายอาหารปลาให้กับสหกรณ์ประมงพาน จำกัด

3. ทบทวนวรรณกรรม

การพยากรณ์ (Forecasting) เป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ของธุรกิจ โดยเฉพาะในระบบโลจิสติกส์และการจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งมีบทบาทชัดเจนในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมการเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การวางแผนการผลิตและจัดจำหน่ายอาหารปลานิล อย่างไรก็ตาม วิธีการพยากรณ์ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงเทคนิคเบื้องต้น เช่น ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average), ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) และ Exponential Smoothing เท่านั้น หากแต่ยังมีวิธีการที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การวิเคราะห์ถดถอย (Regression Analysis), แบบจำลองเศรษฐมิติเชิงโครงสร้าง (Econometric Models), แบบจำลองฤดูกาล (Seasonal Models) และการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในรูปแบบ Neural Networks หรือ Machine Learning Algorithms ซึ่งล้วนแต่มีข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกันตามลักษณะข้อมูล (Makridakis et al., 2018; Petropoulos et al., 2014)

ดังนั้น ผู้วิจัยจำเป็นต้องอธิบายอย่างชัดเจนว่าเหตุใดจึงเลือกใช้เทคนิคพยากรณ์ทั้งสามแบบที่กล่าวมา (SMA, WMA, และ Exponential Smoothing) แทนที่จะเลือกใช้เทคนิคที่มีความซับซ้อนหรือมีความแม่นยำสูงกว่า เหตุผลอาจมาจากข้อจำกัดด้านข้อมูล เช่น ความไม่ต่อเนื่องของยอดขาย ข้อมูลในอดีตที่มีช่วงเวลาจำกัด หรือข้อจำกัดทางเทคนิค เช่น ความสามารถของผู้ใช้เครื่องมือหรือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งในกรณีของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด อาจต้องเน้นวิธีที่สามารถใช้งานได้จริงในบริบทท้องถิ่น ไม่ต้องพึ่งพาเครื่องมือที่ซับซ้อนมากนัก แต่ยังสามารถให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำในระดับที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ควรมีการเปรียบเทียบผลการพยากรณ์ด้วย วิธีต่าง ๆ และชี้ให้เห็นถึงระดับความคลาดเคลื่อนที่แต่ละวิธีให้ เพื่อเป็นหลักฐานในการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมที่สุด

ในส่วนของการวางแผนปริมาณการสั่งซื้อโดยใช้แบบจำลอง EOQ (Economic Order Quantity) ผู้วิจัยจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เนื่องจาก EOQ เป็นแบบจำลองในลักษณะ Deterministic Model ซึ่งตั้งอยู่

บนสมมติฐานว่าความต้องการของสินค้าเป็นค่าคงที่ (constant demand) และไม่มี ความไม่แน่นอน (uncertainty) ในกระบวนการสั่งซื้อหรือจัดเก็บสินค้า ดังนั้น แบบจำลอง EOQ ไม่สามารถตอบโจทย์กรณีที่มีความไม่แน่นอนสูง เช่น ความต้องการที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล หรือกรณีที่ต้องมีการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง เพื่อความปลอดภัย (Safety Stock) ซึ่งควรใช้โมเดลเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic Model) แทน ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง ROP + Safety Stock หรือแบบจำลอง Stochastic Inventory Models ทั้งนี้เพื่อให้ผลการคำนวณสะท้อนความเป็นจริงของระบบมากที่สุด ผู้วิจัยควรอ้างอิงจากวรรณกรรมหรือผลการศึกษาจากต่างประเทศที่มีการทดสอบโมเดลกับข้อมูลจริงในสถานการณ์ที่คล้ายคลึงกัน และควรหลีกเลี่ยงการสรุปโดยอิงเพียงข้อมูลวิจัยจากภายในประเทศเพียงอย่างเดียว เพื่อเพิ่มความแข็งแกร่งและความน่าเชื่อถือทางวิชาการของผลงานวิจัย

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

จากกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ครอบคลุมทั้งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ คณะผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความสำคัญของการเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ที่เหมาะสมกับลักษณะข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Time Series) อย่างต่อเนื่อง ซึ่งถือเป็นหัวใจของการวางแผนด้านการผลิตและการบริหารสินค้าคงคลังสำหรับองค์กรธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับสินค้าอุปโภคบริโภค เช่น สหกรณ์ประมงพาน จำกัด

4.1 เทคนิคการพยากรณ์

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ 3 วิธีหลัก ได้แก่

- วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (Simple Moving Average - SMA)
- วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average - WMA)
- วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing)

เนื่องจากทั้งสามเทคนิคเป็นวิธีการพยากรณ์แบบเชิงปริมาณที่สามารถประยุกต์ใช้กับข้อมูล Time Series ได้ดี โดยแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อจำกัดแตกต่างกันดังนี้:

เทคนิค	ข้อดี	ข้อจำกัด	เหมาะกับข้อมูลประเภทใด
SMA	คำนวณง่าย ไม่ต้องใช้ค่าน้ำหนักเพิ่มเติม	ไม่สะท้อนแนวโน้มหรือฤดูกาล	ข้อมูลที่มีความนิ่งหรือผันผวนน้อย
WMA	ให้ความสำคัญกับข้อมูลล่าสุดมากกว่า	ต้องเลือกค่าน้ำหนักอย่างเหมาะสม	ข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับหนึ่ง
Exponential Smoothing	ให้ผลแม่นยำมากขึ้นในกรณีข้อมูลมีแนวโน้ม	อาจล่าช้าหากข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน	ข้อมูลที่มีแนวโน้มคงที่หรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

การใช้ทั้งสามเทคนิคควบคู่กัน ทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละเทคนิคภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลเดียวกัน โดยสามารถเลือกวิธีที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดเพื่อใช้ในการวางแผนจริง

4.2 ขั้นตอนการพยากรณ์และการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

เพื่อประเมินความแม่นยำของแต่ละวิธี คณะผู้วิจัยได้ใช้ตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อน (Forecasting Error) ได้แก่:

4.2.1 Mean Absolute Deviation (MAD)

คือค่าเฉลี่ยของส่วนต่างแบบสัมบูรณ์ระหว่างค่าจริงกับค่าที่พยากรณ์

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - Y^{\wedge}_t|$$

ความหมาย: ค่ายิ่งต่ำ แสดงว่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองน้อยลง

4.2.2 Mean Squared Error (MSE)

คือค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนยกกำลังสอง

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - Y^{\wedge}_t)^2$$

ความหมาย: เน้นความผิดพลาดรุนแรง ช่วยให้เห็นผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนที่สูงกว่าปกติ

4.2.3 Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

วัดความคลาดเคลื่อนเชิงร้อยละ

$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - Y^{\wedge}_t}{Y_t} \right|$$

ความหมาย: เป็นค่าที่อ่านง่าย แสดงเป็นร้อยละ เหมาะสำหรับการเปรียบเทียบระหว่างหลายโมเดล

4.3 การเชื่อมโยงผลการพยากรณ์กับการวางแผนธุรกิจ

คณะผู้วิจัยได้สรุปว่า ผลการพยากรณ์จากวิธี WMA ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในทั้ง MAD และ MAPE เมื่อเทียบกับอีกสองวิธี จึงถูกเลือกใช้เป็นแนวทางหลักในการวางแผน โดยมีการนำข้อมูลพยากรณ์มาใช้ในแผนงานสำคัญของสหกรณ์ ดังนี้:

4.3.1 การวางแผนการผลิต

ข้อมูลความต้องการอาหารปลาในอนาคตช่วยให้สหกรณ์สามารถจัดตารางการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการผลิตเกิน/ขาด และลดต้นทุนจากการสต็อกสินค้าเกินจำเป็น

4.3.2 การวางแผนการจัดซื้อ

สามารถคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) และหาจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) ได้แม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนการจัดซื้อและหลีกเลี่ยงการขาดแคลนวัตถุดิบ

4.3.3 การจัดการสินค้าคงคลัง

การรู้แนวโน้มความต้องการล่วงหน้าช่วยให้สามารถวางแผน Safety Stock อย่างเหมาะสม ลดปัญหาการเก็บสินค้ามากเกินไป หรือของหมดสต็อกในช่วงที่มีความต้องการสูง

4.4 ข้อเสนอแนะจากผู้วิจัย

จากผลการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอเสนอแนวทางดังต่อไปนี้แก่สหกรณ์ประมงพาน จำกัด:

- ควรมีการอัปเดตข้อมูลยอดขายและนำเข้าสู่ระบบพยากรณ์อย่างสม่ำเสมอ
- ควรฝึกอบรมบุคลากรให้เข้าใจหลักการของการพยากรณ์ เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการประกอบการตัดสินใจในระดับปฏิบัติการ
- สามารถพัฒนาระบบ ERP หรือ Business Intelligence ที่ช่วยวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มความเร็วและความแม่นยำในการวางแผน

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ

พบว่าข้อมูลยอดขายอาหารปลา ย้อนหลัง 2 ปี ดังนี้ ปี 2566 มียอดขายอาหารปลารหัส SN8901 รวมทั้งสิ้น จำนวน 5,932 ถุง ยอดขายอาหารปลารหัส SN8901B รวมทั้งสิ้น จำนวน 39,569 ถุง ยอดขายอาหารปลารหัส SN8902 รวมทั้งสิ้น จำนวน 21,797 ถุง มียอดขายอาหารปลาเบอร์ 8501S มียอดขายรวมทั้งสิ้น จำนวน 541 ถุง ปี 2567 มียอดขายอาหารปลารหัส SN8901 รวมทั้งสิ้น จำนวน 3,832 ถุง มียอดขาย

อาหารปลารหัส SN8901B รวมทั้งสิ้น จำนวน 43,823 ถุง มียอดขายอาหารปลารหัส SN8902 รวมทั้งสิ้น จำนวน 10,497 ถุง มียอดขายอาหารปลารหัส 8501S รวมทั้งสิ้น จำนวน 387 ถุง ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.1 และ 5.2

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลยอดขายของอาหารปลา ในปี พ.ศ. 2566

เดือน	ปี 2566			
	อาหารปลา รหัส SN8901	อาหารปลา รหัส SN8901B	อาหารปลา รหัส SN8902	อาหารปลา รหัส 8501S
มกราคม	1,242	2,066	933	42
กุมภาพันธ์	513	1,736	1,036	69
มีนาคม	417	2,921	1,433	98
เมษายน	320	3,046	1,412	66
พฤษภาคม	496	3,003	1,879	50
มิถุนายน	386	2,902	1,924	66
กรกฎาคม	480	3,823	2,601	0
สิงหาคม	500	3,875	2,369	0
กันยายน	470	3,385	2,087	53
ตุลาคม	434	3,352	2,622	56
พฤศจิกายน	394	4,793	2,310	33
ธันวาคม	280	4,667	1,191	8
รวมยอดขาย (ถุง)	5,932	39,569	21,797	541

ตารางที่ 5.2 แสดงข้อมูลยอดขายของอาหารปลา ในปี พ.ศ. 2567

เดือน	ปี 2567			
	อาหารปลา รหัส SN8901	อาหารปลา รหัส SN8901B	อาหารปลา รหัส SN8902	อาหารปลา รหัส 8501S
มกราคม	585	4,596	1,055	0
กุมภาพันธ์	263	4,173	800	55
มีนาคม	106	3,681	750	19
เมษายน	105	2,976	816	12
พฤษภาคม	307	2,498	830	69
มิถุนายน	418	1,814	522	35
กรกฎาคม	535	2,315	734	31
สิงหาคม	411	3,342	1,013	30
กันยายน	428	5,417	1,341	39
ตุลาคม	194	4,130	1,125	28
พฤศจิกายน	286	4,590	853	31
ธันวาคม	194	4,291	658	38
รวมยอดขาย(ถุง)	3,832	43,823	10,497	387

คณะผู้วิจัยนำข้อมูลยอดขายจริงอาหารปลา 4 รหัส (SN8901, SN8901B, SN8902, 8501S) ของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด ย้อนหลัง 2 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2566 - พ.ศ. 2567 ในตารางที่ 5.1 และ 5.2 มาวิเคราะห์วิธีการพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย 3 เดือน ,วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก 3 เดือน และวิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ค่าอัลฟาเท่ากับ 0.5 ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 แสดงการวิเคราะห์วิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี

ปี/รายการ	ยอดขายจริง		ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ อย่างง่าย (3 เดือน)		ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ แบบถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน)		ปรับเรียบ เอ็กซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.5$)	
	2566	2567	2566	2567	2566	2567	2566	2567
อาหารปลารหัส SN8901	5,932	3,832	369.33	224.67	185.67	113.33	352.09	245.89
อาหารปลารหัส SN8901B	39,569	43,823	4,270.67	4,337.00	2,136.33	2,169.50	4,388.20	4,326.04
อาหารปลารหัส SN8902	21,797	10,497	2,041.00	878.67	1,021.50	440.33	1,773.35	820.36
อาหารปลารหัส 8501S	541	387	32.33	32.33	17.17	17.17	23.55	34.72

5.2 ผลการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เพื่อหาความแม่นยำของการพยากรณ์

เกณฑ์การเลือกเทคนิคการพยากรณ์ใช้เกณฑ์ค่าความผิดพลาด MAPE เป็นเกณฑ์ตัดสินใจ เทคนิคการพยากรณ์ที่เลือกใช้ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน) เนื่องจากให้ค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงการวิเคราะห์วิธีการพยากรณ์ทั้ง 3 วิธี

วิธีการพยากรณ์	สินค้า	MAD	MSE	MAPE (%)
ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (3 เดือน)	อาหารปลารหัส SN8901	138	30,197	134.20
	อาหารปลารหัส SN8901B	755	943,500	99.21
	อาหารปลารหัส SN8902	385	246,062	113.26
	อาหารปลารหัส 8501S	20	710	108.93
ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบ ถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน)	อาหารปลารหัส SN8901	138	46,529	64.08
	อาหารปลารหัส SN8901B	1,919	4,383,171	49.64

	อาหารปลารहित SN8902	667	705,578	56.72
	อาหารปลารहित 8501S	22	699	57.44
ปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล ($\alpha = 0.5$)	อาหารปลารहित SN8901	327	143,037	217.79
	อาหารปลารहित SN8901B	1,042	1,368,517	86.58
	อาหารปลารहित SN8902	1,042	1,368,517	86.58
	อาหารปลารहित 8501S	609	486,728	109.48

5.3 ข้อเสนอแนะแนวทางในการวางแผนขายอาหารปลาให้กับสหกรณ์ประมงพาน จำกัด

1. คำนวณ EOQ, ROP และต้นทุนรวม จากผลพยากรณ์

ปริมาณที่สั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) หมายถึง ปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้งที่ทำให้ต้นทุนรวมของการจัดซื้อและการเก็บรักษาสินค้าต่ำสุด (Heizer, Render, & Munson, 2020)

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

โดยที่:

D = ปริมาณความต้องการสินค้า (Demand)

S = ต้นทุนการสั่งซื้อแต่ละครั้ง (Ordering Cost)

H = ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าต่อหน่วยต่อปี (Holding Cost)

จุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point – ROP) เป็นระดับสินค้าคงคลังที่องค์กรต้องเริ่มดำเนินการสั่งซื้อใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการขาดแคลนสินค้าในช่วงเวลาที่รอสินค้ามาถึง (Stevenson, 2021)

$$ROP = D \times L$$

หรือในกรณีที่ต้องการพิจารณาความไม่แน่นอนของอุปสงค์หรือ Lead Time:

$$ROP = (D \times L) + SS$$

โดยที่:

D = อัตราการใช้วัสดุเฉลี่ยต่อวัน (Demand Per Day)

L = ระยะเวลาในการสั่งซื้อ (Lead Time)

SS = ปริมาณสินค้าสำรอง (Safety Stock)

อาหารปลาร้า SN8901

$$D = 4,882$$

$$S = 2,129.88$$

$$H = 31.44$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 2,129.88 \times 4,882}{31.44}}$$

$$\text{ปริมาณที่สั่งซื้อที่เหมาะสม} = 813.30$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จำนวนครั้งที่ต้องสั่งซื้อ} &= \frac{4,882}{813.30} \\ &= 6 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

$$\text{จุดสั่งซื้อใหม่ ROP} = 319$$

$$\text{สต็อกความปลอดภัย SS} = 7 \text{ วัน} = 1,862 \text{ ถุง}$$

$$\text{ROP} = \text{SS} + (D) + (\text{LT}) = (319 + 1,862) = 2,181 \text{ ถุง}$$

อาหารปลาร้า SN8901B

$$D = 41,696$$

$$S = 2,129.88$$

$$H = 31.44$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 2,129.88 \times 41,696}{31.44}}$$

$$\text{ปริมาณที่สั่งซื้อที่เหมาะสม} = 2,376.83$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น จำนวนครั้งที่ต้องสั่งซื้อ} &= \frac{41,696}{2,376.83} \\ &= 17.54 \approx 18 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

$$\text{จุดสั่งซื้อใหม่ ROP} = 3,652$$

$$\text{สต็อกความปลอดภัย SS} = 7 \text{ วัน} = 12,355 \text{ ถุง}$$

$$\text{ROP} = \text{SS} + (D) + (\text{LT}) = (3,652 + 12,355) = 16,007 \text{ ถุง}$$

อาหารปลาร้า SN8902

$$D = 16,147$$

$$S = 2,129.88$$

$$H = 31.44$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 2,129.88 \times 16,147}{31.44}}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่สั่งซื้อที่เหมาะสม} &= 1,479.10 \\ \text{ดังนั้น จำนวนครั้งที่ต้องสั่งซื้อ} &= \frac{16,147}{1,479.10} \\ &= 10.92 \approx 11 \text{ ครั้ง} \\ \text{จุดสั่งซื้อใหม่ ROP} &= 875 \\ \text{สต็อกความปลอดภัย SS} &= 7 \text{ วัน} = 3,262 \text{ ถัง} \\ \text{ROP} = \text{SS} + (\text{D}) + (\text{LT}) &= (875 + 3,262) = 4,137 \text{ ถัง} \end{aligned}$$

อาหารปลาร้า 8501S

$$\begin{aligned} \text{D} &= 387 \\ \text{S} &= 2,129.88 \\ \text{H} &= 31.44 \end{aligned}$$

$$\sqrt{\frac{2 \times 2,129.88 \times 387}{31.44}}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่สั่งซื้อที่เหมาะสม} &= 250.73 \\ \text{ดังนั้น จำนวนครั้งที่ต้องสั่งซื้อ} &= \frac{387}{250.73} \\ &= 1.54 \approx 2 \text{ ครั้ง} \\ \text{จุดสั่งซื้อใหม่ ROP} &= 32 \\ \text{สต็อกความปลอดภัย SS} &= 7 \text{ วัน} = 259 \text{ ถัง} \\ \text{ROP} = \text{SS} + (\text{D}) + (\text{LT}) &= (32 + 259) = 291 \text{ ถัง} \end{aligned}$$

ต้นทุนรวมของอาหารปลาร้า SN8901

$$\text{TC} = 2,129.88 \left(\frac{4,882}{813.30} \right) + 31.44 \left(\frac{813.30}{2} \right)$$

ต้นทุนรวมของอาหารปลาร้า SN8901B

$$\text{TC} = 2,129.88 \left(\frac{41,696}{2,376.83} \right) + 31.44 \left(\frac{2,376.83}{2} \right)$$

ต้นทุนรวมของอาหารปลารหัส SN8902

$$TC = 2,129.88 \left(\frac{16,147}{1,479.10} \right) + 31.44 \left(\frac{1,479.10}{2} \right)$$

ต้นทุนรวมของอาหารปลารหัส 8501S

$$TC = 2,129.88 \left(\frac{387}{250.73} \right) + 31.44 \left(\frac{250.73}{2} \right)$$

2. ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการสั่งซื้ออาหารปลาก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยค่า EOQ และ ROP

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการสั่งซื้ออาหารปลาทั้ง 4 รหัส ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยใช้แนวคิดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (EOQ) และจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) พบว่า การนำ EOQ และ ROP มาประยุกต์ใช้สามารถลดจำนวนครั้งในการสั่งซื้อและลดต้นทุนรวมของการสั่งซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพอาหารปลาในบางรหัส ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนการสั่งซื้อต่อปี

รายการ	เปรียบเทียบ		
	ก่อน	หลัง	ผลต่าง
อาหารปลารหัส SN8901	8 × 2,129.88 =17,039	6 × 2,129.88 =12,779.28	4,259.72
อาหารปลารหัส SN8901B	20 × 2,129.88 =42,597.60	18 × 2,129.88 =38,337.84	4,259.76
อาหารปลารหัส SN8902	12 × 2,129.88 =25,558.56	11 × 2,129.88 =23,428.68	2,129.88
อาหารปลารหัส 8501S	3 × 2,129.88 =6,389.64	2 × 2,129.88 =4,259.76	2,129.88

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า ต้นทุนการสั่งซื้อของอาหารปลาทั้ง 4 รหัส มีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใช้วิธีการคำนวณตามหลัก EOQ โดยเฉพาะรหัส SN8901B และ SN8902 ที่มีปริมาณการสั่งซื้อสูงและสั่งซื้อถี่ หากใช้ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมจะสามารถลดต้นทุนรวมได้อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของ (Heizer et al., 2020) และ (Stevenson, 2021) ที่ระบุว่า การใช้ EOQ จะช่วยลดต้นทุนรวมของการบริหารสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะเมื่อมีข้อมูลการพยากรณ์ที่แม่นยำ

3. ผลการเปรียบเทียบต้นทุนรวมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยวิธี EOQ

จากการวิเคราะห์ต้นทุนรวมของการจัดซื้อและเก็บรักษาสินค้าคงคลังอาหารปลาของสหกรณ์ ประมงพาน จำกัด พบว่า การนำแนวคิดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดที่สุด (EOQ) มาประยุกต์ใช้ในการวางแผน การสั่งซื้ออาหารปลาช่วยลดต้นทุนรวมต่อปีของแต่ละรหัสสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการ เปรียบเทียบสามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนรวมต่อปี ก่อนและหลังปรับปรุงของอาหารปลา

ต้นทุนรวม	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
อาหารปลารหัส SN8901 (บาทต่อปี)	32,658.74	25,564.36	7,094.38
อาหารปลารหัส SN8901B (บาทต่อปี)	81,840.04	74,727.62	7,112.42
อาหารปลารหัส SN8902 (บาทต่อปี)	49,965.53	46,502.87	3,462.66
อาหารปลารหัส 8501S (บาทต่อปี)	10,685.76	7,228.93	3,456.83

จากตารางที่ 5.6 พบว่า ต้นทุนรวมของทั้ง 4 รหัส อาหารปลาลดลงหลังจากการปรับปรุงโดย ใช้ EOQ โดยเฉพาะรหัส SN8901 และ 8501S ที่มีสัดส่วนการลดลงของต้นทุนรวมมากกว่า 20% สะท้อนให้ เห็นถึงประสิทธิภาพของการวางแผนปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม ซึ่งช่วยลดทั้งต้นทุนการสั่งซื้อและต้นทุนใน การเก็บรักษา

ผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่า การนำเทคนิค EOQ มาใช้ร่วมกับการพยากรณ์ความต้องการอย่าง แม่นยำสามารถช่วยให้องค์กรวางแผนการจัดซื้อได้สอดคล้องกับความต้องการที่แท้จริง ลดความสูญเสียจาก การจัดเก็บสินค้าเกินความจำเป็น และลดความเสี่ยงจากสินค้าคงคลังล้นหรือหมดอายุ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการ บริหารจัดการของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด ในระยะยาว

4. ผลเสนอแนะแนวทางการวางแผนการขายอาหารปลาของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด อำเภอกวน จังหวัดเชียงราย

จากผลการศึกษา พบว่า สหกรณ์ประมงพาน จำกัด มีการพยากรณ์ยอดขายโดยใช้ข้อมูล ยอดขายในอดีตเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ ซึ่งช่วยให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มความต้องการอาหารปลาใน อนาคตได้อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การวางแผนการขายมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น คณะผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางเชิง ปฏิบัติ ดังนี้

ด้านการพยากรณ์ยอดขาย

ควรมีการพยากรณ์ยอดขายในแต่ละเดือนอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ เช่น วิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนัก (Weighted Moving Average) หรือวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการคาดการณ์

ควรพิจารณาใช้โปรแกรมหรือระบบช่วยพยากรณ์อัตโนมัติ เช่น Microsoft Excel, SPSS หรือซอฟต์แวร์ ERP ที่มีโมดูลการวางแผนความต้องการ (Demand Planning) เพื่อช่วยลดข้อผิดพลาดจากการคำนวณด้วยตนเอง

ควรบันทึกข้อมูลยอดขายอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์แนวโน้มและตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในแต่ละรอบ

ด้านการวางแผนการสั่งซื้อ

ควรนำค่าปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) และจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) ที่ได้จากการศึกษานี้ ไปใช้ประกอบการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้สามารถควบคุมต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ควรจัดทำระบบเตือนเมื่อปริมาณคงคลังถึงจุดสั่งซื้อใหม่ (ROP) เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการขาดแคลนสินค้าระหว่างรอบการสั่งซื้อ โดยสามารถใช้สมุดบันทึกหรือโปรแกรม Excel ร่วมกับสูตรคำนวณอัตโนมัติเพื่อติดตามปริมาณสินค้าคงคลังแบบวันต่อวัน

ควรปรับแผนการสั่งซื้อให้สอดคล้องกับฤดูกาลการเลี้ยงปลา ซึ่งเป็นช่วงที่ความต้องการอาหารปลามากเพิ่มสูงขึ้น เพื่อให้สามารถจัดเตรียมสินค้าได้ทันตามความต้องการของลูกค้า

ข้อจำกัดของการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยใช้ข้อมูลยอดขายย้อนหลังจากสหกรณ์ประมงพาน จำกัด ซึ่งอาจมีข้อจำกัดด้านความสมบูรณ์และความถูกต้องของข้อมูลบางช่วงเวลา ดังนั้น ในการวิจัยครั้งต่อไป ควรใช้ข้อมูลยอดขายที่มีความละเอียดและแม่นยำมากยิ่งขึ้น และ ควรวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนจากหลายวิธีพยากรณ์เพิ่มเติม เพื่อนำไปสู่การเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ความต้องการอาหารปลาในแต่ละช่วงเวลา

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สรุปผล

6.1.1 สรุปผลการศึกษาข้อมูลยอดขายอาหารปลาทั้ง 4 รหัส ของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

จากการรวบรวมข้อมูลยอดขายอาหารปลาทั้ง 4 รหัส ในปี 2566 และ 2567 พบว่า

ปี 2566 มียอดขายอาหารปลารหัส SN8901 รวมทั้งสิ้น จำนวน 5,932 ถุง เดือนมกราคมมียอดขายสูงสุด จำนวน 1,242 ถุง เดือนกุมภาพันธ์มียอดขายรองลงมา จำนวน 513 ถุง และเดือนธันวาคมมียอดขายต่ำที่สุด จำนวน 280 ถุง ตามลำดับ ยอดขายอาหารปลารหัส SN8901B รวมทั้งสิ้น จำนวน 39,569 ถุง เดือนพฤศจิกายนมียอดขายสูงสุด จำนวน 4,793 ถุง เดือนธันวาคมมียอดขายรองลงมา จำนวน 4,667 ถุง และเดือนกุมภาพันธ์มียอดขายต่ำที่สุด จำนวน 1,736 ถุง ตามลำดับ ยอดขาย อาหารปลารหัส SN8902 รวมทั้งสิ้น จำนวน 21,797 ถุง เดือนตุลาคมมียอดขายสูงสุด จำนวน 2,622 ถุงเดือนกรกฎาคมมี

ยอดขายรองลงมา จำนวน 2,622 ถุง และเดือนมกราคมมียอดขายต่ำที่สุดจำนวน 933 ถุง ตามลำดับ ในส่วนของอาหารปลารหัส 8501S มียอดขายรวมทั้งสิ้น จำนวน 541 ถุง เดือนมีนาคมมียอดขายสูงสุด จำนวน 98 ถุง เดือนกุมภาพันธ์มียอดขายรองลงมา จำนวน 69 ถุง และเดือนกรกฎาคมและเดือนสิงหาคมมียอดขายต่ำสุดจำนวน 0 ถุง ตามลำดับ

ปี 2567 มียอดขายอาหารปลารหัส SN8901 รวมทั้งสิ้น จำนวน 3,832 ถุง เดือนมกราคมมียอดขายสูงสุด จำนวน 585 ถุง เดือนกรกฎาคม มียอดขายรองลงมา จำนวน 535 ถุง และเดือนเมษายนมียอดขายต่ำที่สุด จำนวน 105 ถุง ตามลำดับ ยอดขายอาหารปลารหัส SN8901B รวมทั้งสิ้นจำนวน 43,823 ถุง เดือนกันยายน มียอดขายสูงสุด จำนวน 5,417 ถุง เดือนมกราคม มียอดขายรองลงมา มีจำนวน 4,596 ถุง และเดือนมิถุนายน มียอดขายต่ำที่สุด จำนวน 1,814 ถุง ตามลำดับ ยอดขายอาหารปลารหัส SN8902 รวมทั้งสิ้น จำนวน 10,497 ถุง เดือนกันยายน มียอดขายสูงสุด จำนวน 1,341 ถุง เดือนตุลาคม มียอดขายรองลงมา จำนวน 1,125 ถุง และเดือนมิถุนายน มียอดขายต่ำที่สุด จำนวน 522 ถุง ตามลำดับ ในส่วนของอาหารปลารหัส 8501S มียอดขายรวมทั้งสิ้น จำนวน 387 ถุง เดือนพฤษภาคม มียอดขายสูงสุด จำนวน 69 ถุง เดือนกุมภาพันธ์ มียอดขายรองลงมา จำนวน 55 ถุง และเดือนมกราคม มียอดขายต่ำสุด จำนวน 0 ถุง ตามลำดับ

6.1.2 สรุปผลการพยากรณ์และเลือกใช้เทคนิคการพยากรณ์ยอดขายอาหารปลา สหกรณ์ประมงพาน จำกัด ดังนี้

1. ผลการพยากรณ์ ทั้ง 3 วิธี ตั้งแต่ปี 2566-2567 อาหารปลารหัส SN8901 จำนวน 9,764 ถุง อาหารปลารหัส SN8901B จำนวน 83,392 ถุง อาหารปลารหัส SN8902 จำนวน 32,294 ถุง และอาหารปลารหัส 8501S จำนวน 928 ถุง

วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (3 เดือน) ได้ผลการพยากรณ์ยอดขายอาหารปลารหัส SN8901 จำนวน 8,315.67 ถุง อาหารปลารหัส SN8901B จำนวน 72,708.33 ถุง อาหารปลารหัส SN8902 จำนวน 29,725 ถุง และอาหารปลารหัส 8501S จำนวน 809 ถุง

วิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน) ได้ผลการพยากรณ์ยอดขายของอาหารปลารหัส SN8901 จำนวน 4,178.83 ถุง อาหารปลารหัส SN8901B จำนวน 36,375.17 ถุง อาหารปลารหัส SN8902 จำนวน 14,883.50 และอาหารปลารหัส 8501S จำนวน 425.50 ถุง

วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่ค่าอัลฟา เท่ากับ 0.5 ได้ผลการพยากรณ์ยอดขายของอาหารปลารหัส SN8901 จำนวน 11,756 ถุง อาหารปลารหัส SN8901B จำนวน 78,872 ถุง อาหารปลารหัส SN8902 จำนวน 32,519 ถุง และอาหารปลารหัส 8501S จำนวน 943 ถุง

2. ผลจากการเลือกเทคนิคการพยากรณ์ พบว่า วิธีที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (3 เดือน) พบว่าอาหารปลารหัส SN8901 ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 138 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 46,529 และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 64.08 อาหารปลารหัส SN8901B ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ

1,919 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 4,383,171 และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 49.64 อาหารปลา รหัส SN8902 ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับ 667 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 705,578 และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 56.72 ในส่วนของอาหารปลารหัส 8501S ได้ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ เท่ากับ 22 ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสองเท่ากับ 699 และค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนเท่ากับร้อยละ 57.44

ดังนั้น สรุปผลการเปรียบเทียบต้นทุนการสั่งซื้อพบว่า การสั่งซื้อของ วิธี EOQ (ก่อนและหลังการปรับปรุง) ซึ่งลดต้นทุนการสั่งซื้อของอาหารปลารหัส SN8901 ยอดซื้อ 17,039 บาท ต้นทุนในการสั่งซื้อ 12,779.28 บาท อาหารปลารหัส SN8901B ยอดซื้อ 42,597.60 บาท ต้นทุนในการสั่งซื้อ 38,337.84 บาท อาหารปลารหัส SN8902 ยอดซื้อ 25,558.56 บาท ต้นทุนในการสั่งซื้อ 23,428.68 บาท และอาหารปลารหัส 8501S ยอดซื้อ 6,389.64 บาท ต้นทุนในการสั่งซื้อ 4,259.76 บาท

6.1.3 สรุปผลข้อเสนอแนะแนวทางการวางแผนการขายของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด

ด้านการพยากรณ์ พบว่า ให้ผู้ประกอบการทำการพยากรณ์ยอดขาย พบว่าผู้ประกอบการทำการพยากรณ์ยอดขายอย่างสม่ำเสมอโดยนำข้อมูลในอดีตมาวิเคราะห์เพื่อที่จะการวางแผนการขายรวมถึงช่วยให้ ผู้ประกอบการสามารถคาดการณ์ยอดขายในอนาคตได้อย่างแม่นยำและนำไปสู่การตัดสินใจที่ถูกต้อง

ด้านการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดและหาจุดสั่งซื้อใหม่ พบว่าผู้ประกอบการสามารถนำเอา ข้อมูลจากการพยากรณ์มาทำการวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบในแต่ละครั้งรวมถึงทำการบันทึกข้อมูลในการขาย เพื่อที่จะสามารถกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดและหาจุดสั่งซื้อใหม่

6.2 อภิปรายผล

จากผลการศึกษาการพยากรณ์ความต้องการอาหารปลานิลโดยใช้เทคนิคทางสถิติเช่น Simple Moving Average, Weighted Moving Average และ Exponential Smoothing รวมถึงการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อ ที่ประหยัด (EOQ) และระดับสินค้าคงคลังเพื่อความปลอดภัย (Safety Stock) สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำคัญในวงจรการผลิตและจำหน่ายอาหารปลานิลของสหกรณ์ประมงพาน จำกัด ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในส่วนของวางแผนจัดซื้อและควบคุมสินค้าคงคลังซึ่งเป็นต้นทุนหลักของธุรกิจการเลี้ยงปลา หากสามารถกำหนดปริมาณสั่งซื้อได้อย่างเหมาะสมตามผลการพยากรณ์ จะช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บ ลดของเสียจากการหมดอายุ และยังสามารถรองรับความต้องการของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาได้ทันเวลาอีกด้วย

อย่างไรก็ตาม ในบริบทของการเลี้ยงและจำหน่ายอาหารปลานิล ซึ่งมีปัจจัยผันผวนสูง เช่น สภาพอากาศ ฤดูกาลเลี้ยงปลา หรือการระบาดของโรค การนำผลการคำนวณทางสถิติมาใช้จะต้องมีการปรับใช้ให้เหมาะสมกับสภาพจริง โดยอาจต้องกำหนด safety stock ในระดับที่รองรับความไม่แน่นอน หรือปรับปรุงข้อมูลพยากรณ์อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งจำเป็นต้องมีความเข้าใจร่วมกันของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ไม่ว่าจะเป็นผู้จัดการสหกรณ์ พนักงานคลังสินค้า พนักงานจัดซื้อ ตลอดจนเกษตรกรผู้เป็นลูกค้าหลักของสหกรณ์

เพื่อให้เกิดการนำผลการคำนวณไปใช้ได้จริง ผู้วิจัยจึงควรส่งเสริมความรู้และสร้างความเข้าใจให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการ การจัดทำคู่มือการวางแผนสินค้าคงคลังแบบง่าย หรือการจัดประชุมร่วมระหว่างผู้บริหารและเจ้าหน้าที่ฝ่ายปฏิบัติ โดยมุ่งเน้นให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลยอดขายในอดีตกับแนวโน้มความต้องการในอนาคต และอธิบายว่าการวางแผนจากข้อมูลพยากรณ์ไม่ใช่เรื่องซับซ้อน แต่เป็นเครื่องมือช่วยให้แต่ละฝ่ายสามารถลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพ และให้บริการลูกค้าได้ดีขึ้นในระยะยาว ซึ่งจะทำให้ผลการวิจัยนี้สามารถเปลี่ยนเป็นการปฏิบัติที่เกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทางสหกรณ์ประมงพาน จำกัด ในอำเภอกวน จังหวัดเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยฉบับนี้และกรุณาเสียสละเวลาตอบแบบสัมภาษณ์และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยให้กับคณะผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2564). นวัตกรรมอาหารปลาปลอดภัยจากภูมิปัญญาชาวบ้าน. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2568, จาก: <https://www.industry.in.th/dip/home.php?uid=49669>
- จิรรัตน์ อีระวรพาณัษ์ และปาริชาติ ชื่นวัฒนกุล. (2560). การศึกษาศักยภาพโซ่อุปทานของแกะ. *วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร*, 14(1), 125–136.
- นิภา นิรุตติกุล. (2558). *การพยากรณ์การขาย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- แนวหน้า. (2561). *สหกรณ์ประมงพาน ลดต้นทุนเลี้ยงปลา เพิ่มรายได้สมาชิก*. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2568, จาก: <https://www.naewna.com/local/389115>
- เทพรัตน์ อังเศรษฐพันธ์, นิวุฒิ หวังชัย, กระสินธุ์ หังสพฤกษ์, จอมสุตา ดวงวงษา, และขวัญฤทัย ดวงใจลัก. (2559). ผลของการเสริมฟรุคโตโอลิโกสาคคาไรด์ Fructooligosaccharide (FOS) ในอาหารต่อการเจริญเติบโต ความต้านทานความเครียด และความต้านทานเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ของลูกปลา. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, 10(1), 11–22.
- ส่วนเศรษฐกิจการประมง. (2559). *สถานการณ์การผลิตและการค้าปลานิล*. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและสื่อสาร, กรมประมง.
- สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดเชียงราย. *สถานการณ์การผลิตและราคาสินค้าเกษตรที่สำคัญ*. ค้นเมื่อ 16 กันยายน 2567, จาก: <https://www.opsmoac.go.th/chiangrai-dwl-files-442991791952>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2559). *ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร*. ประเทศไทย: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

- อานุกาพ วรณคนาพล และดารชาต์ เทียมเมือง. (2556). พัฒนคติต่อการปรับเปลี่ยนการเลี้ยงปลานิล เข้าสู่ระบบอินทรีย์ของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล บ้านแม่แก๊ด ตำบลป่าไผ่ อำเภอสันทราย. *วารสารผลิตภัณฑ์การเกษตร*, 4(2), 54-65.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2019). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (7th ed.). Pearson Education.
- Facebook สหกรณ์ประมงพาน. (2565). *แนวทางการให้อาหารปลาในฤดูหนาว*. ค้นเมื่อ 23 พฤษภาคม 2568, จาก https://m.facebook.com/story.php?id=100063801480453&story_fbid=1124733812996658
- Harris, F. W. (1913). How much stock? The economic order quantity. *Journal of the American Statistical Association*, 8(49), 144–160.
- Heizer, J., Render, B., & Munson, C. (2020). *Operations management*. 13th edition. Pearson.
- International Six Sigma Inc. (2025, February 28). *Weighted moving average forecasting methods: Pros and cons*. Retrieved from 6Sigma.com. <https://6sigma.com/forecasting-unweighted-and-weighted-moving-average-model/>
- Jones, K. (2025, February 19). *Exponential smoothing vs. moving average for time series analysis*. Medium. Retrieved from https://medium.com/@kylejones_47003/exponential-smoothing-vs-moving-average-for-time-series-analysis-340d0e7fc389
- Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). Statistical and machine learning forecasting methods: Concerns and ways forward. *PLOS ONE*, 13(3), e0194889. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194889>
- Nahmias, S. (2013). *Production and operations analysis*. 7th edition. Waveland Press.
- Perry, M. B. (2011). The weighted moving average technique. In *Wiley Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/313992471_The_Weighted_moving_Average_Technique
- Petropoulos, F., Nikolopoulos, K., & Fildes, R. (2014). Improving forecasting via multiple temporal aggregation. *Foresight: The International Journal of Applied Forecasting*, 32, 12–17.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (2018). *Inventory management and production planning and scheduling*. Wiley.
- Stevenson, W. J. (2021). *Operations management*. 14th edition. McGraw-Hill Education.
- Wilson, R. (1934). The economic theory of inventory management. *The Journal of the American Statistical Association*, 29(185), 116–128.

A Proposed Demand Forecasting Method for Aircraft Maintenance Spare Parts in Aircraft Maintenance Operations: A Case Study

Pramote Chaiman, Woramol C. Watanabe*

Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Mueang, Phitsanulok, 65000

*Corresponding author E-mail: woramolc@nu.ac.th

Abstract

This study aims to analyze the demand patterns of aircraft spare parts used in unscheduled maintenance and to propose appropriate forecasting methods tailored to each demand type. Historical usage data spanning five years (2018 to 2022) were collected for 58 distinct spare parts. The demand classification was conducted using two key indicators, namely the Average Demand Interval (ADI) and the Squared Coefficient of Variation (CV^2), which facilitated the categorization into Smooth, Intermittent, Erratic, and Lumpy demand patterns. Following the classification, suitable forecasting techniques were applied to each demand type. Exponential Smoothing was used for Smooth demand, the Bootstrap Method was applied to Intermittent demand, and Croston's Method was adopted for both Erratic and Lumpy demand. Forecast accuracy was assessed by comparing the Mean Squared Error (MSE) of each technique with the conventional Moving Average method currently in use. The results indicate that the majority of the spare parts, accounting for 65.52 percent, exhibit an Intermittent demand pattern. The proposed pattern-specific forecasting techniques demonstrated notable improvements in accuracy: for the dominant Intermittent group, the Bootstrap Method reduced forecast error (MSE) by approximately 42.61%; Exponential Smoothing reduced MSE for Smooth demand by 15.91%, and Croston's Method yielded an 11.75% improvement for Erratic demand. However, accuracy for the Lumpy item declined due to model limitations. Overall, this tailored approach led to an average forecast error reduction of 18.37% across all items compared to the conventional Moving Average method. These findings emphasize the importance of aligning forecasting techniques with actual demand characteristics to improve prediction accuracy. The proposed approach improves inventory decision-making in aircraft maintenance operations and shows potential for broader application in industries facing similar demand irregularities.

Keywords: Demand Forecasting, Intermittent Demand, Spare Parts, Inventory Management, Bootstrap Method, Aviation Maintenance, MRO

Received: May 14, 2025; Revised: June 28, 2025; Accepted: July 4, 2025

1. INTRODUCTION

Demand forecasting is a critical process in inventory management and resource planning across industries, encompassing manufacturing, transportation, and service sectors. Accurate forecasting enables organizations to procure raw materials and schedule production efficiently, thereby reducing excess inventory costs and minimizing stockouts that could delay responses to customer demand. As such, demand forecasting plays a vital role in enhancing long-term operational efficiency and competitiveness.

Various forecasting techniques have been developed to address different demand characteristics. A thorough understanding of demand patterns allows organizations to apply forecasting methods that are most appropriate for each situation, ultimately improving accuracy and optimizing inventory management.

In the aviation industry, forecasting the demand for spare parts used in aircraft maintenance is of paramount importance. Maintenance activities frequently encounter irregular and highly volatile demand for parts. Inaccurate forecasting can lead to spare part shortages during critical maintenance periods or, conversely, to excessive stockpiling, resulting in unnecessary inventory costs. A case study conducted within an aircraft maintenance unit revealed that reliance on a single forecasting technique, specifically the Moving Average method, has led to operational challenges. In some cases, forecast inaccuracy caused delays in maintenance due to unavailable parts, which disrupted the unit's operational plans and resulted in additional costs related to urgent procurement or idle time. In other cases, excessive inventory led to increased holding costs, including storage expenses, part degradation, and opportunity costs due to capital being tied up in surplus inventory.

Achieving an optimal balance between spare part availability and inventory cost is essential for the aviation sector. Efficient spare parts inventory management directly supports safety, service reliability, and cost control. Consequently, aviation organizations must recognize the importance of demand forecasting and continuously refine forecasting techniques to reflect the volatility and diversity of real-world demand. This study aims to address these challenges by analyzing the historical usage data of high-value aircraft spare parts to classify their demand patterns and by proposing suitable forecasting techniques that align with those patterns. It is hypothesized that applying forecasting methods tailored to specific demand characteristics will improve prediction accuracy, reduce the incidence of spare part shortages, and enhance inventory management efficiency in aircraft maintenance operations.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Classification of Aircraft Spare Parts

In the aviation industry, effective management of aircraft spare parts and components is crucial because it directly affects maintenance readiness and flight safety. According to the International Air Transport Association (IATA, 2015), aircraft spare parts can be grouped into three main categories. The first group consists of Rotables, which are high-value components such as engines that can be repeatedly used and restored to serviceable condition after failure through repair or maintenance. The second group includes Repairables, which are lower-value items like oxygen cylinders that can also be repaired, although they typically have higher failure rates and shorter service lives compared to rotables. The third group is Consumables, which are non-repairable parts used only once and then discarded, such as fasteners and gaskets. This classification is key for determining inventory strategies and forecasting requirements, as it identifies parts needing frequent replenishment to ensure safe aircraft operations.

2.2 Classification of Demand Patterns

Understanding demand patterns is fundamental to effective inventory control and accurate forecasting, particularly in the aviation maintenance context. Thummathid (2020) proposed a widely recognized

classification framework that categorizes demand into four distinct types, each defined by the frequency and volume of part usage. To facilitate this classification, two statistical indicators are commonly employed: the Average Demand Interval (ADI), which measures the average time between non-zero demand occurrences, and the Squared Coefficient of Variation (CV^2), which captures the relative variability in demand magnitude. These metrics are calculated from historical usage data and enable the systematic identification of demand characteristics across different spare parts.

The four demand types include Smooth Demand, which refers to consistently recurring demand with low variability; Intermittent Demand, characterized by irregular demand intervals that complicate prediction; Erratic Demand, marked by sharp and unpredictable fluctuations; and Lumpy Demand, which involves sporadic demand occurrences combined with large order quantities. Aircraft spare parts may exhibit any of these demand behaviors depending on their operational role and maintenance cycle. Therefore, accurate demand classification is essential prior to selecting forecasting techniques, as mismatches between demand type and forecasting method can lead to significant inefficiencies such as overstocking, part shortages, and increased holding costs.

2.3 Demand Forecasting

Demand forecasting plays a pivotal role in inventory management, enabling organizations to plan proactively and respond efficiently to customer needs. Accurate forecasting minimizes the risk of overstocking, which incurs unnecessary storage costs, while also mitigating shortages that could disrupt operations. Therefore, demand forecasting improves service readiness and organizational responsiveness to market fluctuations (Watanabe, 2023). Fundamentally, demand forecasting methods can be classified into three main categories. The first is the Causal or Regression Method, which employs mathematical modeling to examine the relationship between demand and external variables such as economic conditions and seasonal factors. This approach allows organizations to quantify how such factors influence demand patterns. The second is the Qualitative Method, which relies on expert judgment and is particularly useful when historical data are unavailable, or uncertainty is high. It is commonly applied to forecast new products or services with no prior demand history. The third is the Time Series Method, which utilizes historical data to project future demand by identifying patterns such as trends, seasonality, and random fluctuations. Each method has its own strengths and is selected based on the nature of the data, the forecasting context, and the decision-making needs of the organization.

Due to the irregular demand for aircraft spare parts, selecting a forecasting technique that matches each item's specific demand pattern is essential for accuracy. To address this, the present study adopts four forecasting techniques, each matched to a corresponding demand type.

1. Moving Average Method

The Moving Average Method is a widely used and straightforward time series forecasting technique. It estimates future demand by averaging past demand values over a specified number of historical periods. This approach assumes that future demand will reflect the average behavior of recent periods, effectively smoothing out short-term fluctuations.

$$\hat{x}_t = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

where:

$\hat{x}_t$ = Forecasted demand at time t

x_i = Actual demand observed at time i

n = Number of historical periods used in the calculation

2. Exponential Smoothing Method

The Exponential Smoothing Method improves upon the Moving Average approach by assigning greater weight to more recent observations. This makes it particularly effective for datasets with identifiable trends or short-term variability. Unlike the Moving Average method, which treats all past data equally, Exponential Smoothing places emphasis on the latest demand values, allowing for more responsive and adaptive forecasting.

The forecast for the next period is computed using the following formula (Watanabe, 2023):

$$\hat{x}_{t+1} = \hat{x}_t + \alpha (x_t - \hat{x}_t)$$

where:

- $\hat{x}_{t+1}$ = Forecasted demand for time $t+1$
- $\hat{x}_t$ = Forecasted demand at time t
- x_t = Actual demand observed at time t
- α = Smoothing constant ($0 - 1$)

3. Croston's Method

Croston's Method is a forecasting technique specifically developed to handle irregular demand, which is characterized by sporadic and unpredictable occurrences. Such patterns are commonly found in aircraft maintenance, where spare parts may not be required every period. Traditional methods such as Moving Average or Exponential Smoothing often fail in these cases due to their assumption of continuous demand. In contrast, Croston's Method improves forecast accuracy by independently estimating both the demand size and the interval between non-zero demands (Croston, 1972; Thummathid, 2020; Baisariyev et al., 2021).

