



E-ISSN 2773-9309



STJS

Science and Technology *Journal*

of Sisaket Rajabhat University



VOLUME 5 NUMBER 1 (JANUARY – JUNE 2025)



เจ้าของ	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ	
คณะที่ปรึกษา	อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	คณบดีคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดชภณ ทองเติม	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
กองบรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัชรพรรณ สิทธิศาสตร์	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนิษฐา อินธิจิต	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริพร ยศแสน	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิรนนท์ รัตสีวอ	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	อาจารย์ ดร.ภาควมูมิ ชินพทธีวงศ์	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์
	นางอำพร ไกรกลาง	คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewers)	รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ	มหาวิทยาลัยนครพนม
	รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ	มหาวิทยาลัยนครพนม
	รองศาสตราจารย์ ดร.ชวิต บุญมี	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติกร มหิสนันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ ศิริรักษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตเชียงราย
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิณ จันทร์พวงทอง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐวิภา สงกุมาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ เหล่าชัย	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏกกิจ ศรีโชค	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัดดา แสนสีหา	มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เดือนเพ็ญ วงศ์สอน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ อังอจณิระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย ชัยณรงค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัชชานันท์ ศรีสุภักดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑามาศ แก้วจันดี	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ สุวรรณพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ณัฐภูมิ พลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิศาล สุขชี	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
	อาจารย์ ดร. ฐาทุร ฐิติเศรษฐ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
	อาจารย์ ดร.จิรนนท์ แก้วมา	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



อาจารย์ ดร.โยธิน ตีโรสง	มหาวิทยาลัยบูรพา
อาจารย์ ดร.วิจิตรา ปล้องบรรจง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา
อาจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มะธิโตปะน้า	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
อาจารย์ ดร.ชายแดน มิ่งเมือง	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
อาจารย์ ดร.ณพวรรณนท์ ทองปาน	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.พีรศุขย์ บุญมาธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
อาจารย์ ดร.ภาคภูมิ ชินพททิวังค์	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
อาจารย์ ดร.ไมยรา เศรษฐมาศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
อาจารย์ ดร.วิพา ชูปวา	มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
ดร.สมภพ เจียรณัย	บริษัท โพรเทเรียล (ไทยแลนด์) จำกัด

วัตถุประสงค์

เพื่อส่งเสริมให้คณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นิสิตนักศึกษา และผู้สนใจทั่วไปได้เผยแพร่ผลงานวิชาการและผลงานวิจัย ตลอดจนได้แลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมุ่งเน้นในกลุ่มสาขาวิชาที่มีการเปิดสอนในคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ได้แก่ กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีประยุกต์ ซึ่งประกอบด้วยสาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และดิจิทัล สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ สาขาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ สาขาเทคโนโลยีโยธาและสถาปัตยกรรม สาขาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ได้แก่ สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สาขาสาธารณสุขชุมชน และสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา

ลิขสิทธิ์

กองบรรณาธิการวารสาร จะไม่รับพิจารณาบทความที่เป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ ในกรณีที่มีการละเมิดลิขสิทธิ์ขึ้น ทางผู้เขียนเป็นผู้รับผิดชอบแต่เพียงฝ่ายเดียว

หมายเหตุ

วารสารราย 6 เดือน เผยแพร่ทุก ๆ กลางเดือนมิถุนายน และธันวาคม บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารเป็นทัศนะ ลิขสิทธิ์ และความรับผิดชอบของผู้เขียนเจ้าของผลงาน



บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ (Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University) เล่มนี้ ได้ทำการเผยแพร่เป็น ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มีบทความวิจัยและบทความวิชาการที่น่าสนใจ จำนวนทั้งสิ้น 10 บทความ ซึ่งทุกบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพของบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบบทความ (peer reviewer) ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกจากหลากหลายสถาบัน อย่างน้อย 3 ท่าน/บทความ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับประกาศ ก.พ.อ. เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการพิจารณาแต่งตั้งบุคคลให้ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ รองศาสตราจารย์ และศาสตราจารย์ พ.ศ. 2564 และเพื่อพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพ ในนามของกองบรรณาธิการ ขอขอบคุณนักวิจัยที่สนใจส่งบทความเพื่อเผยแพร่ในวารสารของเรา และขอขอบคุณคณะผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ประเมินบทความ และได้ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานวิชาการ

สำหรับสมาชิกและผู้สนใจทั่วไป ที่ต้องการส่งบทความวิจัย/บทความวิชาการ เพื่อเผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษของเรา สามารถศึกษาคำแนะนำการเตรียมต้นฉบับได้ที่หน้าเว็บไซต์ของวารสารฯ หัวข้อคำแนะนำการเตรียมต้นฉบับใน <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/STJS/> โดยวารสารของเราเปิดรับบทความตลอดทั้งปี มีกำหนดเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ โดยฉบับที่ 1 เผยแพร่ในช่วงเดือน มกราคม - มิถุนายน และฉบับที่ 2 เผยแพร่ในช่วงเดือน กรกฎาคม - ธันวาคม ของทุกปี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เตชณ ทองเต็ม)

บรรณาธิการวารสาร



สารบัญ

หน้า

บทความวิชาการ

ศักยภาพและความท้าทายในการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย 1-11

Potential and Challenges of Applying Renewable Energy in Thailand

หอมหวาน ตาสาโรจน์ ชานินทร์ รัชโพธิ์ และสมสุข ไตรศุกิตติ

บทความวิจัย

การคัดแยกและประเมินศักยภาพของเชื้อรา *Trichoderma* sp. จากดินสวนทุเรียนในการ 12-28

ควบคุมเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียน

Isolation and Evaluation of *Trichoderma* sp. from Durian Orchard Soil for the Control of *Phytophthora* sp., the Causal Agent of Root and Collar Rot in Durian

โสภณา วงศ์ทอง สุมาลี เลี่ยมทอง ประวิทย์ เนื่องมัจฉา

อานันท์นิตย์ ค่อยยศสุย และปิยวรรณ เนื่องมัจฉา

สถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานกลุ่มเกษตรกร 29-40

ผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ

Occupational Health, Safety and Workplace Environment Among

Shallot Farmers in Sisaket Province

วิภา ชูปวา ณะพัฒน์ ทักษิณทร์ และกำพล เข้มทอง

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการเลี้ยงปลานิล 41-61

Application of Experimental Design to Improve Efficiency and Reduce Costs

in Tilapia Farming

วรพจน์ แสงบุญเรือง สมควร สงวนแพง และอวยพร ต๊ะวัน

การสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ 62-78

ต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน

Topic Modeling and Text Clustering of Foreign Tourists' Reviews on Khao Yai National Park

Using Unsupervised Learning

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี และศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล

การศึกษาความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ 79-90

(ศรีสะเกษ – ท่าเรือแหลมฉบัง)

Feasibility Study of Multimodal Freight Transport using Trucks and Trains

(Sisaket-Laem Chabang Port)

โชติรส นพพลกรัง ญัฐกร โต๊ะสิงห์ ปกรณ์ชัย สุพัฒน์ และทิพย์สุดา กุ่มผั่น



สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวมันแกวโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกต์-เบอร์แมน Optimization of Oligosaccharide Extraction from Yam Bean Root Using Plackett-Burman Design ทรงวิทย์ หงสประภาส ปิยะวดี สราภิรมย์ ผกามาศ จุลศรี วีรณัฐ วอนแก่นน้อย กนกอร คำผุย มัลลิกา ชีระกุล และปัญญา ชัยรัตนพานิช	91-104
การปรับปรุงอัตราการส่งคำขอพีไอของแพลตฟอร์มจัดการบทความด้วยหน่วยความจำแคชบนแพลตฟอร์ม CMS แบบไม่มีส่วนหัว Improvement of API Request Throughput of Article Platform with Cache Memory on Headless CMS Platform ชวลิต โควีระวงศ์ ณัฐรดี อนุพงศ์ วลีศ ลิ้มประเสริฐ และดาวรรดา วีระพันธ์	105-122
การปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อในพนักงานขับรถโดยสาร จังหวัดนครราชสีมา Improving Work Posture to Reduce the Risk of Musculoskeletal Disorders among Bus Drivers in Nakhon Ratchasima Province กนกพร ปลั่งกลาง อัครพล ทองคำ พัทธม กลิ่นเล็ก ธนากร ศรีมะเร็ง รชนีกร พลปลัด และพรศิริ จงกล	123-136
รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลศรีสะเกษ Development of Non-Technical Skills of Nurse Anesthetists to Enhance Patient Safety in the Operating Room at Sisaket Hospital ฉันทย์ ปุรินัย เรณูการ์ ทองคำรอด และสมปอง พะมุลิลา	137-151

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
(Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University)
(บทความวิชาการ)



ศักยภาพและความท้าทายในการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย Potential and Challenges of Applying Renewable Energy in Thailand

หอมหวาน ตาสารอด¹ ธาณินทร์ รัชโพธิ์² และ สมสุข ไตรศุกกิตติ^{2*}

Homhuan Tasarod¹ Thanin Rudchapo² and Somsuk Trisupakitti^{2*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

¹Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University, Kalasin Province

²Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

*Corresponding Author: somskrmu@gmail.com

Received: December 4, 2024

Revised: February 8, 2025

Accepted: February 11, 2025

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางในการพัฒนาและการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย เพื่อช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและนำไปสู่ภัยพิบัติทางธรรมชาติ การศึกษาในบทความนี้มุ่งเน้นไปที่พลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล รวมถึงการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการเก็บพลังงาน โดยการใช้พลังงานทดแทนจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานและสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ ๆ อย่างไรก็ตาม การใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยยังคงเผชิญกับความท้าทายด้านต้นทุนที่สูง ข้อจำกัดทางเทคนิค และความหลากหลายของสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ การสนับสนุนจากภาครัฐ การบูรณาการพลังงานหลายรูปแบบ และการเพิ่มการรับรู้ในชุมชนเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถบรรลุเป้าหมายในการใช้พลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: พลังงานฟอสซิล พลังงานทดแทน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ศักยภาพและความท้าทาย

Abstract

This academic article aims to propose guidelines for the development and utilization of renewable energy in Thailand to reduce dependence on fossil fuels and minimize environmental impacts, particularly greenhouse gas emissions, which contribute to climate change and lead to natural disasters. The study focuses on high-potential renewable energy sources such as solar power, wind power, biomass, as well as the use of batteries for energy storage. The adoption of renewable energy can enhance energy security and create new economic opportunities. However, the use of renewable energy in Thailand still faces challenges including high costs, technical limitations, and varying weather conditions across regions. Support from the government, integration of multiple energy sources, and increased community awareness are key factors that will help Thailand achieve its goal of sustainable renewable energy usage in the future.

Keywords: Fossil fuels, Renewable energy, Environmental impacts, Potential and challenges



1. บทนำ

ในปัจจุบัน โลกกำลังเผชิญกับความท้าทายในการเปลี่ยนผ่านจากการใช้พลังงานฟอสซิลไปสู่การใช้พลังงานทดแทน เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การใช้พลังงานทดแทนมีความสำคัญอย่างยิ่งในการลดผลกระทบจากการใช้พลังงานฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดมลพิษและมีผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากการใช้พลังงานของประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นนับตั้งแต่หลังภาวะเศรษฐกิจตกต่ำที่เกิดขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2540 ทั้งนี้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 ถึง 2561 การปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.1 ต่อปี สอดคล้องกับการใช้พลังงานของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 3.7 ต่อปี โดยเชื้อเพลิงสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซ CO₂ ได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน/ลิกไนต์ ภายหลังปี พ.ศ. 2562 การปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลงอย่างต่อเนื่องจากปัญหาการแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 จนถึงปี พ.ศ. 2565 การปล่อยก๊าซ CO₂ กลับมาเพิ่มขึ้นหลังจากสถานการณ์กลับสู่สภาวะปกติ อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการใช้พลังงานอยู่ที่ 243.3 ล้านตัน CO₂ ลดลงร้อยละ 2.6 เมื่อเทียบกับปีก่อน โดยมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ลดลงในภาคอุตสาหกรรมและภาคเศรษฐกิจอื่นๆ ลดลงร้อยละ 10.2 และ 3.0 ตามลำดับ ในขณะที่ภาคการผลิตไฟฟ้าซึ่งมีส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ สูงสุดร้อยละ 37 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.5 และภาคขนส่งมีส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 34 มีการปล่อยก๊าซ CO₂ เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.3 เมื่อเทียบกับปีก่อน (Energy Policy and Planning Office, 2024a)

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น น้ำมันและถ่านหิน ซึ่งส่งผลให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยยังคงใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นสัดส่วนหลักในการผลิตพลังงาน โดยเฉพาะการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติที่ปล่อย CO₂ จำนวนมาก ซึ่งเป็นสัญญาณของภาวะโลกร้อนที่ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศในประเทศ ผลกระทบที่เห็นได้ชัดจากภาวะโลกร้อนในประเทศไทย ได้แก่ อุณหภูมิหรือความร้อนที่มีระยะเวลายาวนานขึ้น การขาดแคลนน้ำ และภัยพิบัติทางธรรมชาติที่มีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น จากการคาดการณ์ภูมิอากาศพบว่าในระหว่างปี พ.ศ. 2544 ถึง 2643 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1 ถึง 6.4 องศาเซลเซียส เพื่อลดผลกระทบจากวิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อม ประเทศไทยได้เริ่มให้ความสำคัญกับการใช้พลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างมีประสิทธิภาพ (Phaka, 2017)

การใช้พลังงานทดแทนและการลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลเป็นทางเลือกสำคัญในการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและส่งเสริมความยั่งยืนทางพลังงาน ในปี พ.ศ. 2561 ถึง 2580 ประเทศไทยได้จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน โดยตั้งเป้าหมายลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลลงร้อยละ 30 ภายในปี พ.ศ. 2580 เมื่อเทียบกับปีฐาน พ.ศ. 2553 และในปี พ.ศ. 2564 การใช้พลังงานจากฟอสซิลลดลงไปร้อยละ 6.94 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2553 (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2021a) การสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนในพื้นที่ต่าง ๆ จึงถือเป็นส่วนสำคัญที่จะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในเชิงบวกของการใช้พลังงานทดแทนในอนาคตของประเทศ และพบว่าในปี พ.ศ. 2564 การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) มีอัตราการผลิตไฟฟ้าสูงสุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานทดแทนอื่น (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2021b)

การพัฒนาและการลงทุนในเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศไทยไม่เพียงช่วยลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล แต่ยังเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานและส่งเสริมความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ โดยการนำพลังงานทดแทนเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของระบบพลังงานในประเทศ การเปลี่ยนแปลงสู่พลังงานทดแทนไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ ๆ เช่น การจ้างงานในอุตสาหกรรมพลังงานทดแทนที่เติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในภาคพลังงานทดแทนที่ได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาล เช่น โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ซึ่งมีแนวโน้มที่จะ



สร้างงานใหม่ในภาคการผลิต การติดตั้ง และการบำรุงรักษา นอกจากนี้ การใช้ยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) ก็ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในประเทศไทย โดยมีโครงการต่าง ๆ ที่ส่งเสริมการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในเมืองใหญ่ เช่น การสร้างโครงสร้างพื้นฐานสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและการสนับสนุนการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าภายในประเทศ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดมลพิษในเมืองใหญ่แล้ว ยังเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานและลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลในระยะยาว (Choksawatpaisan, 2024)