This dual-component approach is particularly effective when zero-demand periods are frequent. The forecast for the demand size Y_t when actual demand is non-zero is computed using the exponential smoothing formula (Thummathid, 2020):

$$Y_t = \alpha X_{t-1} + (1-\alpha) Y_{t-1}$$

where:

- Y_t = Estimate mean size of non-zero demand size at time t
- X_{t-1} = Actual non-zero demand in the previous demand period
- α = Smoothing constant

In addition to forecasting the demand size, Croston's Method also estimates the interval between non-zero demands. The smoothing formula for the inter-demand interval is given as follows (Thummathid, 2020):

$$P_t = \alpha Q_{t-1} + (1-\alpha) P_{t-1}$$

where:

- P_t = Estimate means interval between non-zero demand at time t

Q_{t-1} = Actual time interval (in periods) since the last non-zero demand
 α = Smoothing constant

After independently forecasting both the demand size (Y_t) and the inter-demand interval (P_t) the final demand forecast for a given period is computed as (Thummathid, 2020):

$$F_t = \frac{Y_t}{P_t}$$

where:

F_t = Forecasted demand at time t

4. Bootstrap Method

The Bootstrap Method is a forecasting technique developed to address the challenges of intermittent demand, where traditional time series models often fall short due to frequent zero-demand periods. This method enhances forecasting accuracy by using resampling techniques to generate multiple synthetic datasets that preserve the statistical structure of the original data. These datasets are then used to compute forecast values through statistical aggregation (Bookbinder & Lordahl, 1989; Willemain et al., 2004).

The process begins with random sampling with replacement from the original historical demand dataset $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ (Bookbinder & Lordahl, 1989). Each resampling iteration i produces a new simulated dataset of size n , defined as:

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}\}$$

Where each element x_{ij} is randomly drawn from the original dataset:

$$x_{ij} = \in \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$$

After generating bootstrap samples, each synthetic dataset is passed through a defined forecasting function $f(\cdot)$ to obtain an individual forecast $\hat{\theta}_i$. The overall forecast value $\hat{\theta}^*$ is then obtained by aggregating the forecasts across all bootstrap replications:

$$\hat{\theta}^* = f(x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in})$$

This procedure allows the model to reflect uncertainty and variability in intermittent demand by leveraging empirical data patterns rather than relying on strict parametric assumptions.

In the case study under investigation, the organization currently employs only the Moving Average method to forecast demand for all categories of spare parts, regardless of their distinct usage patterns. This generalized approach often leads to inaccuracies, particularly when the demand is irregular or volatile. To address this limitation, the present study proposes a pattern-specific forecasting framework in which forecasting techniques are selected based on the identified demand characteristics of each item. Specifically, Exponential Smoothing is applied to items with Smooth Demand, where demand occurs regularly with low variability. The Bootstrap Method is used for items exhibiting Intermittent Demand, characterized by

irregular occurrence and frequent zero-demand periods. Croston's Method is employed for items with Erratic Demand, which show high volatility, as well as for Lumpy Demand, which features sporadic but high-volume usage. By aligning forecasting techniques with specific demand patterns, this approach aims to improve prediction accuracy, enhance spare parts planning, and reduce both shortages and excess inventory in aircraft maintenance operations.

Table 1 Comparison of Forecasting Methods

Forecasting Method	Strengths	Limitations	Key Differences
Moving Average	Simple and easy to calculate.	Slow to react to changes. Unsuitable for intermittent, erratic, or lumpy patterns because it assumes continuous demand.	Averages a fixed window of historical data.
Exponential Smoothing	More responsive than Moving Average by weighting recent data more heavily. Ideal for stable, non-intermittent (Smooth) demand.	Not designed to handle the zero-demand periods characteristic of intermittent, erratic, or lumpy patterns.	Uses a smoothing constant (alpha) to weight all past data exponentially.
Croston's Method	Specifically designed to handle zero-demand periods by separating forecasts for demand size and demand interval. The standard approach for erratic and lumpy demand.	Can be biased and less accurate than specialized bootstrap methods for highly variable intermittent demand.	Deconstructs demand into two separate components: size and occurrence frequency.
Bootstrap Method	Most effective method for intermittent demand. Does not assume an underlying data distribution. Proven to be more accurate than Croston's and Exponential Smoothing for intermittent patterns.	More computationally intensive than other methods. May have limitations with non-stationary data.	A non-parametric, data-driven simulation method that forecasts an entire probability distribution.

2.4 Forecast Accuracy Measurement

Evaluating the accuracy of forecasting methods is essential to ensure that forecasted values closely approximate actual demand. Forecast performance is typically assessed through various statistical techniques that measure both bias, which refers to the tendency of forecasts systematically deviate in one direction, and precision, which indicates the closeness of forecasted values to the actual demand in each period (Watanabe, 2023).

Several well-established metrics are commonly used to evaluate forecast performance. Mean Error (ME) calculates the average difference between forecasted and actual values and serves as a basic indicator of whether forecasts tend to consistently overestimate or underestimate demand. However, ME may be less informative when dealing with volatile data. Mean Absolute Deviation (MAD) addresses this by measuring the average of absolute differences, thereby capturing overall forecast accuracy without regard to error direction. Mean Squared Error (MSE) builds on this by squaring forecast errors before averaging, which gives more weight to larger errors and is particularly useful for highlighting major forecasting inaccuracies. This aligns with the objective of the current study, which seeks to identify clear differences in model performance. Lastly, Mean Absolute Percent Error (MAPE) expresses forecast errors as a percentage of actual demand, making it suitable for comparing models across datasets with different scales. However, MAPE becomes problematic when actual demand values are zero, leading to undefined or distorted results.

Each of these metrics offers different insights depending on the characteristics of the data and the forecasting objectives. This aligns with approaches in previous studies, where metrics such as MSE and MAPE were commonly used to evaluate and compare model performance for intermittent and lumpy demand (Thummathid, 2020; Baisariyev et al., 2021). In this research, Mean Squared Error (MSE) is selected as the primary performance indicator due to its ability to emphasize large deviations and provide a clear evaluation of forecasting error, which is critical for analyzing and comparing the performance of various forecasting methods applied to aircraft spare parts. Furthermore, to formally validate the comparison, statistical tests such as the paired t-test are often employed to confirm if a model's performance is significantly superior to others, a practice demonstrated in recent supply chain forecasting literature. (Jahin et al., 2025).

2.5 Related Studies

Several studies have highlighted the importance of accurate forecasting for aircraft spare parts. Harimansyah and Imaroh (2020) identified inaccurate planning and forecasting as the primary contributors to high inventory levels and demonstrated that appropriate forecasting techniques could significantly reduce forecasting errors. Similarly, the challenge of intermittent demand, which this study found to be the most common pattern, was addressed by Thummathid (2020), who compared Croston's Method, Holt's Linear Method, and a Multi-Layer Perceptron Neural Network, finding the neural network model to be most accurate for such irregular demand patterns. The effectiveness of the Bootstrap Method for intermittent demand, a key technique in our proposed approach, was validated by Baisariyev et al. (2021) who found it offered higher accuracy than traditional methods in managing such demand.

More recent studies have further explored the use of advanced computational methods. For instance, Fan et al. (2023) introduced a method that first uses a clustering algorithm to group spare parts based on their intermittent features before applying a forecasting model, reinforcing the principle that classifying demand patterns is a critical preliminary step. Furthermore, Shafi et al. (2023) focused specifically on the aviation industry, applying a Long Short-Term Memory (LSTM) neural network to tackle lumpy and intermittent demand, demonstrating the potential of deep learning models to improve forecast accuracy and aviation safety.

These studies collectively underscore a clear trend towards adopting more sophisticated, pattern-specific forecasting methods over traditional, one-size-fits-all approaches. To synthesize these findings and position the current research, a summary of key literature is presented in Table 2.

From the literature review summarized in Table 2, a research gap emerges. While previous studies have effectively demonstrated the superiority of specific forecasting methods for certain demand patterns, a comprehensive framework that first classifies demand into multiple patterns (Smooth, Intermittent, Erratic, and Lumpy) and then systematically applies a corresponding, validated forecasting technique to each is less explored in a real-world aviation case study. This study aims to fill that gap by not only identifying the dominant demand patterns in an aircraft maintenance environment but also by empirically comparing a pattern-specific forecasting approach against the conventional, one-size-fits-all Moving Average method.

Table 2 Summary of Key Literature and Research Gaps

Researcher(s) (Year)	Key Method(s) Used	Key Finding(s)	Gap / Relevance to This Study
Bookbinder & Lordahl (1989)	Bootstrap Procedure (Direct Resampling)	The Bootstrap method is preferable to the Normal assumption when the LTD distribution is non-standard.	Foundational approach; does not specifically address complex intermittent demand.

Table 2 (Continue)

Researcher(s) (Year)	Key Method(s) Used	Key Finding(s)	Gap / Relevance to This Study
Willemain et al. (2004)	Bootstrap	The new bootstrap more accurate than Croston's and Exponential Smoothing for intermittent demand.	A complex method focusing primarily on intermittent demand.
Harimansyah & Imaroh (2020)	Cause-and-Effect Diagram, Multiple Forecasting Methods	Inaccurate forecasting is a primary contributor to high inventory levels.	Did not classify demand types in detail before selecting forecasting methods.
Thummathid (2020)	Croston's Method, Holt's Linear, Neural Network	The Neural Network model yielded the highest forecasting accuracy for intermittent demand.	Did not directly compare with the Bootstrap Method.
Baisariyev et al. (2021)	Bootstrap Method	The Bootstrap Method offered higher accuracy in managing intermittent demand.	Noted that the Bootstrap Method had limitations when applied to lumpy demand.
Fan et al. (2023)	Intermittent Feature Adaptation (Clustering before forecasting)	Grouping data by intermittent features before forecasting improves accuracy.	Supports the classification-first approach; uses a different classification technique (clustering).
Shafi et al. (2023)	Neural Network Model (LSTM) for lumpy and intermittent demand	Neural Network models are effective for irregular demand in aviation and impact safety.	Aviation-specific; represents an advanced AI/Deep Learning approach.
This Study	Demand Classification (ADI, CV ²), Bootstrap, Croston's, Exp. Smoothing	N/A	Systematically classifies demand into 4 patterns and applies an appropriate method to each for comparison in a real-world case study.

3. RESEARCH METHODOLOGY

The population for this study comprises all spare part items used in unscheduled maintenance within the case study organization. The 58 parts analyzed were selected based on an ABC Analysis, representing the highest-value items (Group A); this can be considered a form of purposive sampling. Historical usage data spanning five years (2018-2022) were collected from the Enterprise Resource Planning (ERP) system of the case study organization. The data preprocessing procedure then involved verifying the integrity of this historical data and removing any clear data entry errors. Initial data management was performed using Microsoft Excel, while all data analysis, classification, and the development of forecasting models were conducted using the Python programming language. To compare the forecasting performance between the proposed and current methods, this study selected the Mean Squared Error (MSE) as the primary performance metric, as it gives more weight to larger errors. The research methodology is divided into four key stages:

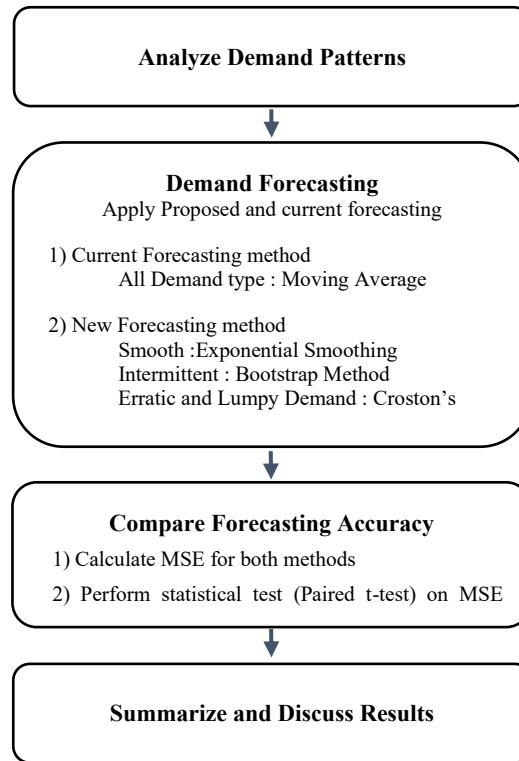


Figure 1 Research Process Diagram

3.1 Analyze Demand Patterns

In this stage, the demand pattern of each spare part is analyzed and classified using two key indicators: the Average Demand Interval (ADI) and the Squared Coefficient of Variation (CV^2). Both indicators are computed using the five-year historical demand data. The classification of demand patterns follows the criteria adapted from Thummathid (2020), as outlined below:

- $ADI \leq 1.32$ and $CV^2 \leq 0.49 \rightarrow$ Smooth Demand
- $ADI > 1.32$ and $CV^2 \leq 0.49 \rightarrow$ Intermittent Demand
- $ADI \leq 1.32$ and $CV^2 > 0.49 \rightarrow$ Erratic Demand
- $ADI > 1.32$ and $CV^2 > 0.49 \rightarrow$ Lumpy Demand

The Average Demand Interval (ADI) measures the average number of periods between successive demand occurrences and is calculated using the formula Thummathid (2020):

$$ADI = \frac{\text{Total number of time periods}}{\text{Number of non-zero demand occurrences}}$$

To measure variability, the Coefficient of Variation (CV) is calculated as follows:

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (d_i^n - d_i)^2}{N}}}{d_i}$$

where:

N = Number of periods with non-zero demand

d_i^n = Demand quantity in period i

d_i = Mean demand during non-zero periods

Then, the squared value of CV, CV^2 , is used in conjunction with ADI to classify the demand patterns as noted above. This classification is critical for selecting appropriate forecasting techniques in the subsequent steps.

3.2 Demand Forecasting

In this step, two forecasting approaches are applied to the historical demand data of the selected spare parts:

1. The current method used by the case study organization: Moving Average (3-period)
2. The proposed method in this research involves selecting a forecasting technique that is tailored to the classified demand pattern of each spare part. Specifically, Exponential Smoothing is applied to items with Smooth Demand, the Bootstrap Method is used for those with Intermittent Demand, and Croston's Method is employed for items exhibiting either Erratic or Lumpy Demand. This pattern-based forecasting strategy aims to improve accuracy by aligning the forecasting model with the actual behavior of each spare part's demand.

3.3 Compare Forecasting Accuracy

This step involves evaluating and comparing the forecasting accuracy between the current method (Moving Average, 3-period) and the proposed methods based on demand pattern classification. The Mean Squared Error (MSE) is used as the performance metric to assess forecast accuracy. MSE is calculated for both methods, and the resulting values are compared to determine which method produces the lowest forecasting error. Furthermore, a Paired t-test is conducted on the MSE results to statistically determine if the performance difference between the two approaches is significant.

3.4 Summarize and Discuss Results

The final step summarizes the forecasting results and discusses the implications of the findings. The discussion focuses on how the use of pattern-specific forecasting methods affects forecast accuracy and inventory management. Recommendations for improving spare parts forecasting and broader applications of the methodology are also addressed.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The findings of this study are presented in two parts. The first part focuses on the analysis of demand patterns for aircraft spare parts, which were classified based on historical usage data using the Average Demand Interval (ADI) and the Squared Coefficient of Variation (CV^2). The second part presents the results of the demand forecasting, where the proposed forecasting techniques were applied according to each identified demand pattern and compared against the current method used by the organization to evaluate forecasting performance and accuracy.

4.1 Demand Pattern Analysis Results

To identify the demand patterns of each spare part, the Average Demand Interval (ADI) and the Squared Coefficient of Variation (CV^2) were calculated using five years of historical usage data. Based on these indicators, each part was categorized into one of four demand patterns: Smooth, Intermittent, Erratic, or Lumpy.

A sample of the classification results is shown in Table 3, which presents the calculated ADI and CV^2 values, along with the corresponding demand pattern for each spare part.

Table 3 Example of Demand Pattern Classification Results

Part ID	ADI	CV^2	Demand Pattern
A000A-243	1.250	0.120	Smooth
A000A-161	1.000	0.100	Smooth
A000A-072	5.000	0.000	Intermittent
A000A-582	5.000	0.000	Intermittent
A000A-261	2.500	0.000	Intermittent
A000A-119	1.667	0.125	Intermittent
A000A-093	5.000	0.000	Intermittent
A000A-094	5.000	0.000	Intermittent
A000A-221	1.667	0.653	Lumpy
A000A-370	1.000	0.839	Erratic

A summary of the demand pattern classification for all 58 spare part items is presented in Table 4.

Table 4 Summary of Demand Pattern Classification by Spare Part Type

Demand Pattern	Count of Item	Percentage (%)
Intermittent Demand	38	65.52%
Smooth Demand	18	31.04%
Erratic Demand	1	1.72%
Lumpy Demand	1	1.72%

As shown in Table 4, most spare parts (38 items or 65.52%) fall into the Intermittent Demand category, indicating sporadic and unpredictable usage. The second most common pattern is Smooth Demand, accounting for 18 items or 31.04%, which reflects regular and stable usage. Both Erratic and Lumpy Demand are the least common, with only one item each, representing 1.72% of the total dataset. These findings suggest that intermittent demand is the predominant challenge in managing spare parts inventory, requiring specialized forecasting approaches to handle its variability effectively.

4.2 Demand Forecasting Results

Following the identification of demand patterns in the previous section, this part presents the demand forecasting results for the selected spare parts. The study introduces a new forecasting method based on the classification of demand types, applying different forecasting techniques tailored to each pattern. Specifically, the Bootstrap Method is used to forecast demand for 38 spare parts identified as having Intermittent Demand. The Exponential Smoothing method is applied to 18 parts classified as having Smooth

Demand, and the Croston's Method is used for parts with Erratic and Lumpy Demand, with one item in each category.

In addition to the new approach, the current forecasting method used by the organization, which is the Moving Average with a 3-period window, is also applied uniformly to all spare parts. This comparison allows for the evaluation of forecasting performance between a one-size-fits-all technique and a pattern-specific strategy. Table 5 presents sample results for selected spare parts, including actual usage values, forecasts from both methods (current and proposed), and the corresponding Mean Squared Error (MSE) values. This side-by-side comparison provides clear insight into the differences in forecasting accuracy between the two approaches.

Table 5 Sample Forecasting Results Comparing the Proposed and Current Methods

Part ID	Demand Pattern	Proposed Forecasting method	Current Forecasting Method	Actual	Current Forecasting	New Forecasting	Current MSE	Proposed MSE
A000A-243	Smooth	Exponential Smoothing	Moving Average	1.00	0.67	0.00	0.11	1.00
A000A-151	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	0.00	0.00	0.20	0.00	0.04
A000A-019	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	1.00	0.00	0.20	1.00	0.64
A000A-218	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	0.00	0.33	0.20	0.11	0.04
A000A-152	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	0.00	0.33	0.20	0.11	0.04
A000A-584	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	1.00	0.67	0.39	0.11	0.38
A000A-238	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	0.00	0.00	0.39	0.00	0.15
A000A-072	Intermittent	Bootstrap	Moving Average	0.00	0.67	0.39	0.45	0.15
A000A-371	Erratic	Croston's	Moving Average	0.00	5.00	4.88	4.00	3.53
A000A-208	Smooth	Exponential Smoothing	Moving Average	1.00	2.67	2.00	2.79	1.00

The forecasting results were further visualized using a line chart, as shown in Figure 2, which compares the Mean Squared Error (MSE) of the current and proposed forecasting methods across all spare part items. The chart clearly illustrates that the proposed forecasting approach consistently produces lower forecasting errors than the current method. Specifically, the average MSE for the proposed method is 1.51, whereas the current method yields a significantly higher average MSE of 1.85. These results demonstrate that the forecasting techniques selected based on demand patterns offer substantially improved accuracy. In summary, the proposed approach provides more reliable forecasts for spare parts demand, supporting better inventory planning and reducing the likelihood of overstocking or shortages compared to the one-size-fits-all method currently in use.

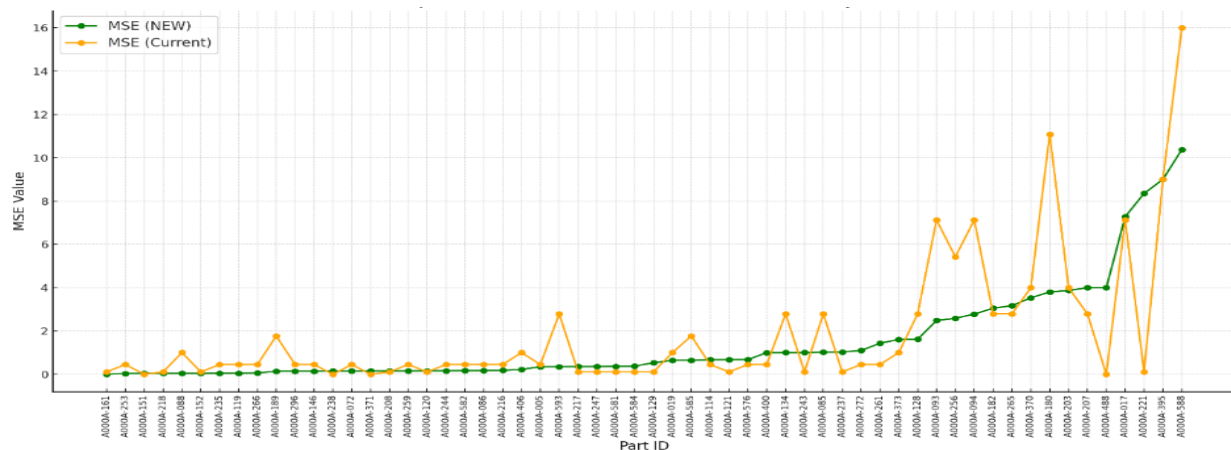


Figure 2 Mean Squared Error (MSE) comparison between the current method (Moving Average)

and the proposed pattern-specific forecasting methods across all 58 spare part items.

To further analyze the performance of the proposed framework, the forecasting errors were aggregated by each of the four demand patterns. Table 6 presents a summary of the average Mean Squared Error (MSE) for both the current and proposed methods within each category.

Table 6 Aggregated Forecasting Errors (MSE) by Demand Pattern

Demand Pattern	Number of Items	Average MSE Current	Average MSE Proposed
Intermittent	38	1.15	0.66
Smooth	18	3.33	2.80
Erratic	1	4.00	3.53
Lumpy	1	0.10	8.35

To formally assess whether the observed improvements in MSE were statistically significant, a series of paired t-tests were conducted. The tests compared the MSE values from the proposed method against the current method for the overall dataset and for the main demand pattern subgroups. The results of these statistical tests are summarized in Table 7.

Table 7 Summary of Paired t-test Results for Forecast Accuracy (MSE)

Data Group	N (pairs)	t-statistic	p-value (one-tail)	Statistically Significant (at $\alpha = 0.05$)
Intermittent	38	1.88	0.034	Significant
Smooth	18	0.64	0.264	Not Significant
Erratic	1	N/A	N/A	N/A
Lumpy	1	N/A	N/A	N/A
Overall	58	1.28	0.103	Not Significant

4.3 Discussion of Findings

This study supports the findings of Harimansyah and Imaroh (2020), who addressed excessive spare parts inventory caused by inaccurate forecasting and suggested using multiple forecasting techniques to improve accuracy. Similarly, Thummathid (2020) highlighted the difficulties in forecasting intermittent demand, which corresponds to the demand pattern found in most of the parts analyzed in this study. Out of 58 spare part items, 38 were classified as intermittent demand, confirming that irregular demand is the dominant challenge in aircraft maintenance inventory. Baisariyev et al. (2021) also demonstrated the effectiveness of the Bootstrap Method for handling unpredictable demand, which is consistent with the improved performance observed in this study when the method was applied to intermittent-demand items.

Compared to these studies, the present research goes further by applying a pattern-specific forecasting framework. The results show that this approach yields a lower average Mean Squared Error (MSE) of 1.51 compared to the 1.85 from the current Moving Average method, reflecting an overall improvement of 18.37%.

Examining the practical impact for each demand type, the Bootstrap Method reduced forecast error for the Intermittent group by approximately 42.61%, while Exponential Smoothing and Croston's Method achieved 15.91% and 11.75% improvements for Smooth and Erratic demand, respectively. Conversely, the Lumpy item exhibited a decline in accuracy, likely due to the inherent volatility and limited sample size. On average, this tailored approach yielded an 18.37% improvement across all demand types when compared to the current Moving Average method.

A series of paired t-tests were conducted to determine if this improvement was statistically significant. For the dominant Intermittent demand group (38 items), the test revealed a statistically significant difference ($p = 0.034$), providing strong evidence that the proposed Bootstrap method is superior for this challenging demand pattern. Conversely, for the 18 smooth demand items, the difference in performance between Exponential Smoothing and the Moving Average was not statistically significant ($p = 0.264$). A statistical comparison for the Erratic and Lumpy patterns was not feasible as each category contained only a single item.

In terms of practical application, these findings are highly valuable for the case study organization. The significant improvement for intermittent-demand parts can directly lead to more optimized inventory levels, reducing holding costs and minimizing the critical risk of stockouts, which could otherwise lead to an Aircraft on Ground (AOG) situation. Furthermore, the proposed pattern-specific framework is not limited to the aviation industry and could be applied to other sectors facing similar irregular demand challenges, such as in the automotive, electronics industries. For future research, it is recommended to explore more advanced machine learning models. Techniques such as Artificial Neural Networks and deep learning approaches like Long Short-Term Memory (LSTM) networks could potentially offer even greater accuracy, especially if more granular data becomes available.

5. CONCLUSION

This research aimed to analyze the patterns and characteristics of aircraft spare parts demand in unscheduled maintenance operations and to propose forecasting methods that align with the specific demand behavior of each item. The study focused on 58 high-usage spare parts, classified as Group A items through ABC Analysis, based on five years of historical usage data (2018–2022). The goal was to recommend forecasting techniques that improve demand prediction accuracy and inventory planning effectiveness.

The analysis revealed that the majority of spare parts exhibit Intermittent Demand, accounting for 38 items or 65.52% of the dataset. Smooth Demand was the second most common pattern, observed in 18 items (31.04%). Erratic and Lumpy Demand were the least common, each found in only one item (1.72%). These findings highlight that irregular demand dominates the spare parts inventory in aircraft maintenance operations, reinforcing the necessity of specialized forecasting methods tailored to such variability.

The comparative evaluation of forecasting methods demonstrated that the traditional Moving Average technique resulted in an average Mean Squared Error (MSE) of 1.85, whereas the proposed pattern-specific forecasting approach achieved a significantly lower average MSE of 1.51. This represents an 18.37% reduction in forecasting error. Therefore, the study clearly concludes that matching forecasting techniques to actual demand patterns leads to more accurate predictions and more effective inventory management for aircraft spare parts.

REFERENCES

- Baisariyev, M., Bakytzhanuly, A., Serik, Y., Mukhanova, B., & CT, P. (2021, 15–18 June). *Demand forecasting methods for spare parts logistics for aviation: A real-world implementation of the bootstrap method*. Paper presented at the 30th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing (FAIM2021), Athens, Greece.
- Bookbinder, J. H., & Lordahl, A. E. (1989). Estimation of inventory re-order levels using the bootstrap statistical procedure. *IIE Transactions*, 21(4), 302–312. <https://doi.org/10.1080/07408178908966236>
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Journal of the Operational Research Society*, 23(3), 289–303
- Fan, L., Liu, X., Mao, W., Yang, K., & Song, Z. (2023). Spare parts demand forecasting method based on intermittent feature adaptation. *Entropy*, 25(5), 764. <https://doi.org/10.3390/e25050764>
- Harimansyah, F. R., & Imaroh, T. S. (2020). Aircraft spare parts inventory management analysis on airframe product using continuous review methods. *Dinasti International Journal of Management Science*, 2(1), 81–90.
- International Air Transport Association. (2015). *IATA guidance material and best practices for inventory management*. Montreal, Canada: IATA.
- Jahin, M. A., Shahriar, A., & Al Amin, M. (2025). MCDFN: Supply chain demand forecasting via an explainable multi-channel data fusion network model. *Evolutionary Intelligence*, 18(66). <https://doi.org/10.1007/s12065-025-01053-7>
- Shafi, I., Sohail, A., Ahmad, J., Espinosa, J. C. M., López, L. A. D., Thompson, E. B., & Ashraf, I. (2023). Spare parts forecasting and lumpiness classification using neural network model and its impact on aviation safety. *Applied Sciences*, 13(9), 5475. <https://doi.org/10.3390/app13095475>
- Thummathid, S. (2020). *A comparison of forecasting methods for rotatable spare parts in a Thai low-cost airline* Chulalongkorn University Theses and Dissertations (Chula ETD). 185. <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/185>
- Watanabe, W. C. (2023). *Logistics and supply chain quantitative analysis and its applications [in Thai]*. Naresuan University Press.
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, 20, 375–387.

Analysis of Factors Influencing China's Cross-Border E-Commerce Supply Chain Resilience Based on the Fuzzy DEMATEL Model

Xinwei Pan, Woramol C. Watanabe*

Faculty of the Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, ThaPho sub-districts Mueang District Phitsanulok Province, Thailand, 65000

*Corresponding author E-mail: woramolc@nu.ac.th

Abstract

Cross-Border E-Commerce (CBEC) plays an important role in China's economic expansion by streamlining global trade integration. The CBEC supply chains exhibit significant vulnerability to disruptions owing to their engagement with fragmented international markets, diverse stakeholder interests, and complex regulatory frameworks spanning multiple jurisdictions. A resilient supply chain not only withstands and recovers from unexpected disruptions but also ensures the uninterrupted flow of goods while sustaining customer demand satisfaction. However, many influencing factors prevent the implementation of resilient supply chain plans in CBEC. Identifying these factors is essential because it represents the foundational step toward developing actionable solutions. This study analyzes that the factors influencing the resilience of China's CBEC supply chains using the Fuzzy Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) model. In progress, a structured questionnaire was employed to gather primary data. Circulated in April and May 2024, the survey targeted experts well-versed in supply chain management. Findings reveal that cross-border logistics, information sharing, government support, agility in the supply chain, risk management culture and geographic distribution as cause factors, while inventory management, payment and credit system, visibility in the supply chain, and trust with partners are considered effect factors. The results provide actionable insights for policymakers and managers to enhance supply chain resilience in China's rapidly growing cross-border e-commerce sector.

Keywords: Cross-border E-Commerce, Supply chain resilience, Fuzzy DEMATEL, Affecting factors

Received: July 8, 2025; Revised: August 9, 2025; Accepted: August 15, 2025

1. INTRODUCTION

Cross-Border E-Commerce (CBEC), as an important carrier of global trade in the era of digital economy, has become a new engine for China's foreign trade transformation and upgrading and economic growth. According to 2023 Annual Report on China's CBEC Market Data, China's CBEC transaction volume will account for 40.35% of the total import and export value of China's trade in goods of 41.76 trillion CNY in 2023 (WangJingShe, 2023). This significant ratio not only highlights the escalating importance of CBEC in China's economic structure but also attests to its transformative role in reshaping the dynamics of international trade.

However, with the accelerated evolution of global supply chain dynamics has presented increasingly intricate challenges to the development of CBEC. For example, frequent occurrences of geopolitical conflicts (e.g., Sino-U.S. trade friction, the Russia-Ukraine war), and disruptions in international logistics networks (e.g., port congestion, freight rate volatility), which not only causes direct financial losses for enterprises but also lead to operational inefficiencies (Yuan et al., 2024), severely undermining the international competitiveness of CBEC enterprises.

Based on the above, enhancing supply chain resilience (SCR) has been recognized as a critical strategy to address uncertainties (AlNuaimi et al., 2021; Raoufi & Fayek, 2021; Um & Han, 2021). SCR by strengthening risk resistance, adaptability, and recovery capabilities, can effectively mitigate the negative impacts of disruption events (Suryawanshi & Dutta, 2022). However, the implementation of SCR initiatives is impeded by various intertwined factors. These factors range from internal operational aspects, such as information sharing, inventory management, and agile response mechanisms, to external environmental factors, including geopolitical uncertainties, cultural differences, and regulatory complexities. Discovering these influencing factors is critically imperative, for it functions as the essential stepping towards the development of robust and effective countermeasures (Znagui, 2024).

Hence, this study aims to identify and analyze the influencing factors of CBEC supply chain resilience. There are two steps. First, identify the influencing factors through literature review and expert interviews. Second, Fuzzy Decision-Making Experimentation and Evaluation Laboratory (DEMATEL) is applied to assess the cause-effect relationships among these factors.

By applying the Fuzzy DEMATEL model to examine causal dynamics in China's CBEC supply chains, this research establishes a transferable framework for assessing interdependencies in complex global trade networks, while delivering empirically grounded strategies for policymakers and managers to bolster systemic resilience amid the sector's accelerated expansion.

The remainder of this paper is structured as follows: Section 2 reviews the relevant literature on the influencing factors of CBEC supply chain resilience and Fuzzy DEMATEL application. Section 3 details the methodology. Section 4 presents the results of the data analysis, and Section 5 concludes the study.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 The influencing factors of CBEC supply chain resilience

Owing to its transnational essence, CBEC operates within supply chain networks that are inherently more complex than those of domestic e-commerce, characterized by dynamic regulatory landscapes, diverse market expectations, and heightened exposure to external risks. As such, the survival and development of CBEC enterprises are highly contingent upon "resilience" — specifically, the capacity to withstand shocks, rapidly recover from disruptions, and flexibly adapt to uncertainties in an ever - changing global business landscape (Liu et al., 2021). Considering the crucial and indispensable role that resilience plays in the operations of CBEC enterprises, a comprehensive investigation into the multifarious factors exerting influence on supply chain resilience is an imperative undertaking.

Existing literature has explored multiple influencing factors. For example, cross - border logistics is a linchpin in CBEC supply chains, yet its inherent complexity and vulnerability pose significant risks to resilience (Liu et al., 2021). Visibility allows supply chain managers to monitor the entire operation of the supply chain in real-time (Ivanov, 2021). This means that potential problems, such as production interruptions, logistics delays, or inventory shortages, can be identified promptly (Jain et al., 2017). Pettit et al. (2010) said that it provides managers with the opportunity to make quick responses when facing risks. Information sharing involves the real-time exchange of crucial data related to potential threats to avoid

potential interruptions and their impacts. Effective information sharing among supply chain partners is fundamental for resilience (Meyer et al., 2021). Ali et al. (2017) stated that employee training and development are essential for cultivating employees' skills. In addition, de Sousa Jabbour et al. (2020) said that achieving resilience against pandemics such as COVID-19, it is essential to adopt a culture of risk management. In addition, government policies and the legal environment have become critical driving forces (Das et al., 2022). This is because government support and regulatory frameworks can provide stability and confidence to organizations, encouraging them to actively engage in innovative activities.

In conclusion, enhancing the resilience of CBEC supply chains requires a systematic integration of multiple factors, including logistics optimization, information transparency, human resource cultivation, risk management culture, and policy support, to cope with the dynamic and complex external environment.

2.2 Fuzzy DEMATEL Application

After identifying the influencing factors of CBEC supply chain resilience, it is essential to analyze the relationships and relative importance among these factors (Zhang et al., 2020), as it reveals the effective strategies to enhance risk prevention and control capabilities and optimize the overall supply chain performance.

The Fuzzy DEMATEL method is selected as the analytical tool due to its effectiveness in handling complex, uncertain, and subjective data (Alqahtani et al., 2023). This approach combines fuzzy logic with matrix-based analysis to address uncertainties in expert judgments, making it suitable for modeling complex systems like supply chains. Existing research indicates that the Fuzzy DEMATEL method has a wide range of applications across diverse fields, such as safety programs in regenerating abandoned industrial buildings, and construction industry and so on, as shown in Table 1.

Table 1 The Applications for Fuzzy DEMATEL

Authors	Research purposes
Abadi et al. (2021)	Determining effective criteria for resilient supplier selection.
Liu et al. (2021)	Identify of influencing factors in the CBEC supply chain resilience.
Zameni et al. (2021)	Evaluate the causal relationships of shift work, job stress, job satisfaction with the occupational health level in a petrochemical industry.
Abdullah et al. (2022)	Exploring key decisive factors in manufacturing strategies in the adoption of Industry 4.0
Chai et al. (2022)	Identify of critical success factors for safety program implementation of regeneration of abandoned industrial building projects in China.
Sharma et al. (2022)	Identify and segregate the supply chain vulnerability factors for manufacturing enterprises based on causal–effect relationships that exist between them.
Hossain et al. (2023)	Identify and priority the factors of green lean supply chain management.
Pandey and Mishra (2023)	Identify the key factors leading to truck mining accidents and the relationships among these factors.
Patel et al. (2024)	Assessing barriers of automation and robotics adoption in the Indian construction industry.
Xu et al. (2024)	Identify the key factors influencing scientific data sharing

In supply chain research, Fuzzy DEMATEL has proven particularly valuable. For example, Liu et al. (2021) used the method to identify influencing factors in CBEC supply chain resilience. Dolatabad et al. (2022) analyzed the key performance indicators of circular supply chains with Fuzzy DEMATEL, recognizing

inventory availability, information availability, innovation, and technology as the key influential indicators. Sarker et al. (2023) categorized 15 supply chain resilience drivers into cause-and-effect groups and produced a priority list, identifying system robustness, geographically dispersed multiple suppliers, and risk management culture as the top three critical SCR drivers.

Figure 1 illustrates the steps of Fuzzy DEMATEL adopted in this study. The process begins with identifying the factors which are the key criteria relevant to the problem at hand. These factors, denoted as $f_1, f_2, \dots, f_n$, where n is the number of factors. The experts on the direct influence of each factor f_i on every other factor f_j using linguistic terms such as 0 to 4 (0 = “no influence”; 1 = “little influence”; 2 = “medium influence”; 3 = “strong influence”; and 4 = “very strong influence”) and convert these linguistic terms into triangular fuzzy numbers (TFNs), as shown in table 2.

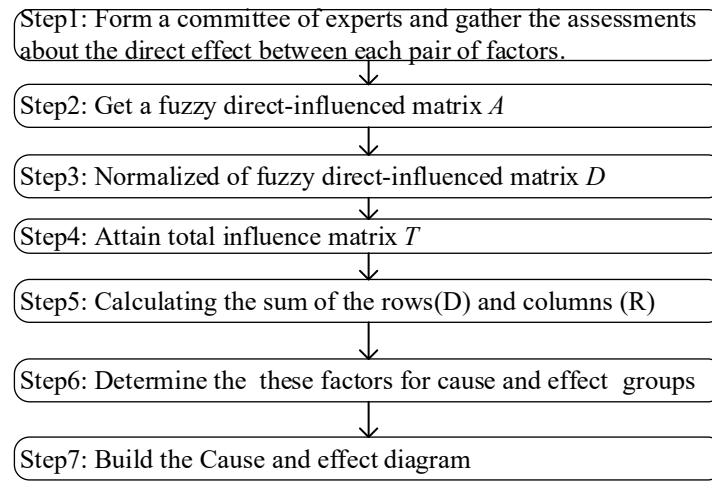


Figure 1 The Steps of Fuzzy DEMATEL

Table 1 Transformation of Linguistic Variables and Triangular Fuzzy Numbers

Linguistic variables	Influence score	Triangular fuzzy number
No influence (NO)	0	(0.00,0.00,0.25)
Very low influence (VL)	1	(0.00,0.25,0.50)
Little influence (L)	2	(0.25,0.50,0.75)
High influence (H)	3	(0.25,0.75,1.00)
Very high influence (VH)	4	(0.75,1.00,1.00)

Each expert then provides an $n \times n$ fuzzy direct relation matrixes $\tilde{A}^{(t)} = [\tilde{A}_{ij}^{(t)}]$, $\tilde{x}_{ij}^{(t)}$ is typically expressed as a TFNs $\tilde{A}_{ij}^{(t)} = (l_{ij}^{(t)}, m_{ij}^{(t)}, u_{ij}^{(t)})$, where l_{ij} denotes the lower bound, representing the minimum possible m_{ij} stands for the middle value, indicating the most likely influence u_{ij} refers to the upper bound, signifying the maximum possible influence. The aggregated fuzzy matrix A is then defuzzified into a crisp direct relation matrix D to enable mathematical operations. The total-relation matrix T , capturing both direct and indirect influences, is computed using $T = D(I - D)^{-1}$, where I am the identity matrix, $(I - D)^{-1}$ is its inverse. And then, determining the sum of rows and columns from the total-relation matrix T provides crucial insights into the influence dynamics within the system. The sum of the elements in row D_i and

columns R_j represents the total influence that factor i has on all other factors in the system and the total influence that factor j receives from all other factors in the system (Gabus & Fontela, 1972).

Prominence ($D_i + R_j$), and relation ($D_i - R_i$) are two elements in Fuzzy DEMATEL method. Determining prominence of each factor is obtained by the sum of its row and column sums ($D_i + R_j$), which this value represents the overall importance of the factor within the system. If the prominence value is higher than that of other factors, it indicates that the factor is more significant in the system's overall dynamics. What's more, determining the relation $D_i - R_i$. If the value of $D_i - R_j > 0$, indicates that the factor is cause factor, oppositely, if the value of $D_i - R_j < 0$, indicates that the factor is effect factor. Finally, plot factors on a cause-effect relationship diagram with prominence on the x-axis and relation value on the y-axis.

3.METHODOLOGY

To achieve the study's objective, the flow of the methodology is shown in Figure 2.

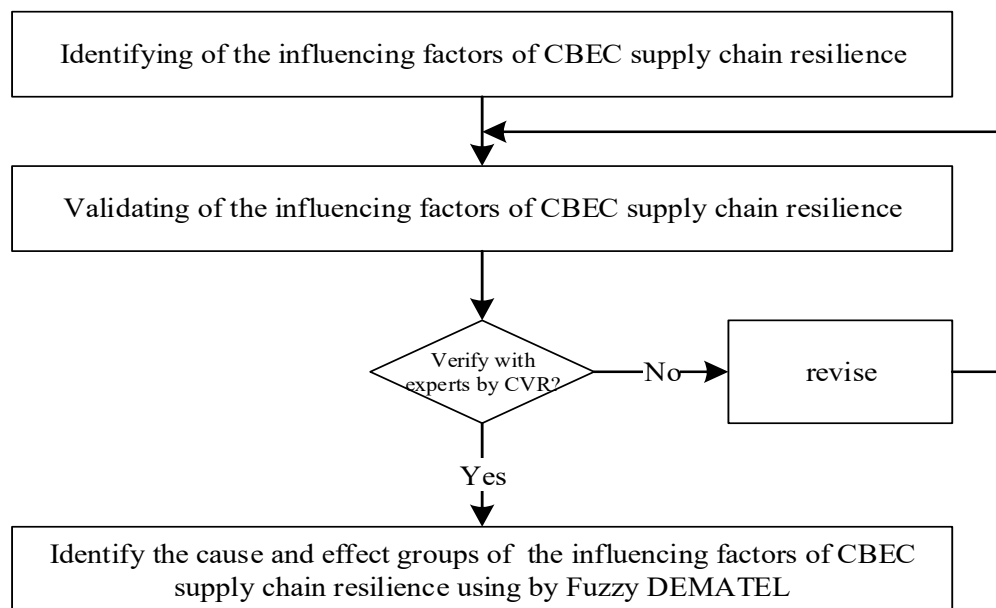


Figure 2 The Flow of Methodology

The literature review first focused on identifying the factors influencing that CBEC supply chain resilience. This identification process was conducted through a comprehensive examination of academic and industry publications. The initial list of the influencing factors was then subjected to expert validation to ensure relevance and practical significance. The expert profiles are detailed in Table 3. To assess content validity, Lawshe's method was employed, with the minimum threshold for the Content Validity Ratio (CVR) set at 0.99 (Gilbert & Prion, 2016). Factors with a CVR equal to or exceeding the benchmark were retained, the study proceeded to the next phase, while those falling below the threshold were excluded from further consideration. Upon final agreement on the validated set of factors, the Fuzzy DEMATEL was applied to explore the causal relationships among these factors.

Table 3 The details of Panel Members

Experts	Years of work experience	Education level	Academic position	The nationalities and affiliations	Relevance to the CBEC context
1	25 years or more	Ph.D	Professor	China, University	Market Research and Consumer Behavior, Logistics and Supply Chain
2	10-15years	Ph.D	Associate professor	China, University	Logistics and Supply Chain, Data Analysis
3	3- 5-years	Ph.D	Lecturer	China, University	Logistics and Supply Chain
4	10-15years	M.S	Associate professor	China, University	Logistics and Supply Chain, Data Analysis
5	10-15years	M.S	Lecturer	China, University	Logistics and Supply Chain, Data Analysis

4.RESULTS AND DISCUSSION

4.1 The Identification of Influencing Factors for CBEC Supply Chain Resilience

The literature review identified 16 primary factors influencing CBEC supply chain resilience. These factors are concisely summarized in Table 4, with each factor outlined clearly.

Table 4 The Identification of 16 Influencing Factors for CBEC Supply Chain Resilience

No.	Influencing Factors	Definition	Sources
1	agility in supply chain	Management of the movement and coordination of goods across international borders, ensuring efficient and compliant operations.	(Yadav & Samuel, 2022); (Chen & Huang, 2022); (Sarker et al., 2023)
2	information sharing	The exchange of data and insights among supply chain partners to enhance transparency and decision-making.	(Qureshi et al., 2023); (Zhang et al., 2023); (Sunmola et al., 2023)
3	inventory management	Control of inventory levels, ordering, and usage to meet customer demand efficiently.	(Yazdanparast et al., 2021); (Priyadarshini et al., 2022); (Zhang et al., 2023)
4	customer demand variability	Fluctuations in customer purchasing behavior, affecting supply chain planning and inventory needs.	(Giuffrida et al., 2017); (Zhang et al., 2023)
5	visibility in supply chain	The ability to monitor goods and information across the supply chain in real-time for better responsiveness and risk reduction.	(Qureshi et al., 2023); (Zhang et al., 2023); (Sarker et al., 2023)
6	cross border logistics	The capacity of the supply chain to quickly adapt to unexpected changes or disruptions.	(Stoerk et al., 2019); (Giuffrida et al., 2020); (Lu et al., 2023);
7	government support	Assistance provided by governmental entities, such as subsidies, policy support, or infrastructure development.	(Singh et al., 2019); (Liu et al., 2021)

Table 4 (Continue)

No.	Influencing Factors	Definition	Sources
8	pay and credit system	Financial mechanisms that support transactions between supply chain partners, including credit terms and payment systems.	(Dahbi & Benmoussa, 2019); (Kofi Mensah & Simon Mwakapesa, 2021); (Lu et al., 2023);
9	trust with partner	The level of confidence and reliability established between supply chain partners, promoting cooperation and risk reduction.	(Thitimajshima et al., 2018); (Guo et al., 2018); (Al Naimi et al., 2022)
10	geographic distribution	The spatial placement of supply chain facilities and partners, influencing efficiency, costs, and responsiveness.	(Chen & Huang, 2022); (Sarker et al., 2023); (Wang et al., 2023)
11	risk management culture	It systematically internalized values, behavioral norms, and institutional frameworks within an organization, enacted through a tri-level mechanism of leadership commitment, employee engagement, and cross-functional collaboration.	(Yazdanparast et al., 2021); (Liu et al., 2021); (Al Naimi et al., 2022)
12	cross border logistics infrastructure	Physical and technological facilities (e.g., warehouses, transportation networks, IT systems) support cross-border logistics.	(Lu & Wang, 2016); (Sassi, 2023);
13	artificial intelligence	Use of machine learning and data analytics to automate processes, optimize decision-making, and predict patterns in the supply chain.	(Zouari et al., 2021); (Al Naimi et al., 2022); (Tang et al., 2023)
14	customs clearance	The official procedures for moving goods through customs to comply with regulatory requirements for import/export.	(Liu et al., 2021); (Zhou et al., 2022)
15	cybersecurity measures	Security practices to protect digital information and systems within the supply chain from cyber threats.	(Alwan et al., 2023); (Luo & Choi, 2022)
16	staff training and development	Programs aimed at improving employee skills and knowledge to enhance efficiency and adaptability in supply chain operations.	(Bevilacqua et al., 2020); (Qureshi et al., 2022); (Das et al., 2022)

4.2 Validated Influencing Factors

Based on the Content Validity Ratio (CVR) results in Table 5, it was evidenced that 10 out of the 16 initially identified factors have a CVR of 1.0, indicating strong content validity and significant influence on CBEC supply chain resilience. These factors included agility in the supply chain, information sharing, inventory management, visibility in supply chain, cross border logistics, government support, pay and credit system, trust with partners, geographic distribution, risk management culture. Conversely, factors such as customer demand variability, cross-border logistics infrastructure, artificial intelligence, customs clearance, cybersecurity measures, staff training and development exhibit did not exceed the benchmark of CVR values. This suggests that these factors may not be as directly impactful as initially hypothesized, or there

might be a lack of consensus among the experts surveyed regarding their influence on supply chain resilience.

Table 5 The Result of Influencing Factors Based on CVR

Influencing Factors	Code	CVR	Valid? (≥ 0.99)
agility in supply chain	IF 1	1.0	Yes
information sharing	IF 2	1.0	Yes
inventory management	IF 3	1.0	Yes
government support	IF 4	1.0	Yes
cross border logistics	IF 5	1.0	Yes
visibility in supply chain	IF 6	1.0	Yes
pay and credit system	IF 7	1.0	Yes
trust with partner	IF 8	1.0	Yes
geographic distribution	IF 9	1.0	Yes
risk management culture	IF 10	1.0	Yes
customer demand variability		0.6	No
cross border logistics infrastructure		0.6	No
artificial intelligence		0.6	No
customs clearance		0.6	No
cybersecurity measures		0.6	No
staff training and development		0.6	No

Table 6 The fuzzy direct-relation matrix (A)

a_{ij}	IF 1	IF 2	IF 3	IF 4	IF 5	IF 6	IF 7	IF 8	IF 9	IF 10
IF 1	0.000	0.640	0.733	0.780	0.733	0.733	0.780	0.733	0.593	0.593
IF 2	0.780	0.000	0.780	0.780	0.733	0.640	0.780	0.733	0.593	0.593
IF 3	0.640	0.733	0.000	0.827	0.780	0.593	0.687	0.687	0.547	0.453
IF 4	0.640	0.687	0.780	0.000	0.920	0.873	0.920	0.920	0.687	0.640
IF 5	0.687	0.780	0.687	0.687	0.000	0.780	0.873	0.873	0.687	0.733
IF 6	0.687	0.687	0.687	0.593	0.687	0.000	0.733	0.733	0.640	0.687
IF 7	0.687	0.640	0.593	0.593	0.547	0.640	0.000	0.827	0.593	0.500
IF 8	0.733	0.640	0.687	0.687	0.687	0.687	0.733	0.000	0.500	0.500
IF 9	0.593	0.687	0.687	0.640	0.640	0.640	0.687	0.687	0.000	0.687
IF 10	0.640	0.640	0.687	0.687	0.547	0.640	0.593	0.687	0.687	0.000

Table 7 The normalized the fuzzy direct relation matrix (D)

a_{ij}	IF 1	IF 2	IF 3	IF 4	IF 5	IF 6	IF 7	IF 8	IF 9	IF 10
IF 1	0.000	0.091	0.104	0.110	0.104	0.104	0.110	0.104	0.084	0.084
IF 2	0.110	0.000	0.110	0.110	0.104	0.091	0.110	0.104	0.084	0.084
IF 3	0.091	0.104	0.000	0.117	0.110	0.084	0.097	0.097	0.077	0.064

Table 7 (Continue)

a_{ij}	IF 1	IF 2	IF 3	IF 4	IF 5	IF 6	IF 7	IF 8	IF 9	IF 10
IF 4	0.091	0.097	0.110	0.000	0.130	0.124	0.130	0.130	0.097	0.091
IF 5	0.097	0.110	0.097	0.097	0.000	0.110	0.124	0.124	0.097	0.104
IF 6	0.097	0.097	0.097	0.084	0.097	0.000	0.104	0.104	0.091	0.097
IF 7	0.097	0.091	0.084	0.084	0.077	0.091	0.000	0.117	0.084	0.071
IF 8	0.104	0.091	0.097	0.097	0.097	0.097	0.104	0.000	0.071	0.071
IF 9	0.084	0.097	0.097	0.091	0.091	0.091	0.097	0.097	0.000	0.097
IF 10	0.091	0.091	0.097	0.097	0.077	0.091	0.084	0.097	0.097	0.000

Table 8 The total relation matrix (T)

a_{ij}	IF 1	IF 2	IF 3	IF 4	IF 5	IF 6	IF 7	IF 8	IF 9	IF 10
IF 1	0.630	0.716	0.744	0.745	0.742	0.737	0.796	0.799	0.651	0.637
IF 2	0.739	0.642	0.758	0.755	0.751	0.735	0.806	0.809	0.659	0.644
IF 3	0.682	0.696	0.618	0.719	0.716	0.689	0.752	0.759	0.617	0.593
IF 4	0.779	0.788	0.817	0.713	0.830	0.820	0.885	0.895	0.722	0.701
IF 5	0.759	0.772	0.779	0.775	0.687	0.782	0.850	0.859	0.698	0.688
IF 6	0.700	0.702	0.719	0.704	0.716	0.623	0.769	0.777	0.639	0.631
IF 7	0.653	0.650	0.660	0.656	0.652	0.659	0.624	0.736	0.591	0.567
IF 8	0.682	0.674	0.695	0.691	0.693	0.688	0.744	0.658	0.601	0.588
IF 9	0.672	0.686	0.702	0.692	0.693	0.689	0.745	0.753	0.541	0.616
IF 10	0.665	0.668	0.689	0.685	0.670	0.676	0.720	0.739	0.618	0.517

Table9 The Cause-and-Effect Groups of Influencing Factors

Factors	Code	D	R	D+R	RANK	D-R	RANK	CAUSE OR EFFECT
agility in supply chain	IF 1	7.197	6.961	14.159	5	0.236	6	cause
information sharing	IF 2	7.297	6.993	14.290	4	0.304	5	cause
inventory management	IF 3	6.841	7.179	14.021	8	-0.338	8	effect
government support	IF 4	7.950	7.135	15.085	1	0.814	1	cause
cross border logistics	IF 5	7.649	7.151	14.799	2	0.498	2	cause
visibility in supply chain	IF 6	6.979	7.098	14.076	7	-0.119	7	effect
pay and credit system	IF 7	6.447	7.690	14.137	6	-1.243	10	effect
trust with partners	IF 8	6.715	7.785	14.499	3	-1.070	9	effect
geographic distribution	IF 9	6.789	6.337	13.127	9	0.452	4	cause
risk management culture	IF 10	6.649	6.183	12.832	10	0.466	3	cause

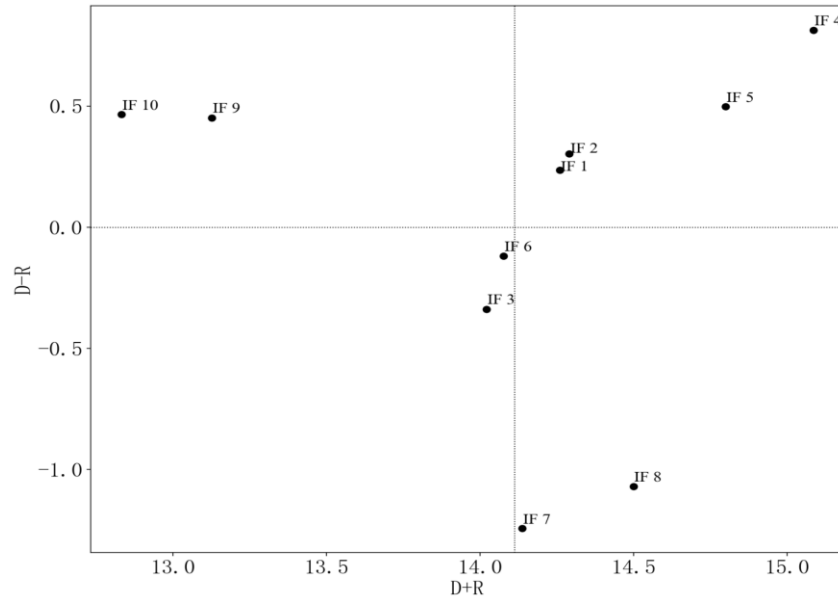


Figure 3 The Cause-and-Effect Diagram

In general, the parameters $(D + R)$ and $(D - R)$ are commonly used to evaluate both the overall prominence of each factor within the system and its role as either a cause or an effect in the network of interdependencies. (Jindal et al., 2021; Xia et al., 2015).

As shown in Table 9, the importance ratings of the influencing factors of CBEC supply chain resilience are based on the $(D + R)$ values and noticed that factor IF 4 (government support) have a greater importance rating than other factors. The prioritized sequence of resilience determinants in CBEC supply chains, ranked by descending $(D_i + R_j)$ scores, unfolds as: $IF4 > IF5 > IF8 > IF2 > IF1 > IF7 > IF6 > IF3 > IF9 > IF10$.

According to Table 9 and Figure 3, the influencing factors of CBEC supply chain resilience are clearly divided into cause-and-effect groups based on the $D-R$ values derived from the Fuzzy DEMATEL analysis. Specifically, six factors—government support (IF4), cross-border logistics (IF5), risk management culture (IF10), geographic distribution (IF9), information sharing (IF2), and supply chain agility (IF1)—exhibit positive $D-R$ values and are therefore classified as cause factors. These elements exert a strong influence on other variables in the system and can be considered strategic leverage points for enhancing overall resilience. Among them, government support (IF4) ranks first with an $D-R$ value of 0.814, and its $D+R$ value (7.950) also tops the list, which means it has the strongest influence on other factors. Cross-border logistics (IF5) has an $D-R$ value of 0.498 and a relatively high D value (7.649), indicating that it has a significant driving effect on the supply chain. Conversely, four factors—trust with partners (IF8), pay and credit system (IF7), inventory management (IF3), and visibility in the supply chain (IF6)—have negative $R-C$ values and are categorized as effect factors, suggesting they are more likely to be outcomes of improvements in the causal group. For instance, trust and visibility are dependent on the effectiveness of information sharing and institutional support, while inventory management and payment reliability benefit from improvements in logistics infrastructure and regulatory environments.

This paper holds significant value both theoretically and practically in the field of CBEC supply chain resilience. From a theoretical perspective, this study contributes to the resilience literature by integrating Fuzzy DEMATEL within the CBEC context, offering a structured way to model complex interdependencies among resilience factors. It also affirms the importance of institutional and infrastructural variables in shaping operational outcomes. From a practical standpoint, the findings serve as a decision-support tool for

policymakers, logistics providers, and platform operators. By focusing resources on high-leverage causal factors, stakeholders can create more resilient and responsive CBEC systems capable of withstanding regulatory changes, geopolitical instability, and demand fluctuations.

5. CONCLUSION

This study aimed to analyse the influencing factors affecting CBEC supply chain resilience using by Fuzzy DEMATEL. Through an extensive review of academic literature from databases like Google Scholar and Scopus, 16 factors were initially identified. These were later refined to 10 factors through CVR evaluation. The Fuzzy DEMATEL was applied to assess cause-effect relationships among these factors. The findings indicated that factors such as cross-border logistics, information sharing, government support, agility in the supply chain, risk management culture and geographic distribution emerged as prominent cause factors. These elements act as foundational drivers, exerting significant direct and indirect impacts on other factors within the supply chain ecosystem. In contrast, inventory management, pay and credit system, visibility in the supply chain, and trust with partners were identified as effect factors, reflecting the operational outcomes of the resilience-building process.

It is important to note that this study is constrained by subjective expert cognitive biases and the static nature of its analytical model. Future research could incorporate dynamic Bayesian networks to explore the time-varying impacts of fluctuations in U.S.-China trade policies on causal structures.

REFERENCES

- Abadi, S. K. G., Bathaei, A., Awang, S. R., & Ahmad, T. (2021). Suppliers selection in resilient supply chain by using fuzzy DEMATEL approach (case study in SAPCO supply chain). *Journal of Social, management and tourism letter*, 2021(1), 1-17.
- Abdullah, F. M., Al-Ahmari, A. M., & Anwar, S. (2022). Exploring key decisive factors in manufacturing strategies in the adoption of Industry 4.0 by using the fuzzy DEMATEL method. *Processes*, 10(5), 987.
- Al Naimi, M., Faisal, M. N., Sobh, R., & Bin Sabir, L. (2022). A systematic mapping review exploring 10 years of research on supply chain resilience and reconfiguration. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 25(8), 1191-1218.
- Ali, I., Nagalingam, S., & Gurd, B. (2017). Building resilience in SMEs of perishable product supply chains: enablers, barriers and risks. *Production Planning & Control*, 28(15), 1236-1250.
- AlNuaimi, B. K., Singh, S. K., & Harney, B. (2021). Unpacking the role of innovation capability: Exploring the impact of leadership style on green procurement via a natural resource-based perspective. *Journal of Business Research*, 134, 78-88.
- Alqahtani, F. M., Noman, M. A., Alabdulkarim, S. A., Alharkan, I., Alhaag, M. H., & Alessa, F. M. (2023). A New Model for Determining Factors Affecting Human Errors in Manual Assembly Processes Using Fuzzy Delphi and DEMATEL Methods. *Symmetry*, 15(11), 1967.
- Alwan, S. Y., Hu, Y., Al Asbahi, A. A. M. H., Al Harazi, Y. K., & Al Harazi, A. K. (2023). Sustainable and resilient e-commerce under COVID-19 pandemic: a hybrid grey decision-making approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(16), 47328-47348.
- Bevilacqua, M., Ciarapica, F. E., Marcucci, G., & Mazzuto, G. (2020). Fuzzy cognitive maps approach for analysing the domino effect of factors affecting supply chain resilience: a fashion industry case study. *International Journal of Production Research*, 58(20), 6370-6398.

- Chai, Q., Li, H., Tian, W., & Zhang, Y. (2022). Critical success factors for safety program implementation of regeneration of abandoned industrial building projects in China: A fuzzy DEMATEL approach. *Sustainability*, 14(3), 1550.
- Chen, J.-K., & Huang, T.-Y. (2022). The Multi-Level Hierarchical Structure of the Enablers for Supply Chain Resilience Using Cloud Model-DEMATEL–ISM Method. *Sustainability*, 14(19), 12116.
- Dahbi, S., & Benmoussa, C. (2019). What hinder SMEs from adopting E-commerce? A multiple case analysis. *Procedia computer science*, 158, 811-818.
- Das, D., Datta, A., Kumar, P., Kazancoglu, Y., & Ram, M. (2022). Building supply chain resilience in the era of COVID-19: An AHP-DEMATEL approach. *Operations Management Research*, 15(1), 249-267.
- de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Hingley, M., Vilalta-Perdomo, E. L., Ramsden, G., & Twigg, D. (2020). Sustainability of supply chains in the wake of the coronavirus (COVID-19/SARS-CoV-2) pandemic: lessons and trends. *Modern supply chain research and applications*, 2(3), 117-122.
- Dolatabad, A. H., Mahdiraji, H. A., Babgohari, A. Z., Garza-Reyes, J. A., & Ai, A. (2022). Analyzing the key performance indicators of circular supply chains by hybrid fuzzy cognitive mapping and Fuzzy DEMATEL: evidence from healthcare sector. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27.
- Gabus, A., & Fontela, E. (1972). World problems, an invitation to further thought within the framework of DEMATEL. *Battelle Geneva Research Center, Geneva, Switzerland*, 1(8), 12-14.
- Gilbert, G. E., & Prion, S. (2016). Making sense of methods and measurement: Lawshe's content validity index. *Clinical simulation in nursing*, 12(12), 530-531.
- Giuffrida, M., Mangiaracina, R., Perego, A., & Tumino, A. (2017). Cross-border B2C e-commerce to Greater China and the role of logistics: a literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(9), 772-795.
- Giuffrida, M., Mangiaracina, R., Perego, A., & Tumino, A. (2020). Cross-border B2C e-commerce to China: an evaluation of different logistics solutions under uncertainty. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 50(3), 355-378.
- Guo, Y., Bao, Y., Stuart, B. J., & Le-Nguyen, K. (2018). To sell or not to sell: Exploring sellers' trust and risk of chargeback fraud in cross-border electronic commerce. *Information Systems Journal*, 28(2), 359-383.
- Hossain, M. I., Al Amin, M., Baldacci, R., & Rahman, M. H. (2023). Identification and prioritization of green lean supply chain management factors using fuzzy DEMATEL. *Sustainability*, 15(13), 10523.
- Ivanov, D. (2021). Digital supply chain management and technology to enhance resilience by building and using end-to-end visibility during the COVID-19 pandemic. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
- Jain, V., Kumar, S., Soni, U., & Chandra, C. (2017). Supply chain resilience: model development and empirical analysis. *International Journal of Production Research*, 55(22), 6779-6800.
- Jindal, A., Sharma, S. K., Sangwan, K. S., & Gupta, G. (2021). Modelling supply chain agility antecedents using fuzzy DEMATEL. *Procedia CIRP*, 98, 436-441.
- Kofi Mensah, I., & Simon Mwakapesa, D. (2021). Cross-Border E-Commerce Diffusion and Usage During the period of the COVID-19 Pandemic: A literature Review. *Proceedings of the 3rd Africa-Asia*

- Dialogue Network (AADN) International Conference on Advances in Business Management and Electronic Commerce Research,
- Liu, X., Dou, Z., & Yang, W. (2021). Research on influencing factors of cross border E-commerce supply chain resilience based on integrated fuzzy DEMATEL-ISM. *IEEE Access*, 9, 36140-36153.
- Lu, B., & Wang, H. (2016). Research on the competitive strategy of cross-border e-commerce comprehensive pilot area based on the spatial competition. *Scientific Programming*, 2016.
- Lu, Y.-H., Yeh, C.-C., & Liao, T.-W. (2023). Exploring the key factors affecting the usage intention for cross-border e-commerce platforms based on DEMATEL and EDAS method. *Electronic Commerce Research*, 23(4), 2517-2539.
- Luo, S., & Choi, T. M. (2022). E-commerce supply chains with considerations of cyber-security: Should governments play a role? *Production and Operations Management*, 31(5), 2107-2126.
- Meyer, A., Niemann, W., Weerheim, C., Bekker, M., & Oosthuizen, H. (2021). The role of Information-Sharing on supply chain resilience: a study in the South African retail industry. *The Retail and Marketing Review*, 17(2), 2-16.
- Pandey, B. P., & Mishra, D. P. (2023). Developing an alternate mineral transportation system by evaluating risk of truck accidents in the mining industry—a critical fuzzy DEMATEL approach. *Sustainability*, 15(8), 6409.
- Patel, T., Bapat, H., & Patel, D. (2024). Assessing barriers of automation and robotics adoption in the Indian construction industry: a fuzzy DEMATEL approach. *Construction Innovation*.
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring supply chain resilience: development of a conceptual framework. *Journal of business logistics*, 31(1), 1-21.
- Priyadarshini, J., Singh, R. K., Mishra, R., & Bag, S. (2022). Investigating the interaction of factors for implementing additive manufacturing to build an antifragile supply chain: TISM-MICMAC approach. *Operations Management Research*, 15(1-2), 567-588.
- Qureshi, K. M., Mewada, B. G., Alghamdi, S. Y., Almakayeel, N., Qureshi, M. R. N., & Mansour, M. (2022). Accomplishing sustainability in manufacturing system for small and medium-sized enterprises (SMEs) through lean implementation. *Sustainability*, 14(15), 9732.
- Qureshi, K. M., Mewada, B. G., Buniya, M. K., & Qureshi, M. R. N. M. (2023). Analyzing Critical Success Factors of Lean 4.0 Implementation in Small and Medium Enterprises for Sustainable Manufacturing Supply Chain for Industry 4.0 Using PLS-SEM. *Sustainability*, 15(6), 5528.
- Raoufi, M., & Fayek, A. R. (2021). Identifying actions to control and mitigate the effects of the COVID-19 pandemic on construction organizations: Preliminary findings. *Public Works Management & Policy*, 26(1), 47-55.
- Sarker, M. R., Rahman, M. S., Ali, S. M., Hossain, N. U. I., & Gonzalez, E. D. S. (2023). Modeling supply chain resilience drivers in the context of COVID-19 in manufacturing industries: leveraging the advantages of approximate fuzzy DEMATEL. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 1-20.
- Sassi, A. (2023). A Systematic Literature Review of Factors to Improve Tanzania's Cross-Border E-Commerce Performance: Lessons from China. *East African Journal of Science, Technology and Innovation*, 4.

- Sharma, S. K., Routroy, S., Singh, R. K., & Nag, U. (2022). Analysis of supply chain vulnerability factors in manufacturing enterprises: a fuzzy DEMATEL approach. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1-28.
- Singh, C. S., Soni, G., & Badhotiya, G. K. (2019). Performance indicators for supply chain resilience: review and conceptual framework. *Journal of Industrial Engineering International*, 15, 105-117.
- Stoerk, T., Dudek, D. J., & Yang, J. (2019). China's national carbon emissions trading scheme: Lessons from the pilot emission trading schemes, academic literature, and known policy details. *Climate Policy*, 19(4), 472-486.
- Sunmola, F., Burgess, P., Tan, A., Chanchaichujit, J., Balasubramania, S., & Mahmud, M. (2023). Prioritising Visibility Influencing Factors in Supply Chains for Resilience. *Procedia computer science*, 217, 1589-1598.
- Suryawanshi, P., & Dutta, P. (2022). Optimization models for supply chains under risk, uncertainty, and resilience: A state-of-the-art review and future research directions. *Transportation research part e: logistics and transportation review*, 157, 102553.
- Tang, Y. M., Chau, K. Y., Lau, Y.-y., & Zheng, Z. (2023). Data-intensive inventory forecasting with artificial intelligence models for cross-border e-commerce service automation. *Applied Sciences*, 13(5), 3051.
- Thitimajshima, W., Esichaikul, V., & Krairit, D. (2018). A framework to identify factors affecting the performance of third-party B2B e-marketplaces: A seller's perspective. *Electronic Markets*, 28, 129-147.
- Um, J., & Han, N. (2021). Understanding the relationships between global supply chain risk and supply chain resilience: the role of mitigating strategies. *Supply chain management: An international journal*, 26(2), 240-255.
- Wang, J., Yu, M., & Liu, M. (2023). Influencing factors on Green Supply Chain Resilience of Agricultural Products: An Improved Grey-DEMATEL-ISM Approach. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1166395.
- WangJingShe. (2023). *Zhongguo kuajing dianshang shichang shuju baogao [2023 China cross-border e-commerce market data report]*. 100EC.cn. <https://www.100ec.cn/zt/2023kjdsccbg/>
- Xia, X., Govindan, K., & Zhu, Q. (2015). Analyzing internal barriers for automotive parts remanufacturers in China using grey-DEMATEL approach. *Journal of cleaner production*, 87, 811-825.
- Xu, Z., Liu, L., & Meng, Z. (2024). What are the key factors influencing scientific data sharing? A combined application of grounded theory and fuzzy-DEMATEL approach. *Heliyon*, 10(15).
- Yadav, A. K., & Samuel, C. (2022). Modeling the Barriers of the Resilient Supply Chain: A Fuzzy-Dematel Approach. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 21(04), 727-762.
- Yazdanparast, R., Tavakkoli-Moghaddam, R., Heidari, R., & Aliabadi, L. (2021). A hybrid Z-number data envelopment analysis and neural network for assessment of supply chain resilience: a case study. *Central European journal of operations research*, 29, 611-631.
- Yuan, K., Zhang, C., Hou, R., & Gao, X. (2024). Can cross-border e-commerce development improve supply chain efficiency? Empirical evidence from China. *Applied Economics*, 1-17.

- Zameni, F., Nasiri, P., Mahdinia, M., & Soltanzadeh, A. (2021). Analysis of the causal relationships of shift work, job stress and job satisfaction with the occupational health level based on fuzzy DEMATEL method: a cross sectional study. *Journal of Health and safety at Work*, 11(1), 151-163.
- Zhang, G., Zhou, S., Xia, X., Yüksel, S., Baş, H., & Dincer, H. (2020). Strategic mapping of youth unemployment with interval-valued intuitionistic hesitant fuzzy DEMATEL based on 2-tuple linguistic values. *IEEE Access*, 8, 25706-25721.
- Zhang, H., Jia, F., & You, J.-X. (2023). Striking a balance between supply chain resilience and supply chain vulnerability in the cross-border e-commerce supply chain. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26(3), 320-344.
- Zhou, L., Wang, J., Li, F., Xu, Y., Zhao, J., & Su, J. (2022). Risk aversion of B2C cross-border e-commerce supply chain. *Sustainability*, 14(13), 8088.
- Znagui, Z. (2024). Examining factors influencing the emergence of a knowledge society: an explorative study. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 20(2), 28-41.
- Zouari, D., Ruel, S., & Viale, L. (2021). Does digitalising the supply chain contribute to its resilience? *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 51(2), 149-180.

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

Exploratory Factor Analysis of Intention to Purchase Souvenir

ชินนภา นิลสนธิ¹, ปุริม ศรีสวัสดิ์^{2*}, สุรพัฒน์ มังคะลี³ และ เจษฎา โพธิ์จันทร์⁴

Chuennapha Nilsonthi¹, Purim Srisawat^{2*}, Surapat Mangkalee³ and Jessada Pochan⁴

^{1,2,3} คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

⁴ คณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

^{1,2,3} Faculty of Business Administrator, Ramkhamhaeng University, Hua Mak, Bang Kapi, Bangkok, 10240, Thailand

⁴ Faculty of Logistics and Digital Supply Chain, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, 65000, Thailand

*Corresponding author E-mail: purim.s@ru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความแตกต่างทางทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก และ (2) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) มีเครื่องมือในการวิจัย คือ แบบสอบถามมีกลุ่มตัวอย่าง คือนักท่องเที่ยวไทยจำนวน 256 คน และชาวต่างชาติจำนวน 162 คน ที่มาจากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้ ระดับความคาดเคลื่อน ที่มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ประกอบด้วย ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอ้างอิง ประกอบด้วย การเปรียบเทียบโดยการทดสอบค่า t-test, f-test และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis) โดยใช้ SPSS เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ ผลการศึกษา พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เพศหญิง Gen Z และ Gen Y ผลการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างทางทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยนักท่องเที่ยวไทยให้ความสำคัญกับปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ เช่น คุณภาพสินค้า ความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น และการออกแบบที่สร้างสรรค์ ขณะที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติมุ่งเน้นที่ความยั่งยืนและคุณค่าทางวัฒนธรรม นอกจากนี้ในด้านราคาและช่องทางการจัดจำหน่าย พบว่า นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับความยืดหยุ่นในการชำระเงินและการจัดส่งมากกว่านักท่องเที่ยวชาวไทย ขณะที่การส่งเสริมการตลาดการบริการ

ที่สร้างความมั่นใจและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ได้รับความสำคัญในทั้งสองกลุ่ม สำหรับผลการศึกษการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) แบรนต์ รูปลักษณ์ และบรรจุภัณฑ์ (2) คุณภาพ ความสะดวก ความยั่งยืน และการแสดงถึงอัตลักษณ์ของพื้นที่ และ (3) ความคิดสร้างสรรค์ ความสดใหม่ และความหลากหลายในผลิตภัณฑ์ ด้านราคามี 1 องค์ประกอบ ได้แก่ ราคาที่เหมาะสมและความหลากหลายในวิธีการชำระเงิน ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายมี 1 องค์ประกอบ ได้แก่ ความสะดวก ความน่าดึงดูด และการจัดแสดงสินค้าที่ดี ด้านช่องทางการจัดจำหน่ายมี 2 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความสะดวกในการซื้อ และความพร้อมของสินค้าในสถานที่จำหน่าย และ (2) ความสะดวกและความพร้อมในช่องทางการจัดส่ง ผลลัพธ์จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาดที่ตอบสนองต่อความต้องการของนักท่องเที่ยวทั้งสองกลุ่มได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : นักท่องเที่ยวไทย, นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ, การตัดสินใจซื้อ, ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

ได้รับเมื่อ 7 พฤษภาคม 2568; แก้ไขเมื่อ 12 สิงหาคม 2568; ตอรับการตีพิมพ์เมื่อ 18 สิงหาคม 2568

Abstract

The research had two objectives: (1) to investigate the differences in attitudes of Thai and international tourists toward factors influencing souvenir purchasing decisions, and (2) to conduct an Exploratory Factor Analysis (EFA) of the key factors influencing souvenir purchasing decisions. The research used a quantitative approach and a questionnaire as its instrument. The sample consisted of 256 Thai tourists and 162 international tourists, determined by sample size calculations based on a margin of error, and selected through purposive sampling to ensure relevance to the research objectives. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics, including percentage, mean, and standard deviation, as well as inferential statistics, namely t-tests, f-tests, and EFA, with SPSS serving as the primary analysis tool. The findings revealed that most respondents were female and belonged to Generation Z and Generation Y. The results of the differences in attitudes indicated statistically significant variations: Thai tourists prioritized product-related factors such as product quality, local uniqueness, and creative design, whereas international tourists placed greater emphasis on sustainability and cultural value. Regarding price and distribution channels, international tourists valued payment flexibility and delivery services more than Thai tourists. In terms of promotion, both groups attached importance to confidence-building services and advertising/public relations. The EFA results identified three product-related factors: (1) branding, visual appeal, and packaging; (2) quality, convenience, sustainability, and

representation of local identity; and (3) creativity, novelty, and product variety. The price factor comprised one component: reasonable pricing and diversity in payment methods. Distribution channels were categorized into two components: (1) convenience of purchase and product availability at points of sale, and (2) convenience and readiness in delivery services. The findings of this study offer helpful advice for developing marketing strategies that effectively address the needs of both Thai and international tourist segments.

Keywords: Thai Tourists, Foreign Tourists, Intention to Purchase, Souvenir

Received: April 7, 2025; Revised: August 12, 2025; Accepted: August 18, 2025

1. บทนำ

การตัดสินใจซื้อของที่ระลึกถือเป็นพฤติกรรมผู้บริโภคที่มีความสำคัญในภาคการท่องเที่ยว เนื่องจากของที่ระลึกทำหน้าที่เป็นตัวแทนความทรงจำจากการเดินทาง และเป็นสัญลักษณ์ที่สะท้อนอัตลักษณ์และวัฒนธรรมของแหล่งท่องเที่ยว การตัดสินใจดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ได้รับอิทธิพลจากทั้งปัจจัยภายใน เช่น แรงจูงใจ ความชอบส่วนบุคคล และประสบการณ์ที่ผ่านมา และปัจจัยภายนอก เช่น สื่อการตลาด การแนะนำจากผู้อื่น และสภาพแวดล้อมการขาย (Kotler & Keller, 2012) ซึ่งส่งผลต่อการประเมินคุณค่าของผลิตภัณฑ์ในด้านคุณภาพ ราคา และความสะดวกในการเข้าถึงสินค้า (Solomon, 2015) นอกจากนี้อารมณ์และความทรงจำระหว่างการท่องเที่ยวยังเป็นตัวกระตุ้นสำคัญที่ทำให้ของที่ระลึกมีคุณค่าเชิงสัญลักษณ์ (Swanson & Timothy, 2012)

นักท่องเที่ยวไทย เน้นความเหมาะสมของราคา ความสะดวกในการซื้อ และความหลากหลายของทางเลือกที่ตอบโจทย์การใช้งานจริงและคุ้มค่า (Batra & Kazmi, 2008) ในทางกลับกัน นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ มักมองหาของที่ระลึกที่มีความแปลกใหม่และมีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น ซึ่งช่วยสร้างประสบการณ์และความทรงจำเกี่ยวกับสถานที่ที่พวกเขาเยี่ยมชม (Swanson & Timothy, 2012) พวกเขาอาจไม่ได้ให้ความสำคัญกับราคา เท่ากับความเป็นเอกลักษณ์หรือคุณค่าทางวัฒนธรรมของสินค้า เช่น ผลิตภัณฑ์ที่มีการออกแบบเฉพาะ หรือสินค้าที่สะท้อนศิลปะและภูมิปัญญาท้องถิ่น นอกจากนี้ การบริการและอัธยาศัยของพนักงานขายยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ (Hsu & Kang, 2007)

ความแตกต่างเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับกลยุทธ์ด้านผลิตภัณฑ์และการตลาดให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายแต่ละประเภท สำหรับนักท่องเที่ยวไทย การส่งเสริมการขายที่เน้นความคุ้มค่าและความ

สะดวกอาจช่วยเพิ่มยอดขายได้ ในขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติควรได้รับประสบการณ์การซื้อสินค้าที่สะท้อนถึงเอกลักษณ์ของท้องถิ่นผ่านบรรยากาศของร้านค้าและบริการที่น่าประทับใจ

จากการทบทวนวรรณกรรมในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นศึกษาปัจจัยทางการตลาด (4P's) ที่มีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของที่ระลึกในบริบทเฉพาะพื้นที่ และส่วนใหญ่มุ่งกลุ่มนักท่องเที่ยวเพียงประเภทเดียว เช่น Madhyamapurush, Saksirikhun และ Smerchuar (2021) ศึกษาปัจจัยการตลาดที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของที่ระลึกทางวัฒนธรรมในจังหวัดพะเยา พบว่า “Proposition” หรือคุณค่าเชิงวัฒนธรรมมีอิทธิพลสูงสุด ตามด้วยปัจจัยด้านสินค้า บรรจุภัณฑ์ ราคา บุคลากร สถานที่ กระบวนการ และโปรโมชั่น ขณะที่ Yoopetch (2017) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในการซื้อของที่ระลึกของนักท่องเที่ยวต่างชาติ พบว่า ความพึงพอใจขึ้นอยู่กับคุณภาพ คุณลักษณะเชิงวัฒนธรรม ความเป็นธรรมของราคา การรับรู้ต่อร้านค้า และความเพลิดเพลินในการซื้อ นอกจากนี้ Soonsan และ Makka (2017) ศึกษาเปรียบเทียบผลของ 4P's ต่อเจตนาซื้อของที่ระลึกระหว่างนักท่องเที่ยวไทยและจีน พบว่า ปัจจัย Place มีอิทธิพลมากในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทย ขณะที่ Promotion มีอิทธิพลมากในกลุ่มนักท่องเที่ยวจีน ส่วน Product และ Price ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทบทวนสะท้อนว่างานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการวิเคราะห์เชิงพรรณนาและศึกษาเฉพาะกลุ่ม ขณะที่งานที่เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มนักท่องเที่ยวและใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (EFA) ยังมีจำนวนน้อย จึงเป็นช่องว่างทางวิชาการที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม

ดังนั้น การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของที่ระลึกในนักท่องเที่ยวทั้งสองกลุ่มจึงมีความสำคัญ การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการทำความเข้าใจปัจจัยต่างๆ ที่ซ่อนอยู่เบื้องหลังพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อ โดยเฉพาะในกรณีที่เกี่ยวข้องกับหลายตัวแปร (Hair et al., 2010) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาความแตกต่างทางทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก และ (2) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ผลลัพธ์จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์และกลยุทธ์การตลาดที่ตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของกลุ่มเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความแตกต่างทางทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ ที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

2.2 เพื่อศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

3. ทบทวนวรรณกรรม

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในบริบทของ 4P's (Product, Price, Place, Promotion) ได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิจัย โดยการทบทวนวรรณกรรมจาก ThaiLIS พบว่างานวิจัยทั้งสามชิ้นที่เกี่ยวข้องได้ศึกษา 4P's ครบทุกมิติ แต่ดำเนินการในบริบทที่แตกต่างกัน โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์พฤติกรรมและทัศนคติของนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ เพื่อให้เข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในแง่มุมที่ครอบคลุม

การทำความเข้าใจพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ถือเป็นประเด็นสำคัญในงานวิจัยด้านการตลาดท่องเที่ยว เนื่องจากของที่ระลึกเป็นสิ่งแทนความทรงจำของนักท่องเที่ยว และเป็นสัญลักษณ์สะท้อนอัตลักษณ์และคุณค่าทางวัฒนธรรมของพื้นที่ งานวิจัยส่วนประสมทางการตลาดของสินค้าและของที่ระลึกสำหรับนักท่องเที่ยวในเกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (2560) พบว่า ปัจจัยทางการตลาด 4P ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (คุณภาพ ความเป็นเอกลักษณ์ การออกแบบที่ดึงดูดใจ) ราคา (ความเหมาะสมและความยืดหยุ่นในการชำระเงิน) ช่องทางจัดจำหน่าย (ความสะดวก ความพร้อมของสินค้า และบริการจัดส่ง) และการส่งเสริมการตลาด (การให้ข้อมูลสินค้าและบริการลูกค้าที่สร้างความมั่นใจ) มีบทบาทต่อการซื้อของนักท่องเที่ยว งานวิจัยนี้สะท้อนให้เห็นความแตกต่างเชิงพฤติกรรมระหว่างนักท่องเที่ยวไทยที่ให้ความสำคัญกับวัฒนธรรมท้องถิ่นและประสบการณ์การซื้อ กับนักท่องเที่ยวต่างชาติที่เน้นความยั่งยืนและความสะดวกในกระบวนการซื้อ ในขณะเดียวกันมีงานวิจัยการพัฒนาตลาดสินค้าของที่ระลึกเพื่อการท่องเที่ยว กรณีศึกษา OTOP ผ้าหมี่ขิด จังหวัดอุดรธานี (2558) พบว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของตลาดเป้าหมาย และการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่สะท้อนอัตลักษณ์ท้องถิ่น รวมถึงการขยายช่องทางจำหน่ายผ่านระบบออนไลน์เพื่อเพิ่มการเข้าถึง จะช่วยสร้างความยั่งยืนทางเศรษฐกิจแก่ชุมชน

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาที่ผสมผสานแนวคิด ทฤษฎีคุณค่าทางวัฒนธรรมเข้ากับกลยุทธ์การตลาดเชิงนวัตกรรม โดยพัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกทางการท่องเที่ยวด้วยนวัตกรรมเพื่อการสร้างมูลค่าเพิ่มแก่ทรัพยากรท้องถิ่น (2566) พบว่า การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่คงเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น สามารถเพิ่มมูลค่าและขยายฐานลูกค้าได้ เมื่อผสมผสานกับช่องทางการตลาดออนไลน์และโซเชียลมีเดียเพื่อเข้าถึงนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่ การตั้งราคาที่โปร่งใสและเหมาะสมช่วยเสริมความเชื่อมั่น ขณะที่ความหลากหลายของสินค้าและบรรจุภัณฑ์ที่น่าสนใจช่วยยกระดับความพึงพอใจของผู้ซื้อ

เมื่อสังเคราะห์ผลจากทั้งสามงานวิจัย จะเห็นได้ว่าการศึกษาปัจจัยทางการตลาด (4P's) อย่างครบถ้วนในหลายบริบท ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษากลุ่มนักท่องเที่ยวเพียงประเภทเดียว และอยู่ในขอบเขตพื้นที่เฉพาะ ในขณะที่งานวิจัยในต่างประเทศได้ศึกษาพฤติกรรมในการเลือกซื้อของที่ระลึกภายใต้บริบทและปัจจัยที่หลากหลาย เช่น การศึกษาของ Su, L., Lai, Z., & Huang, Y. (2023) พบว่า ปัจจัยด้าน Product ในต่างประเทศเน้นที่ความเป็นแก่นแท้ (authenticity) และความสัมพันธ์กับวัฒนธรรมท้องถิ่น เพื่อสร้างคุณค่าทางอารมณ์และความทรงจำแก่ผู้ซื้อ ในด้าน Price มีการให้ความสำคัญกับความคุ้มค่าและความโปร่งใสในการตั้งราคา ซึ่งคล้ายกับผลการศึกษาของไทย แต่ต่างกันที่ผู้ซื้อชาวต่างประเทศยอมรับราคาที่สูงขึ้นหากสินค้ามีคุณค่าทางวัฒนธรรมหรือเป็นสินค้าที่ไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป ด้าน Place งานวิจัยในยุโรปและเอเชียบางประเทศเน้นการเข้าถึงสินค้าผ่านช่องทางออนไลน์และตลาดเฉพาะกลุ่ม (niche market) มากขึ้น ส่วนด้าน Promotion ในต่างประเทศนิยมใช้การเล่าเรื่อง (storytelling) และการสื่อสารเชิงวัฒนธรรมเพื่อสร้างภาพลักษณ์ของสินค้าที่มีความหมายพิเศษ เมื่อเปรียบเทียบกับบริบทไทย จะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกันในเรื่องความสำคัญของคุณภาพและเอกลักษณ์ และแตกต่างกันในระดับการใช้แนวคิดทฤษฎีเกี่ยวกับเทคโนโลยี การสื่อสารเข้ามาบูรณาการที่ตอบสนองต่อความคาดหวังของตลาดต่างประเทศ

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 นิยามศัพท์

ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก (Souvenir) หมายถึง สินค้าที่นักท่องเที่ยวซื้อเพื่อนำกลับไปเป็นเครื่องเตือนความทรงจำเกี่ยวกับสถานที่ที่พวกเขาได้เยี่ยมชม หรือเพื่อเป็นของฝากให้กับผู้อื่น ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มักมีลักษณะเฉพาะที่สะท้อนถึงวัฒนธรรม ประเพณี หรือเอกลักษณ์ของสถานที่ เช่น งานหัตถกรรมท้องถิ่น เครื่องประดับ อาหารพื้นเมือง หรือสิ่งประดิษฐ์ที่มีความเกี่ยวข้องกับประวัติศาสตร์และภูมิภาค (Swanson & Timothy, 2012) ของที่ระลึกไม่เพียงแต่ทำหน้าที่เป็นสินค้าเพื่อการซื้อขายเชิงพาณิชย์เท่านั้น แต่ยังมีคุณค่าทางจิตวิทยาและวัฒนธรรมที่เชื่อมโยงความทรงจำของนักท่องเที่ยวเข้ากับประสบการณ์ของพวกเขา ในบริบทของการท่องเที่ยว ของที่ระลึกยังเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมเศรษฐกิจท้องถิ่นและช่วยเผยแพร่วัฒนธรรมของชุมชนไปยังกลุ่มนักท่องเที่ยวจากทั่วโลก

การตัดสินใจซื้อ (Intention to Purchase) หมายถึง กระบวนการที่ผู้บริโภคพิจารณาและเลือกซื้อผลิตภัณฑ์หรือบริการเพื่อตอบสนองความต้องการหรือความปรารถนาของตนเอง การตัดสินใจซื้อของผู้บริโภคได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น ปัจจัยทางวัฒนธรรม สังคม ส่วนบุคคล และจิตวิทยา (Solomon, 2015) ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีบทบาทสำคัญในการกำหนดทางเลือกและการตัดสินใจสุดท้ายของผู้บริโภค ไม่ว่าจะเป็นการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ตอบสนองความต้องการทางกายภาพหรืออารมณ์ กระบวนการนี้ยังสะท้อนถึงความซับซ้อนของพฤติกรรมผู้บริโภคในสภาพแวดล้อมที่มีความหลากหลายของสินค้าและบริการในตลาด

ผลิตภัณฑ์ (product) หมายถึง สินค้าที่มีลักษณะเฉพาะ สะท้อนถึงวัฒนธรรม ความคิดสร้างสรรค์ และอัตลักษณ์ของท้องถิ่น เช่น งานฝีมือ เครื่องประดับ อาหารพื้นเมือง หรือสิ่งของที่มีความเชื่อมโยงกับภูมิภาคหรือสถานที่ที่นักท่องเที่ยวเดินทางไปเยือน (Swanson & Timothy, 2012) ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกมีบทบาทสำคัญในการสร้างคุณค่าทางจิตวิทยาและความทรงจำของผู้ซื้อ รวมถึงช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจและเผยแพร่วัฒนธรรมท้องถิ่น

ราคา (Price) หมายถึง มูลค่าที่ลูกค้าต้องจ่ายเพื่อแลกกับการเป็นเจ้าของผลิตภัณฑ์หรือบริการ สะท้อนถึงคุณค่าที่ลูกค้าได้รับจากการซื้อสินค้า เช่น ความคุ้มค่าเชิงคุณภาพ ความเหมาะสมเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน และระดับราคาที่หลากหลายเพื่อตอบสนองกลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการและกำลังซื้อที่แตกต่างกัน (Kotler & Keller, 2012) การตั้งราคาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกมักพิจารณาปัจจัยเช่น ต้นทุนการผลิต คุณภาพ และความเป็นเอกลักษณ์ของสินค้า

ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) หมายถึง ร้านค้าปลีกในแหล่งท่องเที่ยว ตลาดพื้นเมือง หรือร้านค้าออนไลน์ที่นักท่องเที่ยวสามารถซื้อสินค้าได้อย่างง่ายดาย (Batra & Kazmi, 2008) ปัจจัยสำคัญในช่องทางการจัดจำหน่ายรวมถึงความสะดวกในการซื้อ การเดินทาง และความสวยงามของสถานที่จำหน่าย ซึ่งส่งผลต่อประสบการณ์ของนักท่องเที่ยว

การส่งเสริมการตลาด (Promotion) หมายถึง กิจกรรมหรือกลยุทธ์ที่ใช้ในการสื่อสารและกระตุ้นความสนใจของลูกค้าเพื่อเพิ่มยอดขายหรือสร้างการจดจำสินค้า รวมถึงการโฆษณาผ่านสื่อต่างๆ การชักจูงจากผู้ขาย การบริการของพนักงาน รวมถึงโปรโมชั่นพิเศษ เช่น การลดราคา หรือของแถม (Kotler & Keller, 2012) การส่งเสริมการตลาดที่มีประสิทธิภาพสามารถช่วยสร้างความประทับใจและกระตุ้นการซื้อซ้ำของลูกค้าได้

4.2 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก โดยใช้กรอบแนวคิด 4P's Marketing Mix ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (Product), ราคา (Price), ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) เป็นตัวชี้วัดสำคัญในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง โดยประชากรเป้าหมายของการวิจัยนี้คือนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติที่เดินทางท่องเที่ยวในประเทศไทย และมีการซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักท่องเที่ยวชาวไทยจำนวน 256 คน และชาวต่างชาติจำนวน 162 คน ซึ่งถูกสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ตรงในการซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในประเทศไทย เพื่อได้ข้อมูลที่สะท้อนพฤติกรรม ทศนคติ และปัจจัยการตัดสินใจซื้อได้ อีกทั้งการเก็บ

ข้อมูลจากทั้งสองกลุ่มช่วยให้สามารถเปรียบเทียบและวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ เพื่อให้ได้ข้อมูลครอบคลุมพฤติกรรมและความคิดเห็นของทั้งสองกลุ่ม

ขอบเขตด้านพื้นที่ ประกอบด้วยแหล่งท่องเที่ยวสำคัญในประเทศไทยที่มีการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก เช่น ตลาดท้องถิ่น แหล่งขายสินค้าหัตถกรรม และสถานที่ท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม ซึ่งเป็นพื้นที่ที่นักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเข้าถึงและมีโอกาสซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

ขอบเขตด้านเวลา การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือน ตุลาคม ถึง ธันวาคม 2566 เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัยและสะท้อนพฤติกรรมการซื้อในปัจจุบัน

ขอบเขตด้านเครื่องมือและการวิเคราะห์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านในสาขาการตลาดและการท่องเที่ยว และปรับแก้ตามข้อเสนอแนะจนมีค่าดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา (Index of Item-Objective Congruence: IOC) อยู่ในช่วง 0.67–1.00 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับการตรวจสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ใช้วิธีการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) กับกลุ่มตัวอย่างนำร่อง (try-out) จำนวน 30 คน โดยได้ค่าความเชื่อมั่นรวมทั้งแบบสอบถามมากกว่า 0.70 แสดงว่ามีความเชื่อถือได้ในระดับสูงการวิเคราะห์ข้อมูลใช้การทดสอบความแตกต่างทางสถิติระหว่างนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ โดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยแบบอิสระ (Independent Samples t-test) และการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามความเหมาะสม พร้อมกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < .05$ เพื่อสรุปความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีความน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) เพื่อระบุและตรวจสอบโครงสร้างของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก โดยใช้วิธีการสกัดองค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA) ร่วมกับการหมุนแกนแบบ Varimax Rotation เพื่อให้ได้ปัจจัยที่มีความชัดเจนและตีความได้ง่าย เกณฑ์การพิจารณา ได้แก่ ค่า Factor Loading ต้องมีค่ามากกว่า 0.50 เพื่อยืนยันว่าตัวแปรมีความสัมพันธ์กับปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญ และค่า Eigenvalue ต้องมากกว่า 1.00 เพื่อพิจารณาความสำคัญของปัจจัยที่คงไว้

4.3 สมมติฐานการวิจัย

H1: ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก (4P's: Product, Price, Place, Promotion)

- 1) ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติต่อ Product (ผลิตภัณฑ์) มีความแตกต่างกัน

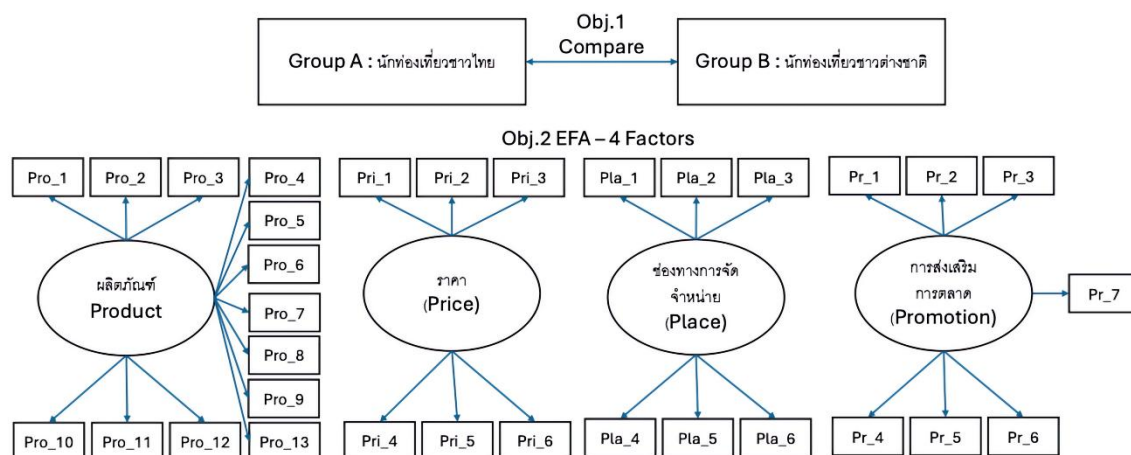
- 2) ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติต่อ Price (ราคา) มีความแตกต่างกัน
- 3) ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติต่อ Place (ช่องทางการจัดจำหน่าย) มีความแตกต่างกัน
- 4) ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติต่อ Promotion (การส่งเสริมการตลาด) มีความแตกต่างกัน

H2: โครงสร้างของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกสามารถจัดกลุ่มออกเป็นองค์ประกอบที่แตกต่างกันได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

- 1) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ Product จะถูกจัดกลุ่มในองค์ประกอบเดียวกัน
- 2) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ Price จะถูกจัดกลุ่มในองค์ประกอบเดียวกัน
- 3) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ Place จะถูกจัดกลุ่มในองค์ประกอบเดียวกัน
- 4) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ Promotion จะถูกจัดกลุ่มในองค์ประกอบเดียวกัน

4.4. กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทความวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่มุ่งศึกษาปัจจัยทางการตลาดซึ่งมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ โดยผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัยตามแนวคิดการตลาดส่วนประสม (Marketing Mix) หรือทฤษฎี 4P's ของ Kotler และ Keller (2012) ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่ครอบคลุมลักษณะ คุณภาพ ความเป็นเอกลักษณ์ การออกแบบ และคุณค่าทางวัฒนธรรมของสินค้าของที่ระลึก ราคา (Price) ที่พิจารณาความเหมาะสม ความคุ้มค่า ความโปร่งใสในการตั้งราคา และความยืดหยุ่นของเงื่อนไขการชำระเงิน ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) ที่มุ่งเน้นความสะดวกในการเข้าถึงสินค้า ความพร้อมของสินค้า และรูปแบบการจัดจำหน่ายที่หลากหลาย รวมถึงช่องทางออนไลน์ และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ที่ครอบคลุมการโฆษณา การประชาสัมพันธ์ การจัดกิจกรรมส่งเสริมการขาย และการสื่อสารที่สร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ซื้อ กรอบแนวคิดนี้ถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบแบบสอบถามและกำหนดตัวแปรวิจัย เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ทั้งการเปรียบเทียบทัศนคติระหว่างนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ และการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) เพื่อจำแนกปัจจัยย่อยของแต่ละมิติทางการตลาด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้ประกอบด้วยสองวัตถุประสงค์หลัก ได้แก่ (1) การศึกษาความแตกต่างทางทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทย (Group A) และนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ (Group B) ที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก และ (2) การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก กรอบแนวคิดนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มนักท่องเที่ยวกับปัจจัยทั้งสี่ด้าน (4P's) ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ (Product), ราคา (Price), ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการวิเคราะห์