บทความวิชาการนี้จะศึกษาศักยภาพและความท้าทายในการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย โดยจะวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของการใช้พลังงานในประเทศและตรวจสอบอุปสรรคต่าง ๆ ที่ขัดขวางการขยายตัวของพลังงานทดแทน นอกจากนี้ บทความยังเสนอแนะกลยุทธ์และแนวทางในการพัฒนานโยบายและการลงทุนในเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เพื่อให้ประเทศไทยสามารถลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลและเพิ่มสัดส่วนของพลังงานทดแทนในระบบพลังงานของประเทศให้มากขึ้น ซึ่งจะช่วยสนับสนุนการพัฒนาอย่างยั่งยืนและลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

2. พลังงานทดแทนเพื่อความยั่งยืนในชีวิตประจำวัน

พลังงานฟอสซิลยังคงเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ประเทศไทยพึ่งพา โดยเฉพาะการใช้ก๊าซธรรมชาติและน้ำมันในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการขนส่ง ซึ่งการใช้พลังงานฟอสซิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์อย่างชัดเจน การเผาไหม้พลังงานฟอสซิลปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวนมาก เช่น CO_2 ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จาก Table 1. พบว่าประเทศไทยใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิลเป็นส่วนใหญ่ โดยในช่วงมกราคม – กรกฎาคม พ.ศ. 2567 มีการใช้พลังงานจากการนำเข้าเชิงพาณิชย์คิดเป็นร้อยละ 57.67 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ในขณะที่พลังงานทดแทนและพลังงานทดแทนดั้งเดิมมีส่วนแบ่งเพียงร้อยละ 15.18 และ 2.93 (Energy Policy and Planning Office, 2024b) การใช้พลังงานนำเข้าเชิงพาณิชย์ที่สูงนี้จึงเป็นอุปสรรคสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเพื่อแก้ไขปัญหาการพึ่งพาพลังงานการนำเข้าเชิงพาณิชย์และส่งเสริมความยั่งยืนทางพลังงานทดแทน ประเทศไทยจำเป็นต้องเพิ่มการลงทุนในพลังงานทดแทนที่สะอาดและยั่งยืน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล และเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นต้น

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในชีวิตประจำวัน เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างไม่มีจำกัด แผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านเรือนหรืออาคารสามารถแปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วยลดความต้องการไฟฟ้าจากโครงข่ายหลักและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าภายในครัวเรือน นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น CO_2 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารายเดือนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งปี

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งทำให้ได้รับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดทั้งปี ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีในพื้นที่ทั่วประเทศอยู่ที่ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ซึ่งถือว่ามีความเฉลี่ยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับหลาย ๆ ประเทศ และเป็นปริมาณที่เพียงพอสำหรับการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ (Energy Policy and Planning Office, 2017b) การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังช่วยเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานในพื้นที่ชนบทหรือชุมชนห่างไกลที่ไม่ได้รับไฟฟ้าจากโครงข่ายหลัก โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคากระดับครัวเรือนสามารถลดค่าไฟฟ้าได้จริง (Inthamas et al., 2022)



Table 1. Preliminary Report on Thailand's Energy Situation

Energy Sources	Consumption Volume (Thousand Tons of Crude Oil Equivalent)	Percentage (%)
Commercial Imports	49,925	57.67
- Coal	6,828	7.89
- Natural Gas	10,552	12.19
- Crude Oil	28,315	32.71
- Condensate	1,126	1.30
- Petroleum Products	1,478	1.71
- Electricity	1,626	1.88
Domestic Production	36,639	42.33
- Commercial Energy (Coal, Natural Gas, Crude Oil, and Condensate)	20,945	24.20
- Renewable Energy (Solar, Wind, Hydro, Biomass, Waste, Biogas, and Biofuels)	13,141	15.18
- Traditional Renewable Energy (Firewood, Rice Husk, and Agricultural Residues)	2,535	2.93
- Other Energy (Waste Gas from Production Processes)	18	0.02
Total (Commercial Imports + Domestic Production)	86,564	100

Energy Policy and Planning Office (2024b)

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีผลในการลดการปล่อย CO₂ ได้มากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้แหล่งพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ แม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีข้อดีหลายประการ เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเสริมความมั่นคงทางพลังงาน แต่ก็ยังมีความท้าทายในการนำไปใช้งาน เช่น ต้นทุนเริ่มต้นที่สูงในการติดตั้งระบบแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ต้นทุนของแบตเตอรี่ที่ยังมีราคาแพง รวมถึงข้อจำกัดทางเทคนิคในบางพื้นที่ที่มีแสงแดดน้อยในบางฤดู นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านนโยบายที่ขาดหน่วยงานผู้รับผิดชอบในการบูรณาการนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (Energy Policy and Planning Office, 2017b)

อย่างไรก็ตาม พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นตัวอย่างที่ดีของเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่มีผลกระทบเชิงบวกต่อเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม การส่งเสริมการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระดับครัวเรือนและชุมชนจะช่วยเสริมสร้างความยั่งยืนทางพลังงานและลดผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

2.2 พลังงานลม

พลังงานลมในประเทศไทยกำลังได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากมีศักยภาพสูงในการลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ ซึ่งไม่เพียงแต่มีข้อจำกัดในการใช้ แต่ยังมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษ เช่น CO₂ และก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ การใช้พลังงานลมจึงเป็นทางเลือกที่ช่วยลดมลพิษและเสริมสร้างความ



มั่นคงทางพลังงาน ในประเทศไทย พลังงานลมได้รับการพัฒนาในบางพื้นที่ที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากลม โดยเฉพาะในภาคใต้ที่มีความเร็วลมสูงกว่าภาคอื่น ๆ เช่น บริเวณแนวเขตภาคใต้ตอนล่างและด้านตะวันตกของภาคใต้ตอนบน ซึ่งได้รับลมมรสุมจากทะเลอันดามันและอ่าวไทย มีความเร็วลมเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 6-7 เมตรต่อวินาที สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางตอนล่างก็สามารถพบพื้นที่ที่มีความเร็วลมในช่วง 5-7 เมตรต่อวินาทีได้เช่นกัน ซึ่งเหมาะสมในการพัฒนาโครงการพลังงานลม การพัฒนาพลังงานลมในประเทศไทยยังเผชิญกับข้อจำกัดหลายประการ เช่น การขออนุญาตใช้ประโยชน์จากพื้นที่ ความสอดคล้องของความต้องการไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีศักยภาพลมซึ่งมักจะห่างไกลจากชุมชนและมีความต้องการไฟฟ้าต่ำ และความคุ้มค่าของการลงทุน (Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2020) แม้ว่าจะมีข้อจำกัดเหล่านี้ การใช้พลังงานลมก็ยังคงมีข้อดีในการลดมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และเสริมสร้างความยั่งยืนทางพลังงาน ด้วยการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม

การติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กในชุมชนชนบทยังเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานในระดับท้องถิ่น ช่วยให้ชุมชนสามารถลดความเสี่ยงจากการขาดแคลนพลังงานในระยะยาว และลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งฟอสซิลที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงานลมในประเทศไทยจึงไม่เพียงแต่เพิ่มความมั่นคงทางพลังงาน ยังช่วยเสริมสร้างโอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ ๆ เช่น การสร้างงานในอุตสาหกรรมพลังงานหมุนเวียน และเพิ่มศักยภาพในการผลิตพลังงานสะอาด เป็นต้น โครงการพลังงานลมขนาดใหญ่ในพื้นที่ที่มีศักยภาพทางลมสูง เช่น พื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก ได้รับการสนับสนุนจากหลายภาคส่วน ทั้งรัฐบาลและเอกชน เช่น ในจังหวัดระยองและจันทบุรี ซึ่งมีศักยภาพทางลมที่ดีในการผลิตพลังงานสะอาด การลงทุนในพลังงานลมสามารถลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในระยะยาว และช่วยเพิ่มความยั่งยืนทางเศรษฐกิจ ซึ่งจากการศึกษาของนักวิจัยพบว่า ประเทศไทยมีศักยภาพในการพัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมชายฝั่งและนอกชายฝั่งในหลายพื้นที่ เช่น บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคใต้ และบริเวณนอกชายฝั่งทะเลอ่าวไทย (Suwannamuk, 2018)

การพัฒนาโครงการพลังงานลมยังช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศและช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิลที่ก่อให้เกิดมลพิษ และเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ

2.3 พลังงานชีวมวล

ในชนบทของประเทศไทย พลังงานชีวมวลได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายเป็นทางเลือกที่ยั่งยืน เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรหลากหลายประเภท เช่น ปาล์มน้ำมัน ยางพารา ข้าวโพด มันสำปะหลัง มะพร้าว และข้าว ซึ่งบางส่วนถูกใช้ภายในประเทศ ขณะที่บางส่วนถูกส่งออกเพื่อสร้างรายได้ให้กับประเทศ อย่างไรก็ตาม การแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรเหล่านี้มักสร้างวัสดุเหลือทิ้ง เช่น กากใยปาล์ม ชังข้าวโพด เหน้มันสำปะหลัง กะลามะพร้าว และแกลบ ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานชีวมวลได้ (Energy Policy and Planning Office, 2017b)

การใช้วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรในการผลิตพลังงานชีวมวลมีข้อดีหลายประการ เช่น ช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในครัวเรือน และสร้างพลังงานทดแทนจากแหล่งทรัพยากรท้องถิ่นที่ยั่งยืน นอกจากนี้ยังช่วยลดการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งที่ไม่ยั่งยืน เช่น ถ่านหิน และช่วยลดการปล่อยมลพิษและก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากชีวมวลมีการปล่อยคาร์บอนในระดับที่ต่ำกว่าการเผาไหม้ฟอสซิล (Ajinomoto, 2019)

การใช้พลังงานชีวมวลสามารถเสริมสร้างเศรษฐกิจท้องถิ่นได้ โดยเปิดโอกาสให้เกษตรกรสามารถจำหน่ายวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและลดปัญหาขยะที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ในขณะเดียวกัน โครงการพลังงานชีวมวลจากวัสดุทางการเกษตรในพื้นที่ชนบทได้รับการสนับสนุนจากทั้งภาครัฐและองค์กรระหว่างประเทศ เช่น โครงการการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสุกรในชุมชนภายใต้โครงการพัฒนาพื้นที่สูงแบบโครงการหลวงแม่ฮ่องสอนจังหวัดตาก และโครงการหลวงแม่สามแลบจังหวัดแม่ฮ่องสอน ซึ่งใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพผ่านกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ (anaerobic digestion) โดยมูลสุกรจะถูกเก็บรวมในถังหมัก (digester) ที่มีสภาวะไร้ออกซิเจน ซึ่งกระบวนการนี้จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ในมูลสุกรให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพ (biogas) ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นมีเทน (CH_4) ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยการเผาไหม้



ก๊าซชีวภาพในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) เพื่อให้พลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งานในพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายรายเดือนและสนับสนุนความยั่งยืนของชุมชน (Tangthaveephat et al., 2020)

แผนการพัฒนากำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 – 2573 (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 3) ได้กำหนดให้การใช้พลังงานทดแทนเป็นหนึ่งในกลยุทธ์สำคัญในการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาความยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศ โดยมีเป้าหมายลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิลและส่งเสริมการใช้พลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์การเกษตรในปริมาณมาก ทำให้มีทรัพยากรชีวมวลหลากหลายที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตพลังงานได้

การส่งเสริมการลงทุนในธุรกิจผลิตไฟฟ้าจากพลังงานชีวมวลจึงเป็นหนึ่งในทิศทางที่น่าสนใจ เนื่องจากมีความเป็นไปได้สูงในการใช้ทรัพยากรเหล่านี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ภาครัฐได้มีนโยบายสนับสนุนการลงทุนในธุรกิจพลังงานชีวมวลอย่างจริงจังและมีระบบ โดยมีการออกมาตรการที่เหมาะสมเพื่อสนับสนุนผู้ลงทุนและเปิดโอกาสให้กับนักลงทุนในทุกระดับ อย่างไรก็ตาม การดำเนินธุรกิจนี้ยังคงมีความท้าทายและความเสี่ยงจากปัจจัยหลายด้าน เช่น การเลือกทำเลที่ตั้งของโครงการ การบริหารจัดการวัตถุดิบที่มีความผันผวน การเลือกเทคโนโลยีในการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม นโยบายและการสนับสนุนจากภาครัฐที่อาจมีการเปลี่ยนแปลง รวมถึงการประสานงานของทีมงานที่มีความเกี่ยวข้องทั้งหมดในโครงการ (Ruammek, 2017)

การใช้พลังงานชีวมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าไม่เพียงแต่ช่วยเสริมสร้างเศรษฐกิจและเพิ่มมูลค่าให้กับทรัพยากรที่มีอยู่ในประเทศ แต่ยังช่วยส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืนในด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การสนับสนุนจากทั้งภาครัฐและภาคเอกชนในการพัฒนาเทคโนโลยีและการวิจัยด้านพลังงานชีวมวลจะเป็นการสร้างเศรษฐกิจที่ไม่เพียงแต่มีความสามารถในการแข่งขัน แต่ยังเป็นเศรษฐกิจที่มีความยั่งยืนในระยะยาว โดยการพัฒนาเชิงพาณิชย์และการนำพลังงานชีวมวลมาใช้จะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทำให้ประเทศสามารถสร้างสรรคือนาคตที่ยั่งยืนสำหรับทั้งด้านเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

2.4 แบตเตอรี่และการกักเก็บพลังงาน

การวิจัยและพัฒนาทางเทคโนโลยีในการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-Ion) มุ่งเน้นในการเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่ โดยการใช้วัสดุนาโนในองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น อิเล็กโทรดของแบตเตอรี่ ซึ่งวัสดุนาโนช่วยให้การขนส่งไอออนหรืออิเล็กตรอนภายในแบตเตอรี่ทำได้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น วัสดุนาโนสามารถช่วยเพิ่มความจุของอิเล็กโทรดและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ นอกจากนี้วัสดุอิเล็กโทรดที่มีราคาถูก เช่น ลิเทียมฟอสเฟตและลิเทียมไททาเนต ซึ่งมีความนำไฟฟ้าต่ำจะถูกใช้ในแบตเตอรี่ที่มีราคาประหยัดและสามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างกว้างขวาง การใช้โครงสร้างนาโนคาร์บอนในอิเล็กโทรดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกักเก็บประจุในแบตเตอรี่ได้ดียิ่งขึ้น ข้อได้เปรียบของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ สามารถแปลงพลังงานจากแหล่งพลังงานเป็นพลังงานไฟฟ้าได้มีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากเครื่องยนต์สันดาปภายในมีข้อจำกัดในการแปลงพลังงานตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ซึ่งกำหนดว่าไม่สามารถแปลงพลังงานได้เต็มที่ตามที่ควรจะเป็น

การพัฒนาระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในตลาดยานยนต์ในปัจจุบันมีความหลากหลายมากขึ้น โดยเริ่มต้นด้วยการทบทวนกฎระเบียบและแนวโน้มของตลาดที่ขับเคลื่อนการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยพิจารณาออกแบบระบบจัดเก็บพลังงานสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า เช่น การใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในรถยนต์ไฟฟ้าแบบปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle: PHEV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ซึ่งได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน การออกแบบระบบย่อยของแบตเตอรี่หลักในแต่ละระบบมีการใช้เซลล์ลิเทียมไอออนที่พัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงในการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า โดยมีการออกแบบโครงสร้างและโมดูลทางกลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบการจัดการแบตเตอรี่และการควบคุมความร้อน เพื่อให้การทำงานของแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบและพัฒนาระบบพลังงานไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ในปัจจุบัน (Fadinium, 2023)



ส่วนในบริบทของประเทศไทย การนำเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชนบทที่มีปัญหาในการเข้าถึงไฟฟ้าหรือพื้นที่ห่างไกลจากโครงข่ายไฟฟ้าใหญ่ จะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในระยะยาว โดยเฉพาะในชุมชนที่พึ่งพาพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ การติดตั้งแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนในบ้านเรือนที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเก็บพลังงานส่วนเกินในช่วงกลางวันเพื่อนำมาใช้ในการตอนกลางคืน การพัฒนาและนำเทคโนโลยีการกักเก็บพลังงานมาประยุกต์ใช้ในระดับครัวเรือนและชุมชน ไม่เพียงแต่ช่วยให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังเป็นเครื่องมือสำคัญในการลดผลกระทบจากการใช้พลังงานที่ไม่ยั่งยืน เช่น พลังงานฟอสซิล และช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับชุมชนและประเทศในอนาคต

3. ประโยชน์ของการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน

3.1 ลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน

การใช้พลังงานทดแทนในชีวิตประจำวันได้กลายเป็นทางเลือกสำคัญในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในประเทศไทยเช่นกัน โดยเฉพาะในกลุ่มครัวเรือนที่เริ่มหันมาใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐหรือหน่วยงานผ่านโครงการต่างๆ เช่น โครงการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ของบริษัท เอ็นจีเค เซรามิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (NGK Ceramics (Thailand) Co., Ltd., 2023) ดังนั้นการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะช่วยลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าและยังช่วยเพิ่มความมั่นคงทางพลังงานและส่งเสริมการพึ่งพาด้วยตนเอง ในบริบทของประเทศไทย การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่มีแสงแดดจัดตลอดทั้งปี จะช่วยลดการพึ่งพาแหล่งพลังงานฟอสซิลที่มีราคาแพงและสร้างมลพิษ อีกทั้งยังช่วยให้ครัวเรือนสามารถผลิตพลังงานใช้เองและลดค่าใช้จ่ายในระยะยาว การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในบ้านเรือนในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยจะช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและกระตุ้นเศรษฐกิจหมุนเวียนในพื้นที่

ดังนั้น การสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์จะไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระยะยาว แต่ยังช่วยเพิ่มความยั่งยืนในการจัดการพลังงานในประเทศไทย และเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานในชุมชนท้องถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การใช้พลังงานทดแทนได้รับการยอมรับในประเทศไทยว่าเป็นหนึ่งในวิธีสำคัญในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีส่วนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่ประเทศกำลังเผชิญกับวิกฤติการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานที่ไม่ยั่งยืน เช่น การใช้พลังงานฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า การขนส่ง และกิจกรรมอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูง รัฐบาลไทยได้ให้การสนับสนุนการใช้พลังงานจากแหล่งทดแทนเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของยุทธศาสตร์การพัฒนาอย่างยั่งยืนที่เน้นการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การรักษาความมั่นคงของทรัพยากรธรรมชาติและยกระดับคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งหวังลดมลพิษจากการผลิตและบริโภคและส่งเสริมการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Energy Policy and Planning Office, 2017a)

การใชยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) ถือเป็นหนึ่งในแนวทางสำคัญในการส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล และลดมลพิษจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในกระบวนการขับเคลื่อน โดยเฉพาะในเมืองใหญ่ที่ประสบปัญหามลพิษจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมัน รัฐบาลไทยมีแผนสนับสนุนการใชยานยนต์ไฟฟ้าผ่านนโยบายต่าง ๆ เช่น การลดภาษีและ การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า การใช้รถยนต์ไฟฟ้าคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในอนาคต โดยปริมาณรถยนต์ไฟฟ้าทั่วโลกจะเพิ่มเป็น 100 ล้านคันในปี พ.ศ. 2578 (Energy Policy and Planning Office, 2017a)



โดยรวมการใช้พลังงานสะอาดไม่เพียงแต่ช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แต่ยังช่วยเพิ่มความมั่นคงทางพลังงาน ลดมลพิษ และส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน เป็นกุญแจสำคัญในการสร้างอนาคตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเสริมสร้างคุณภาพชีวิตของประชากรโลกในระยะยาว

4. ความท้าทายในการประยุกต์ใช้

4.1 ต้นทุนและการลงทุน

การติดตั้งพลังงานทดแทนในประเทศไทย เช่น แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเพื่อเก็บพลังงานจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนนั้น แม้จะมีข้อดีในระยะยาว เช่น การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมถึงการลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล แต่ต้นทุนเริ่มต้นในการติดตั้งยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญในการนำไปใช้ในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะในชนบทหรือในครัวเรือนที่มีรายได้เฉลี่ยต่ำ ตัวอย่างเช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในประเทศไทยยังคงมีต้นทุนเริ่มต้นสูง เนื่องจากการลงทุนทั้งในด้านวัสดุและการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และระบบเก็บพลังงาน ซึ่งต้องใช้ต้นทุนสูงในการติดตั้งและเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าในบ้านเรือน

การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานทดแทนเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อสนับสนุนการขยายตลาดพลังงานทดแทนทั้งในระดับประเทศและสากล ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการผลิตเทคโนโลยีเหล่านี้ เช่น แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ ด้วยการขยายขนาดการผลิตและการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต นอกจากนี้ การยอมรับและการลงทุนในเทคโนโลยีพลังงานทดแทนในประเทศที่มีรายได้ต่ำก็มีความสำคัญที่จะช่วยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงไปสู่อนาคตที่ยั่งยืน โดยการสนับสนุนจากภาครัฐและการสร้างความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนจะช่วยให้เทคโนโลยีเหล่านี้สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นและมีราคาที่เหมาะสม สร้างโอกาสให้ทุกภาคส่วนสามารถร่วมกันผลักดันการใช้พลังงานทดแทน ส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจ และแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การร่วมมือของทุกภาคส่วน ทั้งรัฐบาล ภาคอุตสาหกรรม และประชาชน จะช่วยผลักดันการเปลี่ยนแปลงนี้ให้เป็นจริง และสร้างสังคมที่ยั่งยืนและเท่าเทียม

4.2 ข้อจำกัดทางเทคนิค

การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแสงแดดจำกัด เช่น ภาคเหนือในช่วงฤดูฝน ถือเป็นหนึ่งในความท้าทายหลักในการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากแสงแดดที่จำกัดทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ลดลง ซึ่งเป็นข้อจำกัดสำคัญของพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ พลังงานทดแทนประเภทอื่น ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานชีวมวล หรือพลังงานน้ำ ก็มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา เช่น พลังงานลมที่ต้องการพื้นที่ที่มีลมแรงตลอดเวลา พลังงานชีวมวลที่ต้องมีการจัดหาวัตถุดิบอย่างต่อเนื่อง และพลังงานน้ำที่ต้องพึ่งพากระแสน้ำและสถานที่ตั้งที่เหมาะสม ดังนั้น การพึ่งพาพลังงานทดแทนแต่ละประเภทจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเหล่านี้ เพื่อให้การจัดการพลังงานมีความยั่งยืนและมีประสิทธิภาพในระยะยาว

เพื่อบรรเทาปัญหานี้ การใช้แบตเตอรี่สำรองพลังงาน (Energy Storage System) จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สำคัญที่ช่วยให้การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวันสามารถเก็บไว้ใช้ในช่วงกลางคืนหรือวันที่มีแสงแดดน้อย โดยเฉพาะการใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่ได้รับความนิยมในบ้านเรือนและธุรกิจขนาดเล็ก เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถรองรับความต้องการพลังงานในระยะสั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักยังคงอยู่ที่ความจุของแบตเตอรี่ที่ยังไม่สามารถรองรับการใช้งานในระยะยาวในพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานสูงหรือที่มีฤดูฝนยาวนาน

นอกจากการใช้แบตเตอรี่แล้ว การผสมผสานแหล่งพลังงานหลายชนิด เช่น พลังงานลมหรือพลังงานชีวมวล ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นแนวทางที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ที่มีแสงแดดจำกัด การใช้แหล่งพลังงานหลายชนิดสามารถช่วยลดความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่เอื้ออำนวยและเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานได้



จากมุมมองด้านเศรษฐกิจ การลงทุนในเทคโนโลยีพลังงานทดแทนไม่เพียงแต่ช่วยลดค่าไฟฟ้าในระยะยาว แต่ยัง สามารถเพิ่มเสถียรภาพทางพลังงาน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปัญหาการขัดข้องของไฟฟ้าอย่างบ่อยครั้ง การลงทุนในระบบ พลังงานทดแทนที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอจึงเป็นการลงทุนที่มีคุณค่าในการสร้างความยั่งยืนทางเศรษฐกิจในชุมชน ต่าง ๆ

5. ข้อเสนอแนะในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย

ในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเข้าถึงทุกภาคส่วนในประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางที่สำคัญในการ ผลักดันให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่มุ่งเน้นการพัฒนาและการสร้างความเข้าใจในระดับชุมชน ทั้งนี้เพื่อให้การใช้พลังงานทดแทน เป็นที่ยอมรับและยั่งยืนในระยะยาว จึงขอเสนอกลยุทธ์หลัก ดังนี้

5.1 ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนา

การลงทุนในงานวิจัยและพัฒนาถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมสร้างศักยภาพและลดต้นทุนของเทคโนโลยีพลังงาน ทดแทน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการส่งเสริมการเปลี่ยนผ่านไปสู่พลังงานที่ยั่งยืนในประเทศไทย การพัฒนาเทคโนโลยี เช่น แผงโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและแบตเตอรี่ที่สามารถเก็บพลังงานได้ในปริมาณมาก จะทำให้เทคโนโลยีเหล่านี้ สามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นสำหรับประชาชน และช่วยลดต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญที่ทำให้การใช้พลังงานทดแทน ในบางพื้นที่ยังไม่แพร่หลาย

การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทนควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิ ประเทศและสภาพอากาศของประเทศไทย เช่น พลังงานลมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพลังงานชีวมวลจากขยะเกษตร ในภาคเหนือ ซึ่งมีศักยภาพในการผลิตพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในรูปแบบต่าง ๆ ภายในประเทศจะช่วยลดการนำเข้าอุปกรณ์พลังงานจากต่างประเทศและเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศใน ระยะยาว

5.2 เพิ่มการรับรู้ในชุมชน

การสร้างความรู้ความเข้าใจและความสนใจเกี่ยวกับพลังงานทดแทนในชุมชนถือเป็นปัจจัยสำคัญในการส่งเสริมการใช้ พลังงานที่ยั่งยืนและลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การจัดกิจกรรมการฝึกอบรมและการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ พลังงานทดแทนในระดับชุมชน เช่น การอธิบายถึงประโยชน์ด้านการประหยัดค่าไฟฟ้าและการลดมลพิษทางสิ่งแวดล้อม จะช่วยเพิ่มการรับรู้ในชุมชนและสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงไปใช้พลังงานทดแทน

การเพิ่มการรับรู้ในพื้นที่ชนบทหรือพื้นที่ที่มีการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะช่วยให้ประชาชนในพื้นที่เหล่านี้มี ความเข้าใจและยอมรับการใช้พลังงานทดแทนได้ง่ายขึ้น การจัดกิจกรรมที่ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจะช่วยกระตุ้นความ สนใจและสร้างแรงจูงใจให้ชุมชนสามารถนำเทคโนโลยีมาใช้ในการชีวิตประจำวัน การสร้างแบบอย่างจากชุมชนที่ประสบ ความสำเร็จในการใช้พลังงานทดแทน เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และระบบกักเก็บพลังงานในบ้านเรือนหรือสถาน ประกอบการ จะช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นและกระตุ้นให้ชุมชนอื่น ๆ มองเห็นถึงข้อดีและความเป็นไปได้ในการนำพลังงานทดแทน มาใช้

การแบ่งปันประสบการณ์จากชุมชนที่ประสบความสำเร็จสามารถเป็นแรงจูงใจที่สำคัญในการกระตุ้นการใช้พลังงาน ทดแทนในระดับกว้างขึ้น การนำเสนอข้อเสนอแนะเหล่านี้จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถบรรลุเป้าหมายในการพัฒนาและใช้ พลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ซึ่งไม่เพียงแต่ลดผลกระทบจากการใช้พลังงานที่ไม่ยั่งยืน แต่ยังเสริมสร้าง เศรษฐกิจและความมั่นคงทางพลังงานในอนาคต



การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการสร้างอนาคตที่ยั่งยืนและมีการพัฒนาอย่างเท่าเทียมในประเทศไทยได้มีการดำเนินงานด้านการอบรม ถ่ายทอดความเข้าใจด้านพลังงานทดแทนให้แก่ชุมชน หมู่บ้าน หน่วยงาน และองค์กรต่าง ๆ เพื่อให้สามารถนำไปขยายผลประยุกต์ใช้ได้ต่อไป โดยดำเนินการโดยหน่วยงานภายใต้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้แก่ ศูนย์บริการข้อมูลวิชาการที่กระจายอยู่ทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เพื่อให้บริการข้อมูลได้อย่างทั่วถึงใน 10 จังหวัด ได้แก่ ปทุมธานี ราชบุรี มหาสารคาม หนองคาย ขอนแก่น อุบลราชธานี เชียงใหม่ สงขลา นครศรีธรรมราช และพิษณุโลก (Energy Policy and Planning Office, 2017b)

6. บทสรุป

การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนในชีวิตประจำวันมีความสำคัญในการสร้างความยั่งยืนทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม ช่วยลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลที่ก่อให้เกิดมลพิษและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยการนำพลังงานทดแทนเหล่านี้มาใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในบ้านเรือนหรือการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า จะช่วยลดการใช้พลังงานจากแหล่งฟอสซิลและลดมลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานในประเทศ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนยังเผชิญกับความท้าทายหลายประการ โดยเฉพาะต้นทุนเริ่มต้นที่สูงสำหรับการติดตั้งระบบพลังงานทดแทน เช่น แผงโซลาร์เซลล์หรือสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า นอกจากนี้ การพึ่งพาความเสถียรของแหล่งพลังงานทดแทน เช่น แสงแดดและลม ก็ทำให้การผลิตพลังงานไม่สม่ำเสมอในบางพื้นที่ ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้พลังงานเหล่านี้ในระดับที่กว้างขวางขึ้น นอกจากนี้ยังมีอุปสรรคด้านความรู้และการเข้าถึงเทคโนโลยีในพื้นที่ห่างไกล เพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทย การสนับสนุนจากรัฐเป็นสิ่งจำเป็น โดยสามารถทำได้ผ่านการออกมาตรการกระตุ้นเศรษฐกิจ เช่น การลดหย่อนภาษีสำหรับผู้ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์หรือใช้ยานยนต์ไฟฟ้า การให้เงินสนับสนุนหรือช่วยเหลือในรูปแบบสินเชื่อ ดอกเบี้ยต่ำจะช่วยลดต้นทุนเริ่มต้นสำหรับประชาชนและภาคธุรกิจ นอกจากนี้ การส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศของประเทศไทย เช่น การพัฒนาระบบการเก็บพลังงานจากแหล่งหมุนเวียนจะช่วยให้ปัญหาความไม่เสถียรของแหล่งพลังงานเหล่านี้ โดยรวมแล้ว การประยุกต์ใช้พลังงานทดแทนมีศักยภาพในการส่งเสริมความยั่งยืนและสร้างคุณค่าทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในประเทศไทย หากได้รับการสนับสนุนและส่งเสริมจากรัฐและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง พลังงานทดแทนจะสามารถเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบพลังงานของประเทศและช่วยลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