สำหรับวัตถุประสงค์ข้อแรก การเปรียบเทียบระหว่างนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติ โดยวิเคราะห์ทัศนคติของทั้งสองกลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อ 4 ด้าน ได้แก่ Product, Price, Place, และ Promotion ข้อมูลในส่วนนี้จะช่วยระบุความแตกต่างในพฤติกรรมและมุมมองของนักท่องเที่ยวแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะเป็นพื้นฐานสำคัญในการทำความเข้าใจความต้องการเฉพาะของกลุ่มเป้าหมาย

สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่สอง การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) เพื่อระบุโครงสร้างของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก โดยจัดกลุ่มตัวแปรย่อย (Items) ภายใต้แต่ละปัจจัยใน 4P's ได้แก่ Product (ผลิตภัณฑ์), Price (ราคา), Place (ช่องทางการจัดจำหน่าย) และ Promotion (การส่งเสริมการตลาด) เช่น ในปัจจัยด้านผลิตภัณฑ์ (Product) ประกอบด้วยรายการตัวแปรย่อย (Pro_1 ถึง Pro_13) ที่สะท้อนถึงคุณภาพ ความเป็นเอกลักษณ์ และการออกแบบของผลิตภัณฑ์ ด้านราคาประกอบด้วยตัวแปร (Pri_1 ถึง Pri_6) ที่เกี่ยวข้องกับเหมาะสมของราคาและตัวเลือกในการชำระเงิน ส่วนด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) ครอบคลุมตัวแปร (Pla_1 ถึง Pla_6) ที่เกี่ยวกับความสะดวกในการเข้าถึงสินค้า และสุดท้ายในด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ครอบคลุมตัว

แปร (Pr_1 ถึง Pr_7) ที่เกี่ยวข้องกับการชักจูง การโฆษณา และบริการของพนักงาน การวิเคราะห์ EFA ในกรอบการวิจัยนี้จึงเป็นขั้นตอนสำคัญในการระบุองค์ประกอบหลักที่สะท้อนถึงพฤติกรรมการซื้อของนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติได้อย่างชัดเจนและเป็นระบบ

4.5 ระเบียบวิธีวิจัย

4.5.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ นักท่องเที่ยวชาวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ ที่มีประสบการณ์ในการซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในประเทศไทย กลุ่มตัวอย่างถูกคัดเลือกโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษานาคกลุ่มตัวอย่างคำนวณจากเกณฑ์ของการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) ซึ่งแนะนำให้มียังน้อย 5-10 ตัวอย่างต่อ 1 ตัวแปร และคาดว่าจะใช้กลุ่มตัวอย่างประมาณ 300 คน (Hair et al., 2010)

4.5.2 เครื่องมือที่ใช้การวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถาม (Questionnaire) ส่วนที่ 1 ประกอบด้วย ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เช่น เพศ อายุ สัญชาติ และประสบการณ์การซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ส่วนที่ 2 เป็นการวัดทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก (4P's) ซึ่งครอบคลุม Product, Price, Place, และ Promotion โดยใช้มาตรวัดแบบ Likert Scale ระดับ 5 (1 = ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง ถึง 5 = เห็นด้วยอย่างยิ่ง) แบบสอบถามได้ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และตรวจสอบความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha) โดยกำหนดเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไว้ที่ค่า $\alpha > 0.70$ ข้อมูลถูกเก็บรวบรวมจากนักท่องเที่ยวที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในแหล่งท่องเที่ยวสำคัญ เช่น ตลาดพื้นเมือง ร้านค้าของที่ระลึกในแหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม และแหล่งท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติ การเก็บข้อมูลดำเนินโดยมีทีมผู้วิจัย แจกจ่ายแบบสอบถามให้ผู้ตอบแบบสอบถามกรอกข้อมูลด้วยตนเอง และใช้เวลาโดยเฉลี่ย 10-15 นาทีต่อแบบสอบถาม

4.5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) ใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าความถี่ (Frequency), ค่าร้อยละ (Percentage), ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่ออธิบายข้อมูลประชากรและทัศนคติของกลุ่มตัวอย่าง และการวิเคราะห์เชิงอนุมาน (Inferential Analysis) สำหรับวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ใช้สถิติ t-test เพื่อเปรียบเทียบทัศนคติของนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

(4P's) และวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis; EFA) เพื่อระบุโครงสร้างของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อ โดยใช้เกณฑ์ Eigenvalues > 1 และการหมุนแกนแบบ Varimax (Varimax Rotation)

5. ผลการวิจัย

ผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 418 คน ซึ่งประกอบด้วย เพศชาย 179 คน (42.8%) และเพศหญิง 239 คน (57.2%) อาชีพของกลุ่มตัวอย่างพบว่ามากที่สุด คือ นักเรียน/นักศึกษา 122 คน (29.2%) รองลงมาคือ พนักงาน/ลูกจ้างประจำ 87 คน (20.8%) และธุรกิจส่วนตัว 78 คน (18.7%) ส่วนกลุ่มที่มีจำนวนต่ำสุดคือ อาชีพอื่นๆ 18 คน (4.3%) ในด้านสัญชาติ พบว่า นักท่องเที่ยวชาวไทยมีจำนวน 256 คน (61.2%) ขณะที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติมีจำนวน 162 คน (38.8%) ด้านอายุ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็น Gen Z (20-27 ปี) จำนวน 182 คน (43.5%) ตามด้วย Gen Y (28-43 ปี) จำนวน 181 คน (43.3%) และ Gen X (44-60 ปี) จำนวน 55 คน (13.2%) รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ข้อมูลเชิงประชากรศาสตร์		ความถี่ (n=418)	ร้อยละ
เพศ	ชาย	179	42.8%
	หญิง	239	57.2%
อาชีพ	ข้าราชการ/พนักงานรัฐวิสาหกิจ	66	15.8
	พนักงาน/ลูกจ้างประจำ	87	20.8
	ค้าขาย	47	11.2
	ธุรกิจส่วนตัว	78	18.7
	นักเรียน/นักศึกษา	122	29.2
	อื่นๆ	18	4.3
สัญชาติ	ไทย	256	61.2
	ต่างประเทศ	162	38.8
อายุ	Gen Z (20-27)	182	43.5
	Gen Y (28-43)	181	43.3
	Gen X (44-60)	55	13.2

ผลการเปรียบเทียบทัศนคติของนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติที่มีต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก 4P's (Product, Price, Place, Promotion) โดยใช้การวิเคราะห์ t-test สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ประกอบด้วยนักท่องเที่ยวชาวไทย 256 คน และนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ 162 คน ผลการวิเคราะห์

พบว่า ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยในทุกปัจจัยมีค่าเฉลี่ย (M) สูงกว่านักท่องเที่ยวชาวต่างชาติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .01$) ในแต่ละปัจจัย เช่น ในด้าน Product นักท่องเที่ยวไทยมีค่าเฉลี่ย (M = 4.26, SD = .367) สูงกว่านักท่องเที่ยวต่างชาติ (M = 3.91, SD = .542) โดยมีค่า $t = 7.397$ แสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ในปัจจัยอื่นๆ เช่น Price, Place, และ Promotion พบว่าค่าเฉลี่ยของนักท่องเที่ยวไทยสูงกว่านักท่องเที่ยวต่างชาติอย่างต่อเนื่อง โดยค่า t -value สำหรับ Price, Place, และ Promotion คือ 6.794, 3.033, และ 5.583 ตามลำดับ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์เหล่านี้ช่วยยืนยันสมมติฐานที่ว่านักท่องเที่ยวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติมีทัศนคติต่อปัจจัยการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบทัศนคตินักท่องเที่ยวไทยและต่างประเทศในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

Factor	Group	N	M	SD	t-value	df	p
Product	Thai Tourist	256	4.26	.367	7.397	254.218	.000
	Foreign Tourist	162	3.91	.542			
Price	Thai Tourist	256	4.22	.513	6.794	275.737	.000
	Foreign Tourist	162	3.80	.678			
Place	Thai Tourist	256	4.18	.508	3.033	217.065	.003
	Foreign Tourist	162	3.93	.974			
Promotion	Thai Tourist	256	4.20	.479	5.583	260.507	.000
	Foreign Tourist	162	3.86	.684			

หมายเหตุ: $p < .01$ indicates statistical significance

จากผลการวิเคราะห์วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 พบว่า ผลการศึกษามีความสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ ทักษะคตินักท่องเที่ยวไทยและนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่อปัจจัยทางการตลาด (4P's) ที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .01$) ในทุกปัจจัย ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ ($t = 7.397$, $p = .000$) ด้านราคา ($t = 6.794$, $p = .000$) ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ($t = 3.033$, $p = .003$) และด้านการส่งเสริมการตลาด ($t = 5.583$, $p = .000$) โดยนักท่องเที่ยวไทยให้คะแนนค่าเฉลี่ยสูงกว่านักท่องเที่ยวต่างชาติในทุกปัจจัย สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่า นักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติมีทัศนคติที่แตกต่างกันต่อปัจจัยทางการตลาด

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกของนักท่องเที่ยวไทยในด้านผลิตภัณฑ์ (Product) พบว่า ปัจจัยสามารถจัดกลุ่มได้เป็น 4 องค์ประกอบหลัก โดยมีค่า KMO = 0.741 และ Bartlett's test of sphericity

($\chi^2=406.639, df=78, p<0.001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมในการวิเคราะห์องค์ประกอบ ปัจจัยที่ 1 คือ การสร้างความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ผ่านแบรนด์และบรรจุภัณฑ์ (Branding and Packaging Appeal) ซึ่งประกอบด้วย Item 1 และ Item 3 โดยมีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.805 และ 0.625 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 2 คือ ความสะดวกสบายและความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการสื่อสารคุณค่าไปยังผู้บริโภค (Convenience and Communication) ซึ่งประกอบด้วย Item 5 และ Item 7 โดยมีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.765 และ 0.651 ปัจจัยที่ 3 คือ การรับรองคุณภาพและความคิดสร้างสรรค์ (Quality Assurance and Innovation) ซึ่งประกอบด้วย Item 8 และ Item 11 มีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.750 และ 0.650 และปัจจัยสุดท้ายคือ ผลิตภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น (Local Uniqueness) ซึ่งประกอบด้วย Item 6 โดยมีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.728 การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างที่สำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของนักท่องเที่ยวไทยในมิติด้านผลิตภัณฑ์ รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านผลิตภัณฑ์ (Product) ของนักท่องเที่ยวไทย

Factor	Item	Loadings
Factors 1 การสร้างความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์ผ่านแบรนด์และบรรจุภัณฑ์ (Branding and Packaging Appeal)	Item 1 : ยี่ห้อผลิตภัณฑ์ (Branding)	.805
	Item 3 : มีบรรจุภัณฑ์ที่น่าสนใจและดึงดูด	.625
Factor 2 ความสะดวกสบายและความสามารถของผลิตภัณฑ์ในการสื่อสารคุณค่าไปยังผู้บริโภค (Convenience and Communication)	Item 5 : มีความสะดวกสบายในการขนกลับ	.765
	Item 7 : สื่อความหมายได้	.651
Factor 3 การรับรองคุณภาพและความคิดสร้างสรรค์ (Quality Assurance and Innovation)	Item 8 : มีตรารับรองมาตรฐานคุณภาพสินค้า	.650
	Item 11 : มีการออกแบบผลิตภัณฑ์แบบใหม่ๆ	.750
Factor 4 ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่น (Local Uniqueness)	Item 6 : มีเอกลักษณ์เฉพาะประจำถิ่น	.728

หมายเหตุ: n=256, KMO = 0.741, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 406.639$ df = 78. ($p<.001$) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ ด้านผลิตภัณฑ์ (Product) พบว่าปัจจัยสามารถจัดกลุ่มได้ 3 องค์ประกอบหลัก โดยมีค่า KMO = 0.809 และ Bartlett's test of sphericity

($\chi^2=562.867, df=78, p<0.001$) แสดงถึงความเหมาะสมในการวิเคราะห์ ปัจจัยที่ 1 คือ แบรินด์ รูปลักษณ์ และบรรจุภัณฑ์ (Branding and Visual Appeal) ซึ่งประกอบด้วย Item 1, Item 2, และ Item 3 โดยมีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.802, 0.721 และ 0.714 ตามลำดับ ปัจจัยที่ 2 คือ คุณภาพ ความสะดวก ความยั่งยืน และการแสดงถึงอัตลักษณ์ของพื้นที่ (Quality, Sustainability, and Cultural Identity) ซึ่งประกอบด้วย Item 4, Item 5, Item 6, Item 7 และ Item 9 โดยมีค่าโหลดสูงสุดที่ 0.733 สองรายการ (Item 4 และ Item 6) และต่ำสุดที่ 0.621 ใน Item 9 ปัจจัยสุดท้ายคือ ความคิดสร้างสรรค์ ความสดใหม่ และความหลากหลายในผลิตภัณฑ์ (Innovation and Variety) ซึ่งประกอบด้วย Item 10, Item 11 และ Item 13 โดยมีค่าโหลดสูงสุดใน Item 11 ที่ 0.776 การวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างองค์ประกอบของนักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับความดึงดูดใจของผลิตภัณฑ์ ความยั่งยืน และความคิดสร้างสรรค์อย่างชัดเจน รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านผลิตภัณฑ์ (Product) ของนักท่องเที่ยวต่างชาติ

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : แบรินด์ รูปลักษณ์ และบรรจุภัณฑ์ (Branding and Visual Appeal)	Item 1 : ยี่ห้อผลิตภัณฑ์ (Branding)	.802
	Item 2 : รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์	.721
	Item 3 : มีบรรจุภัณฑ์ที่น่าสนใจและดึงดูด	.714
Factor 2 : คุณภาพ ความสะดวก ความยั่งยืน และการแสดงถึงอัตลักษณ์ของพื้นที่ (Quality, Sustainability, and Cultural Identity)	Item 4 : คุณภาพสินค้า	.733
	Item 5 : มีความสะดวกในการขนกลับ	.731
	Item 6 : มีเอกลักษณ์เฉพาะประจำท้องถิ่น	.733
	Item 7 : สื่อความหมายได้	.637
	Item 9 : เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	.621
Factor 3 : ความคิดสร้างสรรค์ ความสดใหม่ และความหลากหลายในผลิตภัณฑ์ (Innovation and Variety)	Item 10 : อายุการเก็บรักษา	.660
	Item 11 : มีการออกแบบผลิตภัณฑ์แบบใหม่ๆ	.776
	Item 13 : ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์	.609

หมายเหตุ: n=162, KMO = 0.809, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 562.867$ df = 78 ($p<.001$) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทยด้านราคา (Price) พบว่า ปัจจัยทั้งหมดสามารถรวมเป็นหนึ่งองค์ประกอบหลักคือ ราคาที่เหมาะสมและความหลากหลายในวิธีการชำระเงิน (Pricing

Appropriateness and Flexibility) โดยมีค่า $KMO = 0.769$ และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=235.148, df=15, p<0.001$) ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของข้อมูลในการวิเคราะห์ ปัจจัยนี้ครอบคลุมรายการตัวแปรย่อยทั้งหมด 6 รายการ เช่น Item 1 "ราคาผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม" (ค่าโหลด = 0.627), Item 2 "ราคาผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน" (ค่าโหลด = 0.670), และ Item 3 "มีการให้ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์" (ค่าโหลด = 0.718) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่าโหลดสูงสุด การวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่านักท่องเที่ยวไทยให้ความสำคัญกับความเหมาะสมของราคา การให้ข้อมูลราคาที่ชัดเจน และความหลากหลายในวิธีการชำระเงิน ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านราคา (Price) ของนักท่องเที่ยวไทย

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : ราคาที่เหมาะสมและความหลากหลายในวิธีการชำระเงิน (Pricing Appropriateness and Flexibility)	Item 1 : ราคาผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	.627
	Item 2 : ราคาผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน	.670
	Item 3 : มีการให้ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์	.718
	Item 5 : มีวิธีการชำระเงินที่หลากหลาย	.628
	Item 6 : มีระดับราคาที่หลากหลาย	.627

หมายเหตุ: $n=256$, $KMO = 0.769$, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 235.148$ $df = 15$ ($p<0.001$) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติด้านราคา (Price) พบว่าปัจจัยสามารถจัดอยู่ในองค์ประกอบเดียว คือ ราคาที่เข้าถึงง่ายและตัวเลือกที่หลากหลาย (Pricing Accessibility and Variety) โดยมีค่า $KMO = 0.795$ และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=185.559, df=15, p<0.001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ รายการตัวแปรย่อยที่มีค่าโหลดสูงสุด ได้แก่ Item 6 "มีระดับราคาที่หลากหลาย" (ค่าโหลด = 0.765) รองลงมาคือ Item 2 "ราคาผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน" (ค่าโหลด = 0.706) และ Item 3 "มีการให้ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์" (ค่าโหลด = 0.694) ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับราคาที่ชัดเจน การเปรียบเทียบราคากับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน และความหลากหลายของระดับราคาและตัวเลือกในการชำระเงิน ซึ่งล้วนส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านราคา (Price) ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : ราคาที่เข้าถึง ง่ายและตัวเลือกที่ เดียวกัน	Item 2 : ราคาผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ชนิด หลากหลาย (Pricing Accessibility and Variety)	.706
	Item 3 : มีการให้ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์	.694
	Item 5 : มีวิธีการชำระเงินที่หลากหลาย	.692
	Item 6 : มีระดับราคาที่หลากหลาย	.765

หมายเหตุ: n=162, KMO = 0.795, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 185.559$ df = 15 (p<.001) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทย ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) พบว่าปัจจัยทั้งหมดสามารถจัดอยู่ในองค์ประกอบเดียว คือ ความสะดวก ความน่าดึงดูด และการจัดแสดงสินค้าที่ดี (Convenience and Store Presentation) โดยมีค่า KMO = 0.746 และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=268.792, df=15, p<0.001$) ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของข้อมูลในการวิเคราะห์ องค์ประกอบนี้ประกอบด้วยตัวแปรย่อย 5 รายการ เช่น Item 3 "มีสินค้าพร้อมสำหรับขายอยู่เสมอ" (ค่าโหลด = 0.716) และ Item 2 "สถานที่จำหน่ายสะอาด สวยงาม" (ค่าโหลด = 0.689) ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีค่าโหลดสูงสุด ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวให้ความสำคัญกับความสะดวกในการซื้อ การจัดแสดงสินค้าที่ดึงดูดใจ และความสะอาดของสถานที่จำหน่าย ซึ่งล้วนส่งผลต่อประสบการณ์และความพึงพอใจในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) ของนักท่องเที่ยวไทย

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : ความสะดวก	Item 1 : ความสะดวกในการซื้อ	.642
ความน่าดึงดูด และการจัด	Item 2 : สถานที่จำหน่ายสะอาด สวยงาม	.689
แสดงสินค้าที่ดี	Item 3 : มีสินค้าพร้อมสำหรับขายอยู่เสมอ	.716
(Convenience and	Item 4 : สถานที่ซื้อสะดวกในการเดินทางและจอดรถ	.627
Store Presentation)	Item 6 : มีวิธีแสดงสินค้าให้ลูกค้าชม	.634

หมายเหตุ: n=256, KMO = 0.746, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 268.792$ df = 15 (p<.001) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) พบว่าปัจจัยสามารถจัดกลุ่มได้ 2 องค์ประกอบ โดยมีค่า KMO = 0.761 และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=195.656, df=15, p<0.001$) ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมของข้อมูลในการวิเคราะห์ องค์ประกอบที่ 1 คือ ความสะดวกในการซื้อและความพร้อมของสินค้าในสถานที่จำหน่าย (Convenience and Product Availability) โดยมี Item 2 "สถานที่จำหน่ายสะอาด สวยงาม" (ค่าโหลด = 0.773) และ Item 3 "มีสินค้าพร้อมสำหรับขายอยู่เสมอ" (ค่าโหลด = 0.762) เป็นตัวแปรที่มีค่าโหลดสูงสุด ส่วนองค์ประกอบที่ 2 คือ ความสะดวกและความพร้อมในช่องทางการจัดส่ง (Delivery Accessibility) ซึ่งประกอบด้วย Item 5 "มีช่องทางการจัดส่ง" ที่มีค่าโหลดสูงสุดในภาพรวม (ค่าโหลด = 0.885) ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่านักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับทั้งสถานที่จำหน่ายที่มีความสะดวกและสวยงาม รวมถึงช่องทางการจัดส่งที่สะดวกและเข้าถึงได้ง่าย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : ความสะดวกในการซื้อ และ ความพร้อมของสินค้าในสถานที่จำหน่าย (Convenience and Product Availability)	Item 1 : ความสะดวกในการซื้อ	.719
	Item 2 : สถานที่จำหน่ายสะอาด สวยงาม	.773
	Item 3 : มีสินค้าพร้อมสำหรับขายอยู่เสมอ	.762
Factor 2 : ความสะดวกและความพร้อมในช่องทางการจัดส่ง (Delivery Accessibility)	Item 5 : มีช่องทางการจัดส่ง	.885

Note: n=162, KMO = 0.761, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 195.656$ df = 15 (p<.001) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทยด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) พบว่าปัจจัยสามารถจัดกลุ่มได้ 2 องค์ประกอบ โดยมีค่า KMO = 0.745 และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=259.731, df=21, p<0.001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของข้อมูลในการวิเคราะห์ องค์ประกอบที่ 1 คือ การชักจูงใจและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่างๆ (Promotional Influence) โดยมี Item 3 "การ

ชักจูงจากผู้ขาย" (ค่าโหลด = 0.906) เป็นตัวแปรที่มีค่าโหลดสูงสุด รองลงมาคือ Item 4 "การโฆษณาประชาสัมพันธ์ตามสื่อต่างๆ" (ค่าโหลด = 0.648) ส่วนองค์ประกอบที่ 2 คือ การรับประกันสินค้าและบริการที่สร้างความมั่นใจให้ลูกค้า (Customer Assurance and Service) ซึ่งประกอบด้วย Item 6 "มีการรับประกันสินค้า" (ค่าโหลด = 0.806) และ Item 5 "พนักงานมีความรู้เกี่ยวกับตัวสินค้า" (ค่าโหลด = 0.676) ผลการวิเคราะห์นี้ชี้ให้เห็นว่านักท่องเที่ยวไทยให้ความสำคัญกับการชักจูงใจผ่านผู้ขายและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ รวมถึงความมั่นใจในคุณภาพสินค้าและการบริการของพนักงาน ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 9 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ของนักท่องเที่ยวไทย

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : การชักจูงใจและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่างๆ (Promotional Influence)	Item 3 : การชักจูงจากผู้ขาย	.906
	Item 4 : การโฆษณาประชาสัมพันธ์ตามสื่อต่างๆ	.648
Factor 2 : การรับประกันสินค้าและบริการที่สร้างความมั่นใจให้ลูกค้า (Customer Assurance and Service)	Item 5 : พนักงานมีความรู้เกี่ยวกับตัวสินค้า	.676
	Item 6 : มีการรับประกันสินค้า	.806
	Item 7 : การบริการและอัธยาศัยของพนักงาน	.659

หมายเหตุ: n=256, KMO = 0.745, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 259.731$ df = 21 (p<.001) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis: EFA) ของปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติ ด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) พบว่าปัจจัยสามารถจัดกลุ่มได้ 2 องค์ประกอบ โดยมีค่า KMO = 0.767 และ Bartlett's test of sphericity ($\chi^2=365.513, df=21, p<0.001$) ซึ่งบ่งชี้ถึงความเหมาะสมของข้อมูลในการวิเคราะห์องค์ประกอบที่ 1 คือ การชักจูงใจและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่างๆ (Promotional Influence) ซึ่งมี Item 4 "การโฆษณาประชาสัมพันธ์ตามสื่อต่างๆ" (ค่าโหลด = 0.871) และ Item 3 "การชักจูงจากผู้ขาย" (ค่าโหลด = 0.853) เป็นตัวแปรที่มีค่าโหลดสูงสุด องค์ประกอบที่ 2 คือ พนักงานที่มุ่งเน้นให้บริการลูกค้าอย่างมืออาชีพและเป็นมิตร (Customer-Focused Staff) ซึ่งมี Item 7 "การบริการและอัธยาศัยของพนักงาน" (ค่าโหลด = 0.877) และ Item 5 "พนักงานขายมีความรู้เกี่ยวกับตัวสินค้า" (ค่าโหลด = 0.773) ผลการวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับทั้งการประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อ

ต่างๆ และการบริการของพนักงานที่สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ซึ่งส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก รายละเอียดดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 10 องค์ประกอบของปัจจัยผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ

Factor	Item	Loadings
Factors 1 : การชักจูงใจและการโฆษณาประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อต่างๆ (Promotional Influence)	Item 3 : การชักจูงจากผู้ขาย	.853
	Item 4 : การโฆษณาประชาสัมพันธ์ตามสื่อต่างๆ	.871
Factor 2 : พนักงานที่มุ่งมั่นให้บริการลูกค้าอย่างมีอาชีพและเป็นมิตร (Customer-Focused Staff)	Item 5 : พนักงานขายมีความรู้เกี่ยวกับตัวสินค้า	.773
	Item 7 : การบริการและอัธยาศัยของพนักงาน	.877

หมายเหตุ: n=162, KMO = 0.767, Bartlett's test of sphericity $\chi^2 = 365.513$ df = 21 (p<.001) Extraction method: Principal Component Analysis; Rotation: Varimax. Loadings > 0.60

6. สรุปและอภิปรายผล

Product (ผลิตภัณฑ์) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกทั้งในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ อย่างไรก็ตามความเหมือนและความแตกต่างในทัศนคติของทั้งสองกลุ่มสะท้อนถึงความต้องการและลำดับความสำคัญที่แตกต่างกัน

นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญกับ Branding and Packaging Appeal เพราะแบรนด์และบรรจุภัณฑ์เป็นองค์ประกอบแรกๆ ที่มองเห็นและสัมผัสได้ทันที จึงมีบทบาทสำคัญในการสร้าง “ความประทับใจแรก” (first impression) เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการตัดสินใจซื้อ (Kotler & Keller, 2012) สำหรับนักท่องเที่ยวชาวไทย ความสวยงามและความโดดเด่นของบรรจุภัณฑ์ช่วยดึงดูดสายตาและทำให้สินค้าน่าจดจำ ขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับความงามเชิงสุนทรีย์ รวมถึงบรรจุภัณฑ์และการถ่ายทอดเรื่องราว (storytelling) ที่สะท้อนถึงเอกลักษณ์ของท้องถิ่นที่ไปเยือน ซึ่งเน้นคุณค่าเชิงอารมณ์และเป็นหลักฐานของประสบการณ์การท่องเที่ยว (Wang et al., 2021; Park et al., 2020)

อีกหนึ่งมิติที่ชัดเจนในด้านผลิตภัณฑ์คือ Local Uniqueness ซึ่งนักท่องเที่ยวชาวไทยมองว่าผลิตภัณฑ์ที่มีความเฉพาะตัว เช่น สินค้าที่สะท้อนถึงเอกลักษณ์ของภูมิภาคหรือท้องถิ่น เป็นจุดเด่นที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกมีความน่าสนใจมากขึ้น ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติที่ให้ความสำคัญกับมิติของ Quality, Sustainability, and Cultural Identity โดยเฉพาะในด้านของ ความยั่งยืนของผลิตภัณฑ์ ซึ่ง

สะท้อนถึงแนวโน้มความสนใจของผู้บริโภคทั่วโลกในเรื่องการรักษาสิ่งแวดล้อม (Nguyen et al., 2020) ความคาดหวังนี้มีผลต่อการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนร่วมในการอนุรักษ์วัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อม เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุรีไซเคิลหรือใช้กระบวนการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

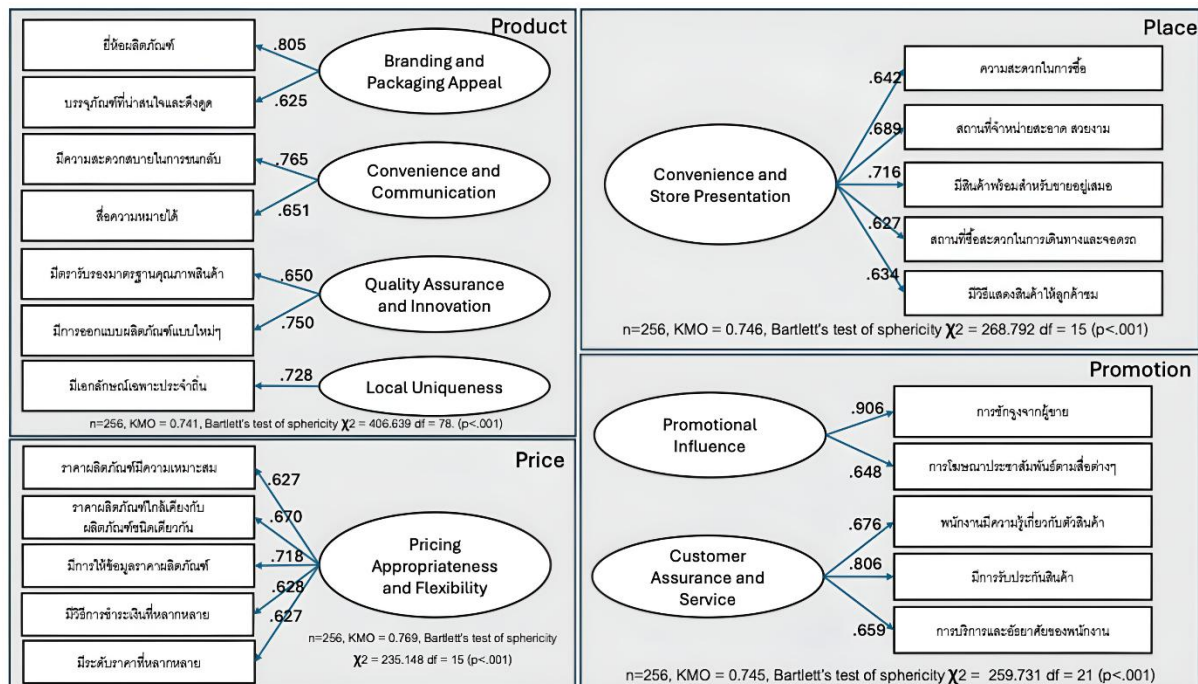
นอกจากนี้ นักท่องเที่ยวชาวไทยยังให้ความสำคัญกับ Quality Assurance and Innovation เช่น การรับรองคุณภาพสินค้าและการออกแบบที่สร้างสรรค์ในผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ตัวอย่างเช่น การสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีการรับรองคุณภาพอย่างเป็นทางการจะเพิ่มความมั่นใจในการตัดสินใจซื้อ ในทางตรงกันข้าม นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับ Innovation and Variety ซึ่งครอบคลุมถึง ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ โดยคาดหวังที่จะพบสินค้าที่มีความแตกต่างในด้านการออกแบบหรือการใช้งานมากกว่ากลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความคาดหวังด้านผลิตภัณฑ์ของนักท่องเที่ยวทั้งสองกลุ่มแม้จะมีความคล้ายคลึงในบางด้าน เช่น คุณภาพสินค้าและความสร้างสรรค์ แต่มีมิติที่แตกต่างกันในแง่ของการให้ความสำคัญต่อความหลากหลายและคุณค่าทางวัฒนธรรม

Price (ราคา) นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญกับ ราคาที่เหมาะสมและความโปร่งใสของข้อมูลราคา เป็นหลัก โดยเฉพาะข้อมูลราคาที่เข้าใจง่ายและสามารถเปรียบเทียบได้ในเชิงความคุ้มค่า ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Park et al. (2020) ที่ระบุว่า ความโปร่งใสด้านราคาและการแสดงข้อมูลราคาที่ชัดเจนช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภค ทั้งนี้ นักท่องเที่ยวชาวไทยยังเน้น ระดับราคาที่หลากหลาย ซึ่งสะท้อนถึงความคาดหวังต่อทางเลือกที่เหมาะสมกับงบประมาณที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคล เช่น ราคาที่เหมาะสมสำหรับการซื้อในปริมาณมากหรือราคาที่รองรับการซื้อในระดับที่พรีเมียม

ในขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับ ความยืดหยุ่นในการชำระเงินและการเปรียบเทียบราคา มากกว่า โดยผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่านักท่องเที่ยวต่างชาติมุ่งเน้นที่ Pricing Accessibility and Variety เช่น การมีช่องทางการชำระเงินที่หลากหลาย รวมถึงการรองรับเทคโนโลยีการชำระเงินแบบดิจิทัล เช่น การใช้บัตรเครดิตหรือการชำระเงินผ่านแอปพลิเคชัน ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานของ Han et al. (2022) ที่ชี้ให้เห็นว่าการชำระเงินแบบดิจิทัลมีผลต่อความสะดวกและประสบการณ์ของนักท่องเที่ยวในยุคปัจจุบัน นอกจากนี้ นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติยังให้ความสำคัญกับการเปรียบเทียบราคาสินค้ากับสินค้าชนิดเดียวกัน ซึ่งอาจสะท้อนถึงความต้องการตรวจสอบความคุ้มค่าของสินค้าในบริบทการซื้อที่ไม่คุ้นเคยในต่างประเทศ

อีกประเด็นที่น่าสนใจคือ นักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติมีความคล้ายคลึงกันในเรื่อง การคาดหวังราคาที่สมเหตุสมผล (Reasonable Pricing) ซึ่งสะท้อนถึงความต้องการที่จะได้สินค้าที่มีความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับคุณภาพสินค้า อย่างไรก็ตาม นักท่องเที่ยวชาวไทยมีแนวโน้มที่จะคาดหวัง การกำหนดราคาที่

เข้าถึงได้ง่าย (Affordable Pricing) มากกว่า เนื่องจากสินค้าของที่ระลึกอาจถูกมองว่าเป็นสินค้าที่ซื้อในปริมาณมากหรือต้องการซื้อเป็นของฝากสำหรับคนจำนวนมาก ในขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติจะมุ่งเน้นความคุ้มค่าในเชิง Value for Money ซึ่งสะท้อนให้เห็นจากการเปรียบเทียบราคากับผลิตภัณฑ์อื่นในตลาดหรือจากประเทศต้นทาง



ภาพที่ 2 องค์ประกอบเชิงสำรวจของนักท่องเที่ยวชาวไทยในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

ด้าน Place (ช่องทางการจัดจำหน่าย) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปัจจัยด้านสถานที่จำหน่ายมีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกทั้งในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มนี้สะท้อนถึงลำดับความสำคัญและความคาดหวังที่แตกต่างกันเกี่ยวกับลักษณะของสถานที่และช่องทางการจัดจำหน่าย สำหรับกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทย ผลการศึกษานำความสำคัญของ Convenience and Store Presentation ซึ่งครอบคลุมถึงความสะดวกในการเข้าถึงสถานที่จำหน่าย เช่น การเดินทางที่ง่ายดาย การมีพื้นที่จอดรถที่สะดวก รวมถึงบรรยากาศของสถานที่ที่สะอาดและสวยงาม ข้อมูลนี้สอดคล้องกับงานของ Chen et al. (2021) ที่ระบุว่าความสะดวกของสถานที่และบรรยากาศโดยรวมมีผลโดยตรงต่อความพึงพอใจของลูกค้าและกระตุ้นการตัดสินใจซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติ ผลการศึกษานำความสำคัญของ Delivery Accessibility หรือ ความสะดวกในการจัดส่ง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่ได้รับการเน้นมากนักในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทย ตัวแปรสำคัญ เช่น การมีช่องทางการจัดส่งสินค้าที่รวดเร็วและเข้าถึงง่าย มีค่าโหลดสูงที่สุดในองค์ประกอบนี้ สะท้อน

ถึงความคาดหวังของนักท่องเที่ยวต่างชาติที่จะได้รับความสะดวกในการซื้อสินค้าโดยไม่ต้องพึ่งพาการขนส่งด้วยตัวเอง งานของ Han et al. (2022) สนับสนุนผลการศึกษานี้ โดยระบุว่าช่องทางการจัดส่ง เช่น การบริการจัดส่งถึงโรงแรมหรือที่พัก มีบทบาทสำคัญในการสร้างความสะดวกและความพึงพอใจในประสบการณ์การซื้อ โดยเฉพาะสำหรับนักท่องเที่ยวที่ต้องการลดภาระด้านการขนส่งสินค้าในระหว่างการเดินทาง

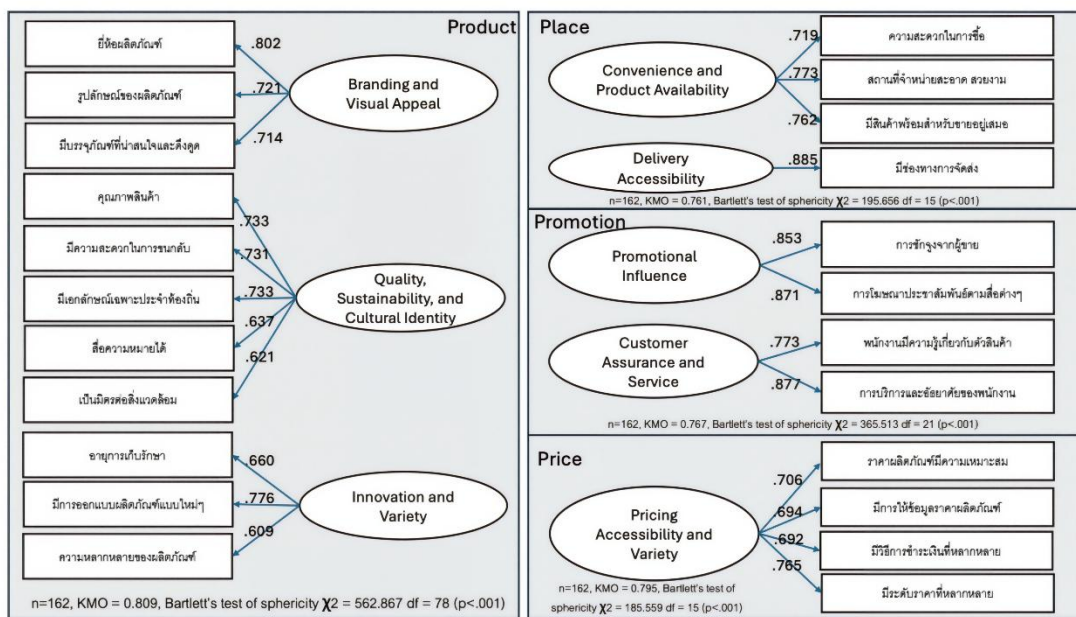
อีกประเด็นสำคัญคือ ความพร้อมของสินค้าในสถานที่จำหน่าย (Product Availability) ซึ่งทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติให้ความสำคัญร่วมกัน ตัวแปรนี้สะท้อนถึงการคาดหวังว่าสินค้าที่นักท่องเที่ยวสนใจจะมีพร้อมสำหรับการซื้ออยู่เสมอ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า Item นี้มีค่าโหลดสูงในทั้งสองกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Lee & Hwang (2020) ที่ระบุว่า การขาดสินค้าในสถานที่จำหน่ายสามารถนำไปสู่ความไม่พอใจของลูกค้าและลดโอกาสในการซื้อซ้ำในอนาคต

นอกจากนี้ ความสะดวกของการจัดแสดงสินค้าในร้านค้า (Store Presentation) ยังเป็นปัจจัยที่นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะการมีวิธีจัดแสดงสินค้าที่ทำให้ลูกค้าสามารถมองเห็นรายละเอียดสินค้าได้ง่ายและดึงดูดใจ ผลการศึกษานี้คล้ายคลึงกับงานของ Reisinger & Turner (2003) ที่ระบุว่า การจัดวางสินค้าอย่างมีระบบและน่าสนใจช่วยเพิ่มประสบการณ์การช้อปปิ้งและส่งเสริมการซื้อของลูกค้า

ด้าน Promotion (การส่งเสริมการตลาด) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า ทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการชักจูงใจในการซื้อและการให้บริการที่เป็นมิตรและมีอาชีพ อย่างไรก็ตาม แต่ละกลุ่มมีลำดับความสำคัญในปัจจัยที่แตกต่างกัน ซึ่งสะท้อนถึงความคาดหวังและประสบการณ์การซื้อสินค้าที่ต่างกัน

นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญกับทั้ง Promotional Influence และ Customer Assurance and Service อย่างสมดุล โดยเฉพาะในมิติของ การบริการที่สร้างความมั่นใจให้ลูกค้า เช่น การรับประกันสินค้าและการบริการที่ดีจากพนักงานขาย ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปร "พนักงานมีความรู้เกี่ยวกับสินค้า" และ "การรับประกันสินค้า" เป็นปัจจัยสำคัญที่กระตุ้นความมั่นใจในการตัดสินใจซื้อสินค้า ข้อมูลนี้สอดคล้องกับงานของ Zhang et al. (2021) ที่ระบุว่า การให้ข้อมูลสินค้าอย่างมีอาชีพและการบริการลูกค้าที่ยอดเยียมช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นของผู้บริโภค และยังช่วยสร้างประสบการณ์ที่น่าพึงพอใจในระยะยาว นอกจากนี้ การบริการที่ดีและมีมิตรภาพจากพนักงานขายยังเป็นอีกหนึ่งตัวแปรสำคัญในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทย ซึ่งสะท้อนถึงวัฒนธรรมการซื้อที่เน้นความสัมพันธ์ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย

ในขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับ Promotional Influence อย่างเด่นชัด โดยเฉพาะการโฆษณาประชาสัมพันธ์และการชักจูงจากผู้ขาย ผลการศึกษาพบว่า ตัวแปร "การโฆษณาประชาสัมพันธ์



ภาพที่ 3 องค์ประกอบเชิงสำรวจของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก

ตามสื่อต่างๆ" มีค่าไหลสูงสุด ในกลุ่มชาวต่างชาติ ซึ่งบ่งชี้ว่านักท่องเที่ยวต่างชาติมักพึ่งพาการรับรู้และข้อมูลที่ได้รับจากการโฆษณาและการประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทางต่างๆ เช่น สื่อออนไลน์ โซเชียลมีเดีย และสื่อสิ่งพิมพ์ งานของ Kim et al. (2019) สนับสนุนผลการศึกษานี้ โดยชี้ให้เห็นว่าการใช้โซเชียลมีเดียเป็นช่องทางสำคัญในการสร้างการรับรู้และกระตุ้นความสนใจในสินค้าของที่ระลึก โดยเฉพาะในกลุ่มนักท่องเที่ยวต่างชาติที่มักค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าก่อนการซื้อ

อีกมิติที่น่าสนใจคือ การชักจูงจากผู้ขาย ซึ่งมีความสำคัญทั้งในกลุ่มชาวไทยและชาวต่างชาติ แต่ในเชิงพฤติกรรม การชักจูงนี้มีผลต่อกลุ่มชาวต่างชาติมากกว่า เนื่องจากการสร้างประสบการณ์ใหม่หรือการแนะนำสินค้าโดยตรงจากผู้ขายในพื้นที่สามารถเพิ่มความน่าสนใจและกระตุ้นความอยากซื้อได้ ผลนี้สอดคล้องกับงานของ Wang et al. (2021) ที่ระบุว่า การชักจูงจากผู้ขายช่วยสร้างความไว้วางใจและเพิ่มโอกาสในการซื้อสินค้า โดยเฉพาะในตลาดที่นักท่องเที่ยวไม่คุ้นเคยกับสินค้าหรือวัฒนธรรมการซื้อ

นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญกับการรับประกันสินค้านานกว่านักท่องเที่ยวต่างชาติ เนื่องจากนักท่องเที่ยวชาวไทยมีแนวโน้มพิจารณาถึงการใช้งานและความคุ้มค่าในระยะยาว จึงมองว่าการรับประกันสินค้าเป็นปัจจัยที่ช่วยสร้างความมั่นใจต่อคุณภาพและความทนทานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Kotler และ Keller (2012) ที่ระบุว่าความมั่นใจในคุณภาพเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้า ในทางกลับกัน นักท่องเที่ยวต่างชาติไม่ได้ให้ความสำคัญต่อการรับประกันสินค้า เนื่องจากแรงจูงใจหลักในการซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกมุ่งเน้นไปที่คุณค่าเชิงอารมณ์และความหมายเชิง

สัญลักษณ์ของสินค้าที่สะท้อนความทรงจำหรือประสบการณ์จากการท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Swanson และ Timothy (2012) และ Wang et al. (2021) ที่ชี้ว่านักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับความเป็นเอกลักษณ์และคุณค่าทางวัฒนธรรมมากกว่าฟังก์ชันการใช้งานจริง

6.1 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ

จากผลการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกในกลุ่มนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ พบว่าองค์ประกอบสำคัญที่ผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญ ได้แก่ ด้านผลิตภัณฑ์ (Product), ราคา (Price), ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) และการส่งเสริมการตลาด (Promotion) โดยในแต่ละองค์ประกอบมีความเหมือนและความแตกต่างในความคาดหวังและพฤติกรรมซื้อของทั้งสองกลุ่ม ซึ่งผู้ประกอบการสามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาปรับกลยุทธ์และแนวทางปฏิบัติให้สอดคล้องกับความต้องการที่หลากหลายดังนี้

ด้านผลิตภัณฑ์ (Product) ผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญกับ คุณภาพสินค้า และ การออกแบบที่สร้างสรรค์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติเห็นพ้องต้องกัน อย่างไรก็ตาม นักท่องเที่ยวชาวไทยมีความคาดหวังต่อ เอกลักษณ์เฉพาะถิ่น ในผลิตภัณฑ์ เช่น สินค้าที่สะท้อนวัฒนธรรมท้องถิ่นหรือภูมิปัญญาชาวบ้าน ขณะที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติให้ความสำคัญกับ คุณค่าทางวัฒนธรรมและความยั่งยืน เช่น ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมหรือแสดงถึงความยั่งยืนทางสังคมและเศรษฐกิจ ผู้ประกอบการควรพัฒนาสินค้าที่ผสมผสานคุณลักษณะเหล่านี้ เช่น การใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การออกแบบที่สะท้อนวัฒนธรรมท้องถิ่น และการเพิ่มความน่าสนใจผ่านนวัตกรรมใหม่ๆ เพื่อเพิ่มความดึงดูดใจและตอบสนองความต้องการของทั้งสองกลุ่มลูกค้า

ด้านราคา (Price) ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการกำหนดราคาที่เหมาะสมและโปร่งใสเป็นสิ่งสำคัญสำหรับทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ อย่างไรก็ตาม กลุ่มชาวไทยคาดหวัง ราคาสินค้าที่หลากหลายเพื่อรองรับความต้องการในหลายระดับ เช่น ราคาที่เหมาะสมสำหรับการซื้อจำนวนมากเพื่อเป็นของฝาก ในขณะที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติมุ่งเน้นไปที่ ความยืดหยุ่นในการชำระเงิน เช่น การรองรับเทคโนโลยีการชำระเงินแบบดิจิทัล (QR Code, e-wallet) และการเปรียบเทียบราคากับผลิตภัณฑ์ที่คล้ายกัน ผู้ประกอบการควรพัฒนาระบบการตั้งราคาที่มีหลายระดับเพื่อเข้าถึงกลุ่มลูกค้าต่างๆ รวมถึงให้ข้อมูลราคาที่ชัดเจนและเข้าใจง่ายผ่านป้ายราคาและช่องทางออนไลน์ และพัฒนาช่องทางการชำระเงินที่รองรับความต้องการของนักท่องเที่ยวต่างชาติ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการซื้อสินค้า

ด้านสถานที่จำหน่าย (Place) นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญกับ ความสะดวกในการเข้าถึง และ บรรยากาศของสถานที่จำหน่าย เช่น การมีที่จอดรถ การจัดแสดงสินค้าที่น่าสนใจ และความสะอาดของร้านค้า

ผู้ประกอบการควรปรับปรุงสถานที่จำหน่ายให้เหมาะสม เช่น การออกแบบร้านให้สะดวกในการเดินทางและมีบรรยากาศที่ดึงดูดใจ ขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับ ช่องทางการจัดส่งสินค้า เช่น การจัดส่งถึงที่พักหรือการจัดส่งระหว่างประเทศ ผู้ประกอบการควรเพิ่มบริการจัดส่งสินค้าและพัฒนาระบบติดตามการจัดส่งที่มีประสิทธิภาพ เช่น การให้บริการจัดส่งผ่านแอปพลิเคชันหรือการจัดส่งที่สามารถเลือกสถานที่รับสินค้าได้ เพื่อสร้างความสะดวกและเพิ่มความพึงพอใจให้กับกลุ่มลูกค้าต่างชาติ

ด้านการส่งเสริมการตลาด (Promotion) นักท่องเที่ยวชาวไทยให้ความสำคัญกับ การบริการที่สร้างความมั่นใจ เช่น การรับประกันสินค้าและการให้บริการจากพนักงานขายที่เป็นมิตรและมีความรู้เกี่ยวกับสินค้า ขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับ การประชาสัมพันธ์และการชักจูงใจผ่านผู้ขาย ผู้ประกอบการควรพัฒนากลยุทธ์การฝึกอบรมพนักงานขายให้มีความเชี่ยวชาญในตัวสินค้าและสามารถตอบคำถามลูกค้าได้อย่างมืออาชีพ นอกจากนี้ ควรเพิ่มการประชาสัมพันธ์สินค้าผ่านช่องทางที่ชาวต่างชาติสามารถเข้าถึงได้ เช่น โซเชียลมีเดีย เว็บไซต์การท่องเที่ยว หรือการรีวิวผลิตภัณฑ์ผ่านแพลตฟอร์มต่างๆ รวมถึงการจัดกิจกรรมในสถานที่จำหน่ายเพื่อแนะนำสินค้าใหม่ๆ หรือให้ลูกค้าได้สัมผัสประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสินค้าโดยตรง

จากผลการศึกษา ผู้ประกอบการควรปรับกลยุทธ์ในแต่ละองค์ประกอบ (Product, Price, Place, Promotion) ให้สอดคล้องกับความคาดหวังของนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ โดยการผสมผสานระหว่างการพัฒนาคุณภาพสินค้า การกำหนดราคาที่เหมาะสม การสร้างช่องทางการจัดจำหน่ายที่สะดวก และการประชาสัมพันธ์สินค้าที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมาย จะช่วยเพิ่มโอกาสในการดึงดูดลูกค้าและสร้างความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของที่ระลึก ซึ่งจะส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อและเพิ่มความสำเร็จในธุรกิจได้ในระยะยาว

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ข้อค้นพบที่สำคัญ คือ ปัจจัยทางการตลาดทั้ง 4P's (Product, Price, Place, Promotion) มีความสำคัญต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกทั้งในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทยและนักท่องเที่ยวต่างชาติ แต่มีความแตกต่างกัน เช่น นักท่องเที่ยวไทยให้ความสำคัญกับการรับประกันสินค้าและความสะดวกในการเข้าถึงสินค้า ขณะที่นักท่องเที่ยวต่างชาติให้ความสำคัญกับคุณค่าทางวัฒนธรรม ความยั่งยืน และความสะดวกด้านช่องทางการจัดจำหน่ายมากกว่า ดังนั้นในอนาคตควรมีการศึกษาที่ลงลึกในประเด็นเฉพาะ เช่น การวิเคราะห์ปัจจัยด้านอารมณ์ ความผูกพันทางวัฒนธรรม (Cultural Attachment) และคุณค่าทางจิตวิทยา (Psychological Value) ที่มีผลต่อการซื้อของที่ระลึกในแต่ละกลุ่มนักท่องเที่ยว นอกจากนี้ ควรขยายการศึกษาไปยังพื้นที่ท่องเที่ยวที่มีความหลากหลายทางวัฒนธรรมและกลุ่มเป้าหมายนักท่องเที่ยวที่แตกต่างกัน เช่น แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ (Eco Tourism) หรือแหล่งท่องเที่ยวเชิงสร้างสรรค์ (Creative Tourism) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างด้านปัจจัยการตัดสินใจซื้อในบริบทต่าง ๆ อีกทั้งควร

ศึกษาผลกระทบของเทคโนโลยีดิจิทัล การตลาดออนไลน์ และสื่อสังคมออนไลน์ ที่มีต่อกระบวนการตัดสินใจซื้อ โดยเฉพาะในกลุ่มนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่ (Millennials และ Gen Z) ซึ่งมีพฤติกรรมการซื้อที่อิงข้อมูลและรีวิวจากแพลตฟอร์มออนไลน์เป็นหลัก

6.3 ข้อจำกัดในการศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้สามารถอธิบายปัจจัยทางการตลาด (4P's) ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของธุรกิจในกลุ่มนักท่องเที่ยวไทยและชาวต่างชาติอย่างชัดเจน แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการที่อาจส่งผลกระทบต่อความและการทั่วไปผลการศึกษา ข้อจำกัดด้านพื้นที่วิจัยซึ่งครอบคลุมเพียงบางแหล่งท่องเที่ยว อาจทำให้ผลลัพธ์สะท้อนพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวเฉพาะในบริบทนั้นๆ และไม่สามารถแทนที่พฤติกรรมในพื้นที่ท่องเที่ยวอื่นที่มีลักษณะทางเศรษฐกิจ วัฒนธรรม และโครงสร้างตลาดแตกต่างกันได้ นอกจากนี้การเก็บข้อมูลด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) อาจมีข้อจำกัดในการเป็นตัวแทนของประชากรนักท่องเที่ยวทั้งหมด เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่เลือกอาจมีคุณลักษณะเฉพาะบางประการที่แตกต่างจากนักท่องเที่ยวทั่วไป ข้อจำกัดเหล่านี้ อาจทำให้การสรุปผลในเชิงเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มนักท่องเที่ยวมีความแม่นยำลดลง และควรพิจารณาอย่างรอบคอบเมื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในบริบทที่แตกต่างกัน

เอกสารอ้างอิง

- Anupongpat, N., Ploypathom, P., Sommung, C., Somphong, T., Namegne, P., Sukkomsoiwi thee, S., Wantung, A., Suwannanusorn, S., & Noosen, A. (2017). *Marketing mix of products and souvenirs for tourists in Koh Kret, Nonthaburi province*. Srinakharinwirot University
- Batra, R., & Kazmi, S. H. H. (2008). *Consumer behavior: Insights from Indian market*. New Delhi: Excel Books.
- Chen, L., Wu, L., & Zhang, X. (2021). Retail environment and consumer satisfaction. *Journal of Retail and Consumer Services*, 59, 102376. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2021.102376>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2010). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Han, J., Song, H., & Chung, J. (2022). Digital payment adoption in tourism settings. *Journal of Travel Research*, 61(2), 121–135. <https://doi.org/10.1177/0047287521998033>

- Hsu, C. H. C. & Kang, S. K. (2007). CHAID-based Segmentation: International Visitors' Trip Characteristics and Perceptions. *Journal of Travel Research* 46(2): 207–216.
- Kim, H., Lee, S., & Choi, J. (2019). Social media marketing in cultural tourism. *Tourism Management Perspectives*, 31, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2019.03.007>
- Kotler, P., & Keller, K. L. (2012). *Marketing management* (14th ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Lee, K., & Hwang, S. (2020). The impact of product availability on repurchase intentions. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, 42, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2020.01.007>
- Madhyamapurush, W., Saksirikhun, P., & Smerchuar, N. (2021). Marketing mix factors affecting the purchase of cultural souvenirs by Thai consumers in Phayao province, Thailand. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, 24(S1), 1-8.
- Nguyen, H., Tran, Q., & Pham, L. (2020). The role of product design in consumer purchase decisions. *International Journal of Marketing*, 35(5), 89–102.
- Park, S., Cho, H., & Lee, J. (2020). Pricing transparency and its impact on consumer trust. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 25(4), 303–317. <https://doi.org/10.1080/10941665.2020.1717549>
- Reisinger, Y., & Turner, L. (2003). *Cross-cultural behaviour in tourism: Concepts and analysis*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sathiankomsorakrai, T., & Suwan, P. (2023). *The development of tourism souvenir products with the innovation for enhancing the value of local resources*. *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 8(2), 412-428. Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thailand
- Soonsan, N., & Makka, P. (2017). Marketing Mix Approaches in Behavioural Intention to Souvenir-purchase: A Comparative Study between Thai and Chinese Tourists. *Humanities, Arts and Social Sciences Studies*, 17(2), 175–202. <https://doi.org/10.14456/sujsha.2017.8>
- Solomon, M. R. (2015). *Consumer behavior: Buying, having, and being* (11th ed.). Boston, MA: Pearson.