7. เอกสารอ้างอิง

- Ajinomoto. (2019). Renewable biomass helps reduce CO₂ emissions [Online]. Retrieved October 19, 2024, from: <https://www.ajinomoto.com/th/stories/waste-not-want-not>. (in Thai)
- Choksawatpaisan, S. (2024). Business/Industry Trends 2024-2026: Electric Vehicle Industry [Online]. Retrieved July 10, 2024, from: <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/hi-tech-industries/electric-vehicle/io/electric-vehicle-2024>. (in Thai)
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2020). Renewable Energy and Alternative Energy Development Plan 2018 – 2030 [Online]. Retrieved November 1, 2024, from: <https://www.erc.or.th/web-upload/200xf869baf82be74c18cc110e974eea8d5c/filecenter/PDF/AEDP%202018.pdf>. (in Thai)
- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2021a). Thailand's Energy Balance Report 2021, Bangkok: Information and Communication Technology Center. (in Thai)



- Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy. (2021b). Thailand's Renewable Energy Report 2021, Bangkok: Information and Communication Technology Center. (in Thai)
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2017a). Four-Year Action Plan and Annual Action Plan for FY 2019 [Online]. Retrieved November 1, 2024, from: <https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/14759-4-2562>. (in Thai)
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2017b). Renewable Energy Development Action Plan under the Renewable Energy Development Master Plan 2015–2030, Bangkok: Information and Communication Technology Center. (in Thai)
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2024a). Energy Statistics of Thailand 2024, Bangkok: Information and Communication Technology Center. (in Thai)
- Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy. (2024b). Thailand Energy Status Report January – July 2024, Bangkok: Information and Communication Technology Center. (in Thai)
- Fadinium. (2023). Trends in Lithium-Ion Battery Development [Online]. Retrieved October 17, 2023, from: <https://fadinium.com/development-trend-of-lithium-ion-batteries/>. (in Thai)
- Inthamas, P., Chaisakunniyom, M., Suksingh, P., Boonraksa, T., & Boonraksa, P. (2022). Technical Analysis and Cost-Effectiveness of Installing Household Solar Rooftop Power Generation Systems. *Rattanakosin Science and Technology Journal*, 4(3), 47–56. (in Thai)
- NGK Ceramics (Thailand) Co., Ltd. (2023). Solar Rooftop Power Plant Project with an installed capacity of 4.247 megawatts by NGK Ceramics (Thailand) Co., Ltd. [Online]. Retrieved November 1, 2024, from: https://www.erc.or.th/web-upload/200xf869baf82be74c18cc110e974eea8d5c/m_document/9021/20750/file_download/5fa1d816d59dfd778a20bceccdb93ba.pdf. (in Thai)
- Phaka, S. (2017). Renewable Energy in the Context of Global Warming. *Eastern Asia University Academic Journal, Science and Technology Edition*, 11(2), 49–57. (in Thai)
- Ruammek, P. (2017). Market Opportunities and Success Factors of Biomass Power Generation Business. *Graduate Journal, Valaya Alongkorn Rajabhat University*, 11(3), 259–274. (in Thai)
- Suwannamuk, K. (2018). Guidelines for promoting electricity generation from onshore and offshore wind energy in Thailand. Master's thesis. National Institute of Development Administration. (in Thai)
- Tangthaveephat, S., Songsee, O., Chiewaisarakul, B., & Phuakjaroen, K. (2020). Use of Biogas from Pig Manure as a Renewable Energy Source for Electricity Generation in Communities of the Royal Project Development Area. *Agricultural Journal*, 36(3), 365–375. (in Thai)

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ
(Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University)
(บทความวิจัย)



การคัดแยกและประเมินศักยภาพของเชื้อรา *Trichoderma* sp. จากดินสวนทุเรียนในการควบคุมเชื้อรา
Phytophthora sp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียน

Isolation and Evaluation of *Trichoderma* sp. from Durian Orchard Soil for the Control of
Phytophthora sp., the Causal Agent of Root and Collar Rot in Durian

โสภณา วงศ์ทอง^{1,2} สุมาลี เลี่ยมทอง^{1,2*} ประวิทย์ เนื่องมัจฉา^{1,2} อานันท์นิตย์ คุ้ยยกสุย^{1,2} และ ปิยวรรณ เนื่องมัจฉา^{1,2}

Sopana Wongthong^{1,2} Sumalee Liamthong^{1,2*} Prawit Nuengmatcha^{1,2}

Arnannit Kuyyogsuy^{1,2} and Piyawan Nuengmatcha^{1,2}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

²ศูนย์ความเป็นเลิศเฉพาะทางด้านวัสดุนาโนเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช จังหวัดนครศรีธรรมราช

¹Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Nakhon Si Thammarat Province

²Center of Excellence in Nanomaterials Chemistry, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,
Nakhon Si Thammarat Province

*Corresponding Author: sumalee_lia@nstru.ac.th

Received: February 10, 2025

Revised: April 10, 2025

Accepted: April 12, 2025

บทคัดย่อ

โรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียนที่เกิดจากเชื้อรา *Phytophthora* sp. เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตของทุเรียน การใช้เชื้อรา *Trichoderma* sp. ซึ่งเป็นเชื้อปฏิปักษ์ทางชีวภาพ เป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อราก่อโรค การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกเชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. โดยคัดแยกเชื้อรา *Trichoderma* spp. จากดินในสวนทุเรียนที่ไม่พบการระบาดของโรคในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ได้ตัวแทนสำหรับการทดสอบจำนวน 50 ไอโซเลต และคัดแยกเชื้อรา *Phytophthora* sp. จากต้นทุเรียนที่แสดงอาการของโรคได้ 7 ไอโซเลต (P01–P07) ผลการทดสอบด้วยวิธี dual culture assay พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 46 ไอโซเลต (92%) สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora* spp. ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยใช้ Dunnett's test เปรียบเทียบกับเชื้อรา *Trichoderma* สายพันธุ์ทางการค้า เชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลต NSTRU-T93 แสดงประสิทธิภาพสูงสุด โดยสามารถยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. ไอโซเลต P01 และ P03 ได้ในระดับ 66.41% และ 80.53% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากสายพันธุ์ทางการค้า ($p < 0.05$) การจำแนกโดยลักษณะทางสัณฐานวิทยาร่วมกับชีวโมเลกุลระบุว่าเป็นเชื้อรา *Trichoderma reesei* ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเชื้อรา *T. reesei* ที่แยกได้จากดินในสวนทุเรียนมีศักยภาพสูงในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่า และสามารถพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์เพื่อการเกษตรอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การควบคุมโดยชีววิธี เชื้อราปฏิปักษ์ การจำแนกสายพันธุ์ โรคของทุเรียนจากเชื้อรา



Abstract

Root and collar rot in durian caused by the fungus *Phytophthora* sp. is a major problem affecting durian yield. The use of *Trichoderma* sp., a biological antagonistic fungus, is an effective alternative for controlling pathogenic fungi. This study aimed to select highly effective *Trichoderma* sp. isolates for inhibiting *Phytophthora* sp. A total of 50 *Trichoderma* spp. isolates were obtained from soil samples collected in disease-free durian in Nopphitam District, Nakhon Si Thammarat Province. In addition, seven *Phytophthora* sp. isolates (P01-P07) were isolated from symptomatic durian trees. The dual culture assay revealed that 46 isolates (92%) of *Trichoderma* spp. significantly inhibited the mycelial growth of *Phytophthora* spp. ($p < 0.05$), based on Dunnett's test when compared with a commercial *Trichoderma* strain. The *Trichoderma* sp. isolate NSTRU-T93 exhibited the highest inhibitory activity, suppressing the growth of *Phytophthora* sp. isolates P01 and P03 by 66.41% and 80.53%, respectively - both statistically superior to the commercial strain ($p < 0.05$). Morphological and molecular identification confirmed NSTRU-T93 as *Trichoderma reesei*. These findings indicate that the fungal isolate *T. reesei* obtained from durian orchard soil has strong potential for inhibiting *Phytophthora* sp., the causal agent of root and collar rot, and can be further developed into a sustainable biocontrol agent for agricultural applications.

Keywords: Biocontrol, Antagonistic, Fungi species identification, Fungal diseases of durian

1. บทนำ

โรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียน (*Phytophthora* root rot and collar rot) ที่มีสาเหตุจากเชื้อรา *Phytophthora* spp. เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตและคุณภาพของทุเรียนในหลายประเทศ โดยเฉพาะในเขตร้อนชื้นที่มีความชื้นในดินสูง เชื้อรา *Phytophthora* สามารถเข้าทำลายระบบราก ลำต้น และใบของพืช ส่งผลให้ต้นทุเรียนแสดงอาการเหี่ยว ใบเหลือง และในกรณีรุนแรงอาจทำให้ต้นตาย (Phonkerd et al., 2023) การควบคุมโรคดังกล่าวสามารถดำเนินการได้หลายวิธี โดยวิธีการเกษตรกรรม เช่น การปรับปรุงพื้นที่ปลูกให้ระบายน้ำดี การใช้ต้นกล้าปลอดโรค และการรักษาความสะอาดบริเวณโคนต้น สามารถช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคได้ (Pegg et al., 2021) ขณะที่การใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช เช่น ฟอสฟอรัสแอซิด (Phosphorous acid) และเมทาแลกซิล (Metalaxyl) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในระยะสั้น แต่การใช้ในระยะยาวอาจก่อให้เกิดการดื้อยาของเชื้อรา รวมถึงส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของผู้บริโภค (Wang et al., 2024) ด้วยเหตุนี้ แนวทางควบคุมแบบชีวภาพ (biological control) จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น โดยมีการใช้ชีวภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น เชื้อแบคทีเรีย *Bacillus subtilis* และ *Pseudomonas fluorescens* ซึ่งมีคุณสมบัติในการผลิตสารยับยั้งเชื้อรา กระตุ้นภูมิคุ้มกันของพืช และสามารถปรับตัวได้ดีในดิน (Kavitha et al., 2021; Raza et al., 2023) อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียเหล่านี้มักมีอายุการใช้งานสั้นในสภาพแวดล้อมจริง และอาจถูกจำกัดด้วยความสามารถในการแข่งขันกับจุลินทรีย์ท้องถิ่น ในทางตรงกันข้ามเชื้อรา *Trichoderma* spp. ได้รับการศึกษาและใช้ประโยชน์มายาวนานในการควบคุมเชื้อราสาเหตุโรคพืชหลายชนิด *Trichoderma* สามารถควบคุมเชื้อราได้ผ่านกลไกหลายแบบ เช่น การแข่งขันแย่งชิงพื้นที่และ



สารอาหาร (competition) การทำลายเชื้อราโดยตรง (mycoparasitism) การผลิตสารปฏิชีวนะ (antibiosis) รวมถึงการกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช (induced systemic resistance, ISR) (Sharma et al., 2023) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า *Trichoderma* spp. มีประสิทธิภาพในการควบคุม *Phytophthora* spp. ในพืชเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น มะเขือเทศ พริก และกล้วย (Fang et al., 2021) อย่างไรก็ตาม การศึกษาประสิทธิภาพของ *Trichoderma* ในทุเรียนยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสายพันธุ์ที่แยกจากแหล่งปลูกทุเรียนจริง ซึ่งมีปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเฉพาะตัวที่อาจมีผลต่อความสามารถของเชื้อรา ทั้งในด้านการเจริญเติบโต การผลิตเอนไซม์ และศักยภาพในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคพืช (Mendoza et al., 2022)

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดแยก *Trichoderma* spp. จากดินในสวนทุเรียนในพื้นที่อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นแหล่งปลูกทุเรียนสำคัญของภาคใต้ และประเมินศักยภาพของเชื้อราในการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora* spp. ที่แยกได้จากต้นทุเรียนที่แสดงอาการโรครากเน่าและโคนเน่า และจำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้เพื่อนำไปสู่การพัฒนาชีวภัณฑ์สำหรับควบคุมโรคในระบบการผลิตทุเรียนอย่างยั่งยืนในอนาคต

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การแยกเชื้อ *Trichoderma* sp. จากดินสวนทุเรียนในอำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช

เก็บตัวอย่างดินในสวนทุเรียนในพื้นที่ อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช ที่ไม่พบการระบาดของโรครากเน่าและโคนเน่าทุเรียน โดยเก็บดินที่ระดับความลึก 5-10 เซนติเมตร จำนวน 10 ตัวอย่าง นำมาคัดแยกเชื้อรา *Trichoderma* sp. โดยวิธี dilution plate method บนอาหาร glucose ammonium nitrate agar (GAN) บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3-5 วัน คัดแยกโคโลนีของเชื้อราที่มีลักษณะโคโลนีที่เจริญอย่างรวดเร็ว และสร้างโคนินเดีย (conidia) สีเขียวบนผิวหน้าอาหาร เก็บเชื้อบริสุทธิ์แต่ละตัวอย่างบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3-5 วัน ศึกษาลักษณะโคโลนี และรูปร่างลักษณะของเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อจำแนกชนิดและนำไปทดสอบการควบคุมการเจริญของเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียน

2.2 การแยกเชื้อ *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน และการทดสอบการเกิดโรคของไอโซเลท *Phytophthora* sp.

เก็บตัวอย่างบริเวณเปลือกลำต้นทุเรียนที่แสดงอาการของโรครากเน่าโคนเน่า จำนวน 10 ตัวอย่าง จากสวนทุเรียนที่มีการระบาดของโรครากเน่าโคนเน่า ในพื้นที่อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช นำมาแยกเชื้อรา *Phytophthora* sp. โดยวิธี tissue transplanting โดยตัดเนื้อเยื่อบริเวณแผลที่แสดงอาการของโรคขนาดประมาณ 1x1 เซนติเมตร นำไปแช่ในสารละลาย sodium hypochlorite ความเข้มข้นร้อยละ 1 นาน 3 นาที แล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นนิ่งฆ่าเชื้อ 3 ครั้ง ซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูที่ปราศจากเชื้อ นำไปวางบนอาหารจำเพาะ BNPR (corn meal agar ที่ผสม ampicillin 10 มิลลิกรัม, nystatin 1,000 ไมโครลิตร, rifampicin 10 มิลลิกรัม และ benlate 100 มิลลิกรัม) บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5-7 วัน ทำให้เป็นเชื้อบริสุทธิ์โดยการตัดขอบโคโลนีของเส้นใยเชื้อที่เจริญออกมาจากตัวอย่าง นำไปเลี้ยงบนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง 3-5 วัน เพื่อนำไปจำแนกชนิดและทดสอบการเกิดโรคบนใบทุเรียนโดยวิธีการปลูกเชื้อด้วยวิธี detached leaf (Vawdrey et al., 2005) โดยนำชิ้นวุ้น PDA ที่มีเส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ที่แยกได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร วางบนใบทุเรียนพันธุ์หมอนทองที่อยู่ในระยะเพสลาด ที่มีการทำแผลก่อนปลูกเชื้อ บ่มใบทุเรียนที่ปลูกเชื้อในกล่อง



พลาสติกที่มีความชื้น ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน และทำการบันทึกภาพ นำเชื้อที่ผ่านการพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา และการเกิดโรคบนใบทุเรียนจะถูกนำไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

2.3 การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อ *Trichoderma* sp. ในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน

การทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่แยกได้จากดิน ในสวนทุเรียน และเชื้อรา *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ทางการค้า ดำเนินการโดยใช้วิธีการเพาะร่วม (dual culture test) บนอาหาร PDA ในแต่ละจานเพาะเชื้อ นำชิ้นวุ้น PDA ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีเส้นใยของเชื้อรา *Phytophthora* sp. วางห่างจากขอบจานด้านหนึ่ง 2 เซนติเมตร แล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวางชิ้นวุ้น PDA ที่มีเส้นใยของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ขนาดเดียวกัน บริเวณด้านตรงข้าม โดยให้ห่างกัน 6 เซนติเมตร ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของจาน และบ่มต่อที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน หลังการบ่ม วัดรัศมีของเชื้อรา *Phytophthora* sp. แล้วคำนวณร้อยละของการยับยั้งการเจริญของเส้นใย (percent inhibition of radial growth: PIRG)

$$\text{โดยใช้สูตร: PIRG (\%)} = ((R1 - R2) / R1) \times 100 \quad \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 1})$$

โดย $R1$ = รัศมีของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ในจานควบคุม (ไม่มี *Trichoderma* sp.)

$R2$ = รัศมีของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ด้านที่เจริญไปทาง *Trichoderma* sp.

การทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. ดำเนินการภายใต้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) โดยมีปัจจัยหลักคือไอโซเลทของเชื้อรา *Trichoderma* จำนวน 50 ไอโซเลท (รวมถึงสายพันธุ์ทางการค้า) และทดสอบกับเชื้อรา *Phytophthora* จำนวน 7 ไอโซเลท โดยทำซ้ำ 3 ครั้งต่อชุดการทดลอง ข้อมูล PIRG ที่ได้จากการทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพในการยับยั้งระหว่างไอโซเลทของเชื้อรา *Trichoderma* sp. หากพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเพิ่มเติมด้วย Dunnett's Multiple Comparison Test โดยใช้สายพันธุ์ทางการค้าเป็นกลุ่มควบคุม เพื่อประเมินว่าแต่ละไอโซเลทมีประสิทธิภาพสูงกว่า เท่าเทียม หรือด้อยกว่าสายพันธุ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม Minitab version 17

นำค่าร้อยละการยับยั้งที่ได้จากการทดลอง นำมาประเมินระดับประสิทธิภาพของแต่ละไอโซเลท โดยใช้เกณฑ์ของเกษม สร้อยทอง (Soithong, 1989) ดังนี้

PIRG > ร้อยละ 75 = มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงมาก (4 คะแนน)

PIRG ร้อยละ 61-75 = มีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูง (3 คะแนน)

PIRG ร้อยละ 51-60 = มีประสิทธิภาพในการยับยั้งปานกลาง (2 คะแนน)

PIRG < ร้อยละ 50 = มีประสิทธิภาพในการยับยั้งต่ำ (1 คะแนน)

ไอโซเลทของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* sp. สูงที่สุด จะถูกนำไปจัดจำแนกในระดับสปีชีส์ต่อไป



2.4 การจำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* sp. ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและวิธีชีวโมเลกุล

จำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* sp. สูงที่สุดในระดับสปีชีส์โดยอาศัยลักษณะทางสัณฐานวิทยาและวิธีชีวโมเลกุล ดังนี้

2.4.1 การจำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่แยกได้มาเลี้ยงบนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง 7 วัน สังเกตลักษณะโคโลนี เส้นใย การเปลี่ยนสีของอาหารเลี้ยงเชื้อ และดูลักษณะโครงสร้างของเชื้อรารายใต้กล้องจุลทรรศน์โดยการทำให้ slide culture นำลักษณะที่ได้เปรียบเทียบกับรายงานของ Kubicek (1998) และ Samuels et al. (2015)

2.4.2 การจำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* sp. ด้วยวิธีชีวโมเลกุล

เลี้ยงเชื้อรา *Trichoderma* sp. ในอาหารเหลว PDB เขย่าด้วยความเร็ว 250 rpm เป็นเวลา 5 วัน กรองเส้นใย ด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 นำมาสกัด DNA โดยประยุกต์จากวิธีการของ Doyle & Doyle (1987) ตรวจสอบคุณภาพและความเข้มข้นของ DNA ด้วยเครื่อง Nanodrop spectrophotometer เพิ่มปริมาณลำดับเบสในบริเวณ ITS rDNA ด้วยไพรเมอร์ ITS1 (5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG 3') และ ITS4 (5' TCCTCCGCTTATTGATATGC 3') (White et al., 1990) ด้วยปฏิกิริยา PCR โดยใช้ปริมาตรรวมของปฏิกิริยา 50 ไมโครลิตร ประกอบด้วย 10X buffer, 2.5 มิลลิโมลาร์ $MgCl_2$, 0.2 มิลลิโมลาร์ dNTPs, 0.2 ไมโครโมลาร์ (ITS5 และ ITS4) และ 1 ยูนิต Taq DNA polymerase โดยจำนวนรอบในการทำ PCR คือ 35 รอบ ใช้เวลาและอุณหภูมิในการสังเคราะห์สาย DNA ดังนี้ initial denaturation อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที denaturation อุณหภูมิ 96 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที annealing อุณหภูมิ 53 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที extension อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.30 นาที และ final extension อุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตรวจสอบผลผลิตจากปฏิกิริยา PCR ที่ได้โดยเทคนิคอะกาโรสเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส (agarose gel electrophoresis) นำผลผลิตจากปฏิกิริยา PCR ส่งวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการบริษัท Macrogen ประเทศเกาหลี นำลำดับนิวคลีโอไทด์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลใน GenBank โดยใช้ Nucleotide BLAST ในฐานข้อมูล NCBI เพื่อยืนยันเชื้อในระดับสปีชีส์

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการคัดแยกเชื้อรา *Trichoderma* sp. จากดินในสวนทุเรียน

จากการแยกเชื้อรา *Trichoderma* sp. จากดินในสวนทุเรียนสามารถคัดเลือกเชื้อที่มีลักษณะของเชื้อรา *Trichoderma* sp. คือมีลักษณะโคโลนีที่มีการเจริญอย่างรวดเร็ว และสร้างโคนิเดียสีขาว บนผิวหน้าอาหาร ได้ทั้งหมด 66 ไอโซเลท จากนั้นนำเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่คัดแยกได้มาจัดกลุ่มตามลักษณะโคโลนีและลักษณะสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อเป็นตัวแทนในการทดสอบการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora* sp. ได้เชื้อราเป็นตัวแทนในการทดสอบจำนวน 50 ไอโซเลท ดังแสดงใน Figure 1. และ Figure 2.

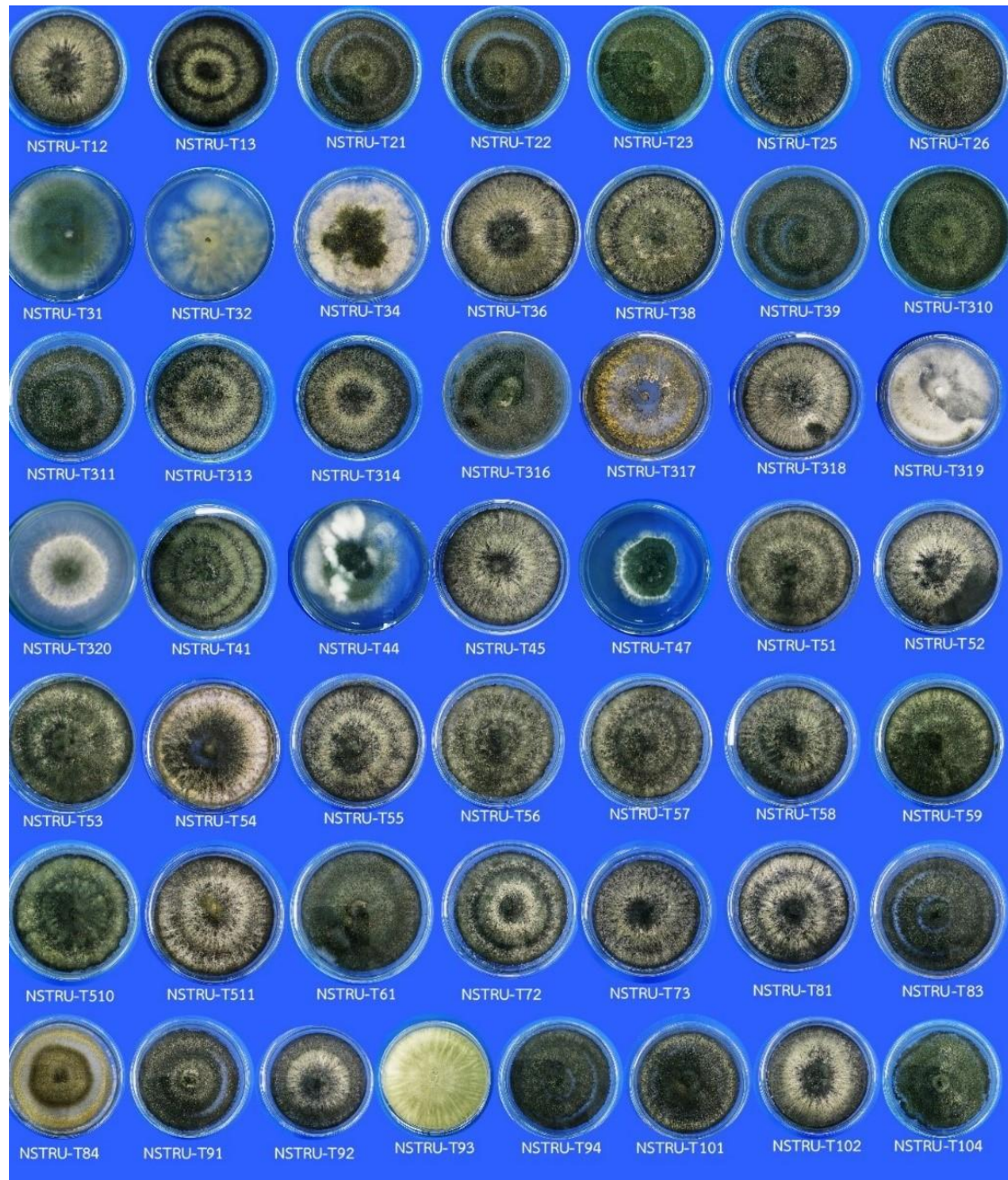


Figure 1. Colony morphology of *Trichoderma* spp. on PDA medium after 7 days of incubation

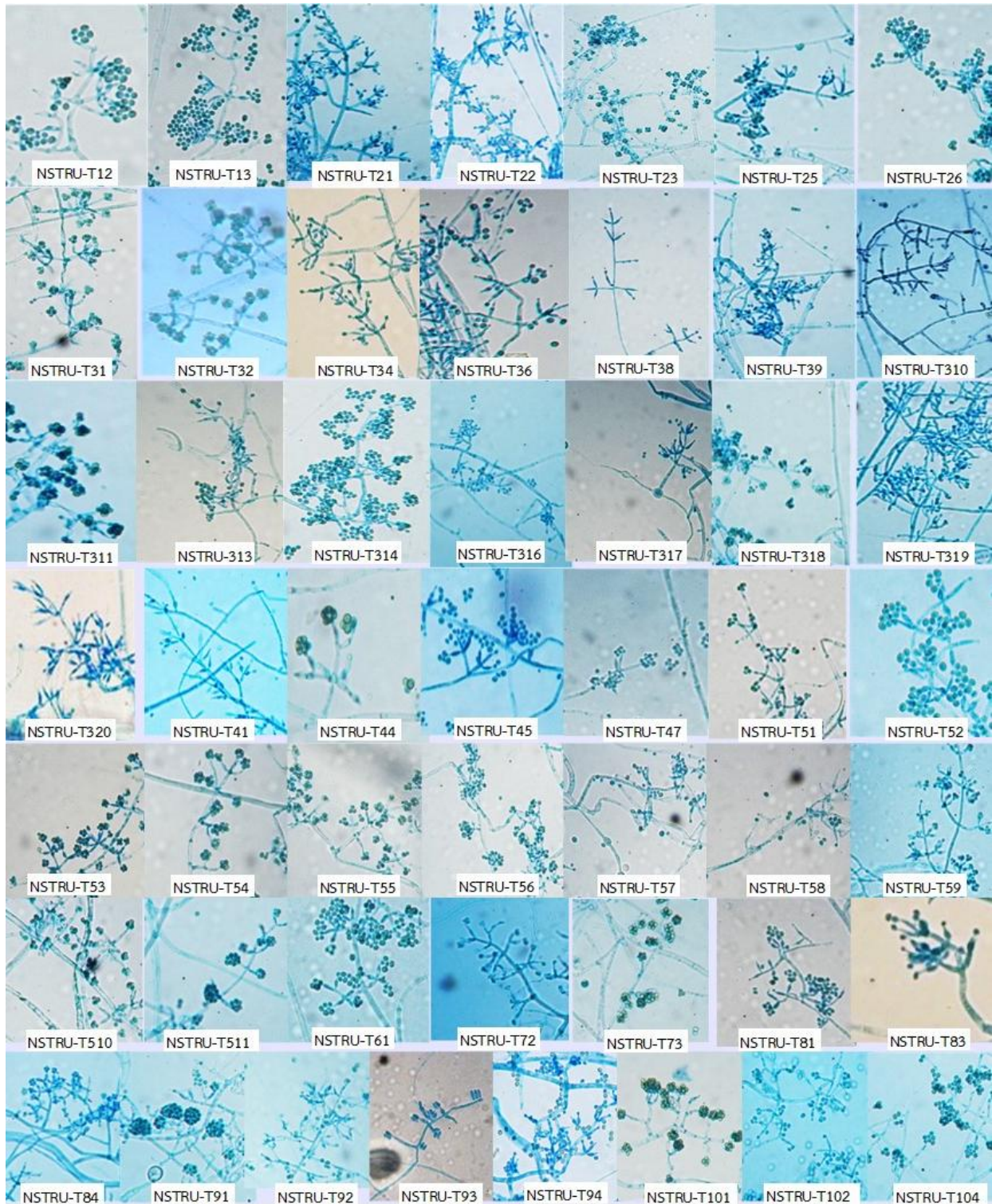


Figure 2. Microscopic morphology of *Trichoderma* spp. at 400x magnification

3.2 ผลการแยกเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าโคนของทุเรียน

จากการแยกเชื้อราจากเปลือกลำต้นทุเรียนที่เป็นโรค สามารถแยกเชื้อรา *Phytophthora* spp. ได้จำนวน 7 ไอโซเลท (P01-P07) เชื้อราที่แยกได้มีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกันบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้อง โดยเชื้อรา *Phytophthora* spp. ไอโซเลท P01 และ P07 มีโคโลนีแบบ stellate pattern และในไอโซเลท P02, P03, P04 และ P06 มีลักษณะโคโลนีแบบ radiate และไอโซเลท P05 มีโคโลนีแบบ slightly stellate pattern โดยเชื้อราทั้ง 7 ไอโซเลท เมื่อนำมาตรวจสอบเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเส้นใยมีลักษณะไม่มีผนังกันระหว่างเซลล์ มี sporangium แบบ ovoid และมีการสร้าง chlamydospore สีน้ำตาล ผนังหนา เป็นจำนวนมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Suksiri et al. (2018) ที่รายงานว่าลักษณะพื้นฐานดังกล่าวเป็นลักษณะของเชื้อ *Phytophthora* spp. และเมื่อนำเชื้อ *Phytophthora* spp. ทั้ง 7 ไอโซเลท มาทดสอบความสามารถในการเกิดโรคบนใบทุเรียนโดยวิธี detached leaf พบว่าทุก ไอโซเลทมีความสามารถในการก่อโรคบนใบพืชทดสอบได้ โดยใบทุเรียนเริ่มแสดงอาการติดเชื้อ 2 วันหลังจากปลูกเชื้อบนใบ ทุเรียน รอบแผลมีรอยช้ำน้ำ และขยายลามเป็นวงสีน้ำตาลขนาดใหญ่ แผลจะลุกลามไปตามเส้นใบ ดังแสดงใน Figure 3.