- Su, L., Lai, Z., & Huang, Y. (2023). How do tourism souvenir purchasing channels impact tourists' intention to purchase? The moderating role of souvenir authenticity. *Journal of Travel Research*. Advance online publication
- Swanson, K. K., & Timothy, D. J. (2012). Souvenirs: Icons of meaning, commercialization and commoditization. *Tourism Management*, 33(3), 489–499. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.10.007>
- Thongkhot, Y., Soonthornchai, A., & Phothani, S. (2015). The marketing development of local souvenirs: A case study of MI-KHID's OTOP of Udonthani province. Proceedings of the Hatyai National Conference, 6, 29–38. Hatyai University
- Wang, J., Lin, C., & Huang, X. (2021). Cultural souvenirs and consumer satisfaction: A tourism perspective. *Journal of Consumer Research*, 48(3), 45–62. <https://doi.org/10.1093/jcr/ucab023>
- Yoopetch, C. (2017). THE DETERMINANTS OF SOUVENIR SHOPPING SATISFACTION OF INTERNATIONAL. *วารสารปัญญาวิวัฒน์*, 9, 1–13. สืบค้น จาก <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/pimjournal/article/view/107275>
- Zhang, Y., Li, R., & Xu, W. (2021). Professional service and consumer confidence in tourism. *Journal of Destination Marketing & Management*, 20, 100636. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2021.100636>

การจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีน

**Supply Chain Management of Fresh Durian Export from Thailand to
People's Republic of China**

ธีรวัฒน์ พิมพ์พวง* และ ศักรินทร์ นนทพจน์

Teerawat Pimpuang* and Sakkarin Nonthapot

หลักสูตรเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ระหว่างประเทศและการท่องเที่ยว คณะสหวิทยาการและบัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย 43000

Master of Economics Program in International and Tourism Economics, Faculty of Interdisciplinary Studies and

Graduate School, KhonKaen University, Nong Khai Campus 43000

*Corresponding author E-mail: teerawatpimpuang@kkumail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคของการจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีน และ 2) ศึกษาและเปรียบเทียบต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดทางบก และทางทะเล ใช้การวิจัยเชิงคุณภาพในการศึกษาปรากฏการณ์วิทยา รวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้างและแบบเจาะลึก พร้อมการสังเกตแบบมีส่วนร่วมจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ (KIs) นำมาวิเคราะห์เนื้อหา และใช้วิธีถ่วงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighing Average) โดยพิจารณาต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งในอัตราส่วน 50:50 เพื่อประเมินเส้นทางการขนส่งทุเรียนสดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการ

จากการศึกษา พบว่า ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ระดับต้นน้ำ คือ เกษตรกร, ระดับกลางน้ำ ได้แก่ โรงคัดบรรจุ(ลัง) ผู้ให้บริการโล-จิสติกส์ ด้านตรวจพืช กรมศุลกากร สำนักงานพาณิชย์จังหวัด และกรมการค้าระหว่างประเทศ และระดับปลายน้ำ ได้แก่ ผู้กระจายสินค้า ผู้บริโภค และกรมศุลกากรจีน โดยการขนส่งทางบกเป็นตัวเลือกอันดับแรก ตามด้วยการขนส่งทางทะเล มีประเทศเวียดนาม มาเลเซีย และฟิลิปปินส์เป็นคู่แข่งหลัก ด้านต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ทางบกและทางทะเลจากจันทบุรีต่ำกว่าชุมพร ด้านต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานระยะเวลาส่งมอบน้อยที่สุด 3 วัน จากทางบกจันทบุรีไปด่านโหมฮาน (R3A) และระยะเวลาส่งมอบนานที่สุด 9 วัน จากทางทะเลชุมพรไปท่าเรือหนานซาและเสอโซ่ว เส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการขนส่ง

คือ เส้นทางบกจากจันทบุรีไปด่านโมฮาน (R3A) มีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักต่ำสุด 0.1970

คำสำคัญ : ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์, โรงคัดบรรจุ (ล้ง), ต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทาน

ได้รับเมื่อ 24 พฤษภาคม 2568; แก้ไขเมื่อ 1 สิงหาคม 2568; ตอรับการตีพิมพ์เมื่อ 11 สิงหาคม 2568

Abstract

This Research aims to 1) study the current situation, challenges, and barriers in the supply chain management of fresh durian exports from Thailand to the People's Republic of China, 2) Study and compare the cost of logistics and supply chain management by inland and sea routes of transportation. A qualitative approach was employed in this study, utilizing phenomenological analysis. Data collections were made through semi-structured, in-depth interviews and participatory observations from key informants (KIs) to examine the content analysis. The weighted average method was used to analyze the findings and identify the most efficient fresh durian transportation route, serving as a guideline for entrepreneurs. The cost and transit time were considered, with a weighting ratio of 50:50 to evaluate.

According to studies, the research results found that Upstream stakeholders included farmers. Midstream comprised packing houses (Lóng), logistics providers, plant inspection offices, customs, and relevant ministries. Downstream involved distributors, consumers, and Chinese customs. Inland transportation was priority, followed by Sea transportation. Competitor nations were Vietnam, Malaysia, and the Philippines. The cost of logistics showed that both Inland and Sea transportation from Chanthaburi were cheaper than from Chumphon. The cost of the supply chain showed the shortest delivery was 3 days from the Inland route Chanthaburi to Mohan border, and the longest was 9 days from the Sea route Chumphon to Shekou and Nansha port. The most efficient transportation was from Chanthaburi to the Mohan border (R3A) with the lowest weighted average of 0.1970.

Keywords: Logistics cost management, Packing house (Lóng), Supply chain cost management

Received: June 24, 2025; Revised: August 1, 2025; Accepted: August 11, 2025

1. บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ที่ส่งผลกระทบอย่างรวดเร็วเป็นวงกว้างไปทั่วทุกมุมโลกในระยะเวลาอันสั้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งทางบัญชีการเงิน และค่าเสียโอกาสทางเศรษฐศาสตร์ที่มีอาจประเมินมูลค่าได้ (Buera et al., 2021) ส่งผลกระทบต่อเนื่องและสร้างความไม่มั่นคงแก่ห่วงโซ่อุปทานโลก (Global Supply Chains) เกิดวิกฤตทางเศรษฐกิจในระดับโลก และเป็นชนวนที่เร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและปรับตัวของภาครัฐและเอกชน ภายใต้อิทธิพลของเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งแต่ละประเทศมีนโยบายที่ใช้ในการรับมือที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามนโยบายเหล่านั้นล้วนส่งผลกระทบต่อกิจกรรมทางเศรษฐกิจทั้งในระดับภูมิภาคอย่างชัดเจน (Ulate et al., 2023)

นอกจากผลกระทบจากการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 ประเทศไทยยังได้รับผลกระทบจากกิจกรรมการส่งออกเช่นเดียวกัน เนื่องจากนโยบาย Zero-Covid ของประเทศจีน ทำให้หน่วยงานศุลกากรจีน (General Administration of Customs of China (GACC)) มีมาตรการควบคุมการนำเข้าและส่งออกสินค้าระหว่างประเทศอย่างเข้มงวดเพื่อตรวจหาเชื้อไวรัส เช่น การกักกันผู้ติดเชื้อระหว่างพรมแดนและการปิดด่านนำเข้าส่งออกทางบก การจัดตั้งหน่วยงานตรวจผู้ติดเชื้อและกักกันในเขตท่าเรือ เพื่อป้องกันและชะลอผลกระทบจากการติดเชื้อ เป็นต้น (กองความมั่นคงระหว่างประเทศ สำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ, 2563) ส่งผลให้เกิดการหยุดชะงักของกิจกรรมโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานระหว่างประเทศ และจากสถิติการส่งออกของประเทศไทยไปยังประเทศจีน พบว่า หลังการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ในปี พ.ศ.2563 ชะลอตัวลงกว่าปี พ.ศ.2561 ก่อนเกิดการแพร่ระบาด อันมีนโยบายดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญ แต่ทั้งนี้สินค้าทุเรียนสด มีมูลค่าและปริมาณการส่งออกสวนทางกับสินค้าชนิดอื่นในช่วงระยะเวลาเดียวกัน โดยเพิ่มขึ้นต่อเนื่องในอัตราร้อยละ 1.37, 2.92, 5.16, 8.38, 8.90 และ 11.68 ในปี พ.ศ. 2561 – 2566 (กรมศุลกากร, 2567)

ผลผลิตทุเรียนสดประเทศไทยมีมากที่สุดในจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดชุมพร คิดเป็นร้อยละ 35.80 และ 24.80 ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566) เป็นผลผลิตที่ส่งออกไปยังต่างประเทศมากกว่าการบริโภคภายในประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 - 2565 ในสัดส่วนร้อยละ 65, 63, 55, 72 และ 66 ตามลำดับ โดยตลาดต่างประเทศมีประเทศจีนเป็นตลาดส่งออกอันดับหนึ่ง เติบโตในอัตราร้อยละ 41, 57, 72, 89, 96 ในปี พ.ศ.2561 - 2565 และร้อยละ 97 ในปี พ.ศ.2566 ตามลำดับ (กรมศุลกากร, 2567)

รูปแบบการขนส่ง แบ่งเป็นทางบกร้อยละ 50.97 ทางทะเลร้อยละ 47.59 และอื่นๆ ร้อยละ 1.44 (กรมศุลกากร, 2567) สอดคล้องกับสถิติการส่งออกผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน อย่างไรก็ตามประเทศไทยยังมีอุปสรรคและความท้าทาย แม้ปัจจุบันผ่านพ้นช่วงวิกฤตโควิด-19 แล้ว เนื่องจากตลาดทุเรียนสดในประเทศจีนมีคู่แข่งรายใหม่จากประเทศเวียดนาม มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ และประเทศจีนที่สามารถเพาะปลูกทุเรียนในประเทศได้แล้ว ปัจจุบันประเทศไทยมีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในด้านคุณภาพและ

รสชาติที่เป็นที่นิยมในตลาด แต่มีข้อเสียเปรียบด้านต้นทุนในการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน เมื่อเทียบกับคู่แข่งอย่างเวียดนาม ที่มีลักษณะภูมิประเทศติดกับประเทศจีนและใกล้กับแหล่งกระจายผลไม้ในตลาดยูนิาน กวางซีจ้วง และกวางตุ้ง (ฝ่ายเกษตร ประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นครกว่างโจว, 2560)

จากบริบทดังกล่าว ผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของตลาดส่งออกทุเรียนสดและความท้าทายในอนาคต ดังนั้นจึงมุ่งหมายศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออกทุเรียนสด โดยให้ความสำคัญกับกิจกรรมของการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานอันเป็นกิจกรรมหลักของกระบวนการส่งออก และการศึกษาต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานทั้งทางบกและทางทะเลในปัจจุบัน นำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบโดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเส้นทางขนส่งที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการส่งออก เพื่อเป็นแนวทางให้แก่ผู้ประกอบการกำหนดกลยุทธ์การวางแผนดำเนินงาน และภาครัฐสามารถนำผลการศึกษาไปใช้กำหนดนโยบายสาธารณะ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันปัญหาและอุปสรรคของการจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีน

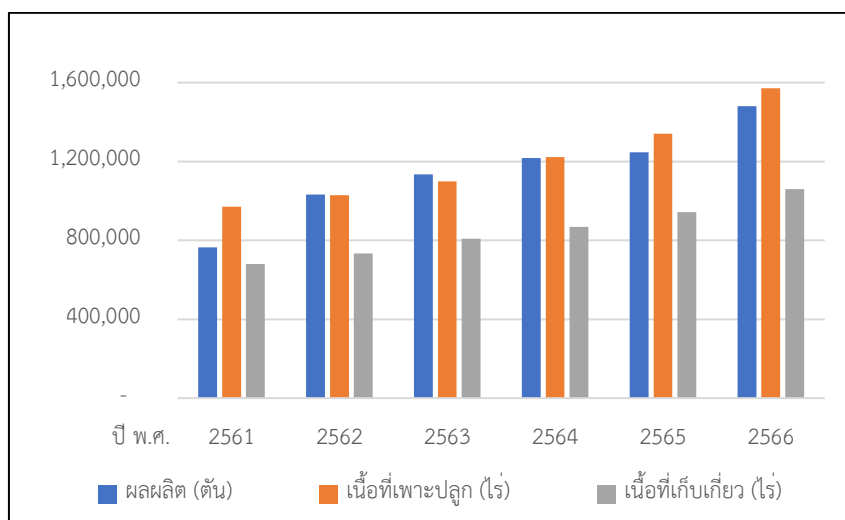
2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีนทางบก และทางทะเล

3. ทบทวนวรรณกรรม

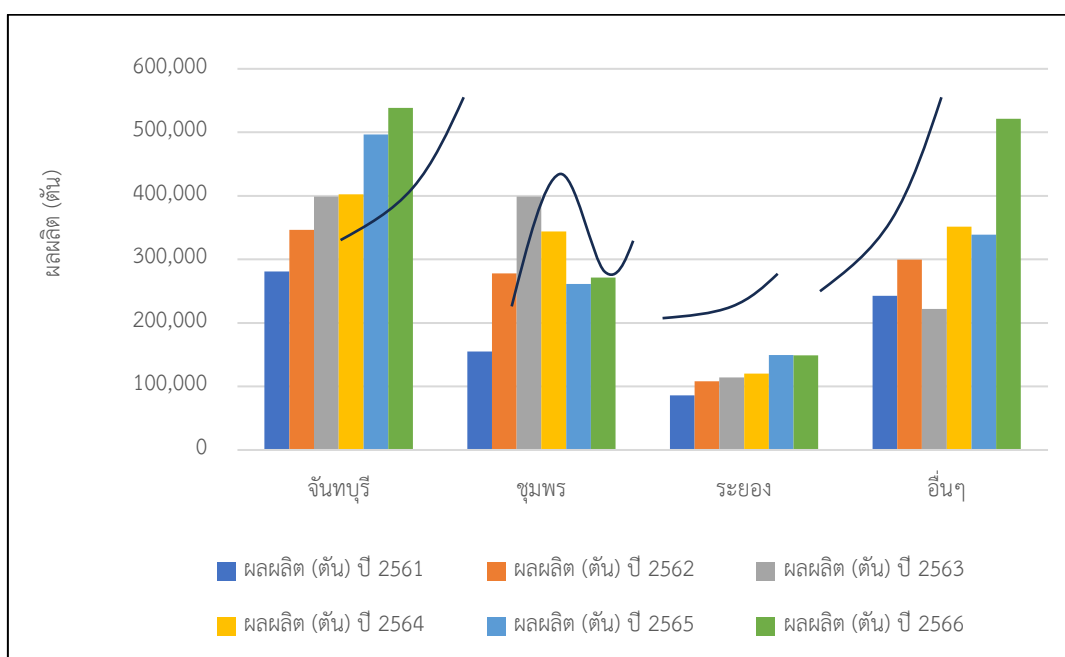
3.1 สภาพปัจจุบันของผลผลิตทุเรียนสดและการตลาดในปัจจุบัน

ลักษณะทางภูมิประเทศและสภาพอากาศอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีความเหมาะสมและให้ผลผลิตได้ดี มีเนื้อที่เพาะปลูกทั่วประเทศตั้งแต่ปี พ.ศ.2561 เท่ากับ 970,726 ไร่, ปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 1,029,458 ไร่, ปี พ.ศ. 2563 เท่ากับ 1,099,228 ไร่, ปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 1,222,913 ไร่, ปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 1,340,692 ไร่ และปี พ.ศ. 2566 เท่ากับ 1,571,162 ไร่ ภาพรวมเฉลี่ยเติบโตต่อเนื้อที่ร้อยละ 10 ต่อปี ด้านปริมาณผลผลิตทุเรียนทั่วประเทศในปี พ.ศ.2561 เท่ากับ 764,304 ตัน, ปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 1,032,196 ตัน, ปี พ.ศ. 2563 เท่ากับ 1,134,790 ตัน, ปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 1,217,700 ตัน, ปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 1,246,098 ตัน และปี พ.ศ. 2566 เท่ากับ 1,480,382 ตัน ภาพรวมเฉลี่ยเติบโตในอัตราลดร้อยละ 15 ต่อปี ตามภาพที่ 1 และจังหวัดที่มีผลผลิตทุเรียนมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ชุมพร และระยอง ตามลำดับ ซึ่งมีผลผลิตในปี พ.ศ.2561 เท่ากับ 280,761 ตัน, 154,773 และ 85,880 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ.2562 เท่ากับ 346,628 ตัน, 277,729 ตัน และ 108,093 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ.2563 เท่ากับ 399,169 ตัน, 399,169 ตัน และ 114,413 ตัน ตามลำดับ, ปี พ.ศ.2564 เท่ากับ 402,357 ตัน, 343,900 ตัน และ 120,080 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ.2565 เท่ากับ 496,760

ตัน, 261,232 ตัน และ 149,234 ตันตามลำดับ และปี พ.ศ.2566 เท่ากับ 538,461 ตัน, 271,470 ตัน และ 148,942 ตันตามลำดับ ภาพรวมผลผลิตเฉลี่ยในจังหวัดจันทบุรี เติบโตต่อเนื่องร้อยละ 35.83, ภาพรวมผลผลิตเฉลี่ยในจังหวัดชุมพร เติบโตในอัตราลดร้อยละ 23.67 ภาพรวมผลผลิตเฉลี่ยในจังหวัดระยองเติบโตต่อเนื่องร้อยละ 10.50 และจังหวัดอื่นๆมีภาพรวมผลผลิตเฉลี่ยเติบโตต่อเนื่องร้อยละ 34.83 ศักยภาพของผลผลิตเกิน 2 แสนตันต่อปีมีเพียงจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดชุมพรตามลำดับ ในภาพที่ 2 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)



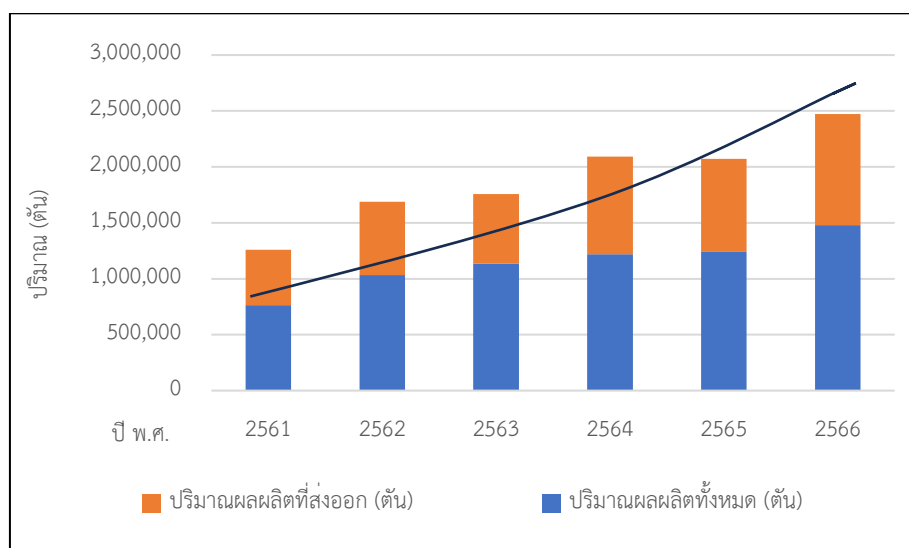
ภาพที่ 1 พื้นที่เพาะปลูก เนื้อที่เก็บเกี่ยว และผลผลิตทั้งหมดในประเทศไทยปี พ.ศ.2561 – 2566



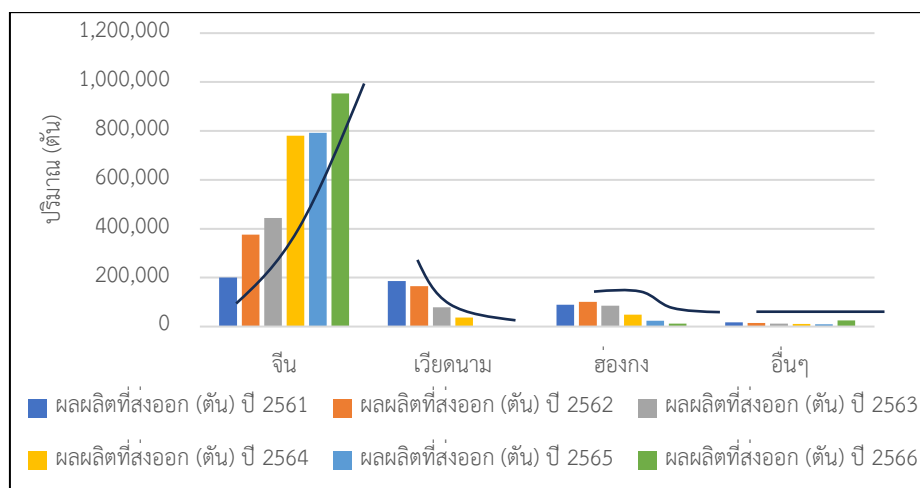
ภาพที่ 2 จังหวัดที่มีผลผลิตทุเรียนมากที่สุดปี พ.ศ.2561 – 2566

3.1.1 การตลาดทุเรียนสดในประเทศไทย

ห่วงโซ่อุปทานทุเรียนสดในประเทศไทยมี เกษตรกรเป็นต้นน้ำ ซึ่งเกษตรกรจำเป็นต้องมีใบรับรอง Good Agriculture Practices (GAP) ในขณะที่โรงคัดบรรจุหรือล้ง เป็นห่วงโซ่อุปทานกลางน้ำ และต้องมีการรับรองมาตรฐาน Good manufacturing practice (GMP) เพื่อขึ้นทะเบียนโรงงานผลิตสินค้าพืชกับกรมวิชาการเกษตร (Department Of Agriculture (DOA)) ตามกระบวนการส่งออก โดยล้งเป็นศูนย์กลางที่ช่วยจัดการซื้อ คัดแยก และบรรจุผลผลิต พร้อมทั้งประสานงานด้านโลจิสติกส์และการส่งออก (กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก, 2563) สัดส่วนปริมาณที่ส่งออกไปยังต่างประเทศเทียบกับการบริโภคภายในประเทศ พบว่า ปี พ.ศ.2561 ส่งออก 494,068 ตัน คิดเป็นร้อยละ 65, ปี พ.ศ. 2562 ส่งออก 655,395 ตัน คิดเป็นร้อยละ 63, ปี พ.ศ. 2563 ส่งออก 620,893 ตัน คิดเป็นร้อยละ 55, ปี พ.ศ. 2564 มีส่งออก 875,150 ตัน คิดเป็นร้อยละ 72, ปี พ.ศ. 2565 ส่งออก 827,090 ตัน คิดเป็นร้อยละ 66 และปี พ.ศ. 2566 ส่งออก 991,577 ตัน คิดเป็นร้อยละ 67 ตามภาพที่ 3 โดยส่วนใหญ่ผลผลิตทุเรียนสดจะถูกส่งออกไปยังประเทศจีน ฮองกง และเวียดนาม ผลผลิตที่ส่งออก ในปี พ.ศ.2561 เท่ากับ 200,907 ตัน 89,615 ตัน และ 186,531 ตัน ตามลำดับ, ปี พ.ศ. 2562 เท่ากับ 375,333 ตัน 101,363 ตัน และ 164,526 ตัน ตามลำดับ, ปี พ.ศ.2563 เท่ากับ 444,411 ตัน 85,663 ตัน และ 79,387 ตัน ตามลำดับ, ปี พ.ศ.2564 เท่ากับ 779,914 ตัน 48,001 ตัน และ 36,227 ตัน ตามลำดับ, ปี พ.ศ.2565 เท่ากับ 791,916 ตัน 23,467 ตัน และ 199 ตัน ตามลำดับ และปี พ.ศ.2566 เท่ากับ 953,831 ตัน 12,614 ตัน และ 269 ตัน ตามลำดับ ตามภาพที่ 4 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)



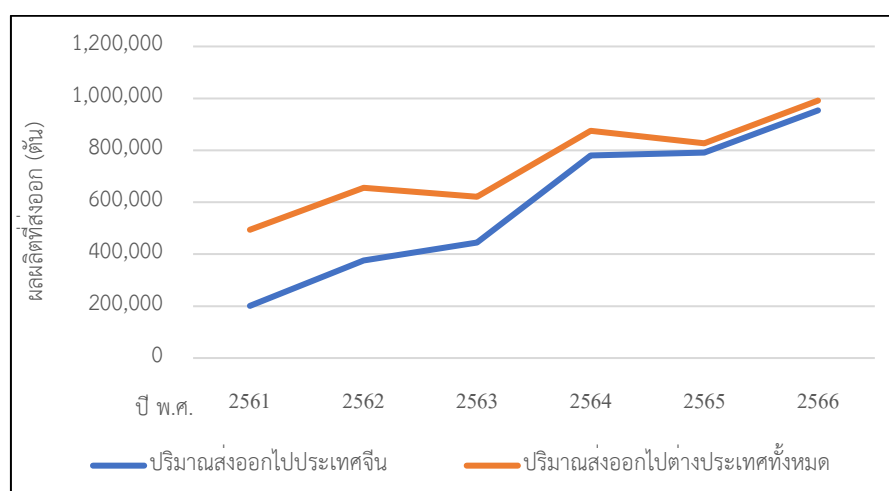
ภาพที่ 3 ผลผลิตทุเรียนสดที่ผลิตได้ทั้งหมดต่อการส่งออก (ตัน) ปี พ.ศ.2561 – 2566



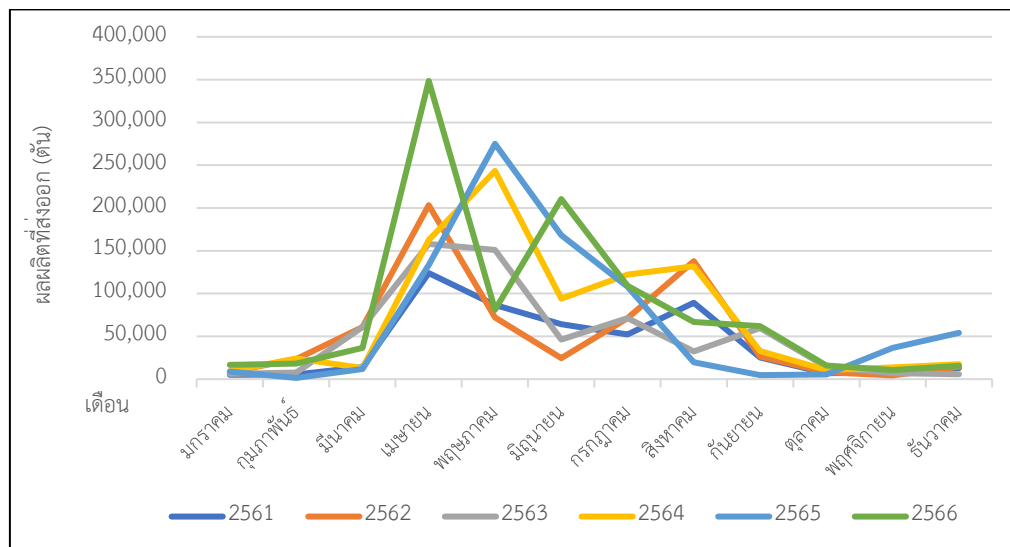
ภาพที่ 4 ประเทศที่ประเทศไทยส่งออกผลผลิตทุเรียนสดมากที่สุดปี พ.ศ.2561 – 2566

3.1.2 ผลผลิตทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน

สัดส่วนผลผลิตทุเรียนสดที่ส่งออกไปยังประเทศจีนเทียบกับปริมาณที่ส่งออกไปต่างประเทศทั้งหมดของประเทศไทย พบว่า ปี พ.ศ.2561 ส่งออกไปยังประเทศจีนร้อยละ 41, ปี พ.ศ.2562 ร้อยละ 57, ปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 72, ปี พ.ศ.2564 ร้อยละ 89, ปี พ.ศ.2565 ร้อยละ 96 และปี พ.ศ.2566 ร้อยละ 97 ตามลำดับตามรูปที่ 5 และผลผลิตที่ส่งออกทุเรียนสดไปยังประเทศจีน ระหว่างปี พ.ศ. 2561 - 2566 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน กล่าวคือมีการเพิ่มขึ้นสูงสุดในเดือนเมษายน ก่อนจะชะลอตัวลงในช่วงปลายเดือน สิงหาคมทุกปีตามช่วงฤดูกาล ตามภาพที่ 6 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2566)



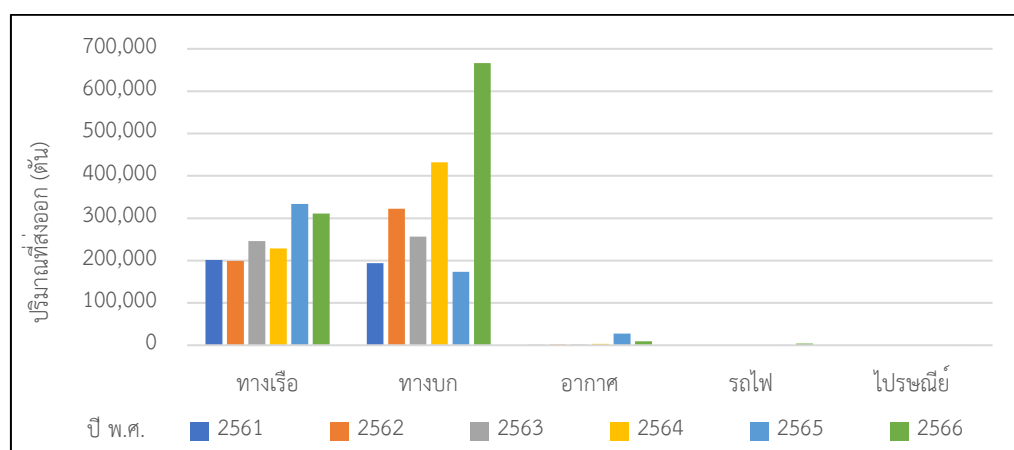
ภาพที่ 5 สัดส่วนปริมาณส่งออกทุเรียนสดไปยังประเทศจีนต่อปริมาณที่ส่งออกไปต่างประเทศทั้งหมด
ปี พ.ศ.2561 – 2566



ภาพที่ 6 ผลผลิตที่ส่งออกทุเรียนสดไปประเทศจีนตามรายเดือนช่วงปี พ.ศ.2561 – 2566

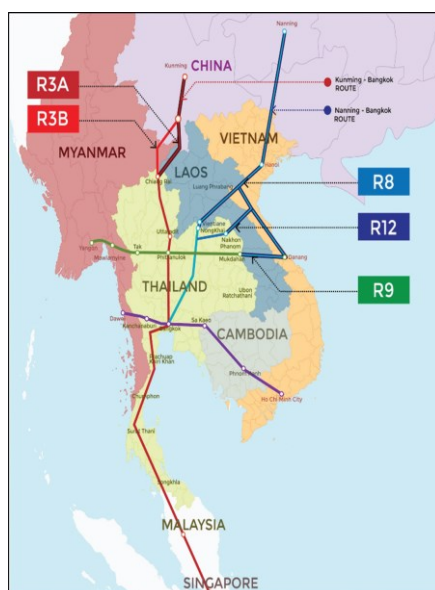
3.1.3 รูปแบบการขนส่งทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน

แบ่งตามลักษณะการขนส่ง ทางทะเล ทางบก ทางอากาศ ในปี พ.ศ.2561 มีปริมาณ 201,631 ตัน 193,934 ตัน และ 1,375 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ. 2562 มีปริมาณ 199,501 ตัน 322,516 ตัน และ 1,665 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ. 2563 มีปริมาณ 245,665 ตัน 256,682 ตัน และ 1,907 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ. 2564 มีปริมาณ 228,844 ตัน 431,728 ตัน และ 3,491 ตันตามลำดับ, ปี พ.ศ. 2565 มีปริมาณ 334,013 ตัน 173,621 ตัน และ 27,277 ตันตามลำดับ และปี พ.ศ. 2566 มีปริมาณ 311,372 ตัน 666,196 ตัน และ 9,546 ตันตามลำดับ ภาพรวมการขนส่งทางทะเลอยู่ที่ร้อยละ 47.59, ทางบกร้อยละ 50.97, ทางอากาศร้อยละ 1.32 และอื่นๆ ร้อยละ 0.12 ตามภาพที่ 7 (กรมศุลกากร, 2567)



ภาพที่ 7 รูปแบบการขนส่งทุเรียนสดจากประเทศไทย ปี พ.ศ.2561 – 2566

เส้นทางขนส่งทางบกตามพิธีสารไทย-จีน ไปยังกว่างซีจ้วง มี 3 เส้นทางตามภาพที่ 13 โดยเส้นทาง R8 เริ่มจากจังหวัดบึงกาฬ – ปากซัน (ลาว) – น้ำพาว (ลาว) – เก้าแ้ว (เวียดนาม) – หลาเซิน (เวียดนาม) ถึงด่านโหย่วอู้กว่าน รวมระยะทาง 879 กิโลเมตร, เส้นทาง R9 เริ่มจากจังหวัดมุกดาหาร – สะหวันเขต (ลาว) – แดนสะหวัน (ลาว) – เหลาเป๋ (เวียดนาม) – หลาเซิน (เวียดนาม) ถึงด่านโหย่วอู้กว่าน รวมระยะทาง 1,131 กิโลเมตร และเส้นทาง R12 เริ่มจากจังหวัดนครพนม – ท่าแขก (ลาว) – นาโพ (ลาว) – ฉ่าลอ (เวียดนาม) – หลาเซิน (เวียดนาม) ถึงด่านโหย่วอู้กว่าน รวมระยะทาง 785 กิโลเมตร (Panichakarn & Pochan, 2023)

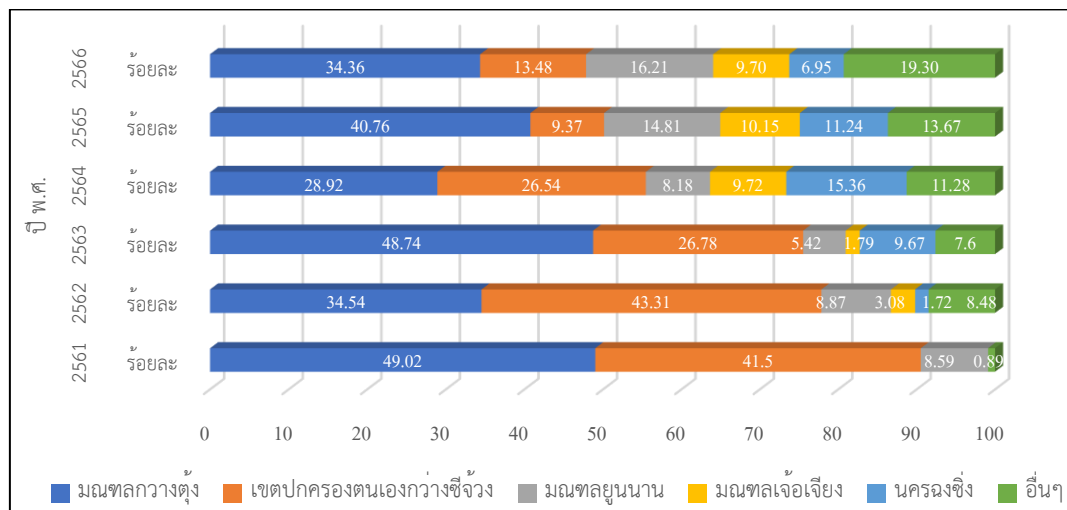


ภาพที่ 8 เส้นทางขนส่งทางบกจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน

Source: Panichakarn & Pochan, 2023

3.1.4 การตลาดของทุเรียนสดไทยในประเทศจีน

มีหน่วยงานศุลกากรจีน หรือ General Administration of Customs of the People's Republic of China (GACC) เป็นหน่วยงานหลักและหน่วยงานเดียวที่รับผิดชอบการกำกับดูแลการนำเข้าทุเรียนสด ตั้งแต่การขออนุญาต การตรวจสอบมาตรฐาน เพื่อความคล่องตัวและอำนวยความสะดวกให้ผู้นำเข้าสินค้าทุเรียนสด โดยการกำกับดูแลจะแบ่งตามเขตปกครองและมณฑลที่นำเข้า สัดส่วนของปริมาณนำเข้าทุเรียนสดจากประเทศไทยในประเทศจีนแบ่งตามมณฑลเขตปกครอง เป็นดังนี้ 1) มณฑลกว่างตง ร้อยละ 39.39, 2) เขตปกครองตนเองกว่างซีจ้วง ร้อยละ 26.83, 3) มณฑลยูนนาน ร้อยละ 10.35, 4) นครฉงชิ่ง ร้อยละ 7.49, 5) มณฑลเจ้อเจียง ร้อยละ 5.74 และมณฑลอื่นๆ ร้อยละ 10.20 ตามลำดับในภาพที่ 9 (ฝ่ายเกษตรประจําสถานกงสุลใหญ่ ณ นครกว่างโจว, 2560)



ภาพที่ 9 สัดส่วนการนำเข้าผลผลิตทุเรียนสดแบ่งตามมณฑลในความรับผิดชอบของหน่วยงาน GACC
ปี พ.ศ.2561 – 2566

3.2 ทฤษฎีการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

3.2.1 การจัดการโลจิสติกส์ (Logistics Management)

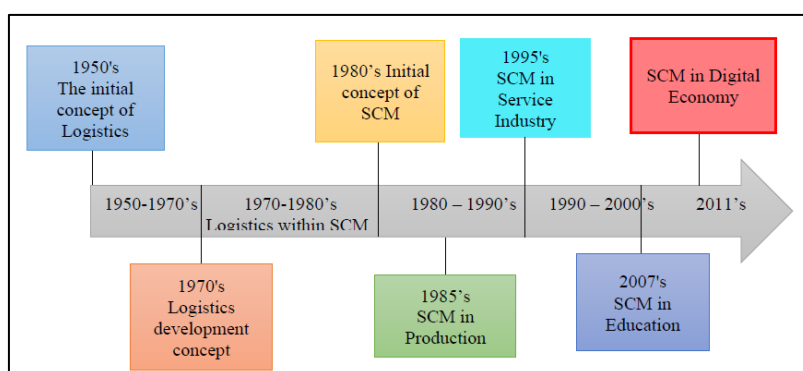
เป็นกระบวนการบริหารและจัดการกับองค์ประกอบการขนส่ง การรวบรวม กระจายสินค้า(การจัดการสินค้าคงคลัง) และการบริหารข้อมูลสารสนเทศ (การติดต่อประสานงาน สื่อสาร) เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า (สลิลาทิพย์ ทิพย์ไกรสร, 2553) และเป็นชุดของกระบวนการในการจัดการเคลื่อนย้ายสินค้าอย่างเหมาะสมจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค รวมถึงการดำเนินงานที่ยั่งยืนในด้านการประมวลผลสินค้า สินค้าคงคลังของผลิตภัณฑ์ และการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของตลาด ตามภาพที่ 10 (Mukhamedjanova, 2020)



ภาพที่ 10 กระบวนการทำงานของโลจิสติกส์

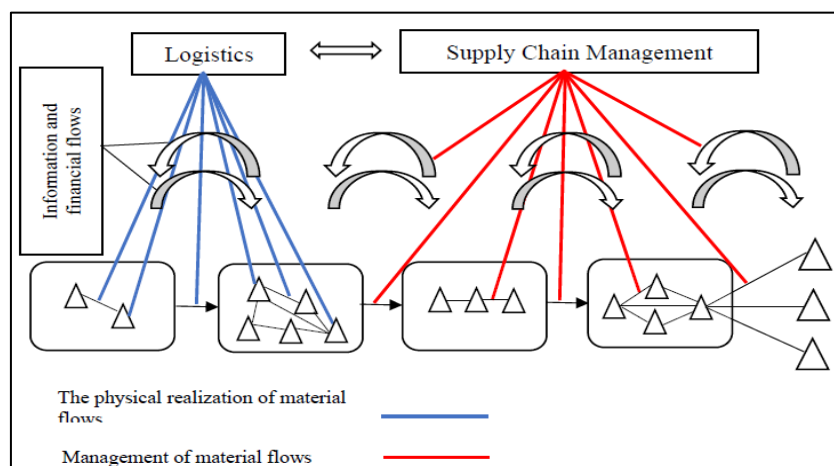
3.2.2 การจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain Management (SCM))

วิวัฒนาการมาจากการจัดการโลจิสติกส์ จัดการกับความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของกิจกรรมทางโลจิสติกส์ SCM มีหน้าที่ในการบูรณาการหน่วยองค์กรเข้ากับห่วงโซ่อุปทานและประสานงานวัสดุ ข้อมูล และกระแสทางการเงินเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าเพื่อปรับปรุงความสามารถในการแข่งขันของห่วงโซ่อุปทานโดยรวม ตามภาพที่ 11 (Mukhamedjanova, 2020) ซึ่งเป็นกระบวนการวางแผน ดำเนินการ และควบคุมการดำเนินงานของห่วงโซ่อุปทานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การจัดการห่วงโซ่อุปทานครอบคลุมการเคลื่อนย้ายและการจัดเก็บวัตถุดิบ สินค้าคงคลัง และสินค้าสำเร็จรูปไปยังจุดบริโภคตามภาพที่ 12 (Mukhamedjanova, 2020)



ภาพที่ 11 วิวัฒนาการของการจัดการซัพพลายเชน

Source: Mukhamedjanova, 2020

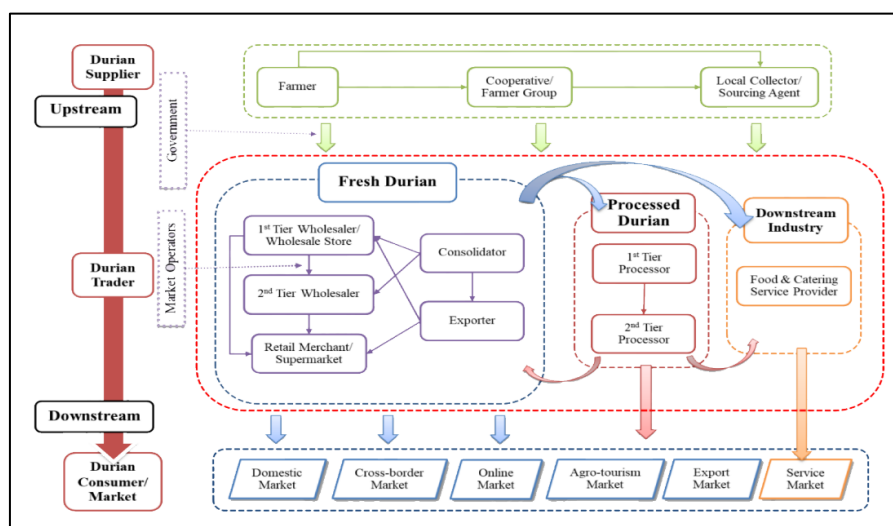


ภาพที่ 12 โครงสร้างของโลจิสติกส์และการจัดการห่วงโซ่อุปทาน

Source: Mukhamedjanova, 2020

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ Siriprasertchok & Panyagometh (2020) พบว่า ระดับของโครงสร้างห่วงโซ่อุปทาน มีกิจกรรมและการไหลของข้อมูลภายในห่วงโซ่อุปทานที่มีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ระดับต้นน้ำ นอกจากเกษตรกรแล้วยังมีการรวมกลุ่มของเกษตรกร เพื่อเพิ่มอำนาจและบทบาทในการต่อรอง ในระดับกลางน้ำ มีกระบวนการรวบรวมผลผลิตจากกลุ่มการค้าขนาดใหญ่ ผู้รวบรวม (ล้ง) และผู้ส่งออกเป็นหลัก และระดับปลายน้ำเป็นกิจกรรมด้านการตลาดและการค้า รวมถึงการบริการ ตามรูปที่ 13 ซึ่งมีผลการศึกษาคล้ายคลึงกับ สุดารัตน์ ศรีจันทร์ และคณะ (2565) เช่นเดียวกับ ดวงใจ ใจละออ (2556) พบว่า สถานภาพและคุณภาพการผลิตทุเรียนไทย มีแหล่งเพาะปลูกหลักอยู่ในภาคตะวันออก และภาคใต้ ผลผลิตจะถูกส่งจากเกษตรกรไปยังพ่อค้าคนกลางหรือผู้รวบรวมผลผลิต มีการจำแนกเพื่อการส่งออกโดยเฉพาะ และส่งไปยังตลาดกลางผลไม้ คือ ตลาดไท และตลาดสี่มุมเมือง และมีการรวบรวมจากตลาดกลางกระจายไปยังตลาดในประเทศและต่างประเทศอีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 13 แผนผังโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนไทย

Source: Siriprasertchok & Panyagometh, 2020

นอกจากนี้ อาริรัตน์ นวลน้อย (2562) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์เพื่อการส่งออกทุเรียนพันธุ์หมอนทองในเขตจังหวัดชุมพร พบว่า พื้นที่ที่ให้ผลผลิตมาก ทำให้ต้นทุนรวมโลจิสติกส์เฉลี่ยน้อยลงและพื้นที่ที่ให้ผลผลิตน้อย ทำให้ต้นทุนรวมโลจิสติกส์เพิ่มมากขึ้น เป็นไปในทิศทางตรงข้ามกัน โดยปัจจัยหลักที่ส่งผลคือ ค่าบรรจุภัณฑ์และค่าตู้คอนเทนเนอร์ ดังนั้นแนวทางในการลดต้นทุนโลจิสติกส์ควรมุ่งเน้นการลด

ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับค่าบรรจุภัณฑ์ และจ้างบริษัทขนส่งภายนอกแทนการขนส่งเองเพื่อลดต้นทุนตู้คอนเทนเนอร์

ผลผลิตทุเรียนสดและการตลาดมีจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดชุมพร เป็นแหล่งกำเนิดผลผลิตทุเรียนสดมากที่สุดตามลำดับ และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีการศึกษาโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนในประเทศไทยเพื่อการส่งออกและปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์คล้ายคลึงกับวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย แต่ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับปรากฏการณ์ทางด้านสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคในการจัดการห่วงโซ่อุปทาน นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างในการศึกษาและเปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานในการแสวงหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเลือกศึกษาเส้นทางขนส่งทางทะเลจากท่าเรือหลักในมณฑลกว่างตุง เนื่องจากเป็นมณฑลที่มีการนำเข้าทุเรียนมากที่สุด ได้แก่ ท่าเรือหนานซา และท่าเรือเสอโซ่ว และศึกษาเส้นทางขนส่งทางบก 2 เส้นทางตามแนวพิธีสารไทย-จีน โดยพิจารณาจากปริมาณการนำเข้าทุเรียนและระยะทางการขนส่ง ได้แก่ เส้นทางบก R12 ในเขตปกครองตนเองกว่างซีจ้วง และเส้นทาง R13 ในมณฑลยูนนานตามลำดับ

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเชิงคุณภาพโดยใช้วิธีปรากฏการณ์วิทยา ศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงกลุ่มเป้าหมาย ผ่านการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างและเชิงลึก และการสังเกตแบบมีส่วนร่วม เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล วิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์เนื้อหาและนำเสนอในรูปแบบพรรณนาและภาพ เพื่ออธิบายและประยุกต์ใช้ในบริบทที่คล้ายคลึงกัน (วงธรรม สรณะ, 2561) โดยมีเกณฑ์การคัดเลือกจากประสบการณ์ทำงานที่เกี่ยวข้องในหน่วยงานของผู้ให้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 2 ปี จำนวน 8 ราย เพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการศึกษาปรากฏการณ์วิทยาซึ่งควรมีอย่างน้อย 6 ราย (Bekele & Ago, 2022)

4.1 ข้อมูลและแหล่งที่มาของข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1.1 แหล่งที่มาทุติยภูมิ เป็นแหล่งข้อมูลที่ได้จากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งเอกสารขั้นต้น (Primary Data) และเอกสารชั้นรอง (Secondary Data) เพื่อศึกษาปรากฏการณ์วิทยาของกระบวนการส่งออก สภาพปัจจุบัน เส้นทางขนส่งและสถิติด้านต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

4.1.2 แหล่งที่มาปฐมภูมิ จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ จากการลงพื้นที่สัมภาษณ์ และจากการสังเกตแบบมีส่วนร่วม เพื่อแสวงหาและตรวจสอบปรากฏการณ์วิทยาในสภาพปัจจุบัน ปัญหา อุปสรรค รวมทั้งต้นทุนในการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลในการวิจัย

4.2 กลุ่มตัวอย่างและวิธีการเก็บข้อมูล ประกอบไปด้วย

4.2.1 หน่วยงานภาครัฐ จำนวน 6 ราย ได้แก่ เจ้าหน้าที่ด่านตรวจพืช 3 ราย จากคนละพื้นที่รับผิดชอบ เนื่องจากเป็นหน่วยงานหลักที่มีความรับผิดชอบในการตรวจสอบคุณภาพทุเรียนสดและการ

อนุญาตให้ส่งออก และเจ้าหน้าที่กรมศุลกากร 3 ราย จากคนละพื้นที่รับผิดชอบ เนื่องจากเป็นหน่วยงานที่มีบทบาทหน้าที่ดูแลด้านการนำเข้าและส่งออกของประเทศ ทั้งนี้ประสบการณ์สูงสุด 7 ปี และต่ำสุด 1 ปี เนื่องจากผู้ให้ข้อมูลบางรายมีการโยกย้ายหน่วยงานที่สังกัด ทำให้ประสบการณ์ในหน่วยงานปัจจุบันไม่เป็นไปตามเงื่อนไข แต่ผู้ให้ข้อมูลมีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานอื่นๆ และสามารถถ่ายทอดข้อมูลในระดับเชิงลึกได้ ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างในประเด็นด้านสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออก และสัมภาษณ์เชิงลึกในประเด็นด้านการจัดการต้นทุนห่วงโซ่อุปทาน

4.2.2 หน่วยงานภาคเอกชน จำนวน 2 ราย ได้แก่ ผู้ประกอบการในกลุ่มผู้ให้บริการโลจิสติกส์ (Logistics Provider) เนื่องจากเป็นผู้ดำเนินงานเกี่ยวกับการนำเข้าและการส่งออก และเป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียระดับกลางน้ำในห่วงโซ่อุปทานการส่งออก ประสบการณ์ด้านการขายและปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการส่งออก รายละเอียด 10 ปี ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยวิธีการสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้างในประเด็นด้านสภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคในการส่งออก และสัมภาษณ์เชิงลึกในประเด็นด้านการจัดการต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

ตารางที่ 1 ผู้ให้ข้อมูลสำคัญแบบมีเกณฑ์คัดเลือกเฉพาะเจาะจง

กลุ่มตัวอย่าง	ผู้ให้ข้อมูลสำคัญ	จำนวน	รหัส	ประสบการณ์ประจำหน่วยงาน
ผู้ให้บริการ โลจิสติกส์	ผู้ประกอบการ	1	E1	10 ปี
		1	E2	10 ปี
หน่วยงานภาครัฐ	เจ้าหน้าที่ด้านตรวจพืช	1	P1	7 ปี
		1	P2	7 ปี
		1	P3	5 ปี
	เจ้าหน้าที่ด้านศุลกากร	1	C1	1 ปี
		1	C2	2 ปี
		1	C3	1.5 ปี

4.3 ขอบเขตการวิจัย

4.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

4.3.1.1 ศึกษาสินค้าทุเรียนสด พิกัดศุลกากร 0810.60.00

4.3.1.2 ศึกษาสภาพปัจจุบัน ปัญหา อุปสรรค และต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

4.3.2 ขอบเขตด้านพื้นที่

4.3.2.1 เส้นทางบก R3A ต้นทางจันทบุรีและชุมพร ไปยังด่านนำเข้าปลายทางโมฮ่าน

4.3.2.2 เส้นทางบก R12 ต้นทางจันทบุรีและชุมพร ไปยังด่านนำเข้าปลายทางไทยอู๊กว่าน

4.3.2.3 เส้นทางทะเลจันทบุรี - ท่าเรือแหลมฉบัง - ท่าเรือเสโอไห่ และท่าเรือหนานชา

4.3.2.4 เส้นทางทะเลชุมพร - ท่าเรือแหลมฉบัง - ท่าเรือเสโอโข้วและท่าเรือหนานชา

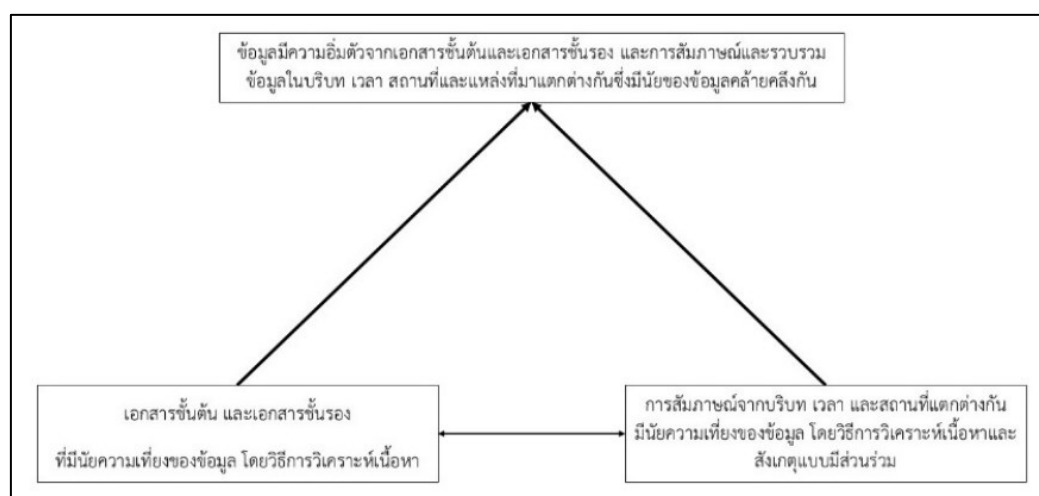
4.4 การตรวจสอบข้อมูล

ผู้วิจัยใช้เครื่องมือตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Data Triangulation) เพื่อตรวจสอบความเที่ยงของข้อมูล (Reliability) โดยการตรวจสอบแหล่งที่มา 3 แหล่ง ได้แก่ เวลา สถานที่ และบุคคลที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.4.1 ตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากแหล่งข้อมูลทั้งเอกสารขั้นต้น เอกสารชั้นรอง ที่มีแหล่งที่มาแตกต่างกันจากหลายๆแหล่ง เพื่อตรวจสอบว่าแหล่งที่มาที่แตกต่างกันข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

4.4.2 ตรวจสอบข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลสำคัญ ว่าเวลาที่ให้ข้อมูลแตกต่างกัน ข้อมูลมีความแตกต่างกันหรือไม่ สถานที่ที่ให้ข้อมูลต่างกันข้อมูลมีความแตกต่างกันหรือไม่ และผู้ให้ข้อมูลเปลี่ยนไปข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

4.4.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดยวิธีการสังเกตแบบมีส่วนร่วมและเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแหล่งของเอกสารที่เกี่ยวข้องที่ผ่านการตรวจสอบข้อมูลแล้ว และข้อมูลที่ได้จากผู้ให้ข้อมูลสำคัญที่ผ่านการตรวจสอบข้อมูลแล้ว มีความเหมือนหรือคลาดเคลื่อนกันอย่างไรเสริมด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) กระทั่งข้อมูลมีความอิ่มตัว (Saturation)



ภาพที่ 14 แสดงเครื่องมือตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Data Triangulation)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

4.5.1 วิเคราะห์เนื้อหา จากการสัมภาษณ์เชิงลึก (Dept interview) ของสภาพปัจจุบัน ปัญหา และอุปสรรคในการจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดทางบก และทางทะเล ใช้วิธีการจัดกลุ่ม และแยกรหัสชุดของข้อมูล นำไปประยุกต์กับแผนผังโครงสร้างของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนไทยของ Siriprasertchok,& Panyagometh, 2020 เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ของห่วงโซ่อุปทานทุเรียนสดเพื่อการส่งออกในปัจจุบัน

4.5.2 วิเคราะห์ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทาน โดยการจัดกลุ่ม และ แยกรหัสชุดของข้อมูล เป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.5.2.1 เปรียบเทียบต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทางบก และทาง ทะเลจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีนในปัจจุบัน

4.5.2.2 ศึกษาเส้นทางการขนส่งทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังสาธารณรัฐประชาชนจีนที่มี ประสิทธิภาพมากที่สุดโดยการประยุกต์ใช้วิธีถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ร่วมกับข้อมูลเชิง คุณภาพเพื่อลดความลำเอียงเชิงอัตวิสัย เพิ่มความเป็นรูปธรรมในการเปรียบเทียบทางเลือกหรือสถานการณ์ ต่าง ๆ จึงได้พัฒนาเกณฑ์การพิจารณา โดยอิงจากต้นทุนและระยะเวลาการขนส่งในสัดส่วน 50:50 ซึ่งช่วยให้ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพในเชิงเปรียบเทียบที่เป็นรูปธรรมมากขึ้น มีขั้นตอนต่อไปนี้

4.5.2.2.1 ปรับหน่วย (Scale) ชุดของข้อมูลด้านระยะเวลาการส่งมอบ และต้นทุน โดยรวมให้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยวิธีการ Min-Max Normalization ตามสมการที่ (1) (Shantal, Othman & Abu Bakar, 2023)

สมการที่ 1 ปรับค่าข้อมูล (Normalization)

$$X_{\text{normalized}} = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

โดยที่:

- X คือ ค่าที่ต้องการปรับหน่วยในชุดข้อมูล
- $X_{\min}$ คือ ค่าต่ำสุดในชุดข้อมูล
- $X_{\max}$ คือ ค่าสูงสุดในชุดข้อมูล

4.5.2.2.2 หาค่า Weighted Average จากการปรับหน่วยของแต่ละชุดข้อมูลตาม สมการที่ (2) (ดารารัตน์ โพธิ์ประจักษ์ และคณะ, 2566) โดยค่าถ่วงน้ำหนักน้อย หมายถึง ประสิทธิภาพ ของเส้นทางการขนส่งนั้นมีมาก และค่าถ่วงน้ำหนักมาก หมายถึง ประสิทธิภาพของเส้นทางการขนส่งนั้น มีน้อย

สมการที่ 2 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average)

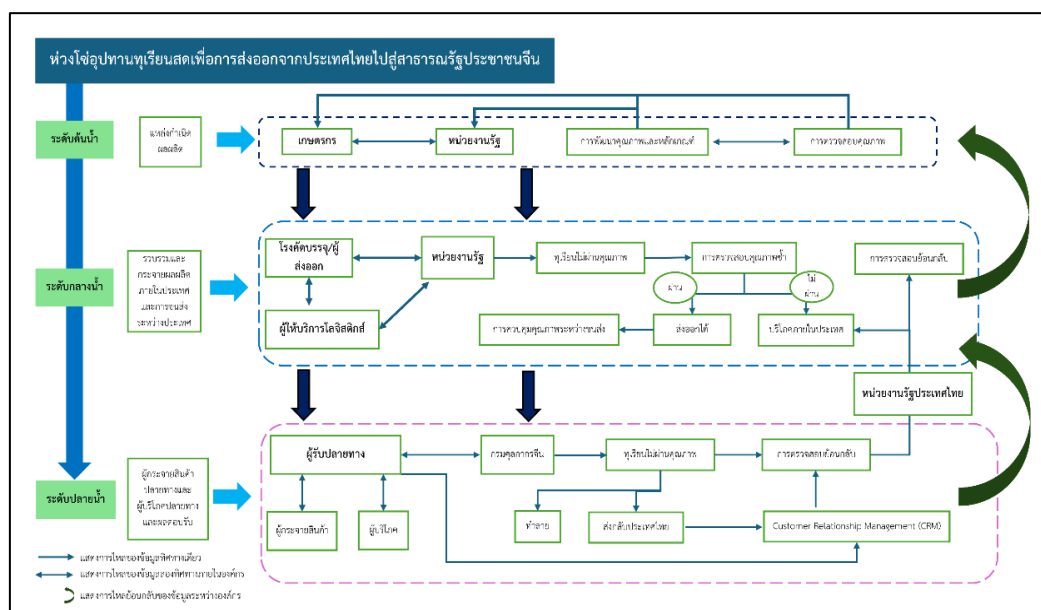
$$\text{Weighted Average} = (W_1 X_{\text{normalized T/T}}) + (W_2 X_{\text{normalized Cost}}) \quad (2)$$

โดยที่:

- W_1 คือ ค่าน้ำหนักของเวลา
- W_2 คือ ค่าน้ำหนักของต้นทุน

5. ผลการวิจัย

5.1 สภาพปัจจุบัน ปัญหา อุปสรรคและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ในกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานเพื่อการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีนโดยการวิเคราะห์เนื้อหาและประยุกต์กับ Schematic Diagram of Thai Durian Supply Chain จาก Siriprasertchok, & Panyagometh (2020) เพื่ออธิบายสภาพปัจจุบันของกิจกรรมห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสด ตามภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงกิจกรรมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในระดับต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ

5.1.1 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียระดับต้นน้ำ คือ เกษตรกรผู้ปลูกทุเรียนสดมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อุปทานการส่งออก เพราะเป็นแหล่งต้นกำเนิดของผลผลิต โดยมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบสองทางกับกรมวิชาการเกษตรในการขอใบรับรอง GAP เพื่อยืนยันแหล่งที่มาและมาตรฐานทุเรียน รวมถึงมีการซื้อขายกับโรงคัดบรรจุ ทำให้เกษตรกรมีอำนาจในการต่อรองราคาต่ำ และบางกรณีมีการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า

5.1.2 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียระดับกลางน้ำ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

5.1.2.1 ผู้รับซื้อและผู้ส่งออกทุเรียน คือ กลุ่มโรงคัดบรรจุหรือล้ง มีบทบาทในการรวบรวม คัดแยก และซื้อทุเรียนสดจากเกษตรกรเพื่อนำไปขายต่อหรือส่งออก ซึ่งล้งทำหน้าที่ซื้อผลผลิตจากเกษตรกร คัดแยก บรรจุ และส่งออก โดยเป็นศูนย์กลางในการซื้อขายผลผลิตทำให้มีอำนาจในการต่อรองราคาผลผลิตมากกว่ากลุ่มเกษตรกร และมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยงานรัฐแบบสองทิศทาง เนื่องจากต้องปฏิบัติตามมาตรฐานและขึ้นทะเบียนกับกรมวิชาการเกษตร กรมการค้าระหว่างประเทศ และกรมศุลกากร และทำหน้าที่เป็นผู้ขายและผู้ส่งออกทุเรียนสดไปยังประเทศจีนด้วยเช่นกัน ในขณะเดียวกันล้งยังเป็นผู้ซื้อบริการจากผู้ให้บริการโลจิสติกส์ เนื่องจากความชำนาญในกระบวนการส่งออก และสามารถตอบสนองความต้องการได้

5.1.2.2 ผู้ให้บริการโลจิสติกส์ มีบทบาทในการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานให้กับองค์กรธุรกิจเป็นหลัก เนื่องจากมีศักยภาพทางการเงินสูงและการบริการที่หลากหลาย เช่น การเงิน การตลาด พันธมิตรและสารสนเทศ เป็นต้น

5.1.2.3 หน่วยงานราชการ มีบทบาทสำคัญในการควบคุมคุณภาพของทุเรียนสดและสื่อสารมาตรฐานเพื่อการส่งออกตั้งแต่ต้นน้ำถึงกลางน้ำของห่วงโซ่อุปทาน เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดของประเทศผู้นำเข้า โดยมีด่านตรวจพืช สังกัดกรมวิชาการเกษตร เป็นหน่วยงานหลักในการกำกับมาตรฐานทุเรียนสดครอบคลุมตั้งแต่การปลูกทุเรียนกระทั่งส่งออกไปยังประเทศปลายทาง นอกจากนี้มีการบูรณาการกับกรมศุลกากรในการตรวจสอบแหล่งที่มาของทุเรียน โดยมีสำนักงานพาณิชย์จังหวัด และกรมการค้าระหว่างประเทศ ทำหน้าที่กำกับดูแลและออกใบอนุญาตรับรองแหล่งกำเนิดสินค้าให้แก่ผู้ส่งออก และประสานความร่วมมือกับจีน เช่น พิธีสารไทย-จีน เพื่อส่งเสริมการส่งออกทุเรียนสด

5.1.3 ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียระดับปลายน้ำ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

5.1.3.1 ผู้กระจายสินค้าทุเรียนสด ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการนำเข้าทุเรียนสดจากประเทศไทย และกระจายทุเรียนสดไปยังภูมิภาคอื่นๆทั่วประเทศจีน ในห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนมักเป็นกลุ่มผู้กระจายทุเรียนสด

5.1.3.1 ผู้บริโภค คือ ผู้ซื้อในประเทศจีนที่ซื้อทุเรียนสดจากตลาดผลไม้หรือห้างสรรพสินค้าที่ผู้กระจายสินค้านำเข้าทุเรียนสดเข้ามาในประเทศจีนเพื่อจำหน่าย

5.1.3.1 หน่วยงานศุลกากรจีน ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพ และมาตรฐานของทุเรียนสดที่นำเข้ามาภายในประเทศก่อนปล่อยถึงมือผู้กระจายทุเรียนสดและผู้บริโภคภายในประเทศให้เป็นไปตามมาตรฐานและทำหน้าที่สื่อสารกับด่านตรวจพืชไทย เมื่อพบทุเรียนสดจากแหล่งรวบรวมในไทยไม่ผ่านมาตรฐานการนำเข้า จะทำการยึดใบอนุญาตทำให้ไม่สามารถนำเข้าทุเรียนสดต่อไปได้

สภาพปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าอำนาจต่อราคาผลผลิตขึ้นอยู่กับองค์กรธุรกิจซึ่งเป็นผู้มีผลผลิตในรวบรวมมากที่สุดและเป็นผู้ส่งออกหลัก ในอนาคตเกษตรกรอาจรวมตัวเป็นการเกษตรแปลงใหญ่เพื่อเพิ่มอำนาจต่อรองและเป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อเพิ่มราคาผลผลิตในสินค้าเกษตรอื่นๆได้ ในขณะที่ผู้ให้บริการโลจิสติกส์มีศักยภาพทางการเงินสูงและความหลากหลายในการให้บริการ ทำให้มีแนวโน้มเกิดการลงทุนในรูปแบบการขนส่งอื่นๆเพื่อรองรับการเติบโตในอนาคตเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการจัดการโลจิสติกส์ที่หลากหลายอย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของภาครัฐให้ความสำคัญในการตรวจสอบแหล่งที่มาของทุเรียนและมาตรฐานในการส่งออกซึ่งมีแนวโน้มของกระบวนการตรวจสอบเพิ่มมากขึ้น และการขยายกรอบความร่วมมือไปยังประเทศคู่ค้าเพื่ออำนวยความสะดวกให้ผู้ส่งออกมากขึ้นเพื่อรองรับการเติบโตในอนาคต

5.2 ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดทางบก และทางทะเล

5.2.1 ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์เพื่อการส่งออกทุเรียนสดทางบก พบว่า ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์การส่งออกทุเรียนสดทางบกจากจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดชุมพร บนเส้นทางขนส่งทางบก R3A และ R12 สามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน ตามตารางที่ 2 ดังนี้

- (1) ต้นทุนค่าขนส่งหรือรถหัวลาก
- (2) ต้นทุนพิธีการส่งออกและข้ามแดน
- (3) ต้นทุนอื่นๆ

ตารางที่ 2 ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ทุเรียนสดเพื่อการส่งออกทางบก

รายละเอียดต้นทุน	ต้นทางจันทบุรี (บาท)		ต้นทางชุมพร (บาท)	
	เส้นทาง R3A	เส้นทาง R12	เส้นทาง R3A	เส้นทาง R12
รถหัวลากและขนส่ง	120,000.00	150,000.00	150,000.00	180,000.00
พิธีการส่งออกและข้ามแดน	20,000.00	40,000.00	20,000.00	40,000.00
รวม (บาท)	140,000.00	190,000.00	170,000.00	220,000.00
ต้นทุนอื่นๆ				
- Overnight Charge	2,500 บาท/วัน/ตู้			
- Electric Charge/Plug Fee	50 บาท/ชั่วโมง/ตู้			

5.2.2 ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ทุเรียนสดเพื่อการส่งออกทุเรียนสดทางทะเล พบว่า ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์การส่งออกทุเรียนสดทางทะเลจากจังหวัดจันทบุรี และจังหวัดชุมพร ไปยังท่าเรือแหลมฉบังถึงท่าเรือปลายทางเสมอโข้ว และหนานชา สามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน ตามตารางที่ 3 ดังนี้

- (1) ต้นทุนค่าระวางเรือและภาระการจัดการทางเรือต้นทาง
- (2) ต้นทุนค่าขนส่งหรือรถหัวลาก
- (3) ต้นทุนพิธีการส่งออกทางเรือ
- (4) ต้นทุนอื่นๆ

5.2.3 ต้นทุนห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนระหว่างทางบก และทางทะเล พบว่า ต้นทุนห่วงโซ่อุปทานของการส่งออกทุเรียนสดคือ ระยะเวลาการส่งมอบ ได้แก่ ระยะเวลา

การจัดเตรียมผลผลิต ระยะเวลาการรอคอยส่งออก ณ ด้านส่งออก รวมถึงระยะเวลาการขนส่งจากด้านส่งออก
ต้นทางไปยังด้านส่งออกปลายทาง ตามตารางที่ 4

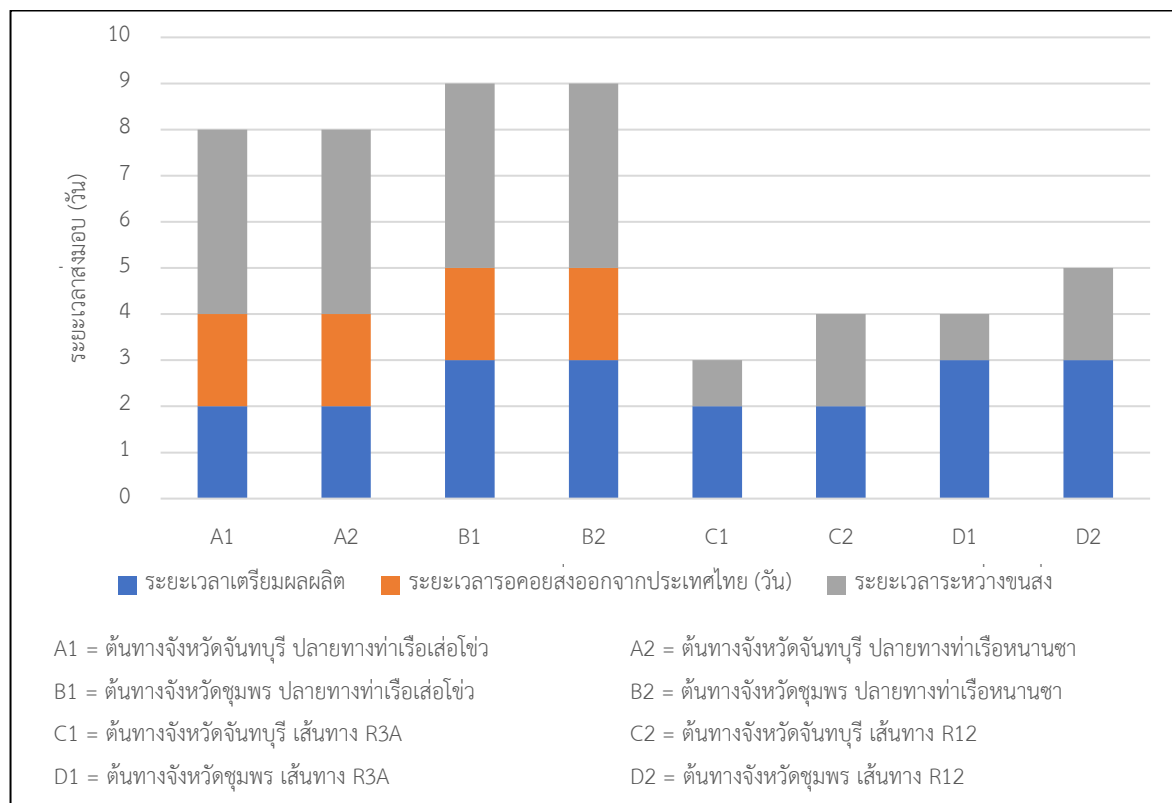
ตารางที่ 3 ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ทุเรียนสดเพื่อการส่งออกทางทะเล

รายละเอียดต้นทุน ปลายทาง	ต้นทางจันทบุรี - ท่าเรือแหลมฉบัง (บาท)		ต้นทางชุมพร - ท่าเรือแหลมฉบัง (บาท)	
	ท่าเรือเสื่อไข่	ท่าเรือหนานชา	ท่าเรือเสื่อไข่	ท่าเรือหนานชา
ระวางเรือ	39,000.00	39,000.00	39,000.00	39,000.00
ภาระการจัดการทางเรือ	10,000.00	10,000.00	10,000.00	10,000.00
ต้นทาง				
รถหัวลาก	28,000.00	28,000.00	40,000.00	40,000.00
ต้นทุนอื่นๆ				
Detention/Demurrage	1,000 บาท/วัน/ตู้			
Carrier Electric Charge	1,000 บาท/วัน/ตู้			
Haulage Electric Charge	250 บาท/ชั่วโมง/ตู้			
Overnight Charge	2,500 บาท/วัน/ตู้			

ตารางที่ 4 ต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานด้านระยะเวลาการส่งมอบทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีน ระหว่างทางบก และทางทะเล

ต้นทาง	ปลายทาง	ระยะเวลาเตรียมผลผลิต (วัน)	ระยะเวลารอคอยส่งออก (วัน)	ระยะเวลารับส่ง (วัน)	รวมระยะเวลาการส่งมอบ (วัน)
จันทบุรี	ด่านโม้ฮาน	2	-	1	3
จันทบุรี	ด่านโหย่วอี๊กวาน	2	-	2	4
ชุมพร	ด่านโม้ฮาน	3	-	1	4
ชุมพร	ด่านโหย่วอี๊กวาน	3	-	2	5
จันทบุรี	ท่าเรือเสื่อไข่	2	2	4	8
จันทบุรี	ท่าเรือหนานชา	2	2	4	8
ชุมพร	ท่าเรือเสื่อไข่	3	2	4	9
ชุมพร	ท่าเรือหนานชา	3	2	4	9

ต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานแตกต่างกันตามเส้นทางและแหล่งกำเนิดผลผลิตต้นทาง โดยเส้นทางทางบกจากจังหวัดจันทบุรีผ่าน R3A และ R12 ใช้เวลาการส่งมอบ 3 และ 4 วันตามลำดับ ขณะที่ต้นทางแหล่งกำเนิดผลผลิตชุมพรผ่าน R3A และ R12 ใช้เวลาการส่งมอบ 4 และ 5 วันตามลำดับ ส่วนการขนส่งทางทะเล ทั้งจากจันทบุรีและชุมพรไปยังท่าเรือเสื่อไข่และหนานชา ใช้เวลา 8 และ 9 วันตามลำดับ โดยแหล่งกำเนิดผลผลิตจันทบุรีใช้เวลาน้อยกว่าแหล่งกำเนิดผลผลิตชุมพร 1 วัน ตามภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานด้านระยะเวลาการส่งมอบทุเรียนสดของแต่ละเส้นทาง

5.3 เปรียบเทียบต้นทุนโลจิสติกส์และต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนทางบก และทางทะเล

ต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์และต้นทุนห่วงโซ่อุปทานทางบกมีต้นทุนสูงกว่าการจัดการห่วงโซ่อุปทานทางทะเล แต่มีความได้เปรียบในด้านระยะเวลาการขนส่งน้อยกว่า และมีความผันผวนน้อยกว่าต้นทุนทางทะเล ตามภาพที่ 17

5.3.1 เส้นทางขนส่งทุเรียนสดจากประเทศไทยไปยังประเทศจีนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการประยุกต์ใช้ Weighted Average จากระยะเวลาการส่งมอบ และต้นทุนการขนส่ง โดยการกำหนดรหัสของแต่ละเส้นทางตามตารางที่ 5 แสดงค่า Normalized ของระยะเวลาส่งมอบและต้นทุนการขนส่งที่ปรับขนาดของข้อมูลแล้วตามตารางที่ 6 และค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักจากน้อยไปยังมากที่สุดตามตารางที่ 7

ตารางที่ 5 กำหนดเส้นทาง รหัสของแต่ละเส้นทาง ระยะเวลาการส่งมอบ และต้นทุนการขนส่ง

เส้นทาง	กำหนดรหัส ของเส้นทาง	ระยะเวลาส่ง มอบ (วัน)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท)
ต้นทางจังหวัดจันทบุรี ปลายทางท่าเรือเสื่อไข่	A1	8	88,000.00
ต้นทางจังหวัดจันทบุรี ปลายทางท่าเรือหนานชา	A2	8	88,000.00
ต้นทางจังหวัดชุมพร ปลายทางท่าเรือเสื่อไข่	B1	9	100,000.00
ต้นทางจังหวัดชุมพร ปลายทางท่าเรือหนานชา	B2	9	100,000.00
ต้นทางจังหวัดจันทบุรี ปลายทางด่านโม้อาน	C1	3	140,000.00
ต้นทางจังหวัดจันทบุรี ปลายทางด่านโหย่วอ๊ก วาน	C2	4	170,000.00
ต้นทางจังหวัดชุมพร ปลายทางด่านโม้อาน	D1	4	190,000.00
ต้นทางจังหวัดชุมพร ปลายทางด่านโหย่วอ๊ก วาน	D2	5	220,000.00

ตารางที่ 6 ค่า Normalized ของระยะเวลาส่งมอบและและต้นทุนการขนส่งจากการปรับขนาดของข้อมูล

รหัสของแต่ละเส้นทาง	Normalized ระยะเวลาส่งมอบ	Normalized ต้นทุนการขนส่ง
A1	0.8333	0.0000
A2	0.8333	0.0000
B1	1.0000	0.0909
B2	1.0000	0.0909
C1	0.0000	0.3939
C2	0.1667	0.6212
D1	0.1667	0.7727
D2	0.3333	1.0000

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของระยะเวลาส่งมอบและต้นทุนการขนส่งในแต่ละเส้นทางขนส่ง

รหัสของแต่ละ เส้นทาง	Normalized ระยะเวลาส่งมอบ	Normalized ต้นทุนการขนส่ง	ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก
C1	0.0000	0.3939	0.1970
C2	0.1667	0.6212	0.3939
A1	0.8333	0.0000	0.4167
A2	0.8333	0.0000	0.4167
D1	0.1667	0.7727	0.4697
B1	1.0000	0.0909	0.5455
B2	1.0000	0.0909	0.5455
D2	0.3333	1.0000	0.6667

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สภาพปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคของการจัดการห่วงโซ่อุปทานการส่งออกทุเรียนสดจากประเทศไทยไปสู่สาธารณรัฐประชาชนจีน แบ่งได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

6.1.1 การจัดการของเกษตรกรผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต้นน้ำ มีแนวทางในการดำเนินงานจำเป็นต้องขึ้นทะเบียนรับรอง GAP เพื่อใช้ประกอบการจำหน่ายทุเรียนให้แก่โรงคัดบรรจุและเพื่อการส่งออก สอดคล้องกับขั้นตอนในกระบวนการส่งออกทุเรียนสดของกลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก (2563) โดยมีสาระสำคัญในการตรวจสอบย้อนกลับกระบวนการผลิตทุเรียน

6.1.2 การจัดการของผู้รวบรวมผลผลิตหรือล้ง ที่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกลางน้ำ ทำหน้าที่รวบรวม คัดแยก และบรรจุทุเรียนสดเพื่อจำหน่ายภายในและต่างประเทศ มีแนวทางในการดำเนินงานที่ต้องขึ้นทะเบียนรับรอง GMP และ DOA เพื่อใช้ขึ้นทะเบียนกับประเทศผู้นำเข้า สอดคล้องกับขั้นตอนในกระบวนการส่งออกทุเรียนสดของกลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก (2563) โดยมีสาระสำคัญในการตรวจสอบย้อนกลับของแหล่งที่มาและขั้นตอนในการรวบรวมผลผลิต

6.1.3 การจัดการของผู้ให้บริการขนส่ง ที่ทำหน้าที่รับขนส่งทุเรียนสดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางตามตกลง เพื่อให้การขนส่งทุเรียนสดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและคงคุณภาพ มีเงื่อนไขการค้าระหว่างประเทศ รูปแบบการขนส่ง และฤดูกาลขนส่งที่ต้องพิจารณาโดยปัจจุบันผู้ให้บริการขนส่ง พบปัญหาและอุปสรรคในการเตรียมความพร้อมด้านเอกสารที่เกี่ยวข้องกับพิธีการส่งออกเป็นส่วนใหญ่ แต่ได้รับการอำนวยความสะดวกในรูปแบบออนไลน์จากภาครัฐมากขึ้น เนื่องจากแต่ละหน่วยงานมีการบูรณาการทำงานร่วมกัน

6.2 การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

ต้นทุนโลจิสติกส์ อยู่ในกลุ่มค่าขนส่งและพิธีการส่งออก เพื่อเคลื่อนย้ายทุเรียนสดจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง สอดคล้องกับอารีรัตน์ นวลน้อย (2562) ในส่วนของต้นทุนหลักของโลจิสติกส์มาจากค่าบรรจุภัณฑ์และค่าตู้คอนเทนเนอร์ ในขณะที่ต้นทุนการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คือ ระยะเวลาในการส่งมอบทุเรียนสดจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง และมีห่วงโซ่คุณค่า (Value Chain) และความพึงพอใจเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้อย่างเป็นรูปธรรม เส้นทางขนส่งทางบก R3A จากจันทบุรีไปยังด่านโมฮ่านเป็นเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการจัดการต้นทุนโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน

การจัดการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในห่วงโซ่อุปทานทุเรียนสด เกษตรกรจำเป็นต้องได้รับการรับรองมาตรฐาน GAP เพื่อให้สามารถจำหน่ายผลผลิตแก่โรงคัดบรรจุเพื่อการส่งออก ส่วนผู้รวบรวมหรือล้ง ซึ่งอยู่ในระดับกลางน้ำ ต้องได้รับการรับรอง GMP และ DOA เพื่อใช้ขึ้นทะเบียนกับประเทศผู้นำเข้า โดยให้ความสำคัญกับการตรวจสอบย้อนกลับของแหล่งที่มาและกระบวนการคัดแยกบรรจุ ขณะที่ผู้ให้บริการขนส่งมีหน้าที่จัดส่งทุเรียนจากต้นทางไปยังปลายทางตามข้อตกลง โดยต้องคำนึงถึงคุณภาพของทุเรียนและประสิทธิภาพในเส้นทางขนส่งเป็นหลัก ปัจจุบันพบอุปสรรคด้านเอกสารส่งออกแต่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐผ่านระบบออนไลน์มากขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะและข้อจำกัดของงานวิจัย

6.3.1 ภาครัฐควรส่งเสริมและประชาสัมพันธ์ให้เกษตรกรรายย่อยเข้าถึงระบบการรับรอง GAP อย่างทั่วถึงมากขึ้นและลดขั้นตอนทางเอกสาร รวมทั้งสนับสนุนการจัดตั้งกลุ่มเกษตรกรเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มอำนาจต่อรอง เพื่อกระจายรายได้ให้แก่เกษตรกร

6.3.2 ภาครัฐควรพัฒนาความร่วมมือกับประเทศคู่ค้าในการใช้งานระบบส่วนกลางที่เป็นรูปแบบออนไลน์ทั้งหมด เพื่อความรวดเร็วและประสิทธิภาพในการส่งออก และสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้อย่างสอดคล้องทั้งระบบ

6.3.3 ภาครัฐควรสนับสนุนผู้ให้บริการโลจิสติกส์ไปกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในแนวเส้นทางขนส่ง เช่น ถนน ทางรถไฟ ท่าเรือ ที่ลดระยะเวลาการขนส่งและเชื่อมโยงระหว่างภูมิภาค มาตรการในการลดต้นทุนปัจจัยพื้นฐาน เช่น ราคาน้ำมันและไฟฟ้า สำหรับการขนส่งที่ต้องใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Cold Chain) ซึ่งมีต้นทุนพลังงานสูง รวมทั้งการสนับสนุนการเงิน เช่น เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ หรือสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีขนส่ง เพื่อยกระดับศักยภาพของภาคโลจิสติกส์ระยะยาว สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของอารีรัตน์ นวลน้อย (2562) ในการจ้างบริษัทขนส่งภายนอกแทนการขนส่งเองเพื่อลดต้นทุนตู้คอนเทนเนอร์

6.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพและบางส่วนเก็บจากฤดูกาลปีผลิตเดียว ซึ่งอาจไม่สะท้อนสภาวะปกติในปีอื่น และพื้นที่ศึกษาเน้นเฉพาะจังหวัดที่เป็นแหล่งผลิตขนาดใหญ่ในแหล่งเพาะปลูกภาคตะวันออก และภาคใต้ สอดคล้องกับสุตารัตน์ ศรีจันทร์ และคณะ (2565) และดวงใจ ใจละอ (2556) ด้านสภาพและคุณภาพการผลิตทุเรียนไทย

6.3.5 แนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต สามารถให้นำผลการวิจัยไปปรับใช้กับผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับทุเรียน เช่น มังคุด ลำไย ซึ่งเป็นสินค้าประเภทควบคุมอุณหภูมิ

6.3.6 ผู้ประกอบการหรือผู้ให้บริการโลจิสติกส์สามารถนำไปเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจเลือกเส้นทางขนส่งในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกัน เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการให้บริการ และเป็นแนวทางสำหรับผู้ประกอบการรายใหม่

เอกสารอ้างอิง

- กรมศุลกากร. (2567). *มูลค่าส่งออกทุเรียน, ประเทศที่ส่งออก ปี 2561 – 2566*. เข้าถึงได้จาก. https://www.customs.go.th/statistic_report.php?ini_content=statistics_report
- กรมศุลกากร. (2567). *รูปแบบการขนส่ง ปี 2561 – 2566*. เข้าถึงได้จาก. https://catalog.customs.go.th/dataset/ctm_06_18
- กองความมั่นคงระหว่างประเทศ สำนักงานสภาความมั่นคงแห่งชาติ. (2563). มุมมองความมั่นคง: สถานการณ์ความมั่นคงระหว่างประเทศภายหลังการระบาด COVID-19. *วารสารความมั่นคง*, 1(4), 49-58.
- กลุ่มพัฒนาเศรษฐกิจฐานราก. (2563). *ทุเรียน ราชาแห่งผลไม้ไทย ถูกใจคนต่างแดน*. เข้าถึงได้จาก. http://www.tpsoc.moc.go.th/sites/default/files/thueriyn_240863.pdf
- ดวงใจ ใจละออ. (2558). *การจัดการโซ่อุปทานการส่งออกผลไม้สดของไทยในตลาด สปป.ลาว กรณีศึกษา ทุเรียน*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน). สำนักวิชาการจัดการ : มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง.
- ดาร์เรตัน โพธิ์ประจักษ์ และคณะ. (2566). อิทธิพลของอัตราส่วนทางการเงินที่ส่งผลต่อความสามารถในการทำกำไร. *วารสารนวัตกรรมธุรกิจ การจัดการ และสังคมศาสตร์*, 10(2).
- ฝ่ายเกษตร ประจำสถานกงสุลใหญ่ ณ นครกว่างโจว. (2567). *สถานการณ์ผลไม้ไทยในตลาดจีนปี 2560 และแนวโน้ม*. เข้าถึงได้จาก. <https://www.opsmoac.go.th>
- วงธรรม สรณะ. (2561). เศรษฐศาสตร์การเมืองว่าด้วยห่วงโซ่สินค้าของผลไม้ภาคตะวันออก: ศึกษากรณี ทุเรียน. *วารสารสหวิทยาการวิจัย : ฉบับบัณฑิตศึกษา*, 7, 82-90.
- สุดาร์ตัน ศรีจันทร์ และคณะ. (2565). ภูมิปัญญาทุเรียนจันทบุรี: เศรษฐกิจสร้างสรรค์เพื่อการส่งออก. *วารสารสหวิทยาการวิจัยและวิชาการ*, 2(5), 325-342.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *ทุเรียน*. เข้าถึงได้จาก. <https://oae.go.th/home>
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2566). *สถิติการส่งออก*. เข้าถึงได้จาก. <https://oae.go.th/home>
- สลิลทิพย์ ทิพย์ไกรสร. (2553). โลจิสติกส์กับการพัฒนาขีดความสามารถทางการแข่งขันของผู้ประกอบการไทย. *Journal of Management and Development*, 7(2), 39-53.
- อารีรัตน์ นวลน้อย. (2562). *ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนโลจิสติกส์เพื่อการส่งออกทุเรียนพันธุ์หมอนทองในเขต จังหวัดชุมพร*. (ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการโลจิสติกส์). คณะบริหารธุรกิจ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

- Bekele, W. B., & Ago, F. Y. (2022). Sample size for interview in qualitative research in social sciences: A guide to novice researchers. *Journal of Trade Studies*, 43(5), 159-177.
- Buera, F. J., Fattal-Jaef, R. N., Hopenhayn, H., Neumeyer, P. A., & Shin, Y. (2021). *The economic ripple effects of COVID-19*. เข้าถึงได้จาก https://www.nber.org/system/files/working_papers/w28704/w28704.pdf
- Mukhamedjanova, K. A. (2020). Concept of supply chain management. *Journal of Critical Reviews*, 7, 759-766.
- Panichakarn, B., & Pochan, J. (2022). Analysis of the efficiency of land transport connectivity for international trade between Thailand and China. *Journal of Cogent Social Sciences*, 9(1), 1-11.
- Shantal, M., Othman, Z., & Abu Bakar, A. (2023). A novel approach for data feature weighting using correlation coefficients and Min–Max normalization. *Journal of Symmetry*, 15(12), 2185.
- Siriprasertchok, A., & Panyagometh, A. (2020). Thai durian supply chain characteristics, performance indicators, and analytic hierarchy process. *Burapha Journal of Business Management*, 9(2), 117-136.
- Ulate, M., Mertens, K., & Bekaert, G. (2023). *Labor market effects of global supply chain disruptions*. เข้าถึงได้จาก. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/099742505022340571/idu0776102410a010044910917405a6c7fe5fb87>.

**การปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้
สำหรับการเดินทางของพนักงานขาย**

**Improve Performance the Discrete Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA) for
symmetric travelling salesman problem (TSP)**

สุภาพร คำเตจา, วรัญญา สองสีใส, ศศิชา สุขกาย, นคร ไชยวงศ์ศักดิ์,
วิลาสินี ศรีสุวรรณ และ เสกสรรค์ วินยางค์กุล*

Supaporn Kamtaeja, Waranya Songseesai, Sasicha Sukkay, Nakorn Chaiwongsakda,
Wilasinee Srisuwan and Seksan Winyangkul*

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย 80 หมู่ 9 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย ประเทศไทย 57100

¹ Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University 80 Moo9, Ban Du, Mueang Chiang Rai,
Chiang Rai, Thailand 57100

*Corresponding author E-mail: seksan.win@crju.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบสำหรับการจัดเส้นทางปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) ด้วยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของแมลงวันผลไม้ (Fruit Fly Optimization Algorithm: FOA) การแก้ปัญหการจัดเส้นทางด้วยเมตาฮีริสติก (Metaheuristic) ปรับปรุงการหาผลเฉลยเดิมของวิธีการแมลงวันผลไม้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ (parameter) เพิ่มไดเมนชัน (dimension) ให้เป็น 3 มิติ (3D) และมิติที่สูงขึ้น (Hyper Dimensional) และการปรับเปลี่ยนแบบ Swap, Swop และ Insertion position แต่ละการปรับเปลี่ยนจะพิจารณาการสลับในสองตำแหน่ง (2-Opt) สามตำแหน่ง (3-Opt) และการสลับสองและสามตำแหน่ง (2-3 Opt) และการกำหนดค่าเริ่มต้นโดยใช้วิธีการ Saving โดยได้แบ่งผลการวิเคราะห์ปัญหาออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ 1. การพิจารณาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการตั้งค่าพารามิเตอร์ 2. การพิจารณาที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง แบบวัตถุประสงค์เดียวโดยมีปัญหเป็นแบบ TSP 3. ผลการพิจารณาข้อมูล TSP จำนวน 9 ชุดข้อมูล โดยมีตัวแบบปัญหาเป็นแบบวัตถุประสงค์เดียว และยังมีการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ 10 วิธีการ

จากการวิจัยพบว่าแบบมีโดเมนชั้น 3 มิติ โดยมีการปรับเปลี่ยนแบบการสลับแบบ 2-3 opt และมีการใช้ saving ในการกำหนดค่าประชากรเริ่มต้น เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุด เกิดจากการปรับค่าพารามิเตอร์ให้มีโดเมนชั้นจากเดิมสองมิติ (2D) ให้เป็นสามมิติ (3D) ในพิกัด (X,Y,Z) จะเพิ่มประสิทธิภาพของ FOA โดยการเพิ่มโดเมนชั้น และมิติที่สูงขึ้น จากผลการทดสอบตัวแบบมาตรฐาน 9 ชุดข้อมูล ของปัญหา TSP โดยอัลกอริทึมที่ได้อันดับที่ 1 มีอยู่ด้วยกัน 2 อัลกอริทึม ได้แก่ 1) FOA3twothree17S ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของค่าที่ได้คำตอบใกล้เคียงค่า optimal solution จำนวน 4 ชุดข้อมูล ดังนี้ Dantzig42, att48, st70 และ Eil76 โดยมีเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนจากผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเป็น -2.780, 1.655, 3.659 และ 4.617 ตามลำดับ และ 2) FOA2twothree14S จำนวน 1 ชุดข้อมูล ได้แก่ berlin52 โดยมีเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนจากผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเป็น 3.437 ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ เนื่องด้วยความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์มีตัวแปรที่สูงกว่าทำให้สามารถปรับตำแหน่งเพื่อเข้าหาคำคำตอบของการแก้ไขปัญหา TSP ได้ดีกว่าแบบเดิม และทำการปรับเปลี่ยนแบบ 2-Opt, 3-Opt และ 2-3 Opt โดยการนำ Saving เข้ามาช่วยในกระบวนการหาคำตอบนั้น ทำให้คำตอบเข้าใกล้ค่า Optimal solution หรือมีคำตอบใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด และการนำ Saving เข้ามาช่วยโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นจะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาคำตอบลงได้

คำสำคัญ : การปรับปรุงประสิทธิภาพ, เมตาฮิวริสติก, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมของแมลงวันผลไม้, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ได้รับเมื่อ 6 พฤษภาคม 2568; แก้ไขเมื่อ 27 สิงหาคม 2568; ตอรับการตีพิมพ์เมื่อ 31 สิงหาคม 2568

Abstract

The study of optimizing solutions for the Traveling Salesman Problem (TSP) using the Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA) involves solving routing problems with a metaheuristic approach. The research focuses on improving the original FOA solution by adjusting parameters and increasing the dimensions to three-dimensional (3D) and higher-dimensional spaces (Hyper Dimensional). Additionally, it includes modifications such as Swap, Swop, and Insertion positions. Each modification considers 2-Opt (two-position), 3-Opt (three-position), and a combination of 2-3 Opt (two and three-position). The initial configuration is set using the Saving method. The analysis of the problem is divided into three parts. 1) Identifying the optimal variables for parameter setting. 2) Self-learning optimization using a single-objective approach for solving the TSP and 3) Analysis to 9 TSP datasets using a single-objective approach while comparing results with 10 other algorithms.

The research findings indicate that the three-dimensional incorporating a modified 2-3 opt switching scheme and utilizing the savings method for initial population configuration, represents the optimal algorithm. This enhancement was achieved by extending the parameter dimensions from the original two-dimensional (2D) space to a 3D space within the (X, Y, Z). The expansion into Hyper Dimensional improves the performance of the FOA by providing greater parametric flexibility. Based on tests 9 standard TSP datasets, 2 algorithms ranked first(1th). These are 1) FOA3twothree17S, which produced the best results in terms of solutions closest to the optimal solution for 4 datasets, namely Dantzig42, att48, st70, and Eil76, with deviation percentages of -2.780, 1.655, 3.659, and 4.617, respectively. and 2) FOA2twothree14S, which achieved the best result for 1 dataset, berlin52, with a deviation percentage of 3.437. in line with the research objectives. The increased number of parameters allows the algorithm to adjust positions more effectively to approach optimal solutions compared to the FOA original. Furthermore, the integration of 2-Opt, 3-Opt, and 2-3 Opt exchanges, combined with the Savings method for initializing the population, helps guide the search toward solutions near the optimal, while also reducing computational time required to obtain high-quality solutions.

Keywords: Improve Performance, Metaheuristic, Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA), Travelling Salesman Problem (TSP)

Received: July 6, 2025; Revised: August 27, 2025; Accepted: August 31, 2025

1. บทนำ

สภาวะการแข่งขันในโลกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมโดยปัญหาการขนส่งเป็นปัญหาหนึ่งของปัญหาด้านโลจิสติกส์ที่ได้รับความสนใจ เนื่องจากธุรกิจแทบทุกประเภทจำเป็นต้องมีการขนส่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อธุรกิจเกิดการขยายตัวปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถก็就会有ความซับซ้อนมากขึ้นจากตัวแปรที่เกิดขึ้น ยิ่งธุรกิจที่มีขนาดใหญ่ก็จะมีระบบงานที่มีตัวแปรที่จะต้องเลือกในการตัดสินใจที่มากขึ้น ปัญหาทางโลจิสติกส์ในการขนส่งมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือและความคุ้มค่าในการย้ายสินค้าจากที่หนึ่งไปยังที่หนึ่ง การบริหารจัดการการขนส่งให้มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการลดต้นทุนและเพื่อสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า จึงต้องใช้เครื่องมือในการวางแผนเส้นทางและเครื่องมือในการวางแผนที่มีคุณภาพเพื่อหาเส้นทางที่มีประสิทธิภาพที่สุด เพื่อลดการใช้ระยะทาง ลดเวลาการขนส่งและลดต้นทุนการขนส่งโดยรวมทั้งหมด ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem

หรือ TSP) เป็นปัญหาที่พนักงานขายต้องเดินทางไปยัง N เมือง โดยต้องเริ่มจากเมืองหนึ่ง เดินทางไปยังเมืองต่าง ๆ ให้ครบทุกเมืองเพียงครั้งเดียว และกลับมายังเมืองที่เริ่มต้น โดยมีเป้าหมายคือการหาระยะทางรวมสั้นที่สุด (หรือใช้ทรัพยากรอื่น ๆ น้อยที่สุด เช่น เวลา หรือค่าใช้จ่ายในการเดินทาง) ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาปัญหา TSP ได้ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการทดสอบ และทดลองขั้นตอนสำหรับอัลกอริทึมใหม่ๆ โดย เส้นทาง และเวลาการทำงานของเส้นทางที่แน่นอนใช้เวลานานในการคำนวณมาก ไม่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ การพัฒนาวิธีการเมต้าฮิวริสติก (Metaheuristic) ที่ได้รับการพัฒนา และปรับปรุงเพื่อแก้ปัญหา TSP มีการนำมาใช้อย่างกว้างขวางแต่ประสิทธิภาพยังไม่ค่อยดีเทียบกับวิธีการค้นหาในพื้นที่ใกล้เคียง เช่น 2-OPT, 3-OPT และวิธี Lin-Kernighan heuristics (LK) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำวิธีเมต้าฮิวริสติก มารวมกับวิธีการฮิวริสติก (Heuristic) นั้นจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหาทางวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี โดยการผสมผสานระหว่างเมต้าฮิวริสติกและฮิวริสติกเชิงปฏิบัติการ โดยมีเป้าหมายเพื่อใช้จุดแข็งของแต่ละวิธีร่วมกัน กล่าวคือ เมต้าฮิวริสติกมีความสามารถในการสำรวจเชิงกว้าง (exploration) เพื่อค้นหาพื้นที่คำตอบที่มีศักยภาพ ขณะที่วิธีฮิวริสติกมีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงคำตอบเชิงลึก (exploitation) ให้ได้ผลลัพธ์ที่ดียิ่งขึ้น การบูรณาการทั้งสองแนวทางจึงช่วยเพิ่มความสมดุลระหว่างการสำรวจและการปรับปรุงเชิงลึก ส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดี ในการประยุกต์ใช้จริง การผสมผสานเมต้าฮิวริสติกกับวิธีฮิวริสติกสามารถสร้างผลลัพธ์ที่มีความเหมาะสมมากขึ้นสำหรับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะในระบบที่มีข้อจำกัดด้านเวลา และทรัพยากร อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับใช้กับปัญหาที่มีความหลากหลาย และซับซ้อน ซึ่งถือเป็นทิศทางที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

การแก้ปัญหการจัดเส้นทางที่มีความซับซ้อน จำเป็นต้องใช้แบบจำลองหรือวิธีที่มีประสิทธิภาพช่วยในการแก้ไขปัญหา เช่น การใช้วิธี ฮิวริสติกส์ ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นปัญหาแบบปฏิบัติหรือกฎเบื้องต้น แม้ว่าค่าตัวแปรจะไม่แน่นอนแต่การคำนวณมีประสิทธิภาพ และการหาเส้นทางที่แน่นอนมักใช้เวลานานเกินไปในการคำนวณ (Lin & Kernighan, 1973; Bellman, 1962) นอกจากนี้ยังมีวิธีเมต้าฮิวริสติก ซึ่งเป็นโครงร่างขั้นสูงของอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาและปรับปรุงจากวิธีฮิวริสติกส์ ออกแบบมาสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนได้รับความนิยมและถูกใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถให้คำตอบประมาณที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการวางแผน และช่วยลดเวลาในการคำนวณสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือแก้ได้ยาก (Dorigo & Gambardella, 1997; Gendreau & Potvin, 2010; Mirjalili et al., 2014) แม้จะมีการพัฒนาอัลกอริทึมหลายรูปแบบเพื่อแก้ปัญหา TSP แต่แนวทางปัจจุบันยังคงเผชิญข้อจำกัดหลายประการ โดยอัลกอริทึมเชิง exact เช่น branch-and-bound หรือ dynamic programming สามารถให้คำตอบที่เป็น optimal solution ได้ แต่มีความซับซ้อนในการคำนวณสูงและไม่เหมาะสมกับปัญหาขนาดใหญ่เนื่องจากเวลาการประมวลผลเพิ่มขึ้น (Applegate et al., 2007; Bellman, 1962; Lawler et al., 1985) ขณะเดียวกัน

อัลกอริทึม heuristic และ metaheuristic เช่น Genetic Algorithm (GA) (Holland, 1992), Ant Colony Optimization (ACO) (Dorigo & Gambardella, 1997) หรือ Fruit Fly Optimization (FOA) แบบดั้งเดิม (Han et al., 2018) และได้กลายเป็นทางเลือกสำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาเส้นทาง (Laporte, 2010; Pan, 2012; Zhang et al., 2015) แม้จะให้ผลลัพธ์เร็วขึ้น แต่มักมีความแม่นยำต่ำกว่าคำตอบ optimal และมีความไวต่อการตั้งค่าพารามิเตอร์ นอกจากนี้ วิธีการที่มีอยู่หลายแบบยังมีข้อจำกัดในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือมีมิติสูง ทำให้ขาดความสามารถในการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดปัญหา เงื่อนไขไดนามิก หรือความต้องการในงานโลจิสติกส์จริง ข้อจำกัดเหล่านี้เป็นแรงจูงใจสำคัญในการพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างประสิทธิภาพการคำนวณ คุณภาพของคำตอบ และความสามารถในการปรับตัวเพื่อนำไปใช้ในงานปฏิบัติจริง

อัลกอริทึมแมลงวันผลไม้ Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA) (Han et al., 2018) เป็นอัลกอริทึมที่ถูกคิดค้นมาจากธรรมชาติ เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของแมลงวันผลไม้ที่เคลื่อนตัวรวมกัน อัลกอริทึมนี้อยู่ในหมวดหมู่ของอัลกอริทึมที่ได้แรงบันดาลใจจากการเคลื่อนไหวของกลุ่ม (population base) โดยที่ประชากรของตัวแทนมีการค้นหาแบบร่วมกันเพื่อหาทางออกที่ดีที่สุดในพื้นที่ของการแก้ปัญหา อัลกอริทึม FOA จำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของแมลงวันผลไม้ที่กำลังมองหาแหล่งอาหาร และได้รับการปรับให้ใช้ในการแก้ปัญหาหลายกรณี อัลกอริทึม FOA เป็นอัลกอริทึม Swarm Intelligence Algorithm ที่ถูกนำเสนอเมื่อไม่นานมานี้ อัลกอริทึมนี้ถูกสร้างขึ้นจากพฤติกรรมทางธรรมชาติของแมลงวันผลไม้เป็นวิธีในการค้นหาทางไปยังอาหาร โดยทั่วไปแล้วแมลงวันผลไม้มีชีวิตอยู่ในภูมิภาคเขตร้อน (Pan et al., 2014) แมลงวันผลไม้จะบินไปทางพื้นที่ที่พวกมันสามารถตรวจจับกลิ่นอาหารได้ ขณะที่พวกมันเข้าใกล้กับพื้นที่อาหารของพวกมัน พวกมันจะค้นพบสารโดยใช้การมองเห็นของพวกมัน อัลกอริทึมแมลงวันผลไม้ที่ได้รับการปรับปรุง ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายในสาขาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม เนื่องจากความง่ายในการคำนวณและยังเพราะว่าอัลกอริทึมนี้เข้าใจได้ง่ายนอกจากนี้ ยังสามารถหาคำตอบได้สำหรับปัญหาที่ซับซ้อนมากๆ ในเวลาที่รวดเร็ว (Wang et al., 2017) FOA ยังถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรมมากมาย เช่นโปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear programming problems) (Li et al., 2013; Lin, 2013; Shan et al., 2013) FOA มีความได้เปรียบมากมายเนื่องจากมีค่าพารามิเตอร์ที่น้อย และเวลารัน (Running time) ที่สั้นเมื่อเทียบกับอื่นๆ ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมและสามารถปรับเปลี่ยนไปสู่การประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆ แม้ FOA จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาวิศวกรรมที่ต่อเนื่อง และไม่เป็นเชิงเส้นที่ซับซ้อน เนื่องจากความเรียบง่าย ความต้องการพารามิเตอร์ที่น้อย และประสิทธิภาพในการคำนวณ (Wang et al., 2017; Li et al., 2013) แต่การนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายซึ่งเป็นปัญหาแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) และการจัดลำดับ (combinatorial) ซึ่งถูกกำหนดโดยการเรียงลำดับของเมือง งานวิจัยที่ผ่านมา (Lin & Kernighan,

1973; Pan et al., 2014; Wang et al., 2017) ได้ชี้ให้เห็นว่า FOA แบบดั้งเดิมมักประสบปัญหาการหาคำตอบที่ติดอยู่ในค่าเหมาะสมย่อย (premature convergence) ขาดความหลากหลายของวิธีแก้ปัญหา และไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอเมื่อใช้กับ TSP ที่มีขนาดใหญ่หรือมีข้อจำกัดซับซ้อน อีกทั้ง FOA แบบดั้งเดิมยังคงจำกัดอยู่ในพื้นที่ค้นหาแบบ 2 มิติ (2D) ทำให้ไม่เหมาะสมกับปัญหาไม่ต่อเนื่องทำให้ความสามารถในการปรับตัวและการหาคำตอบยังด้อยกว่าวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (local search) โดยช่องว่างการวิจัยที่สำคัญคือรูปแบบของ FOA มาตรฐานไม่สามารถนำมาใช้โดยตรงกับลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องของ TSP รวมถึงความสามารถในการค้นหาแบบโดยรวม (global search) และการค้นหาเฉพาะที่ยังไม่ดีเท่าที่ควร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษารูปแบบของอัลกอริทึมการเพิ่มประสิทธิภาพของ FOA เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นกับปัญหา TSP ที่ซับซ้อน โดยการนำเสนอการปรับค่าพารามิเตอร์ (parameter) โดยการเพิ่มโดเมนชั้น (dimension) จากเดิมเป็น 2 มิติ ให้เป็น 3 มิติ (3D) และมิติที่สูงขึ้น (Hyper Dimensional) รวมถึงการปรับเปลี่ยนแบบการสลับ 2-Opt, 3-Opt และ 2-3 Opt ร่วมกับการการใช้วิธีฮิวริสติกของ Savings-algorithm สำหรับการสร้างประชากรเริ่มต้น เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหา รวมถึงการเพิ่มความแม่นยำของคำตอบ และทำให้อัลกอริทึมสามารถแก้ปัญหา TSP ที่ซับซ้อนได้ดียิ่งขึ้นนำไปสู่ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้โดยการเพิ่มมิติและปรับปรุง FOA ให้สามารถแก้ปัญหา TSP ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการในการหาคำตอบ โดยพิจารณาจากค่าคำตอบเทียบกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (optimal solution) ในการแก้ปัญหา TSP ให้ดียิ่งขึ้น โดยการเพิ่มโดเมนชั้น จาก 2 มิติ เป็น 3 มิติ และมิติที่สูงขึ้น

2.2 เพื่อปรับปรุงการหาผลเฉลยเดิมของอัลกอริทึมแมลงวันผลไม้ที่มีอยู่ให้มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

3. ทบทวนวรรณกรรม

3.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เป็นหนึ่งในปัญหาคลาสสิกที่มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในด้านการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Operations Research) และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ปัญหานี้กำหนดให้นักเดินทางต้องไปเยือนเมืองหนึ่งครั้งเพียงครั้งเดียวแล้วกลับสู่จุดเริ่มต้น โดยมีเป้าหมายเพื่อลดระยะทางหรือค่าใช้จ่ายรวมให้ต่ำที่สุด (Lawler et al., 1985) ปัญหานี้จัดอยู่ในกลุ่ม NP-hard problem ซึ่งหมายความว่า การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเชิง exact จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลเมื่อจำนวนเมืองเพิ่มขึ้น ในเชิงปฏิบัติ TSP มีความสำคัญสูงเนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้กับการวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้า การจัด

เส้นทางรถเก็บขยะ การออกแบบสายการผลิต รวมถึงการจัดเส้นทางโดรนหรือหุ่นยนต์ (Applegate et al., 2007; Laporte, 2010) การแก้ปัญหา TSP อย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นความท้าทายที่นักวิจัยยังคงพยายามพัฒนาแนวทางใหม่ๆ อยู่เสมอ โดยวิธีการแก้ปัญหา TSP แบบดั้งเดิม ได้แก่ วิธีการ Exact Methods เช่น Branch and Bound, Integer Linear Programming, Dynamic Programming สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้แน่นอน (Bellman, 1962) อย่างไรก็ตาม วิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดสำคัญคือ คำนวณได้ช้า ไม่สามารถขยายไปยังปัญหาที่มีจำนวนเมืองมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรณีจำนวนโหนดหรือเมืองมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาและหน่วยความจำ ปัญหานี้เองจึงเป็นแรงบันดาลใจให้มีการพัฒนาวิธีเชิง Heuristic และ Metaheuristic เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา TSP ให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายในเวลาที่สมเหตุสมผล และมีประสิทธิภาพ

3.2 วิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับปัญหา TSP

วิธีการแบบเมตาฮิวริสติกเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมอย่างสูงสำหรับการหาคำตอบของปัญหา TSP เนื่องจากปัญหานี้ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่ม NP-hard ซึ่งหมายความว่าไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการเชิงแน่นอน (Exact Methods) เมื่อจำนวนเมืองมีขนาดใหญ่ เมตาฮิวริสติกจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม วิธีการเหล่านี้ไม่ได้รับประกันว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดเสมอไป แต่มีข้อดีตรงที่สามารถค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพสูงได้ภายในเวลาจำกัด และมีความยืดหยุ่นต่อการประยุกต์ใช้งานจริง โดยนักวิจัยได้พัฒนาวิธีการแบบเมตาฮิวริสติก ที่มุ่งเน้นการหาคำตอบใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด (near-optimal solution) ภายในเวลาที่เหมาะสม ตัวอย่างที่โดดเด่น เช่น GA อัลกอริทึมการคัดเลือกโดยธรรมชาติและพันธุกรรม (Holland, 1992), ACO จำลองพฤติกรรมการเดินทางหาอาหารของมด (Dorigo & Gambardella, 1997), Particle Swarm Optimization (PSO) จำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของฝูงอนุภาค (Kennedy & Eberhart, 1995), Grey Wolf Optimizer (GWO), จำลองพฤติกรรมล่าเหยื่อของหมาป่าสีเทา (Mirjalili et al., 2014) รวมถึง FOA แม้ว่าวิธีเหล่านี้จะให้คำตอบที่มีคุณภาพดี แต่ก็มีข้อจำกัด เช่น การใช้เวลาคำนวณนานเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ รวมถึงการจัดการกับปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Discrete Optimization ยากค่อนข้างจำกัด และ วิธีการแบบเมตาฮิวริสติกแบบดั้งเดิมมักมีข้อเสียคือ การลู่เข้าสู่คำตอบ (convergence) ช้า และมีโอกาสติด local optimum (Pan, 2012)

3.3 การพัฒนา และปรับปรุง FOA

อัลกอริทึมแมลงวันผลไม้แบบเดิม เริ่มต้นโดยอาศัยการสุ่มตำแหน่ง การประเมินค่า (fitness) และการอัปเดตตำแหน่งที่ดีที่สุด ซึ่งมีโครงสร้างง่าย ยังคงมีข้อจำกัดบางประการ เช่น ความสามารถในการ

หลีกเลี่ยงการติดอยู่ในคำตอบเฉพาะที่ ประสิทธิภาพในการค้นหาวางกว้าง (global search ability) ที่ยังไม่สูงพอ และความเร็วในการเข้าสู่คำตอบ (convergence speed) ที่อาจไม่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง หรือมีมิติข้อมูลจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยจำนวนมากจึงได้พัฒนาและปรับปรุง FOA ให้มีความสามารถที่ดีขึ้น ผ่านการประยุกต์ใช้แนวคิดใหม่ ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อัลกอริทึม FOA ในการแก้ปัญหา TSP สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แนวทางหลัก ได้แก่ 1) การปรับปรุงพารามิเตอร์ (Parameter Adjustment), 2) การเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหา (Search Enhancement) และ 3) การผสมผสาน FOA กับเทคนิคอื่น (Hybridization with Other Methods) ดังนี้

3.3.1 การปรับปรุงอัลกอริทึม FOA โดยการปรับพารามิเตอร์

การปรับพารามิเตอร์ของ (Iskan & Gunduz, 2017) โดยการใช้ LGMS-FOA ซึ่งใช้การปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อแก้ข้อจำกัดของ FOA แบบดั้งเดิม ผลการทดลองพบว่า LGMS-FOA สามารถเพิ่มคุณภาพการค้นหา และลดการติดอยู่ใน local optimum ได้ และ (Jiang & Yang, 2016) การเพิ่ม Elimination Mechanism และการปรับการทำงานในช่วงการมองเห็นของ FOA เพื่อเพิ่มความหลากหลายของประชากร และเร่งอัตราการเข้าสู่ (convergence rate) โดยการปรับพารามิเตอร์ช่วยลดการติดอยู่ใน local optimum และทำให้ FOA มีความเสถียรขึ้น และมีข้อจำกัดจากปรับพารามิเตอร์เพียงอย่างเดียวไม่สามารถแก้ปัญหา TSP ที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ทั้งหมด เนื่องจากยังขาดกลไกการค้นหาที่หลากหลาย (Zhang et al., 2023) สำหรับการพัฒนา Adaptive Fruit Fly Optimization Algorithm (AFOA) เพื่อแก้ปัญหา TSP แบบ Discrete โดยเสนอการปรับพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสภาพการค้นหาแบบพลวัต ส่งผลให้อัลกอริทึมสามารถปรับตัวได้ตามลักษณะของปัญหา ลดการติดอยู่ใน local optima และช่วยเพิ่มความเร็วในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงค่าเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 1 การตรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาและปรับปรุง FOA ในการแก้ปัญหา TSP

ผู้วิจัย (ปี)	วิธีการ	มิติที่ใช้	ปัญหาที่แก้	ข้อจำกัด	Research Gap
Shan et al. (2013)	FOA แบบหลายฝูง + ตัวดำเนินการ IPOX/MPX + กระบวนการสื่อสารฝูง + DOE (Taguchi)	Discrete (กำหนดการ/ลำดับงาน) 2D	SFTSP (Semiconductor Final Testing Scheduling)	เฉพาะโดเมน SFTSP; การโอนย้ายไป TSP ยังไม่ชัด	ถ่ายโอนไป TSP โดยตรง; ทดสอบกับ TSPLIB; มุมมองหลายมิติ/โครงสร้าง Hyper-D
Zheng et al. (2014)	DFOA (Discrete FOA) + crossover เฉพาะทาง + Tasting/Smelling + EXE	Discrete (Permutation space) 2D	TSP (ปรับปรุงการสำรวจ)	คุณภาพยังด้อยกว่าเมื่อไม่ผสมผสาน LS แรงๆ; เวลา กับอินสแตนซ์ ใหญ่มาก	ผสมผสาน LK/3-opt เป็นมาตรฐาน; รีสตาร์ท/หลากหลาย; ขยายมิติค้นหา

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย (ปี)	วิธีการ	มิติที่ใช้	ปัญหาที่แก้	ข้อจำกัด	Research Gap
Jiang & Yang (2016)	Improved FOA + Elimination mechanism + ปรับช่วงการมองเห็น	Discrete (แมปลำดับเมือง) 2D	TSP บน TSPLIB 10 ชุดข้อมูล	ต้องจูนพารามิเตอร์; สเกลกับปัญหาใหญ่ยังจำกัด	ขยายมิติการค้นหา; ไฮบริดกับ local search ระดับสูง; การประเมินบนอินสแตนซ์ขนาดใหญ่
Iskan & Gunduz (2017)	FOA; LGMS-FOA (ปรับพารามิเตอร์และกลไกค้นหา)	2D (ต่อเนื่อง) + แมปสู่ Discrete สำหรับ TSP (จำกัด)	TSP และฟังก์ชันทดสอบไม่เป็นเชิงเส้น 6 ฟังก์ชัน	FOA ดั้งเดิมแก้ TSP ที่ซับซ้อนได้ไม่ดี; ไวต่อพารามิเตอร์; การแมปสู่ดิสครีตยังหยาบ	ต้องการการขยายมิติ (3D/Hyper-D); โอเพอเรเตอร์แบบดิสครีตเฉพาะทาง; ไฮบริดกับ local search
Huang et al. (2017)	Improved FOA: รักษา Osphresis; ปรับ Visual เป็น 2 โหมด (30% ดีสุด + สุ่ม)	Discrete/เมทริกซ์ลำดับเมือง (เทียบเท่า 2D)	TSP (ปรับปรุงการสำรวจ/การมองเห็น)	ยังเสี่ยงลู่เข้าเร็ว; ฟังก์ชันการเริ่มต้น; ไม่มี local search ที่ทรงพลัง	ผนวก 2-opt/3-opt/LK; กลไกปรับตัวพารามิเตอร์; มุมมองหลายมิติ
Huang & Su (2017)	FOA ปรับลดขนาดก้าว (step) + ไฮบริด GA (crossover/mutation) + Dynamic balance	Discrete (ไฮบริด GA-FOA) 2D	TSP (บาลานซ์ global/local; ป้องกัน premature)	โครงสร้างซับซ้อนขึ้น; พารามิเตอร์มาก; หลักฐานบนกรณีใหญ่มากรวมถึงยังจำกัด	เทียบกับ LKH อย่างเป็นระบบ; ขยายมิติ; กลไกควบคุมปรับตัวอัตโนมัติ
Crişan et al. (2020)	DFOA ภายใต้ข้อมูลไม่แน่นอน; ปรับตามระดับ uncertainty	Discrete 2D (Permutation) + การจัดการความไม่แน่นอน	TSP กับข้อมูลไม่สมบูรณ์/ไม่แน่นอน	ขาดการปรับปรุงประสิทธิภาพของ DFOA	การพัฒนา DFOA เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
Liu et al. (2023)	Hybrid FOA + PSO	Discrete 2D	TSP	ประสิทธิภาพดีขึ้นแต่ยังจำกัดที่การ hybrid เท่านั้น, ไม่เน้น search space ขนาดใหญ่	ขาดการศึกษา FOA ในมิติที่สูงขึ้น (3D+) และยังไม่ผสาน local heuristics (เช่น 2-Opt, 3-Opt)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ผู้วิจัย (ปี)	วิธีการ	มิติที่ใช้	ปัญหาที่แก้	ข้อจำกัด	Research Gap
Ranjan & Kumar (2023)	Systematic Review ของ FOA และการประยุกต์	Discrete 2D	ปัญหาหลากหลาย (optimization, scheduling, TSP)	ไม่ได้พัฒนา algorithm ใหม่, ส่วนใหญ่ยังอยู่ที่ FOA แบบดั้งเดิม	ขาดการนำเสนอวิธีพัฒนา FOA ที่ผสมผสาน heuristics และรองรับ TSP ขนาดใหญ่
Zhang et al. (2023)	Adaptive FOA (ปรับพารามิเตอร์แบบพลวัต)	2D	Discrete TSP	ยังจำกัดใน 2D, ไม่รองรับการขยายสู่มิติสูง, ยังไม่บูรณาการ heuristic	ขาดการขยาย FOA เป็น 3D/Hyper Dimensional และการบูรณาการ heuristic สำหรับ local search
Almufti et al. (2025)	Comparative Analysis ของ metaheuristics (รวม FOA)	Discrete 2D	TSP (เปรียบเทียบหลาย algorithm)	วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ ไม่ได้พัฒนา FOA, ข้อจำกัดชัดเจนใน TSP ที่ซับซ้อน	ขาดการปรับปรุง FOA โดยตรงเพื่อแข่งขันกับ metaheuristics อื่น ในปัญหา TSP ขนาดใหญ่

3.3.2 การเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหา

การปรับปรุง FOA โดยแบ่งการมองเห็น (visual phase) ออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกใช้ข้อมูลจากผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ส่วนที่สองสร้างใหม่จากการสุ่ม เพื่อเพิ่มความหลากหลายของคำตอบ และป้องกันไม่ให้ FOA ติดกับดัก local optimum (Huang et al., 2017) รวมถึง (Zheng et al., 2014) การนำเสนอ Discrete Fruit Fly Optimization Algorithm (DFOA) โดยออกแบบตัวดำเนินการ crossover และกระบวนการ elimination (EXE) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสำรวจพื้นที่ในการหาคำตอบ (solution space) โดยเทคนิคการเสริมกลไกการค้นหา (search operators) ทำให้ FOA สามารถสำรวจ solution space ได้ลึกขึ้น ในด้านของคุณภาพคำตอบดีขึ้น แต่ยังคงมีปัญหาในการปรับให้เหมาะกับปัญหา discrete ขนาดใหญ่ และต้องใช้เวลาในการปรับค่าสำหรับการค้นหาคำตอบ (Ranjan & Kumar, 2023) ในการทบทวนเชิงระบบเกี่ยวกับ FOA และการประยุกต์ใช้งานในหลายด้าน โดยพบว่าม้งงานวิจัยจำนวนมากที่มุ่งเน้นการพัฒนา FOA ในแง่การปรับปรุงกลไกการค้นหา (search operators) และการขยายพื้นที่การค้นหา ควบคู่กับการเน้นเจาะจงพื้นที่ที่มีแนวโน้มคำตอบที่ดี ซึ่งสะท้อนถึงแนวโน้มการวิจัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหา

3.3.3 การผสมผสาน FOA กับเทคนิคอื่น

การผสมผสาน FOA กับตัวดำเนินการในรูปแบบการปรับปรุงกระบวนการในการหาคำตอบ (Improved precedence operation crossover (IPOX)) และการปรับปรุงแบบหลายจุด (Modified multipoint preservative crossover (MPX)) ในการแก้ปัญหา (Shan et al., 2013) โดยการนำเสนอ อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดตารางการทดสอบขั้นสุดท้ายของเซมิคอนดักเตอร์ (The semiconductor final testing scheduling problem (SFTSP)) ทำให้ FOA สามารถใช้กับโจทย์ combinatorial ได้ดีขึ้น (Huang & Su, 2017) ในการผสมผสาน FOA กับ GA โดยเพิ่มกลไก crossover และ mutation ส่งผลให้เกิดกลไกการสมดุลแบบพลศาสตร์ (Dynamic balance mechanism) ระหว่าง global search และ local search ลดโอกาสการมีสถานะที่อัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการหรือการหาค่าเหมาะสม หยุดพัฒนา และหาคำตอบไปคงอยู่ที่ค่าใดค่าหนึ่งเร็วเกินไป โดยที่คำตอบนั้นยังไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่เป็นเพียงคำตอบเฉพาะที่ (premature convergence) และเพิ่มความหลากหลายของประชากร (Crişan et al., 2020) การใช้ DFOA กับข้อมูลที่ไม่แน่นอน (uncertain data) โดยเน้นการปรับตัวของอัลกอริทึมให้สามารถแก้ TSP ในบริบทที่ข้อมูลไม่สมบูรณ์ การผสมผสาน FOA กับเทคนิคอื่นทำให้ FOA มีความสามารถรอบด้านมากขึ้น ทั้งการสำรวจเชิง global และการปรับปรุงเชิง local แต่เมื่อโครงสร้างอัลกอริทึมซับซ้อนขึ้น และอาจทำให้สูญเสียความง่ายในการใช้งานที่เป็นจุดแข็งของ FOA และ (Huang et al., 2017) ในการทำการวิเคราะห์ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยใช้ FOA ร่วมกับ GA ในส่วนของการดำเนินการ crossover และ mutation ซึ่งเพิ่มความหลากหลายในประชากร และยับยั้งการเกิดปัญหา Generation of premature ได้เป็นอย่างดี (Liu et al., 2023) การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูกผสม (Hybrid Metaheuristic) โดยการผสมผสาน FOA เข้ากับ PSO เพื่อนำมาแก้ปัญหา TSP ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการผสมผสานดังกล่าวช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าอัลกอริทึมเดี่ยว โดยเฉพาะในแง่ของความเร็วในการหาคำตอบและคุณภาพของเส้นทางที่ได้ และ (Almufti & Shaban, 2025) ในการศึกษาเชิงเปรียบเทียบอัลกอริทึม Metaheuristic ต่าง ๆ รวมถึง FOA สำหรับปัญหา TSP โดยพบว่า การผสมผสาน FOA กับวิธีอื่น ๆ ช่วยเพิ่มศักยภาพในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ FOA แบบดั้งเดิมที่มีข้อจำกัดด้านความเร็วและความแม่นยำ

3.3.4 ช่องว่างการวิจัย และการมีส่วนร่วมของงานวิจัยนี้

จากการทบทวนพบว่า แนวโน้มการปรับปรุง FOA มี 3 ทิศทางหลัก ได้แก่ การปรับพารามิเตอร์เพื่อเพิ่มความเสถียร, การออกแบบกลไกการค้นหาใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสำรวจ และการผสมผสานกับเทคนิคอื่นเพื่อเพิ่มความสามารถทั้ง global และ local search (hybridization) โดยงานวิจัยที่ผ่านมายังมีข้อจำกัดคือ ยังขาดการขยายมิติของพื้นที่ค้นหา (dimension expansion) ซึ่งอาจช่วยเพิ่มความหลากหลายและความสามารถในการหลีกเลี่ยง local optimum และยังไม่มีการใช้ Multi-Dimensional FOA (3D หรือ Hyper-dimensional FOA) ในการแก้ปัญหา TSP โดยตรง และการสร้างประชากรเริ่มต้นยังไม่ถูกพัฒนาอย่างเป็นระบบ ทำให้คุณภาพของ ผลเฉลยเริ่มต้นต่ำ และส่งผลต่อคุณภาพสุดท้าย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาเพื่อจะเติมเต็มช่องว่างดังกล่าว โดย

1. เพิ่มมิติของ FOA จาก จากเดิมเป็น 2 มิติ ให้เป็น 3 มิติ และมิติที่สูงขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการสำรวจ solution space
2. การบูรณาการกับวิธีการฮิวริสติก (2-Opt, 3-Opt, 2-3Opt และ Savings Algorithm) เข้ากับ FOA เพื่อสร้างประชากรเริ่มต้นที่มีคุณภาพ และเพิ่มประสิทธิภาพของ local search
3. ประเมินประสิทธิภาพของ FOA ที่ได้รับการปรับปรุง กับ TSP ขนาดใหญ่และซับซ้อน เพื่อแสดงให้เห็นถึงความเหนือกว่าเมื่อเทียบกับ FOA แบบดั้งเดิมและ metaheuristics อื่น ๆ

3.4 การปรับปรุงขั้นตอนของอัลกอริทึม FOA

ทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนของอัลกอริทึม FOA โดยการเพิ่มมิติในกระบวนการต่างๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดประชากรเริ่มต้นประชากรเริ่มต้น กำหนดตำแหน่งหลักของกลุ่มแมลงวันผลไม้ถูกสร้างขึ้นโดยสุ่มปริภูมิในพิกัด X, Y และ Z เป็นค่าเริ่มต้น โดยมีลักษณะเป็นผิวระนาบ (plan surface) หรือ ($X_{i\text{axis}}, i \in D^n$)

$$X_{\text{initial}} = \text{Ini}X_{\text{axis}} \quad (1)$$

$$Y_{\text{initial}} = \text{Ini}Y_{\text{axis}} \quad (2)$$

$$Z_{\text{initial}} = \text{Ini}Z_{\text{axis}} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 2 การปรับพารามิเตอร์ จากรูปแบบของการกำหนดค่าเริ่มต้นนั้นสามารถพิจารณาปริภูมิที่มีความแตกต่างได้ในหลายสถานะ เช่น ปริภูมิปริมาตร ลักษณะเป็นปริมาตร (volume surfaces), $x \in (D^3: X Y Z)$, ปริภูมิที่สูงกว่าสองมิติ (hyper volumes), $x \in (D^N: X_1 X_2 \dots X_N)$,

$$X_i = X_{\text{axis}} + \text{Random value} \quad (4)$$

$$Y_i = Y_{\text{axis}} + \text{Random value} \quad (5)$$

$$Z_i = Z_{\text{axis}} + \text{Random value} \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าฟิตเนส (fitness) ประเมินค่าฟิตเนสของแต่ละตัวแทนในประชากร โดยฟังก์ชันนี้บ่งบอกถึงความเหมาะสมของโซลูชัน หรือสิ่งที่ต้องการให้มีค่าสูงที่สุด เพื่อใช้ในการสร้างรุ่นต่อไป เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึม หลังจากมีการปรับแต่งพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม

$$\text{Dist}_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2} \quad (7)$$

หรือ

$$\text{Dist}_i = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_i^2} \quad i=1,2,\dots,n \quad (8)$$

และขั้นตอนที่ 6 การอัปเดตตำแหน่ง ฟังก์ชันการอัปเดตตำแหน่งจะคำนวณตำแหน่งใหม่ของแมลงวันผลไม้โดยใช้ตำแหน่งเก่า ตำแหน่งของแมลงวันผลไม้ที่มีค่าฟิตเนสสูงสุด และค่าสุ่ม แมลงวันผลไม้จะบินไปยังแหล่งอาหารที่ดีที่สุด (X_{best})

$$\text{Smellbest}=\text{bestSmell} \quad (9)$$

$$\text{Xaxis}=\text{X}(\text{BestIndex}) \quad (10)$$

$$\text{Yaxis}=\text{Y}(\text{BestIndex}) \quad (11)$$

$$\text{Zaxis}=\text{Z}(\text{BestIndex}) \quad (12)$$

3.5 การปรับปรุงการการปรับค่าพารามิเตอร์ (Parameter) โดยการเพิ่มโดเมนชั้น (Dimension)

การปรับค่าพารามิเตอร์ใน FOA และโดเมนชั้น เป็นการเพิ่มจำนวนตัวแปรหรือมิติในการแทนคำตอบของปัญหา เป็นวิธีที่ช่วยให้โมเดลสามารถจำแนกความหมายหรือลักษณะของข้อมูลได้เป็นอย่างดี การเพิ่มมิติจะช่วยให้โมเดลสามารถจัดหมวดหมู่หรือจำแนกข้อมูลที่ซับซ้อนได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มมิติให้กับอัลกอริทึม FOA เป็น 3 มิติ หรือมิติที่สูงขึ้น จะช่วยให้โมเดลสามารถจัดการกับปัญหาที่ซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ขึ้นได้มากขึ้น โดยอัลกอริทึม FOA จะต้องปรับการทำงานในมิติเพิ่มเติมให้เหมาะสมกับการแก้ปัญหาในมิติที่เพิ่มขึ้นด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์และโครงสร้างของอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อมีการเพิ่มโดเมนชั้น จำนวนตัวแปรหรือมิติในการแทนคำตอบของปัญหาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจำนวนนี้จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการคำนวณหรือการสร้างคำตอบใหม่ ช่วยเพิ่มความหลากหลายในคำตอบที่เป็นไปได้ จำเป็นต้องปรับค่าพารามิเตอร์หรือโครงสร้างของอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับจำนวนโดเมนชั้นที่เพิ่มขึ้น

การเพิ่มมิติที่สูงขึ้นคือการนำเข้าสู่ข้อมูลหรือการทำงานในมิติที่มีความซับซ้อนมากขึ้นกว่ามิติสามที่เราคุ้นเคย การใช้มิติที่สูงขึ้นสามารถช่วยให้โมเดลหรืออัลกอริทึมสามารถจัดการกับข้อมูลที่มีความซับซ้อน และมีความใหญ่ขึ้นได้ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ และโครงสร้างของอัลกอริทึมให้เหมาะสมกับการทำงานในมิติที่สูงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มมิติใน FOA สามารถทำให้โมเดลสามารถจัดหมวดหมู่ข้อมูลในพื้นที่หมายเลขมากขึ้นได้ หรือช่วยให้อัลกอริทึมสามารถจัดการกับข้อมูลที่มีลักษณะซับซ้อน และมีความซับซ้อนมากขึ้นได้ดี

การทำการสลับ Swap และ Swop แบบ 2-opt และ 3-opt เป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นทางในปัญหา TSP เพื่อลดระยะทางทั้งหมดของเส้นทาง โดยการสลับหรือเปลี่ยนตำแหน่งของเมืองที่ถูกเยี่ยมชมในเส้นทาง แบบ 2-opt ทำการสลับเส้นทางระหว่างสองขาที่ตัดกัน เพื่อให้ได้เส้นทางใหม่ที่มีระยะทางสั้นลง และใน 3-opt จะทำการสลับเส้นทางระหว่างสามขาที่ตัดกันเพื่อให้ได้เส้นทางที่มีระยะทางสั้นลงอีก และการ Insertion position แบบ 2-opt และ 3-opt ในบทบาทของการแก้ปัญหา TSP คือตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในเส้นทางที่กำลังพิจารณาเพื่อแทรกเมืองใหม่เข้าไปในเส้นทางนั้น การเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมสามารถทำได้โดยพิจารณาระยะทางระหว่างเมืองและเมืองที่กำลังพิจารณา และเลือกตำแหน่งที่ทำให้ระยะทางรวมของเส้นทางลดลงหรือเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งการเลือกตำแหน่งให้เหมาะสมนี้เป็นส่วนสำคัญในการปรับปรุงเส้นทางใน TSP เพื่อให้ได้เส้นทางที่มีความสั้นที่สุดหรือเส้นทางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่เป็นไปได้ การใช้ insertion position เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา TSP ที่มีประสิทธิภาพ และการใช้ Savings

Algorithm เข้ามาช่วยสร้างประชากรเริ่มต้น (initial population) ของ FOA เพื่อเพิ่มคุณภาพของการหาคำตอบเริ่มต้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการค้นหาเชิง metaheuristic ของ FOA ซึ่งเป็นแนวทางที่ผสมผสานความได้เปรียบของ heuristic (ความเร็ว และการหาคำตอบของ Savings Algorithm) เข้ากับ metaheuristic (ความสามารถในการสำรวจพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่ของ FOA) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในปัญหา TSP

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยการปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการอัลกอริทึมแมลงวันผลไม้ (FOA) สำหรับการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการปรับปรุงประสิทธิภาพวิธีการแมลงวันผลไม้ หาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงาน สามารถนำผลลัพธ์ที่ได้ประยุกต์ใช้ในการในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการหาคำตอบหรือการจำลองที่ต้องการคำตอบที่เหมาะสม โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

ตัวแบบปัญหาจาก ตัวแบบมาตรฐาน โดยมีปัญหาแบบ TSP จำนวน 9 ตัวแบบปัญหา และมีระยะทางที่สั้นที่สุดของแต่ละเมือง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะทางที่สั้นที่สุดของแต่ละเมืองที่นำมาใช้ในการหาคำตอบ

No.	Instance	Optimal solution
1	Ulysses16	73.98
2	Ulysses22	75.30
3	Dantzig42	699
4	att48	33,522
5	Eil51	426
6	Berlin52	7,542
7	st70	675
8	Eil76	538
9	rat99	1,211

โดยแหล่งข้อมูลตัวแบบปัญหา TSP ซึ่งเผยแพร่โดยมหาวิทยาลัย Heidelberg นั้น ถือว่าเป็นแหล่งอ้างอิงมาตรฐานสำหรับค่าที่ดีที่สุดที่รู้จัก (best-known) ของตัวอย่างปัญหา TSP (Reinelt, 1991; University of Heidelberg, n.d.) โดยระยะทางรวมที่ได้เป็นค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (optimal solution)

2) สำหรับการแก้ปัญหาโดยใช้การปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้ (FOA) สำหรับการเดินทางของพนักงานขายแบบวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective) โดยพิจารณาระยะทางในการเดินทางน้อยที่สุด

3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรม MATLAB เป็นโปรแกรมสำหรับช่วยงานคำนวณทางคณิตศาสตร์

4.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลโดยมีหัวข้อดังนี้

- ปัญหาการดำเนินการในการจัดเส้นทาง และการปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้

- การปรับค่าพารามิเตอร์โดยการเพิ่มโดเมนชั้น และมิติที่สูงขึ้น

- การตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ปัญหาการดำเนินการในการจัดเส้นทาง การแก้ปัญหาโดยใช้การปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้ สำหรับการเดินทางของพนักงานขาย

3) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อหาวิธีช่วยแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้อง

4) หนังสือ บทความ งานวิจัย และวารสารเชิงวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการปรับค่าพารามิเตอร์โดยการเพิ่มโดเมนชั้น และมิติที่สูงขึ้น

4.3 การจัดทำข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

1) ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ปัญหาแล้วแบ่งลำดับขั้นตอนในการดำเนินงาน

2) ศึกษาขั้นตอนวิธีการการปรับปรุงประสิทธิภาพการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยวิธีการแมลงวันผลไม้ ได้แก่ ปัญหาการตัดสินใจโดยใช้วิธีการที่เหมาะสม การหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเดินทางเพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด

3) การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการปรับค่าพารามิเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

4) ทำการวิเคราะห์หาผลเฉลยที่เหมาะสมในกรณีต่างๆ ได้แก่

- กรณีประยุกต์ใช้สำหรับการหาค่าเหมาะสมในการดำเนินการทางโลจิสติกส์งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม FOA ในการแก้ปัญหา TSP ทั้งในแง่ ความถูกต้องของคำตอบ และความสามารถในการปรับตัวต่อปัญหาที่ซับซ้อน

- กรณีการปรับปรุงการเปลี่ยนค่าผลเฉลยที่ได้ ร่วมกับวิธีการอื่นๆ ในฟังก์ชันเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหาทางวิศวกรรม ได้แก่

1. Differential Evolution Optimization (DEO)
2. Grey Wolf Optimization (GWO)
3. Simulated Annealing (SA)
4. Genetic Algorithm (GA)
5. Particle Swarm Optimization (PSO)
6. Ant Colony Optimization (ACO)
7. Teaching-Learning-Based Optimization (TLBO)
8. Fruit Fly Optimization Algorithm (FOA)
9. Firefly Algorithm (FA)
10. Whale Optimization Algorithm (WOA)

กรณีปัญหาการตัดสินใจโดยใช้วิธีการที่เหมาะสม การหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเดินรถ เพื่อให้ได้ระยะทางรวมที่สั้นที่สุด

5) สรุปผล และเสนอแนะ

4.4 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

การวิเคราะห์หาผลเฉลยถูกควบคุมตัวแปรให้อยู่ในเงื่อนไขที่เป็นธรรมชาติ โดยใช้การประเมินค่าที่ 20,000 evaluations ต่อการให้ผลลัพธ์เฉลย (run) ต่อหนึ่งอัลกอริทึม ต่อหนึ่งชุดข้อมูล (ตัวแบบมาตรฐาน) ซึ่งคำนวณจาก จำนวนประชากร (Population Size) $\times$ จำนวนรอบ (Iterations) สำหรับอัลกอริทึมเชิงประชากรจะปรับ Iterations ให้สอดคล้องกับ Population Size เพื่อให้ evaluations รวมเท่ากับ 20,000 โดยการศึกษาเพิ่มเติมจะสำรวจผลของ Population Size $\in$ {40, 100, 200} โดยปรับ Iterations ให้เป็น {500, 200, 100} ตามลำดับ ภายใต้การประเมินค่าที่ 20,000 evaluations ในแต่ละอัลกอริทึม และชุดข้อมูลมีเงื่อนไขหยุดที่ 20,000 evaluations การวัดผลประกอบด้วย คุณภาพของคำตอบได้แก่ ค่าที่ดีที่สุด ค่าเฉลี่ย ค่ามากที่สุด ค่าน้อยสุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และระยะเวลาในการทำงานต่อรอบ (Best, Mean, Fmin, Fmax, Std และ Time (s/round)) ในการวิจัยนี้ FOA ได้กำหนดการใช้วิธีการสลับตำแหน่ง (2-Opt, 3-Opt และ 2-3 Opt) โดยพิจารณาจากสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของเมืองมาเพื่อทำการปรับปรุง ได้แก่ 10%–1%, 20%–2%, 30%–3%, 40%–4% และ 50%–5% โดยพบว่ายิ่งเลือกเปอร์เซ็นต์ที่สูงขึ้นจะใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างมาก แม้ว่าจะมีโอกาสได้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นก็ตาม เพื่อสร้างสมดุลระหว่างคุณภาพของคำตอบกับเวลาในการประมวลผล เลือกใช้ค่า 20% สำหรับการสลับ 2-Opt และ 2% สำหรับการสลับ 3-Opt ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมในการลดระยะเวลาการคำนวณแต่ยังคงรักษาประสิทธิภาพของการหาคำตอบได้ดี โดยดูจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการใช้สัดส่วนการสลับในระดับปานกลางสามารถช่วยเพิ่มความหลากหลายของเส้นทาง และหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในค่าที่ไม่เหมาะสมเฉพาะที่ได้ โดยไม่ทำให้เวลาในการทำงานสูงเกินความจำเป็น รวมถึงการใช้ Savings Algorithm เพื่อสร้างประชากรเริ่มต้น