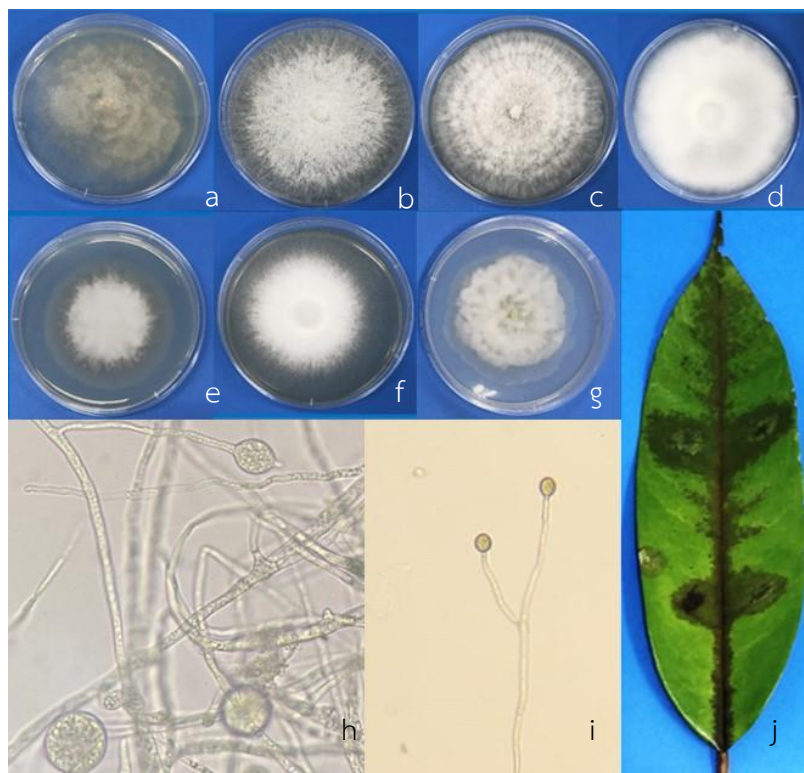


Figure 3. Morphology and pathogenicity test of *Phytophthora* spp. (a-g) Colony morphology of *Phytophthora* spp. (P01- P07) on PDA medium after 7 days of incubation. (h, i) Sporangia and chlamydospores of the representative *Phytophthora* sp. isolate, P01. (j) Symptoms on a durian leaf inoculated with mycelial plugs of the representative *Phytophthora* sp. isolate, P01.

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการเป็นเชื้อปฏิปักษ์ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* spp. สาเหตุโรครากเน่าโคนของทุเรียน

การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ทั้ง 50 ไอโซเลตในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* spp. พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. แต่ละไอโซเลต สามารถยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* spp. แตกต่างกัน แสดงตัวอย่างดัง Figure 4. โดยมีค่าร้อยละในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. แสดงใน Table 1. ซึ่งพบว่ามีเชื้อรา *Trichoderma* spp. จำนวน 46 ไอโซเลต คิดเป็นร้อยละ 92 ของเชื้อรา *Trichoderma* spp. ที่แยกได้สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora* spp. ได้ และมีเพียง 4 ไอโซเลต ได้แก่ NSTRU-T319, NSTRU-T44 , NSTRU-T47 และ NSTRU-T92 ที่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora* spp. ทั้ง 7 ไอโซเลตได้

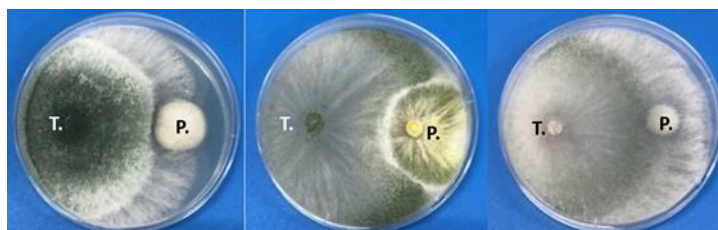


Figure 4. Example of antagonistic activity of *Trichoderma* spp. (T.) against *Phytophthora* spp. (P.) using the dual culture test on PDA medium (3 days at room temperature).

Table 1. Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of *Phytophthora* spp. Isolates P01-P07

<i>Trichoderma</i> spp.	Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of <i>Phytophthora</i> spp.						
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07
NSTRU-T12	50.33±1.41 ^b	50.73±1.16 ^a	63.92±0.82 ^a	26.15±1.84 ^b	48.17±1.19 ^a	31.07±1.21 ^c	46.81±1.02 ^b
NSTRU-T13	51.11±1.63 ^b	35.99±0.07 ^b	62.40±0.79 ^a	30.95±2.11 ^a	54.88±1.09 ^a	22.31±2.68 ^c	46.04±1.28 ^b
NSTRU-T21	54.42±1.91 ^b	33.31±1.42 ^b	56.46±1.02 ^b	28.69±1.61 ^a	56.38±4.37 ^a	33.79±0.63 ^b	46.04±1.48 ^b
NSTRU-T22	59.44±1.46 ^a	41.04±0.86 ^a	59.87±0.78 ^b	41.09±0.68 ^a	43.48±1.42 ^a	36.91±0.78 ^b	50.88±1.72 ^a
NSTRU-T23	53.03±2.74 ^b	36.24±0.54 ^b	63.78±0.81 ^a	18.19±1.63 ^b	37.14±1.08 ^a	39.52±2.23 ^b	50.44±2.05 ^a
NSTRU-T25	54.69±2.22 ^b	25.24±0.94 ^c	58.71±1.12 ^b	36.38±0.65 ^a	35.65±2.83 ^a	28.57±1.74 ^c	52.59±2.40 ^a
NSTRU-T26	61.57±0.73 ^a	41.29±0.28 ^a	58.93±2.52 ^b	29.14±1.98 ^a	51.60±0.17 ^a	22.21±1.37 ^c	51.38±0.39 ^a
NSTRU-T31	60.70±2.64 ^a	33.79±1.03 ^b	54.10±1.62 ^b	33.39±1.37 ^a	42.36±1.02 ^a	44.21±1.15 ^a	45.10±0.89 ^b
NSTRU-T32	63.22±3.54 ^a	41.61±1.11 ^a	62.40±1.88 ^a	16.56±2.80 ^b	37.21±1.27 ^a	27.74±2.31 ^c	49.83±0.71 ^a
NSTRU-T34	-	-	66.53±0.86 ^a	-	18.94±1.32 ^b	2.82±2.56 ^c	15.58±1.89 ^c
NSTRU-T36	61.66±1.94 ^a	44.54±0.78 ^a	67.55±0.99 ^a	37.65±2.98 ^a	45.19±1.94 ^a	42.23±4.50 ^a	56.61±1.16 ^a
NSTRU-T38	55.65±3.05 ^a	20.28±0.92 ^c	61.84±1.02 ^a	29.05±1.33 ^a	33.86±1.20 ^a	34.10±0.83 ^b	38.05±0.68 ^c



Table 1. Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of *Phytophthora* spp. Isolates P01-P07 (Cont.)

<i>Trichoderma</i> spp.	Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of <i>Phytophthora</i> spp.						
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07
NSTRU-T39	44.32±2.55 ^b	46.82±1.16 ^a	62.23±0.39 ^a	30.86±1.08 ^a	41.83±0.10 ^a	49.32±1.46 ^a	44.44±2.40 ^b
NSTRU-T310	62.83±3.23 ^a	30.94±0.58 ^b	64.53±3.11 ^a	22.08±1.67 ^b	47.35±1.60 ^a	32.95±2.02 ^c	57.16±0.10 ^a
NSTRU-T311	49.88±0.00 ^b	26.47±2.60 ^c	56.10±3.08 ^b	16.11±1.84 ^b	35.50±2.42 ^a	27.11±1.85 ^c	36.84±0.70 ^c
NSTRU-T313	53.46±1.70 ^b	34.28±1.02 ^b	68.66±0.94 ^a	31.13±0.67 ^a	55.48±2.04 ^a	30.34±0.53 ^c	53.80±0.30 ^a
NSTRU-T314	37.86±1.67 ^c	41.12±2.15 ^a	66.72±1.12 ^a	22.08±0.60 ^b	33.33±0.67 ^a	27.32±1.85 ^c	45.65±1.20 ^b
NSTRU-T316	45.49±0.56 ^b	24.19±1.22 ^c	61.59±0.88 ^a	18.64±1.11 ^b	21.03±1.50 ^a	25.55±0.53 ^c	43.72±1.90 ^b
NSTRU-T317	60.22±0.10 ^a	41.29±2.54 ^a	60.59±1.42 ^a	31.95±2.20 ^a	22.37±2.31 ^b	19.19±1.30 ^c	42.90±1.05 ^b
NSTRU-T318	51.08±3.68 ^b	35.50±1.03 ^b	63.28±2.44 ^a	25.43±1.74 ^b	50.48±4.12 ^a	38.37±0.50 ^b	43.83±0.10 ^b
NSTRU-T319	-	-	-	-	-	-	-
NSTRU-T320	49.43±0.94 ^b	28.83±0.25 ^b	65.14±0.51 ^a	25.97±0.06 ^b	32.14±2.77 ^a	24.82±1.76 ^c	43.61±0.72 ^b
NSTRU-T41	43.30±3.16 ^c	33.47±2.10 ^b	45.15±0.58 ^c	27.69±1.97 ^a	35.27±1.29 ^a	34.20±0.19 ^b	26.10±2.42 ^c
NSTRU-T44	-	-	-	-	-	-	-
NSTRU-T45	50.09±3.39 ^b	21.42±2.02 ^c	63.67±0.06 ^a	35.02±1.23 ^a	42.95±1.71 ^a	37.02±0.19 ^b	77.75±0.28 ^a
NSTRU-T47	-	-	-	-	-	-	-
NSTRU-T51	41.68±1.77 ^c	28.58±1.30 ^b	59.07±0.04 ^b	32.22±1.94 ^a	40.27±1.49 ^a	30.45±1.39 ^c	40.25±0.93 ^c
NSTRU-T52	52.16±2.57 ^b	41.61±0.25 ^a	63.01±1.73 ^a	28.05±1.34 ^a	30.05±1.22 ^a	34.93±1.22 ^b	48.18±0.83 ^a
NSTRU-T53	39.30±5.14 ^c	54.72±2.60 ^a	62.01±0.06 ^a	26.70±1.59 ^a	40.57±0.85 ^a	25.96±0.89 ^c	40.53±0.51 ^c
NSTRU-T54	55.35±2.50 ^a	45.68±1.30 ^a	68.66±2.02 ^a	40.72±1.95 ^a	47.35±2.21 ^a	40.67±0.71 ^b	54.63±1.03 ^a
NSTRU-T55	42.10±2.67 ^c	38.11±1.41 ^a	67.03±1.91 ^a	33.39±3.65 ^a	35.50±1.06 ^a	22.94±2.01 ^c	43.28±0.21 ^b
NSTRU-T56	41.47±0.14 ^c	26.71±1.85 ^b	65.97±0.65 ^a	15.75±1.83 ^b	32.89±0.86 ^a	31.39±1.17 ^c	44.49±1.30 ^b
NSTRU-T57	38.01±2.60 ^c	30.29±1.32 ^b	56.46±3.21 ^b	20.63±0.72 ^b	35.42±0.58 ^a	29.51±1.36 ^c	48.79±0.93 ^a
NSTRU-T58	42.46±1.84 ^c	47.80±3.20 ^a	63.98±3.11 ^a	37.29±0.15 ^a	41.76±1.12 ^a	39.31±1.57 ^b	49.72±0.74 ^a
NSTRU-T59	53.70±1.35 ^b	45.60±1.65 ^a	65.34±1.31 ^a	39.91±0.10 ^a	36.24±0.73 ^a	41.29±0.99 ^a	48.68±0.99 ^a
NSTRU-T510	37.68±1.94 ^c	40.15±2.92 ^a	60.43±1.65 ^a	20.18±2.36 ^b	44.44±0.94 ^a	36.70±1.24 ^b	49.56±1.68 ^a
NSTRU-T511	55.95±0.28 ^a	30.21±0.31 ^b	65.97±1.42 ^a	36.65±2.33 ^a	30.57±0.64 ^a	38.79±0.07 ^b	46.97±1.29 ^b
NSTRU-T61	48.17±0.03 ^b	38.19±1.12 ^a	62.84±0.30 ^a	30.68±0.85 ^a	23.04±0.72 ^a	27.53±0.77 ^c	51.38±0.91 ^a
NSTRU-T72	58.86±1.08 ^a	25.41±2.67 ^c	62.12±1.25 ^a	30.68±6.52 ^a	27.22±1.03 ^b	31.60±1.14 ^c	45.54±0.06 ^b
NSTRU-T73	56.94±0.38 ^a	30.78±3.33 ^b	62.95±2.52 ^a	30.95±1.98 ^a	15.73±2.42 ^b	30.24±2.09 ^c	49.34±0.78 ^a
NSTRU-T81	48.62±4.02 ^b	37.13±1.32 ^a	60.87±0.71 ^a	25.70±0.62 ^b	32.89±0.28 ^a	23.98±1.03 ^c	48.79±1.13 ^a



Table 1. Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of *Phytophthora* spp. Isolates P01-P07 (Cont.)

<i>Trichoderma</i>	Percentage of Inhibition of Radial Growth (PIRG) of <i>Phytophthora</i> spp.						
spp.	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07
NSTRU-T83	49.61±1.01 ^b	36.32±2.35 ^b	64.36±0.82 ^a	26.15±3.31 ^b	36.76±1.13 ^a	41.40±0.73 ^a	44.55±0.28 ^b
NSTRU-T84	56.04±0.03 ^a	43.65±4.41 ^a	59.21±0.25 ^b	30.68±2.20 ^a	27.67±0.72 ^b	31.39±1.17 ^c	48.29±0.79 ^a
NSTRU-T91	57.54±0.94 ^a	47.80±1.42 ^a	59.18±2.66 ^b	46.88±1.02 ^a	45.04±1.16 ^a	45.57±0.68 ^a	43.01±0.92 ^b
NSTRU-T92	-	-	-	-	-	-	-
NSTRU-T93	66.41±0.07 ^a	20.93±1.25 ^c	80.53±0.38 ^a	34.66±3.00 ^a	50.26±0.58 ^a	37.23±0.23 ^b	57.87±0.81 ^a
NSTRU-T94	47.39±0.59 ^b	38.68±3.11 ^a	61.54±1.29 ^a	22.62±4.20 ^b	40.57±0.60 ^a	44.00±0.75 ^a	44.66±0.24 ^b
NSTRU-T101	00.00±0.00 ^c	33.39±3.25 ^b	60.73±1.42 ^a	27.69±3.51 ^a	38.33±0.38 ^a	37.23±0.95 ^b	40.69±1.06 ^c
NSTRU-T102	51.95±3.02 ^b	30.37±0.32 ^b	61.59±0.77 ^a	23.53±2.81 ^b	36.09±0.52 ^a	25.03±0.84 ^c	39.59±0.73 ^c
NSTRU-T104	53.22±3.30 ^b	34.85±1.25 ^b	61.76±0.99 ^a	29.41±0.65 ^a	38.85±0.24 ^a	-	35.35±0.39 ^c
Commercial strain	49.57±0.05	31.68±4.61	55.99±0.53	20.72±0.67	25.88±0.97	37.33±0.61	45.15±0.82

Note: Superscript letters a, b, and c following the mean values and standard deviations within each column indicate groupings based on Dunnett's test ($p < 0.05$). Comparisons were made within the same column only.

A = significantly higher than the commercial strain;

B = not significantly different from the commercial strain;

C = significantly lower than the commercial strain.

- = No inhibition

เมื่อพิจารณาผลการยับยั้งของแต่ละไอโซเลท พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T93 มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P01 และ P03 โดยให้ค่าการยับยั้งเท่ากับร้อยละ 66.41 และ 80.53 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T53 ยับยั้งเชื้อ P02 ได้สูงสุดที่ร้อยละ 54.72, NSTRU-T91 ยับยั้ง P04 ได้สูงสุดที่ร้อยละ 46.88, NSTRU-T21 ยับยั้ง P05 ได้สูงสุดที่ร้อยละ 56.38, NSTRU-T39 ยับยั้ง P06 ได้สูงสุดที่ร้อยละ 49.32 และ NSTRU-T45 ยับยั้ง P07 ได้สูงสุดถึงร้อยละ 77.75

ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Dunnett's test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยใช้สายพันธุ์ทางการค้าเป็นกลุ่มควบคุม พบว่าเชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลท ที่นำมาทดสอบ มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคได้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีเชื้อรา *Trichoderma* ที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P01 ถึง P07 ได้สูงกว่าสายพันธุ์ทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวน 15, 20, 35, 29, 39, 7 และ 20 ไอโซเลท ตามลำดับ

จากการจัดลำดับคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* spp. ตามเกณฑ์ของ Soithong (1989) พบว่า เชื้อรา *Trichoderma* spp. ไอโซเลท NSTRU-T93 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P01 และ P03 สูงสุดนั้น ยังสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P03 และ P07



ได้ในระดับที่สูงมาก ส่วน *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P01 ถูกยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ในระดับสูง และ *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P02 และ P05 ถูกยับยั้งการเจริญของเส้นใยในระดับปานกลาง มีเฉพาะ *Phytophthora* sp. ไอโซเลท P04 และ P06 ถูกยับยั้งการเจริญของเส้นใยได้ในระดับต่ำ โดยเชื้อ *Trichoderma* spp. แต่ละไอโซเลทสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. ได้แตกต่างกัน จึงได้นำค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย มาให้ระดับคะแนนประสิทธิภาพการยับยั้งเส้นใยเชื้อรา *Phytophthora* spp. ภายหลังการจัดเรียงค่าคะแนนประสิทธิภาพการยับยั้ง ได้เชื้อ *Trichoderma* spp. ที่มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. สูงสุด 5 อันดับแรกดังแสดงใน Table 2.

Table 2. Top five *Trichoderma* spp. isolates with the highest inhibition efficiency scores against the mycelial growth of *Phytophthora* spp.

<i>Trichoderma</i> spp.	Inhibition efficiency scores against <i>Phytophthora</i> spp. mycelial growth							
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	Total
NSTRU-T93	3	1	4	1	2	1	2	14
NSTRU-T45	2	1	3	1	1	1	4	13
NSTRU-T26	3	1	2	1	2	1	2	12
NSTRU-T36	3	1	3	1	1	1	2	12
NSTRU-T310	3	1	3	1	1	1	2	12
Commercial strain	1	1	2	1	1	1	1	8

จาก Table 2. เชื้อรา *Trichoderma* sp. ที่มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. สูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T93 มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. 14 คะแนน, *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T45 มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. 13 คะแนน และ *Trichoderma* spp. ไอโซเลท NSTRU-T26, NSTRU-T36 และ NSTRU-T310 มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใย *Phytophthora* spp. 12 คะแนน ซึ่งทั้ง 5 ไอโซเลทมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของ เส้นใย *Phytophthora* spp. ได้ดีกว่า *Trichoderma* sp. สายพันธุ์ทางการค้า จึงคัดเลือกเชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T93 ที่มีคะแนนประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยสูงสุด ไปจัดจำแนกชนิดต่อไป

3.4 การจัดจำแนกชนิดของเชื้อรา *Trichoderma* sp. NSTRU-T93 ด้วยวิธีทางสัณฐานวิทยาและวิธีทางชีวโมเลกุล

เชื้อรา *Trichoderma* sp. ไอโซเลท NSTRU-T93 เส้นใยเจริญได้ดีบนอาหาร PDA โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนี 90 มิลลิเมตร เมื่อเลี้ยงบนอาหาร PDA เป็นระยะเวลา 4 วัน เส้นใยสีขาวฟู ระยะแรกพบการสร้างสปอร์สีเขียวอ่อน และสร้างรงควัตถุสีเหลืองในอาหารเลี้ยงเชื้อ ลักษณะของโคนิเดียมีสีเขียว รูปร่าง ellipsoidal มีโคนิดิโอฟอร์แตกแขนงแบบ longibrachiatum-type สร้างไฟอะโลด์ รูปร่างแบบ cylindrical ดัง Figure 5. จัดจำแนกเป็นเชื้อราในสกุล *Trichoderma* sp.

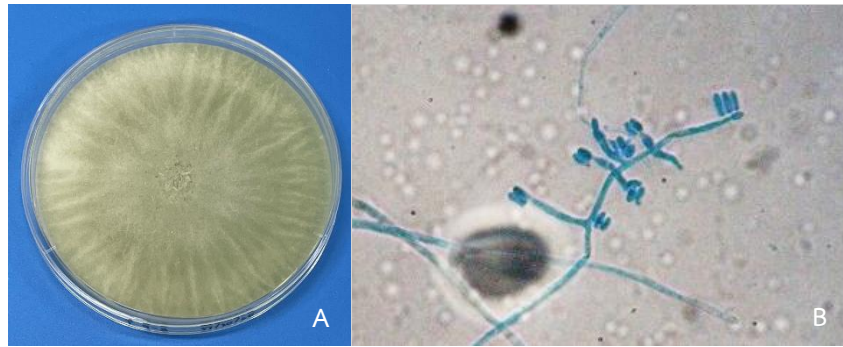


Figure 5. *Trichoderma* sp. isolate NSTRU-T93

(A) Colony morphology on PDA medium after 4 days of incubation at room temperature.

(B) Conidiophore, phialides, and conidia under a microscope at 400x magnification

การจำแนกชนิดของเชื้อราไอโซเลท NSTRU-T93 ด้วยวิธีทางชีวโมเลกุลของลำดับนิวคลีโอไทด์บริเวณ ITS บางส่วนไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ฐานข้อมูลสากล GenBank ซึ่งพบว่าเชื้อราไอโซเลท NSTRU-T93 มีความใกล้เคียงกับรา *Trichoderma reesei* (GenBank accession number LC535971.1) มากที่สุด (เทียบกับ Type strain = 100%)

4. อภิปรายผลการวิจัย

การคัดแยกและประเมินศักยภาพของเชื้อรา *Trichoderma* sp. จากดินสวนทุเรียน ในการควบคุมเชื้อรา *Phytophthora* sp. สาเหตุโรครากเน่าและโคนเน่าของทุเรียนในครั้งนี้ ได้ทำการคัดแยกเชื้อรา *Trichoderma* จากดินในสวนทุเรียนที่ไม่มีการระบาดของโรครากเน่าและโคนเน่า ซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการคัดเลือกเชื้อราที่มีศักยภาพในการป้องกันโรคตามธรรมชาติ เนื่องจากดินที่ปลอดโรคมักมีจุลินทรีย์ที่สามารถยับยั้งหรือแข่งขันกับเชื้อก่อโรคได้ดี การคัดเลือกเชื้อจากดินเหล่านี้จึงเพิ่มโอกาสในการค้นพบสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูง นอกจากนี้เชื้อจากดินปลอดโรคยังมีแนวโน้มที่จะเจริญเติบโตและตั้งตัวในสภาพแวดล้อมของสวนทุเรียนได้ดี ทำให้มีมีประสิทธิภาพสูงเมื่อนำไปใช้เป็นชีวภัณฑ์ป้องกันโรค การคัดแยกเชื้อราจากดินที่ปลอดโรคจึงเป็นแนวทางที่ช่วยให้ได้เชื้อที่มีศักยภาพสูงสุดสำหรับการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ทางการเกษตรในระยะยาว

จากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถแยกเชื้อราจากดินในสวนทุเรียนได้ 66 ไอโซเลท และได้ทำการคัดเลือกเชื้อราที่มีลักษณะโคโลนี บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA และลักษณะสัณฐานของสปอร์และเส้นใยภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่แตกต่างกันจำนวน 50 ไอโซเลท ซึ่งความหลากหลายของเชื้อรา *Trichoderma* ที่คัดแยกได้จากดินในสวนทุเรียนอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการ เช่น สภาพแวดล้อมของดิน ความหลากหลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ในดิน และแหล่งที่มาของการคัดแยก ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Thomchanreed et al. (2021) ได้คัดแยกเชื้อรา *Trichoderma* จากดินปลูกทุเรียนในจังหวัดจันทบุรีและชุมพร พบว่าเชื้อราเหล่านี้มีความแตกต่างในลักษณะโคโลนีและประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรครากเน่าโคนเน่าของทุเรียน นอกจากนี้ การศึกษาของ Rattanalernussorn (2009) พบว่าเชื้อรา *T. viride* ที่แยกได้จากแหล่งต่าง ๆ มีความหลากหลายในด้านสัณฐานวิทยาและการใช้ประโยชน์ ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างในสภาพแวดล้อมของดินและปัจจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา



จากผลการทดลองพบว่า *Trichoderma* spp. ส่วนใหญ่ที่แยกจากดินสวนทุเรียนสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อ *Phytophthora* spp. ได้ในระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่ระบุว่า *Trichoderma* มีศักยภาพสูงในการควบคุมเชื้อราก่อโรคในพืชเศรษฐกิจหลายชนิด อันเป็นผลมาจากกลไกการปฏิสัมพันธ์ที่หลากหลาย แม้ในงานวิจัยนี้จะได้ศึกษาจากโดยตรง แต่ผลที่ได้สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถเชิงปฏิบัติของเชื้อในการยับยั้งเชื้อก่อโรคในทุเรียน โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาต่อเนื่องเพื่อพัฒนาไอโซเลทที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมโรค และศึกษาปัจจัยที่อาจมีผลต่อความสามารถในการปฏิสัมพันธ์ของเชื้อ เช่น การปรับตัวของ *Trichoderma* ต่อสภาพแวดล้อมของสวนทุเรียนและการทำงานร่วมกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ในดิน การใช้ *Trichoderma* spp. เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการควบคุม *Phytophthora* sp. เนื่องจากสามารถควบคุมเชื้อก่อโรคผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การแข่งขันแย่งชิงสารอาหาร การหลั่งเอนไซม์ที่สามารถทำลายผนังเซลล์ของเชื้อรา และการผลิตสารปฏิชีวนะ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าไอโซเลท NSTRU-T93 มีศักยภาพสูงสุด ในการยับยั้งเชื้อรา *Phytophthora* sp. ทั้งไอโซเลท P01 และ P03 ขณะที่บางไอโซเลท เช่น NSTRU-T319, NSTRU-T44, NSTRU-T47 และ NSTRU-T92 ไม่สามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อก่อโรคได้เลย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากข้อจำกัดด้านกลไกการปฏิสัมพันธ์ เช่น ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไฮโดรไลติก เช่น ไคตินเนส (chitinase) และกลูคาเนส (glucanase) หรือการสร้างสารปฏิชีวนะที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมเชื้อก่อโรค ความแตกต่างของ *Trichoderma* แต่ละไอโซเลทอาจเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางพันธุกรรม ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการผลิตสารต้านเชื้อราและเอนไซม์ที่ใช้ทำลายโครงสร้างของ *Phytophthora* spp. นอกจากนี้ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ค่า pH ของดินที่อยู่ในช่วง 5.5–6.5 ปริมาณสารอินทรีย์ และความหนาแน่นของจุลินทรีย์อื่น ๆ ก็อาจมีผลต่อศักยภาพของ *Trichoderma* ในการแข่งขันกับเชื้อก่อโรคและความสามารถในการตั้งตัวในดิน (Tian et al., 2024; Wang et al., 2022) การศึกษานี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพของ *Trichoderma* แต่ละไอโซเลทขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของ *Phytophthora* spp. ที่ใช้ทดสอบ โดยพบว่าไอโซเลท P03 และ P07 ถูกยับยั้งได้สูงกว่าร้อยละ 80 ขณะที่ P04 และ P06 ถูกยับยั้งในระดับต่ำกว่า 50% ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความแตกต่างขององค์ประกอบผนังเซลล์ของ *Phytophthora* แต่ละสายพันธุ์ที่มีความทนทานต่อเอนไซม์จาก *Trichoderma* ไม่เท่ากัน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย Dunnett's test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยืนยันว่าเชื้อรา *Trichoderma* ที่แยกจากดินสวนทุเรียนมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อ *Phytophthora* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับสายพันธุ์ทางการค้า โดยในไอโซเลทของ *Phytophthora* แต่ละชนิด พบว่า *Trichoderma* จากแหล่งท้องถิ่นหลายไอโซเลท สามารถแสดงศักยภาพในการควบคุมเชื้อก่อโรคได้ดีกว่าอย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงคุณค่าของการใช้จุลินทรีย์จากแหล่งปลูกเฉพาะถิ่นในการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การประเมินระดับคะแนนประสิทธิภาพของแต่ละไอโซเลทโดยอิงตามค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใย ยังช่วยให้สามารถคัดเลือกไอโซเลทที่มีศักยภาพสูงสุดได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าไอโซเลท NSTRU-T93 เป็นไอโซเลทที่มีคะแนนรวมสูงสุดและมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อก่อโรคได้ในระดับสูงสม่ำเสมอ จึงได้รับการคัดเลือกให้นำไปจำแนกชนิดในระดับสปีชีส์

ผลการจำแนกสายพันธุ์ของ NSTRU-T93 พบว่ามีลักษณะของโคนินิโอฟอร์ที่แตกแขนงแบบ longibrachiatum-type และไฟอะไลด์รูปร่าง cylindrical ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของ *Trichoderma reesei* (Kubicek et al., 2011) การใช้เทคนิคชีวโมเลกุลโดยการวิเคราะห์ลำดับนิวคลีโอไทด์ของบริเวณ ITS (Internal Transcribed Spacer) และเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล GenBank ยืนยันว่าไอโซเลทนี้มีความใกล้เคียงกับ *T. reesei* 100% อย่างไรก็ตามแม้ว่าผลการจำแนกสายพันธุ์จะมีความแม่นยำสูงจากการใช้ลำดับ ITS แต่ควรมีการตรวจสอบเพิ่มเติมด้วยเครื่องหมายโมเลกุลอื่น ๆ เช่น TEF1- α