5. ผลการวิจัย

ในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบสำหรับการจัดเส้นทางปัญหาการเดินทางของพนักงานขายโดยวิธีการอัลกอริทึมแมลงวันผลไม้ ได้แบ่งผลการวิเคราะห์ปัญหาออกเป็น

- 1) การพิจารณาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการตั้งค่าพารามิเตอร์
- 2) การพิจารณาที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง
- 3) ผลการพิจารณาข้อมูลจำนวน 9 ชุดข้อมูลแบบวัตถุประสงค์เดียวโดยมีปัญหาคือเป็นแบบ TSP ได้แก่ Ulysses16, Ulysses22, Dantzig42, Att48, Eil51, Berlin52, ST70, Eil76 และ Rat99 พร้อมกับการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆอีก 10 อัลกอริทึมประกอบด้วย DEO , GWO, SA, GA, PSO, ACO, TLBO, FOA,FA และ WOA

5.1 การพิจารณาหาตัวแปรที่เหมาะสมในการตั้งค่าพารามิเตอร์

ในการพิจารณาวิธีการ FOA นั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสามารถพิจารณาถึง การปรับปรุงในวิธีอัลกอริทึมแมลงวัน โดยสามารถแบ่งพิจารณารูปแบบของสมการออกได้เป็น 4 รูปแบบได้แก่

- 1) วิธีการ FOA แบบเดิม
- 2) วิธีการ FOA2TSP แบบ 2 มิติ ในพิกัด X และ Y (The Fruit Fly Optimization Algorithm with two-dimensional coordinates (2D) operates in a space defined by X and Y coordinates)
- 3) วิธีการ FOA3TSP แบบ 3 มิติ ในพิกัด X, Y และ Z (The Fruit Fly Optimization Algorithm with three-dimensional coordinates (3D) operates in a space defined by X, Y and Z coordinates)
- 4) วิธีการ FOA4TSP แบบมีโดเมนชั้นเป็นแบบ Hyper Dimensional (The Fruit Fly Optimization Algorithm with Hyper Dimensional)

สมการที่ใช้ในการประเมินค่าฟิตเนส (fitness) ที่มาจากการวิเคราะห์พิจารณา โดยกำหนดให้สมการมีหลายรูปแบบ ได้แก่ 2 มิติ, 3 มิติ และ Hyper Dimensional ดังแสดงในสมการที่ 13-24

สมการสำหรับโดเมนชั้นที่เป็น 2 มิติ (2D)

$$D(i,:) = (X(i,:)^2 + Y(i,:)^2)^{0.5} \quad (13)$$

$$D(i,:) = X(i,:) \times Y(i,:)^2 \quad (14)$$

$$D(i,:) = (X(i,:)^{0.5}) \times (Y(i,:)^2) \quad (15)$$

$$D(i,:) = (X(i,:)^{0.5}) + (Y(i,:)^{0.5}) \quad (16)$$

สมการสำหรับโดเมนชั้นที่เป็น 3 มิติ (3D)

$$D(i,:) = (X(i,:)^2 + Y(i,:)^2 + Z(i,:)^2)^{0.5} \quad (17)$$

$$D(i,:) = (X(i,:) \times Y(i,:) \times Z(i,:)) \quad (18)$$

$$D(i,:) = (X(i,:)^{0.5} + Y(i,:)^{0.5} + Z(i,:)^{0.5}) \quad (19)$$

$$D(i,:) = (X(i,:) \times (Y(i,:)^2) \times (Z(i,:)^{0.5})) \quad (20)$$

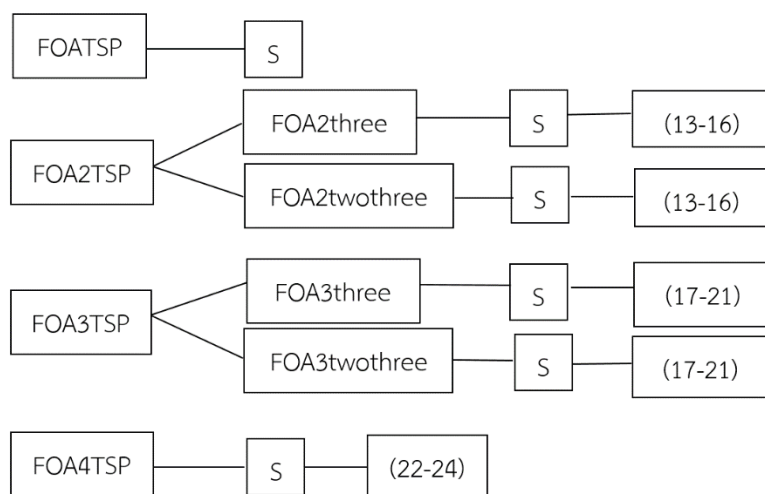
$$D(i,:) = (X(i,:) \times Y(i,:) \times (Z(i,:)^3)) \quad (21)$$

สมการสำหรับโดเมนชั้นที่เป็น Hyper Dimensional

$$D(i,:) = (X1(i,:)^2 + X2(i,:)^2 + X3(i,:)^2 + X4(i,:)^2)^{0.5} \quad (22)$$

$$D(i,:) = (X1(i,:)^{0.5} \times X2(i,:)^{0.5} \times X3(i,:)^{0.5} \times X4(i,:)^{0.5}) \quad (23)$$

$$D(I,:) = (X1(i,:) \times X2(i,:)^{0.5} \times X3(i,:)^2 \times X4(i,:)^3) \quad (24)$$



ภาพที่ 1 การกำหนดชื่อของอัลกอริทึม และรูปแบบการเลือกใช้สมการ

การกำหนดชื่อของอัลกอริทึม และรูปแบบการเลือกใช้สมการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 สามารถอธิบายได้ดังนี้

FOATSP คืออัลกอริทึม Fruit Fly Optimization Algorithm สำหรับแก้ปัญหา TSP

FOA2TS, FOA3TSP และ FOA4TSP คืออัลกอริทึม FOA แบบมีโดเมนชั้น 2 มิติ, 3 มิติ และ มิติที่สูงขึ้น ตามลำดับ โดยมีการปรับเปลี่ยน Swop, Swap และ Insertion position แบบการสลับ 2-opt

FOA2three และ FOA3three คืออัลกอริทึม FOA แบบมีโดเมนชั้น 2 มิติ และ 3 มิติ โดยมีการปรับเปลี่ยน Swop, Swap และ Insertion position แบบการสลับ 3-opt

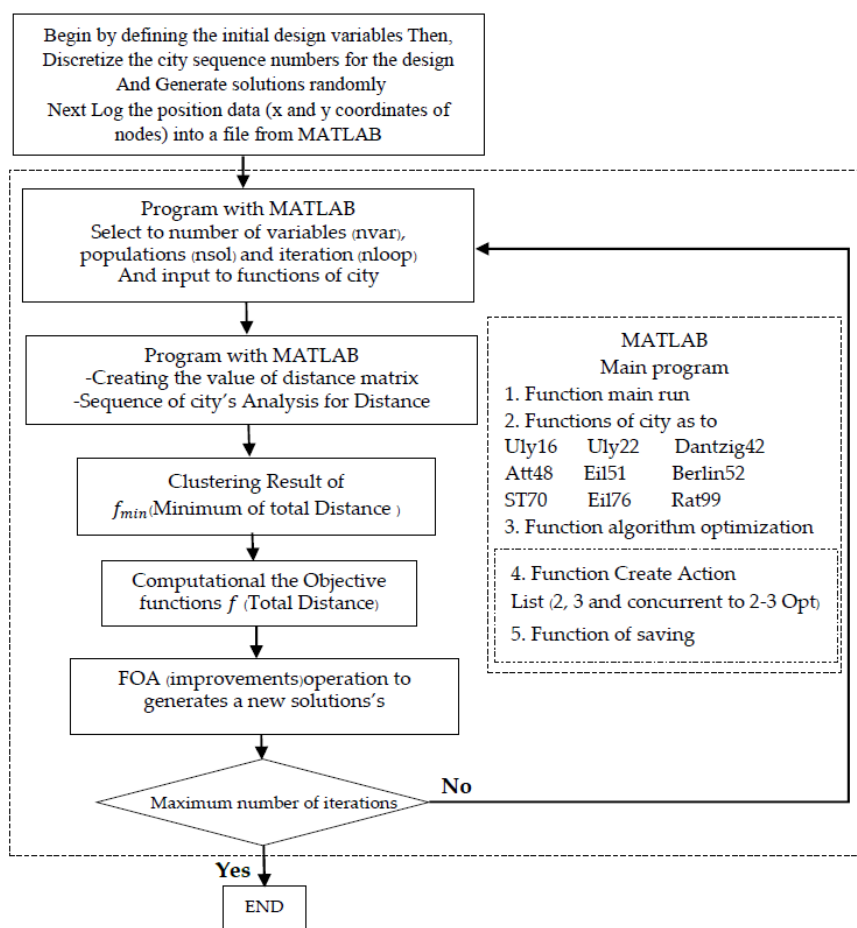
FOA2twothree และ FOA3twothree คือ อัลกอริทึม FOA แบบมีโดเมนชั้น 2 มิติ และ 3 มิติ โดยมีการปรับเปลี่ยน Swop, Swap และ Insertion position แบบการสลับ 2-3opt

S คือ การใช้ saving ในการกำหนดค่าประชากรเริ่มต้น

ตัวเลข 13-24 คือ ตัวเลขของสมการที่ใช้ในการประเมินค่าฟิตเนส (fitness) โดยมี กระบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมของ FOA ในการหาผลเฉลยของตัวแบบปัญหาดังแสดงใน รูปที่ 2 การกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นได้แก่

$n=nsol$ คือ Population size (number of fruit fly) จำนวนประชากรแมลงวันผลไม้ ได้แก่ จำนวน 40 ตัว, 100 ตัว และ 200 ตัว ในการทดลองหลายค่าประชากร (40, 100, 200) ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ขนาดประชากรเท่าใดเหมาะสมที่สุด กับลักษณะของปัญหา TSP ที่กำลังศึกษา โดยงานวิจัยที่ใช้ FOA (Pan, W. T., 2012; Wang, L., et al., 2019) และอัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการอื่น ๆ (เช่น PSO, GA) นิยมทดสอบหลายค่าของประชากร เช่น 20, 50, 100, 200 เพื่อหาค่า trade-off ที่เหมาะสมระหว่างคุณภาพคำตอบกับ เวลาในการประมวลผล

$nloop$ คือ Maximum number of iterations จำนวนรอบในการวนซ้ำสูงสุด ได้แก่ จำนวน 500 รอบ, 200 รอบ และ 100 รอบ



ภาพที่ 2 กระบวนการในการหาค่าที่เหมาะสมของ FOA ในการหาผลเฉลยของตัวแบบปัญหา

การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้กับเวลาที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะดำเนินการในการวิเคราะห์ขนาดประชากร (Population Size) และจำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Iterations) ที่จำนวนผลในการประเมินอยู่ที่ 20,000 ครั้ง โดยแบ่งเป็น โดยผลที่ได้จากการทดสอบกับ Ulysses16 จากการทำซ้ำ 25 รอบ มีจำนวนการสุ่ม

ในการหาคำตอบในการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่ง ในรูปแบบของการปรับเปลี่ยนแบบ Swap ,Swop และ Insertion position แต่ละการปรับเปลี่ยนจะพิจารณา 2-Opt, 3-Opt และ 2-3 Opt แบ่งเป็น 10% -1%, 20%- 2% ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 3, 30%- 3%, 40%- 4% และ 50%- 5% เมื่อทำการทดสอบแล้วจึงเลือกขนาดประชากร และจำนวนครั้งของการทำซ้ำ พร้อมกับเลือกค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่งที่มีคำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลาน้อยที่สุด

ผลการทดสอบขนาดประชากร และจำนวนครั้งของการทำซ้ำ ซึ่งกำหนด Population Size และ Iterations โดยวิเคราะห์จำนวนผลในการประเมินอยู่ที่ 20,000 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยผลที่ได้จากการทดสอบกับเมือง Ulysses16 จากการทำซ้ำ 25 รอบ ซึ่งผลที่ได้คือ จำนวน Population Size และ Iterations พบว่าขนาดประชากร และจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ 50, 400 ในอัลกอริทึม FOA2TSP มีเวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุดที่ 62.852 มีจำนวนการสุ่มในการหาคำตอบที่ 20% ดังนั้นจึงเลือกขนาดประชากรและจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ 50, 400 และจำนวนการสุ่มในการหาคำตอบที่ 20% กับ 2% ในการหาคำตอบต่อไป

ตารางที่ 3 การทดสอบขนาดประชากร (Population Size) และจำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Iterations)

เมือง Ulysse16 ตัวอย่างที่มีจำนวนการสุ่มในการหาคำตอบ 20% กับ 2%

Algorithm	Nsol	Nloop (รอบ)	Nrep (ครั้ง)	F _{min}	F _{max}	Average	FSTD	Time (s/round)
FOA2TSP	100	200	25	73.987*	87.106	78.211	4.575	74.726
FOA2three	100	200	25	75.023	109.800	86.758	10.854	56.750
FOA2twothree	100	200	25	73.987*	88.405	77.584	4.339	157.60
FOA3TSP	100	200	25	74.184	91.375	81.345	5.547	65.369
FOA3three	100	200	25	75.912	109.480	89.381	9.725	56.318
FOA3twothree	100	200	25	73.987*	90.531	79.906	5.187	159.527
FOA4TSP	100	200	25	73.999	92.815	80.639	5.493	161.104
FOA2TSP	200	100	25	73.987*	94.475	81.249	6.358	104.135
FOA2three	200	100	25	74.732	109.154	91.569	11.667	81.982
FOA2twothree	200	100	25	73.987*	90.096	78.762	5.060	155.531
FOA3TSP	200	100	25	74.614	91.611	79.859	5.874	63.161
FOA3three	200	100	25	77.702	108.550	89.515	8.931	52.402
FOA3twothree	200	100	25	74.153	89.047	78.334	3.558	155.483
FOA4TSP	200	100	25	73.987*	89.602	78.061	5.079	155.541
FOA2TSP	50	400	25	73.987*	93.084	79.734	5.387	62.852
FOA2three	50	400	25	75.089	103.890	86.460	10.821	56.111
FOA2twothree	50	400	25	74.001	89.635	78.651	4.711	156.927
FOA3TSP	50	400	25	74.184	95.147	81.822	5.647	62.218
FOA3three	50	400	25	75.038	105.671	88.836	9.828	52.548
FOA3twothree	50	400	25	74.739	94.342	80.573	5.618	158.104
FOA4TSP	50	400	25	73.987*	90.903	77.079	4.372	156.063

*Optimal solution ของ Ulysses16

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่า Fitness โดยการเปรียบเทียบขนาดประชากร (Population Size) และ จำนวนครั้งของการทำซ้ำ (Iterations)

Population Size	Iterations	number of evaluations	Time(s)	F _{min}
100	200	20,000	114.681	73.987*
200	100	20,000	113.983	73.987*
50	400	20,000	117.769	73.987*
50	400	20,000	114.349	73.987*
100	200	20,000	74.726	73.987*
200	100	20,000	104.135	73.987*
50	400	20,000	62.852	73.987*
100	200	20,000	87.165	73.987*
50	400	20,000	87.838	73.987*
100	200	20,000	110.117	73.987*

*Optimal solution ของ Ulysses16

5.2 การพิจารณาที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง

การพิจารณาที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยตัวเอง ได้แก่ การปรับเปลี่ยน (Swap) ได้แก่ การสลับ 2-Opt และการสลับ 3-Opt การสลับตำแหน่ง (Swop) ได้แก่ การสลับ 2-Opt และการสลับ 3-Opt และการแทรกเวกเตอร์ในข้อมูลใหม่ ได้แก่ การสลับ 2-Opt และการสลับ 3-Opt ด้วยเทคนิคของอัลกอริทึมแมลงวันในการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่ง ในรูปแบบของการปรับเปลี่ยนแบบ Swap, Swop และ Insertion position แต่ละการปรับเปลี่ยนจะพิจารณา การสลับ 2-Opt การสลับ 3-Opt และการสลับ 2-3 Opt โดยในเมือง Ulysses16, Ulysses22, Dantzig42 และ Att48 จะเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ในการสลับ 2-Opt อยู่ที่ 20% การสลับ 3-Opt อยู่ที่ 2% และในเมือง Eil51 และ Berlin52 จะเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ในการสลับ 2-Opt อยู่ที่ 10% การสลับ 3-Opt อยู่ที่ 1% และในเมือง ST70, Eil76 และ Rat99 จะเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ในการสลับ 2-Opt อยู่ที่ 10% และการสลับ 3-Opt อยู่ที่ 0.4% โดยเลือกค่าที่ได้จากการสุ่มจากผลของการสลับที่ได้เนื่องจากในแต่ละเมืองใช้เวลาในการประมวลผลที่แตกต่างกันออกไป ในเมืองที่มากขึ้นจะใช้เวลามากขึ้นตามจึงจะเป็นที่จะต้องลดเปอร์เซ็นต์ให้เหมาะสม และทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับหน่วยการประมวลผลกลาง (CPU) และขนาดของหน่วยความจำ (RAM) ของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผลด้วย

รวมถึงการเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ทำการปรับปรุงแล้ว กับอัลกอริทึมที่มีการปรับปรุงแล้ว และเพิ่มการนำวิธีการ Saving เข้ามาช่วยโดยการกำหนดค่าเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบแล้วจึงทำการเลือกอัลกอริทึมที่มีค่าคำตอบเข้าใกล้ Optimal solution มากที่สุดและใช้เวลาน้อย เนื่องจากอัลกอริทึมที่ทำการปรับปรุงมีจำนวนมากจากการปรับโดเมนชั้นให้เป็น 3 มิติ และมิติที่สูงขึ้น การปรับเปลี่ยนแบบ Swop, Swap และ

Insertion position การสลับ 2-Opt การสลับ 3-Opt และการสลับ 2-3 Opt การเลือกใช้สมการในการหาค่าฟิตเนส และการนำ Saving เข้ามาช่วยโดยการกำหนดค่าเริ่มต้น

จากการทดสอบในเมือง Ulysses16, Ulysses22, DANTZIG42, และ Att48 ทั้งแบบที่มีการปรับปรุงแล้วและแบบการนำ Saving มาช่วยหาคำตอบ เพื่อใช้เปรียบเทียบพบว่า การนำ Saving เข้ามาช่วยทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าแบบปรับปรุงแล้ว จึงเลือกเมืองที่มีค่าน้อยของทั้งแบบที่มีการปรับปรุงแล้วจำนวน 2 อัลกอริทึมคือ FOA3twothree19 และ FOA4TSP23 และแบบที่มีการปรับปรุงแล้วและนำ Saving มาช่วยหาคำตอบจำนวน 2 อัลกอริทึมคือ FOA2twothree14S และ FOA3twothree17S เป็นอัลกอริทึมที่มีค่าน้อยที่สุดที่ 34,076.871 และใช้เวลาน้อย เพื่อใช้ในการหาคำตอบในเมืองอื่นๆต่อไป พร้อมกับเปรียบเทียบกับ FOATSPS ที่ยังไม่มีปรับปรุงการหาคำตอบ แต่มีการนำ Saving เข้ามาช่วย

5.3 ผลการพิจารณาตัวแบบปัญหา

จากการพิจารณาที่เกิดจากการเรียนรู้ด้วยตัวเองได้ทำการเลือกอัลกอริทึมจำนวน 5 อัลกอริทึมคือ FOATSPS, FOA2twothree14S, FOA3twothree17S, FOA3twothree19 และ FOA4TSP23 ที่จะใช้เป็นการเปรียบเทียบกับตัวแบบมาตรฐานจำนวน 10 ตัวแบบได้แก่ FOA, DEO, GA, TLBO, GWO, PSO, FOA, SA, FA และ WOA เพื่อประเมินประสิทธิภาพ การเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆช่วยให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่ทำการปรับปรุงนั้นมีประสิทธิภาพดีขึ้นหรือไม่และการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับเป็นการยืนยันว่าอัลกอริทึมที่ทำการปรับปรุงมีความได้เปรียบทางด้านใดบ้าง จากผลการทดลองพบว่าในเมือง Ulysses16 วิธีที่มีการปรับปรุงและใช้ Saving ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด และวิธีที่ปรับปรุงแต่ไม่ใช้ Saving ก็ยังได้คำตอบที่ใกล้เคียงเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 5 และสามารถแสดง Box plots ของอัลกอริทึม FOA ที่ทำการปรับปรุงกับวิธีการอื่น 10 วิธีการ ของเมือง Ulysses16 ได้ดังรูปที่ 3 สำหรับ Ulysses22 วิธีที่ใช้ Saving ยังคงให้ผลลัพธ์ใกล้เคียง ในขณะที่วิธีไม่ใช้ Saving ได้ค่ามากกว่าส่วน dantzig42 แบบที่ใช้ Saving ให้ค่าต่ำกว่า ขณะที่แบบไม่ใช้ Saving ให้ค่ามากกว่า และในเมือง att48, Eil51, Berlin52, ST70, Eil76 และ Rat99 วิธีที่มีการใช้ Saving ให้คำตอบที่ใกล้เคียงมากกว่าอย่างต่อเนื่องในขณะที่วิธีไม่ใช้ Saving มักได้ค่ามากกว่าจะเห็นได้ว่าหากไม่มีการใช้ Saving เมื่อจำนวนเมืองเพิ่มขึ้นคำตอบที่ได้จะเบี่ยงเบนไปมากอันเป็นผลจากความซับซ้อนที่สูงขึ้นและข้อจำกัดของอัลกอริทึม แม้จะมีการปรับปรุงวิธีก็ตามดังนั้นการใช้ Saving จึงมีบทบาทสำคัญในการช่วยให้อัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพและใกล้เคียงค่าที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

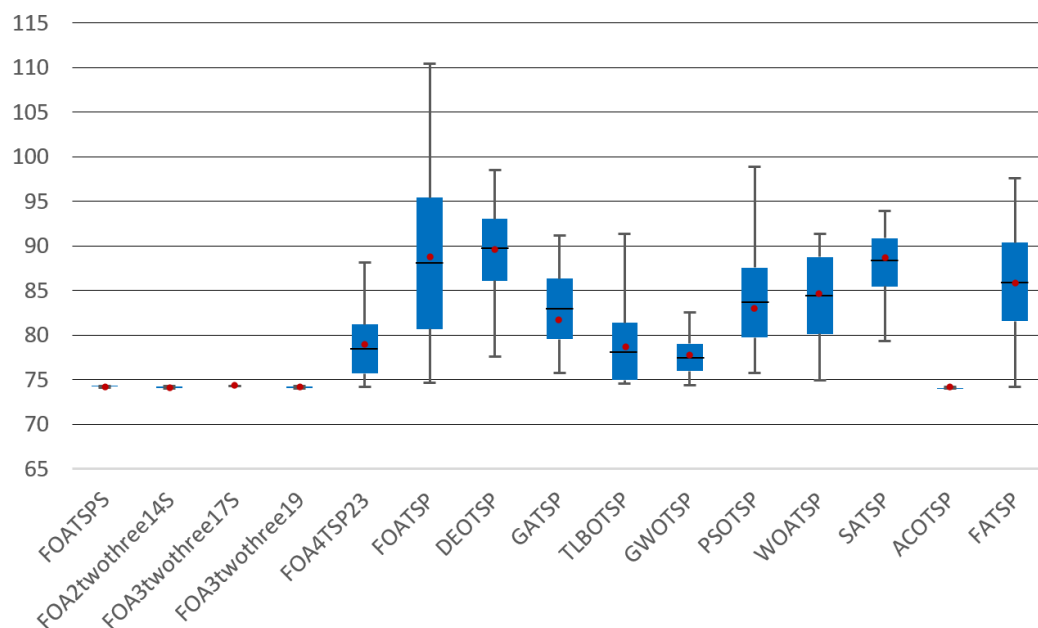
ผลสรุปจากการจัดอันดับที่ได้จากการทดสอบโดยพิจารณาจากค่าคำตอบที่ได้เทียบกับ ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และเวลาในการประมวลผลเมื่อทำการเปรียบเทียบกันพบว่าอัลกอริทึม FOA2twothree14S และ FOA3twothree17S ได้อันดับที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 6 โดยอัลกอริทึม FOA2twothree14S มีโดเมนชั้น เป็นสองมิติ ในพิกัด X และ Y ที่ทำการสลับ 2-3 Opt ด้วยสมการ $D(i,:) = X(i,:) \times Y(i,:)^2$ เป็นสมการที่

เกิดจาก X คูณกับ Y^2 และมีการนำ Saving เข้ามาช่วย และอัลกอริทึม FOA3twothree17S ที่มีโดเมนชั้น 3D ในพิกัด

ตารางที่ 5 การทดสอบการปรับปรุงอัลกอริทึม FOA ของเมือง Ulysses16 มีจำนวนการสุ่มในการหาคำตอบ 20% กับ 2% พร้อมกับการเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น 10 วิธีการ

Algorithm	Nsol	Nloop (รอบ)	Nrep (ครั้ง)	F_{min}	F_{max}	Average	FSTD
FOATSPS	50	400	25	74.108	74.307	74.291	0.055
FOA2twothree14S	50	400	25	73.999	74.307	74.147	0.096
FOA3twothree17S	50	400	25	74.307	74.307	74.307	0
FOA3twothree19	50	400	25	73.987*	74.307	74.210	2.900
FOA4TSP23	50	400	25	74.198	88.149	78.462	4.073
FOATSP	50	400	25	74.702	110.434	88.065	10.924
DEOTSP	50	400	25	77.643	98.504	89.557	5.131
GATSP	50	400	25	75.725	91.160	82.938	5.042
TLBOTSP	50	400	25	74.599	91.350	78.157	4.759
GWOTSP	50	400	25	74.356	82.515	77.498	2.270
PSOTSP	50	400	25	75.726	98.893	83.632	5.816
WOATSP	50	400	25	74.922	91.350	84.468	6.382
SATSP	50	400	25	79.320	93.964	88.183	4.023
ACOTSP	50	400	25	73.987*	74.247	74.044	0.074
FATSP	50	400	25	74.233	97.636	85.978	6.539

*Optimal solution ของ Ulysses16



ภาพที่ 3 Box plots ของอัลกอริทึม FOA ที่ทำการปรับปรุงกับวิธีการอื่น 10 วิธีการ ของเมือง Ulysses16

X, Y และ Z ทำการสลับ 2-3 Opt ด้วยสมการ $D(i,:) = (X(i,:)^2 + Y(i,:)^2 + Z(i,:)^2)^{0.5}$ เป็นสมการเกิดจากรากที่สองของ $X^2 + Y^2 + Z^2$ และมีการนำ Saving เข้ามาช่วยซึ่งเกณฑ์ในการจัดอันดับมาจากการนำค่า F_{min} มาจัดลำดับ จากนั้นนำลำดับที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วจัดอันดับอีกครั้ง อันดับที่ 2 คือ FOATSPS คืออัลกอริทึม FOA เดิมที่ไม่มีการปรับปรุงอัลกอริทึม การหาค่าฟิตเนสในรูปแบบสมการเดิมของอัลกอริทึมคือ $D(i,:) = (X(i,:)^2 + Y(i,:)^2)^{0.5}$ เป็นสมการเกิดจากรากที่สองของ X^2 บวกกับ Y^2 และมีการนำ Saving เข้ามาช่วย อันดับที่ 3 คืออัลกอริทึม ACO อันดับที่ 4 คืออัลกอริทึม TLBO อันดับที่ 5 คืออัลกอริทึม GWO และอัลกอริทึม WOA อันดับที่ 6 คืออัลกอริทึม GA อันดับที่ 7 คือ FOA4TSP23 มีโดเมนชั้นเป็นแบบ Hyper Dimensional ทำการสลับ 2-3 Opt อันดับที่ 8 คือ FOA3twothree19 มีโดเมนชั้นเป็น 3 มิติ ในพิกัด X, Y และ Z มีทำการสลับ 2-3 Opt อันดับที่ 9 คืออัลกอริทึม FOA ที่ไม่มีการปรับปรุงอัลกอริทึม อันดับที่ 10 คืออัลกอริทึม PSO อันดับที่ 11 คืออัลกอริทึม SA อันดับที่ 12 คืออัลกอริทึม DEO และอันดับที่ 13 คืออัลกอริทึม FA

ในกรณีของ FOA2twothree14S ทำให้ฟังก์ชันฟิตเนสของปัญหา TSP มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของพิกัด Y มากกว่า X ซึ่งช่วยเพิ่มความแตกต่างของค่าฟิตเนสระหว่างประชากร ส่งผลให้สามารถแยกเส้นทางที่ได้ออกจากเส้นทางที่ด้อยคุณภาพได้ชัดเจนขึ้น ส่วน FOA3twothree17S เพิ่มมิติที่สามเข้ามาทำให้พื้นที่ค้นหามีความซับซ้อนและสมจริงขึ้นโดยเฉพาะในปัญหาที่มีลักษณะเชิงพื้นที่ 3D การใช้รากที่สองของระยะทางสามมิติทำให้การประเมินฟิตเนสใกล้เคียงลักษณะจริงมากกว่าแบบ 2D ปกติ จากผลการแก้ปัญหา TSP ตอบสนองต่อพารามิเตอร์มากกว่า 1 มิติ และมี non-linear scaling (เช่น ยกกำลังสอง, รากที่สอง) ช่วยให้การประเมินเส้นทางละเอียดและแม่นยำกว่ารวมถึงการใช้ 2-3 Opt ช่วยเพิ่มการปรับเส้นทางในเชิงลดความเสี่ยงของการติด local minima และการใช้ Savings Algorithm ช่วยสร้างประชากรเริ่มต้นคุณภาพสูง ทำให้อัลกอริทึม FOA ที่ปรับปรุงแล้วมีศักยภาพเหนือกว่า FOA ดั้งเดิมและอัลกอริทึมเมต้าฮิวริสติกตัวอื่นๆ

ตารางที่ 6 ผลสรุปการจัดอันดับ (Rank) ที่ได้จากการทดสอบปัญหาโดยใช้วิธีเมต้าฮิวริสติก

City	Ulysses1	Ulysses22	Dantzig42	att48	Eil51	Berlin52	st70	Eil76	rat99	Mean	Rank
FOATSPS	4	2	3	3	1	3	3	3	1	2.556	2
FOA2twothree14S	3	4	2	2	2	1	2	2	3	2.333	1
FOA3twothree17S	7	3	1	1	3	2	1	1	2	2.333	1
FOA3twothree19	2	11	11	10	11	11	12	11	12	10.111	8
FOA4TSP23	5	7	13	9	9	9	10	9	11	9.111	7
FOATSP	10	10	12	11	10	10	9	12	13	10.778	9
DEOTSP	14	15	14	14	14	14	14	14	14	14.111	12
GATSP	12	9	9	7	7	5	6	6	9	7.778	6
TLBOTSP	9	5	6	5	5	6	5	5	5	5.667	4
GWOTSP	8	6	5	6	8	8	8	8	7	7.111	5
PSOTSP	13	12	8	12	13	12	11	10	8	11.000	10
WOATSP	11	8	4	8	6	7	7	7	6	7.111	5
SATSP	15	13	10	13	12	13	13	13	10	12.444	11
ACOTSP	1	1	7	4	4	4	4	4	4	3.667	3
FATSP	6	14	15	15	15	15	15	15	15	13.889	13

6. สรุปและอภิปรายผล

วิธีการแมลงวันผลไม้สำหรับปัญหา TSP ที่ใช้ในการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางเดิมนั้นมีค่าพารามิเตอร์แบบโดเมนชั้นเป็นสองมิติ ตำแหน่งของแมลงวันผลไม้แต่ละตัวถูกกำหนดโดยตัวแปรสองตัว โดยปกติจะเป็นพิกัด X และ Y แต่การใช้เพียง 2 มิติ ไม่เพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ปัญหาที่มีหลายตัวแปร และซับซ้อน หรือปัจจัยที่ต้องพิจารณามากกว่าแค่การค้นหาพื้นที่ในรูปแบบ X และ Y อาจทำให้การคำนวณหาคำตอบไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาที่มีตัวแปรหลายตัวแปรที่เชื่อมโยงกัน ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์โดยการเพิ่มโดเมนชั้นให้เป็น 3D แบบ 3 มิติ จะเพิ่มพิกัด Z เข้ามา ทำให้พื้นที่การค้นหาซับซ้อนยิ่งขึ้น และในโดเมนชั้นที่สูงขึ้น การปรับเปลี่ยนแบบ Swop ,Swap และ Insertion position แต่ละการปรับเปลี่ยนจะพิจารณาการสลับ 2-Opt การสลับ 3-Opt และการสลับ 2-3 Opt และการนำ Saving เข้ามาช่วยโดยการกำหนดค่าเริ่มต้น ที่ทำให้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่ง Saving จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการหาคำตอบลงได้

ในการวิเคราะห์การเปรียบเทียบ Algorithm ที่ดีที่สุดกับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจาก 9 เมือง ดังแสดงในตารางที่ 7 ที่ทำการทดสอบผลที่ได้จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยจากการทดสอบเมือง Dantzig42 มีคำตอบลดลงจากค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคิดเป็น 2.780 % เนื่องด้วยในการทดลองใช้อัลกอริทึม FOA กับชุดข้อมูล DANTZIG42 ซึ่งมีการรายงานค่า optimal tour length เท่ากับ 699 (Reinelt, 1991; Reinelt, 1995) ผลการคำนวณของงานวิจัยนี้ได้ค่าเส้นทางที่สั้นกว่า คือ 679.56 ทั้งนี้สาเหตุสำคัญเกิดจากความแตกต่างในการคำนวณระยะทาง โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่า Euclidean distance แบบทศนิยมเต็มโดยไม่ปิดเศษ ขณะที่ TSPLIB กำหนดให้ใช้การปัดค่าระยะทางเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้น แม้ผลลัพธ์ที่ได้จะดูต่ำกว่าค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่รายงาน แต่ไม่สามารถถือว่าเป็นคำตอบที่ดีกว่า ทั้งนี้ ผลการทดลองยังสะท้อนว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้รับการยอมรับในวงวิชาการ

ในเมือง Ulysses16 มีคำตอบเท่ากับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในเมือง Ulysses22, att48 และ Eil51 มีคำตอบใกล้เคียงค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคิดเป็น 0.239%, 1.655%, และ 2.691% ตามลำดับ และเมือง Berlin52, ST70, Eil76 และ Rat99 มีคำตอบมากกว่า Optimal solution คิดเป็น 3.437%, 3.659% ,4.617% และ 4.160% ตามลำดับ

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบ Algorithm ที่ดีที่สุด กับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีการแมลงวันผลไม้

City	Optimal solution	Fitness	Optimal solution (%)	Algorithm
Ulysses16	73.98	73.98*	ได้ Optimal solution	FOA4TSP24S
Ulysses22	75.30	75.48	0.239	FOA4TSP22S
Dantzig42	699	679.56**	ลดลง -2.780	FOA3twothree17S
att48	33,522	34,076.87	1.655	FOA3twothree17S
eil51	426	437.46	2.691	FOATSPS
berlin52	7,542	7,801.23	3.437	FOA3twothree14S

ตารางที่ 7 (ต่อ)

City	Optimal solution	Fitness	Optimal solution (%)	Algorithm
st70	675	699.70	3.659	FOA3twothree17S
Eil76	538	562.843	4.617	FOA3twothree17S
rat99	1,211	1,261.38	4.160	FOATSPS

* Optimal solution, **≈ Optimal tour length(Reinelt, 1991; Reinelt, 1995)

เมื่อพิจารณาการปรับปรุงวิธีการแมลงวันผลไม้ในการหาคำตอบของปัญหา TSP จากการทดสอบตัวแบบเมืองทั้ง 9 ตัวแบบนี้ผลลัพธ์ที่ได้จาก FOA3twothree17S สามารถได้คำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 5 ตัวแบบ ลงลงมาได้แก่ FOA4TSP24S จำนวน 1 ตัวแบบ ,FOA4TSP22S 1 ตัว และ FOATSPS 2 ตัวแบบ ซึ่งจะเห็นได้มาเมื่อมีการใช้มิติที่สูงขึ้นจากเดิม (X, Y) เป็น (X, Y, Z) และ (X1, X2, X3, X4) ทำให้รูปแบบการหาคำตอบในจำนวนประชากร และรอบที่เท่ากันเมื่อเทียบกับแบบเดิมนั้นมีความสามารถในการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรได้ โดยสามารถเข้าใกล้ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยเมืองที่ได้ค่าน้อยกว่าค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้แก่เมือง Dantzig42 และเมืองที่ได้ค่าเท่ากับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้แก่เมือง Ulysses16 และ เมืองที่ได้ค่าใกล้เคียง ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้แก่เมือง Ulysses22 ,Att48, Eil51, Berlin52, ST70,Eil76 และ Rat99 ซึ่งผลการพัฒนา FOA ไปสู่มิติที่สูงขึ้น (3D และ Hyper Dimensional) แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการสำรวจพื้นที่คำตอบที่กว้างขึ้นซึ่งช่วยลดโอกาสในการติดอยู่ที่ local optima ได้อย่างมีนัยสำคัญอธิบายได้จากทฤษฎีการเพิ่ม degrees of freedom ของตัวแปรที่ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ (trajectory) ของอัลกอริทึมไม่ถูกจำกัดอยู่ในระนาบสองมิติเดิมในขณะเดียวกันการผนวก Heuristic Methods ได้แก่ 2-Opt, 3-Opt, 2-3Opt และ Savings Algorithm ทำให้อัลกอริทึมสามารถสร้างประชากรเริ่มต้นที่มีคุณภาพและมีการปรับแต่งเชิงโครงสร้างของเส้นทางได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้กระบวนการ local search มีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าการใช้ FOA แบบเดิมโดยการผสานวิธีเมต้าฮิวริสติก กับความรู้เชิงฮิวริสติกที่เฉพาะเจาะจงกับปัญหา (heuristics problem-specific knowledge) เช่น 2-Opt, 3-Opt, และ Savings Algorithm ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ (Liu et al.,2023; Zhang et al.,2023) โดยสามารถสร้างประชากรเริ่มต้นที่มีคุณภาพสูงและปรับปรุง local search ได้ดีซึ่งสอดคล้องกับการแก้ปัญหาเชิงผสมผสาน (Combinatorial Optimization) สำหรับการนำใช้กับปัญหา TSP ที่จะต้องสร้างสมดุลระหว่าง exploration (การสำรวจพื้นที่คำตอบใหม่) และ exploitation (การปรับแต่งคำตอบที่ติดอยู่แล้ว) เพื่อหลีกเลี่ยง local optima

โดยจะเห็นได้ว่าการใช้ Algorithm FOA3twothree17S ที่เป็นสามมิติมีการปรับเปลี่ยน Swap, Swop และ Insertion position แบบการสลับ 2-3 Opt มีการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่ง และการนำ Saving เข้ามาช่วยในการกำหนดค่าประชากรเริ่มต้นจะเป็นทำให้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเนื่องด้วย ความสามารถในการสำรวจจาก FOA แบบมิติสูง และความสามารถในการเลือกคำตอบจากวิธีฮิวริสติกจึงถือเป็นการผสานจุดแข็งของ global search และ local search เข้าด้วยกัน ดังนั้นจึงสามารถอธิบายเชิง

ทฤษฎีได้ว่า FOA3twothree17S มีประสิทธิภาพสูงสุดในการแก้ปัญหา TSP ที่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับ FOA แบบดั้งเดิม และเมตาดาฮิลิสติกอื่นๆ และอัลกอริทึม FOA4TSP24S ที่เป็นโดเมนขั้นที่สูงขึ้น ที่มีการปรับเปลี่ยน Swap, Swop และ Insertion position แบบการสลับแบบ 2-3 Opt และการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่งและมีการนำ Saving เข้ามา จะเป็นทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และอัลกอริทึม FOA4TSP22S เป็นโดเมนขั้นที่สูงขึ้นที่มีการปรับเปลี่ยน Swap, Swop และ Insertion position แบบการสลับแบบ 2-3 Opt และการพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของการสลับตำแหน่งและมีการนำ Saving เข้ามา และอัลกอริทึม FOATSPS คืออัลกอริทึม FOA เดิมที่ไม่มีการปรับปรุงอัลกอริทึมและมีการนำ Saving เข้ามา โดยทุกอัลกอริทึมจะเลือกใช้เปอร์เซ็นต์ในการสลับ 2-Opt อยู่ที่ 10%-20% และการสลับ 3-Opt อยู่ที่ 0.4% - 2%

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพของ FOA ในกระบวนการหาคำตอบโดยการเพิ่มโดเมนขั้น และมิติที่สูงขึ้นโดยการปรับปรุงการหาผลเฉลยเดิมของอัลกอริทึม FOA ที่มีอยู่ให้มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม FOA เดิม ที่ยังไม่มีปรับปรุง นั้นอัลกอริทึม FOA อยู่ในลำดับที่ 9 แต่ในลำดับที่ 1 เป็นอัลกอริทึม FOA3twothree17S และ FOA2twothree14S จึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่มีคำตอบเท่ากับค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือมีคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา และผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้ช่วยผู้ประกอบการลดต้นทุนและเวลาเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่ง เสริมการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์ และสนับสนุนความยั่งยืนทางธุรกิจ และสิ่งแวดล้อม ทำให้สามารถแข่งขันได้ดียิ่งขึ้นในระบบเศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยโลจิสติกส์ งานวิจัยนี้แม้จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ FOA ที่ได้พัฒนาขึ้นในการแก้ปัญหา TSP ได้ดีกว่า FOA ดั้งเดิม และวิธีเมตาดาฮิลิสติกตัวอื่นๆ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดบางประการ ได้แก่ ความไวต่อพารามิเตอร์ที่ตั้งค่า การประเมินผลเฉพาะปัญหา TSP ไม่ครอบคลุมปัญหาประยุกต์อื่น ภาระด้านเวลาในการคำนวณที่สูงขึ้นจากการเพิ่มมิติ และการใช้วิธีฮิลิสติก และการเปรียบเทียบที่ยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด

ในการทำวิจัยครั้งต่อไปทางผู้วิจัยจะนำอัลกอริทึม FOA ที่ได้พัฒนาขึ้นไปใช้ประโยชน์โดยแนวทางการวิจัยในอนาคตจะทำการพัฒนา FOA ที่ปรับพารามิเตอร์ได้เอง (adaptive/self-adaptive FOA) การบูรณาการ Machine Learning เพื่อเสริมการตัดสินใจ การขยายอัลกอริทึมไปสู่ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP) หรือ Dynamic TSP ซึ่งจะช่วยให้ FOA ที่ได้พัฒนาขึ้นมีความแข็งแกร่ง และพร้อมใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น โดยการทดสอบ และประยุกต์ใช้ FOA ในการศึกษา รูปแบบปัญหา VRP โดยมีข้อจำกัด เช่น ข้อจำกัดด้านเวลา ความจุของยานพาหนะ หรือหน้าต่างเวลาการส่งมอบ เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่แท้จริงของอัลกอริทึมในสถานการณ์ที่ซับซ้อนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

Almufti, S., & Shaban, A. A. (2025). Comparative analysis of metaheuristic algorithms for solving the traveling salesman problems. *International Journal of Scientific World*, 7(1), 1–5.

- Applegate, D. L., Bixby, R. E., Chvátal, V., & Cook, W. J. (2007). *The traveling salesman problem: A computational study*. Princeton University Press.
- Bellman, R. (1962). Dynamic programming treatment of the travelling salesman problem. *Journal of the ACM*, 9(1), 61–63.
- Crişan, G. C., Pintea, C., & Pop, P. C. (2020). Studying heuristics adaptation to a specific degree of fuzziness. In *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)* (pp. 1–7). IEEE.
- Crişan, P., Pintea, S., & Pop, F. (2020). Fruit fly optimization algorithm for traveling salesperson problem. *International Journal of Computer Applications*, 107(18), 1–6.
- Dorigo, M., & Gambardella, L. M. (1997). Ant colonies for the travelling salesman problem. *BioSystems*, 43(2), 73–81.
- Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2010). *Handbook of metaheuristics*. Springer.
- Han, X., Liu, Q., Wang, H., & Wang, L. (2018). Novel fruit fly optimization algorithm with trend search and co-evolution. *Knowledge-Based Systems*, 141, 1–17.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems*. MIT Press.
- Huang, C., Li, X., & Wen, Y. (2021). An OTSU image segmentation based on fruitfly optimization algorithm. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 183–188.
- Huang, L., Wang, G. C., Bai, T., & Wang, Z. (2017). An improved fruit fly optimization algorithm for solving traveling salesman problem. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 18(10), 1525–1533.
- Huang, Y., & Su, T. (2017). Optimizing fruit fly algorithm to solve TSP problem. In *2017 International Conference on Computer Systems, Electronics and Control (ICCSEC)* (pp. 1409–1411). IEEE.
- Iscan, H., & Gunduz, M. (2017). An application of fruit fly optimization algorithm for traveling salesman problem. *Procedia Computer Science*, 111, 58–63.
- Jiang, Z. B., & Yang, Q. (2016). A discrete fruit fly optimization algorithm for the traveling salesman problem. *PLOS ONE*, 11(11).
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95 – International Conference on Neural Networks* (Vol. 4, pp. 1942–1948). IEEE.
- Laporte, G. (2010). Fifty years of vehicle routing. *Transportation Science*, 43(4), 408–416.

- Lawler, E. L., Lenstra, J. K., Rinnooy Kan, A. H. G., & Shmoys, D. B. (1985). *The traveling salesman problem: A guided tour of combinatorial optimization*. Wiley.
- Li, H. Z., Guo, S., Li, C. J., & Sun, J. Q. (2013). A hybrid annual power load forecasting model based on generalized regression neural network with fruit fly optimization algorithm. *Knowledge-Based Systems*, 37, 378–387.
- Li, X., Zhang, J., & Wang, Y. (2018). A modified fruit fly optimization algorithm for global optimization. *Applied Intelligence*, 48(7), 1851–1865.
- Lin, S. M. (2013). Analysis of service satisfaction in web auction logistics service using a combination of fruit fly optimization algorithm and general regression neural network. *Neural Computing and Applications*, 22, 783–791.
- Lin, S., & Kernighan, B. W. (1973). An effective heuristic algorithm for the traveling-salesman problem. *Operations Research*, 21(2), 498–516.
- Liu, Y., Chen, X., & Dib, O. (2023). Application of hybrid metaheuristic algorithms including FOA and PSO to traveling salesman problem. In *Intelligent Computing and Optimization Conference* (pp. 3–18). Springer.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61.
- Mousavi, S. M., Sadeghi, J., Niaki, S. T. A., Alikar, N., Bahreininejad, A., & Metselaar, H. S. C. (2014). Two parameter-tuned meta-heuristics for a discounted inventory control problem in a fuzzy environment. *Information Sciences*, 276, 42–62.
- Pan, Q. K., Sang, H. Y., Duan, J. H., & Gao, L. (2014). An improved fruit fly optimization algorithm for continuous function optimization problems. *Knowledge-Based Systems*, 62, 69–83.
- Pan, W. T. (2012). A new fruit fly optimization algorithm: Taking the financial distress model as an example. *Knowledge-Based Systems*, 26, 69–74.
- Pasandideh, S. H. R., Niaki, S. T. A., & Mousavi, S. M. (2013). Two metaheuristics to solve a multi-item multiperiod inventory control problem under storage constraint and discounts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 69(5), 1671–1684.
- Ranjan, R. K., & Kumar, V. (2023). A systematic review on fruit fly optimization algorithm and its applications. *Artificial Intelligence Review*, 56, 13015–13069.

- Reinelt, G. (1991). TSPLIB—A traveling salesman problem library. *ORSA Journal on Computing*, 3(4), 376–384.
- Reinelt, G. (1995). *TSPLIB95: A library of sample instances for the TSP (and related problems)*. Universität Heidelberg.
- Shan, D., Cao, G., & Dong, H. (2013). LGMS-FOA: An improved fruit fly optimization algorithm for solving optimization problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2013(1), 108768.
- University of Heidelberg. (n.d.). *TSPLIB95: Traveling Salesman Problem library*. Institut für Informatik, Universität Heidelberg. Retrieved August 23, 2025.
- Wang, G., Ma, L., & Chen, J. (2017). A bilevel improved fruit fly optimization algorithm for the nonlinear bilevel programming problem. *Knowledge-Based Systems*, 138, 113–123.
- Wang, X., Li, H., & Yang, J. (2019). An improved fruit fly optimization algorithm for solving combinatorial optimization problems. *Expert Systems with Applications*, 127, 20–35.
- Xu, H., & Chen, Y. (2020). A chaotic fruit fly optimization algorithm for solving the traveling salesman problem. *Computers & Industrial Engineering*, 142, 106372.
- Zhang, L., Wang, S., & Liu, B. (2015). Fruit fly optimization algorithm for feature selection in classification. *Knowledge-Based Systems*, 89, 275–286.
- Zhang, Y., Wang, H., & Li, J. (2023). Adaptive fruit fly optimization algorithm for solving discrete traveling salesman problems. *Applied Soft Computing*, 137, 110436.
- Zheng, X. L., Wang, L., & Wang, S. Y. (2014). A novel fruit fly optimization algorithm for the semiconductor final testing scheduling problem. *Knowledge-Based Systems*, 57, 95–103.



JOURNAL OF LOGISTICS AND DIGITAL SUPPLY CHAIN

FACULTY OF LOGISTICS AND DIGITAL SUPPLY CHAIN,
NARESUAN UNIVERSITY

99 Moo 9 Thapho, Muang Phitsanulok, Phitsanulok

☎ 055-968749 ✉ JLDSC@nu.ac.th