(Translation Elongation Factor 1-alpha) หรือ RPB2 (RNA Polymerase II subunit 2) ซึ่งสามารถเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกชนิดของ *Trichoderma* spp. ได้ดียิ่งขึ้น (Dou et al., 2020)

แม้ว่า *T. reesei* จะเป็นที่รู้จักในฐานะเชื้อราที่มีบทบาทสำคัญในการผลิตเอนไซม์เซลลูโลสในอุตสาหกรรมชีวภาพ (Druzhinina et al., 2006) แต่การศึกษาหลายฉบับระบุว่า *T. reesei* ยังมีศักยภาพในการเป็นเชื้อปฏิปักษ์ทางชีวภาพ สามารถควบคุมเชื้อก่อโรคพืชได้หลายชนิดผ่านกลไกการแข่งขันแย่งชิงสารอาหาร การผลิตเอนไซม์ย่อยสลายผนังเซลล์ของเชื้อราก่อโรค และการสร้างสารต้านจุลชีพ (Steindorff et al., 2014) นอกจากนี้คุณสมบัติของ *T. reesei* ที่สามารถเจริญเติบโตได้รวดเร็วในอาหาร PDA โดยสามารถขยายโคโลนีได้เต็มจานภายใน 4 วัน ถือเป็นข้อได้เปรียบในแง่ของการนำไปพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ทางการเกษตร เนื่องจากเชื้อที่เติบโตเร็วสามารถตั้งตัวและควบคุมเชื้อก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Harman & Uphoff, 2021)

แม้ว่าผลการศึกษายืนยันว่า NSTRU-T93 มีศักยภาพสูงในการควบคุมเชื้อ *Phytophthora* sp. แต่การนำไปใช้ในระบบการปลูกทุเรียนยังคงต้องมีการศึกษาต่อเนื่อง โดยเฉพาะการทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงเพื่อให้มั่นใจว่าเชื้อสามารถตั้งตัวและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในดินที่มีจุลินทรีย์ชนิดอื่นร่วมอยู่ด้วย นอกจากนี้ควรมีการศึกษาระดับโมเลกุลเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ยีนที่เกี่ยวข้องกับกลไกการควบคุมโรค เช่น ยีนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเอนไซม์ปฏิปักษ์ และสารควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อก่อโรค

การศึกษาต่อไปควรให้ความสำคัญกับการทดลองภาคสนามในระบบการปลูกทุเรียนจริง เพื่อให้มั่นใจว่าเชื้อสามารถแสดงประสิทธิภาพในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ และไม่ถูกยับยั้งจากปัจจัยแวดล้อมของดิน นอกจากนี้ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเสริมสร้างประสิทธิภาพของเชื้อ เช่น การใช้ร่วมกับปุ๋ยชีวภาพ การปรับค่า pH ของดิน หรือการใช้เชื้อร่วมกับจุลินทรีย์อื่นที่เป็นประโยชน์ต่อระบบนิเวศของดิน ทั้งนี้ควรพัฒนาเทคนิคการขยายเชื้อและเทคโนโลยีการนำไปใช้ในภาคสนามเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้ในระดับเชิงพาณิชย์

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า *T. reesei* ไอโซเลท NSTRU-T93 ที่แยกได้จากดินในสวนทุเรียนที่ไม่เป็นโรค จากอำเภอพนมพิทา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพสูงในการควบคุม *Phytophthora* spp. ซึ่งเป็นสาเหตุของโรครากเน่าและโคนเน่าในทุเรียน อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาย่อยเกี่ยวกับกลไกการควบคุมเชื้อก่อโรค การนำไปใช้ในภาคสนาม และการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในภาคเกษตรกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (อว.) ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย มหาวิทยาลัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. เอกสารอ้างอิง

Dou, K., Lu, D., Zhang, Z., Druzhinina, IS., & Shen, Y. (2020). MIST: A multilocus identification system for *Trichoderma*. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(20), e01366-20.



- Doyle, JJ., & Doyle, JL. (1987). A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 19(1), 11–15.
- Druzhinina, IS., Seidl-Seiboth, V., Herrera-Estrella, A., Horwitz, BA., Kenerley, CM., Monte, E., & Kubicek, CP. (2006). *Trichoderma*: The genomics of opportunistic success. *Nature Reviews Microbiology*, 4(6), 427–437.
- Fang, W., Guo, Y., Zhang, X., Zhao, Y., Zhang, Y., & Li, Y. (2021). Evaluation of *Trichoderma* spp. for controlling *Phytophthora capsici* and promoting growth in chili pepper. *Biological Control*, 160, 104689.
- Harman, GE., & Uphoff, N. (2021). *Trichoderma* and the future of agriculture. *Plant Disease*, 105(2), 176–191.
- Kavitha, R., Umesha, S., & Srinivas, C. (2021). Biocontrol mechanisms of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas fluorescens* against plant diseases. *Microbial Pathogenesis*, 150, 104702.
- Kubicek, CP., & Harman, GE. (1998). *Trichoderma and Gliocladium: Vol. 1. Basic biology, taxonomy and genetics*. Taylor & Francis.
- Kubicek, CP., Herrera-Estrella, A., Seidl-Seiboth, V., Martinez, DA., Druzhinina, IS., Thon, M., & Mukherjee, PK. (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral lifestyle of *Trichoderma*. *Genome Biology*, 12(4), R40.
- Mendoza, L., Sikora, RA., & Kiewnick, S. (2022). Diversity and biocontrol potential of *Trichoderma* spp. from different agroecosystems in Colombia. *Journal of Applied Microbiology*, 132(2), 1206–1219.
- Pegg, KG., Coates, LM., O'Dwyer, C., & Wylie, SJ. (2021). Integrated management of *Phytophthora* diseases of tropical tree crops. *Plant Pathology*, 70(3), 423–437.
- Phonkerd, N., Kongkaew, S., & Intana, W. (2023). First report of *Phytophthora vexans* causing root rot in durian (*Durio zibethinus*) in Thailand. *Plant Disease*, 107(2), 589.
- Rattanalertnussorn, S. (2009). Diversity and application of *Trichoderma viride* in plant disease control. *Journal of Mycology*, 15(2), 145–158.
- Raza, W., Ling, N., Zhang, R., & Shen, Q. (2023). Microbial antagonists: Promising tools for controlling soil-borne plant pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1190761.
- Samuels, GJ., & Hebbar, KP. (2015). *Trichoderma* identification and agricultural applications. Minnesota: The American Phytopathological Society Press.
- Sharma, R., Singh, P., Meena, KK., & Singh, AK. (2023). *Trichoderma*: An ecofriendly plant growth regulator and biocontrol agent. *Journal of Environmental Biology*, 44(1), 43–56.
- Soithong, K. (1989). Biological control of plant pathogens. Bangkok: Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)
- Steindorff, AS., Silva, JA., Coelho, AS., & Ulhoa, CJ. (2014). *Trichoderma reesei* as a biocontrol agent: Mechanisms and applications. *Journal of Applied Microbiology*, 117(6), 1407–1424.
- Suksiri, S., Laipas, P., Soyong, K., & Poeaim, S. (2018). Isolation and identification of *Phytophthora* sp. and *Pythium* sp. from durian orchard in Chumphon Province, Thailand. *International Journal of Agricultural Technology*, 14(3), 389–402. (in Thai)
- Thomchanreed, K., Chantarasiri, K., & Supaphon, P. (2021). Isolation and identification of *Trichoderma* spp. from durian orchards in Chanthaburi and Chumphon provinces, Thailand. *Thai Journal of Agricultural Science*, 54(3), 221–234. (in Thai)
- Tian, S., Wang, Y., & Huang, M. (2024). Environmental factors shaping microbial biocontrol efficacy in agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 184, 109124.



- Vawdrey, LL., Martin, TM., & Defaveri, J. (2005). A detached leaf bioassay to screen durian cultivars for susceptibility to *Phytophthora palmivora*. *Australasian Plant Pathology*, 34, 251–253.
- Wang, L., Zhang, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Wang, J., & Hou, D. (2022). Differences in microbial diversity and environmental factors in ploughing-treated tobacco soil. *Frontiers in Microbiology*, 13, 977880.
- Wang, Y., Zhang, H., & Li, J. (2024). Health risks of pesticide residues in food and the environment: A review of recent findings. *Food and Chemical Toxicology*, 180, 113758.
- White, TJ., Bruns, T., Lee, SJWT., & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR protocols: a guide to methods and applications*, 18(1), 315-322.



สถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน
กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ
Occupational Health, Safety and Workplace Environment Among
Shallot Farmers in Sisaket Province

วิพา ชุปปา^{1*} ธนะพัฒน์ ทักษิณทร์¹ และ กำพล เข้มทอง³

Wipa Chuppawa^{1*} Tanaprat Thuksin² and Kampol Khemthong

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

²สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

¹Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Sisaket Province

²Sisaket Provincial Public Health Office, Sisaket Province

*Corresponding Author: wipa.c@sskru.ac.th

Received: March 11, 2025

Revised: April 3, 2025

Accepted: April 13, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาภาคตัดขวาง มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง โดยการศึกษาเชิงวิเคราะห์กลุ่มตัวอย่างจำนวน 320 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยแบบไคสแควร์ รวมถึงการศึกษาเชิงคุณภาพกลุ่มตัวอย่างจำนวน 12 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์ และดำเนินการวิเคราะห์เนื้อหา ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างเคยได้รับอุบัติเหตุจากการทำงาน โดยประเภทของการเกิดอุบัติเหตุ ได้แก่ สลื่นล้ม และถูกวัตถุหรือของมีคมบาดขณะปฏิบัติงาน ในส่วนสภาพแวดล้อมในการทำงานที่กลุ่มตัวอย่างต้องสัมผัสขณะปฏิบัติงานมากที่สุด ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวขณะปฏิบัติงาน กระบวนการทำงานมีการใช้สารเคมีและสัมผัสฝุ่น รวมถึงการก้มและการบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวขณะปฏิบัติงาน และกระบวนการทำงานก้มบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน ($p = 0.04, 0.03, < 0.00$ และ < 0.00 ตามลำดับ) สำหรับแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดอบรมให้ความรู้ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในทุกมิติ และการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการให้ความรู้เพิ่มเติมในการป้องกันตนเองของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงที่มีโอกาสสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพ รวมทั้งจัดให้มีสวัสดิการด้านสุขภาพอันจะนำไปสู่การมีคุณภาพชีวิตของที่ดี

คำสำคัญ: เกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง อุบัติเหตุ สภาพแวดล้อมในการทำงาน อาชีวอนามัยและความปลอดภัย

Abstract

This cross-sectional study aimed to analyze the occupational health, safety, and workplace environment among shallot farmers in Sisaket Province. The quantitative study conducted involved 320 participants selected through purposive sampling based on specific inclusion criteria. Data were collected



using structured interviews and analyzed using descriptive statistics and the chi-square test. Additionally, a qualitative study was conducted with 12 participants through in-depth interviews, and data were analyzed using content analysis. The results showed that many farmers had experienced occupational accidents, primarily due to slipping and injuries from sharp objects while working. The most common workplace hazards included excessive heat, exposure to chemicals (especially pesticides), dust, as well as frequent stooping and twisting postures during tasks. Statistically significant factors associated with occupational accidents at the 95% confidence level included gender, education level, exposure to high temperatures, and postural strain from stooping and twisting ($p = 0.04, 0.03, < 0.00, \text{ and } < 0.00$, respectively). Findings from the qualitative analysis emphasized the need to develop comprehensive training programs on occupational health, safety, and workplace conditions, along with the design of ergonomic tools and equipment suited to the body proportions of the farmers. It is recommended that relevant agencies provide an effective guideline, promote preventive measures, and ensure access to health welfare programs to improve the quality of life for shallot farmers.

Keywords: Shallot farmers, Accidents, Workplace environment, Occupational health and safety

1. บทนำ

หอมแดงมีความสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและยา โดยรัฐบาลให้ความสำคัญในฐานะพืชเกษตรเศรษฐกิจในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยประเทศที่เป็นผู้ผลิตมากที่สุด คือประเทศอินเดีย และสาธารณรัฐประชาชนจีน หอมแดงมีสรรพคุณทางยาที่ใช้ในตำรับยาสมุนไพรสามารถนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย อาทิ สมุนไพรบรรเทาอาการหวัดคัดจมูก เครื่องสำอางและเวชภัณฑ์ อาหารแปรรูป เป็นต้น ในประเทศไทยหอมแดงเป็นพืชที่ปลูกหลังฤดูการทำนา โดยพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษเป็นแหล่งที่พบการปลูกมากที่สุด ครอบคลุมเขตพื้นที่อำเภอเมืองและใกล้เคียง สามารถสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้กับประชาชนเป็นอย่างมาก (Ammarin & Pongsawut, 2023; Policy and Strategy Office, 2025)

กลุ่มอาชีพเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงเป็นอาชีพที่มีโอกาสสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพที่อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและโรคจากการประกอบอาชีพ ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงลดลง จากรายงานสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานกลุ่มผู้ประกอบอาชีพทางเกษตรกรรมมีโอกาสสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพ เช่น อุบัติเหตุในระหว่างการทำงาน การใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูพืชและเชื้อรา ฝุ่นจากการทำงานทางเกษตรกรรม รวมไปถึงอันตรายเกิดจากสัตว์มีพิษหรือสัตว์ที่เป็นพาหะนำโรค เป็นต้น (Centers for Disease Control and Prevention, 2024; International Labor Organization, 2011; Riddarong et al., 2020) ดังนั้น ผู้ประกอบอาชีพทางเกษตรกรรมโดยเฉพาะกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงที่ต้องสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพตลอดระยะเวลาในการทำงาน ทำให้เกิดการหยุดงานเพื่อเข้ารับรักษาพยาบาล ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ลดลงและนำไปสู่ความพิการและทุพพลภาพ (Jakob, 2021)

จากสถิติการบาดเจ็บจากการทำงาน ปี พ.ศ. 2565 – 2567 ที่เป็นผลมาจากอุบัติเหตุและสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม เขตอำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คิดเป็น 234.36, 313.17 และ 319.13 ต่อประชากรแสนคน และเมื่อจำแนกตามกลุ่มอาชีพ พบว่ากลุ่มเกษตรกรเป็นกลุ่มที่มีการบาดเจ็บจากการทำงานมากที่สุด นอกจากนี้ รายงานสถานการณ์แรงงานจังหวัดศรีสะเกษ ปี พ.ศ. 2567 พบว่าอาชีพที่มีการทำงานนอกระบบสูงสุดคือด้านเกษตร โดยกลุ่มอาชีพเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงจัดอยู่ในกลุ่มแรงงานนอกระบบซึ่งจะไม่ได้รับการคุ้มครองและสวัสดิการที่ได้จากการทำงาน

เท่าที่ควร และส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาไม่สูงและมีรายได้ที่ต่ำกว่าค่อนข้างน้อย รวมไปถึงปัญหาด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเกิดปัญหาทางสุขภาพ หากแรงงานนอกระบบเหล่านี้ไม่ได้รับความช่วยเหลือหรือไม่ได้รับโอกาสที่ดีขึ้น อาจส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจสังคมในอนาคต (Chuangchai, & Wipa, 2021; Sisaket Provincial Labour office, 2025; Sisaket Provincial Public Health Office 2025)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญดังกล่าว และได้ศึกษาสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ เพื่อจะได้นำผลของการศึกษาไปวางแผนและหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหา เพื่อลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสกับสิ่งคุกคามสุขภาพในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง รวมไปถึงลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้น นำไปสู่การเพิ่มคุณภาพชีวิตให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

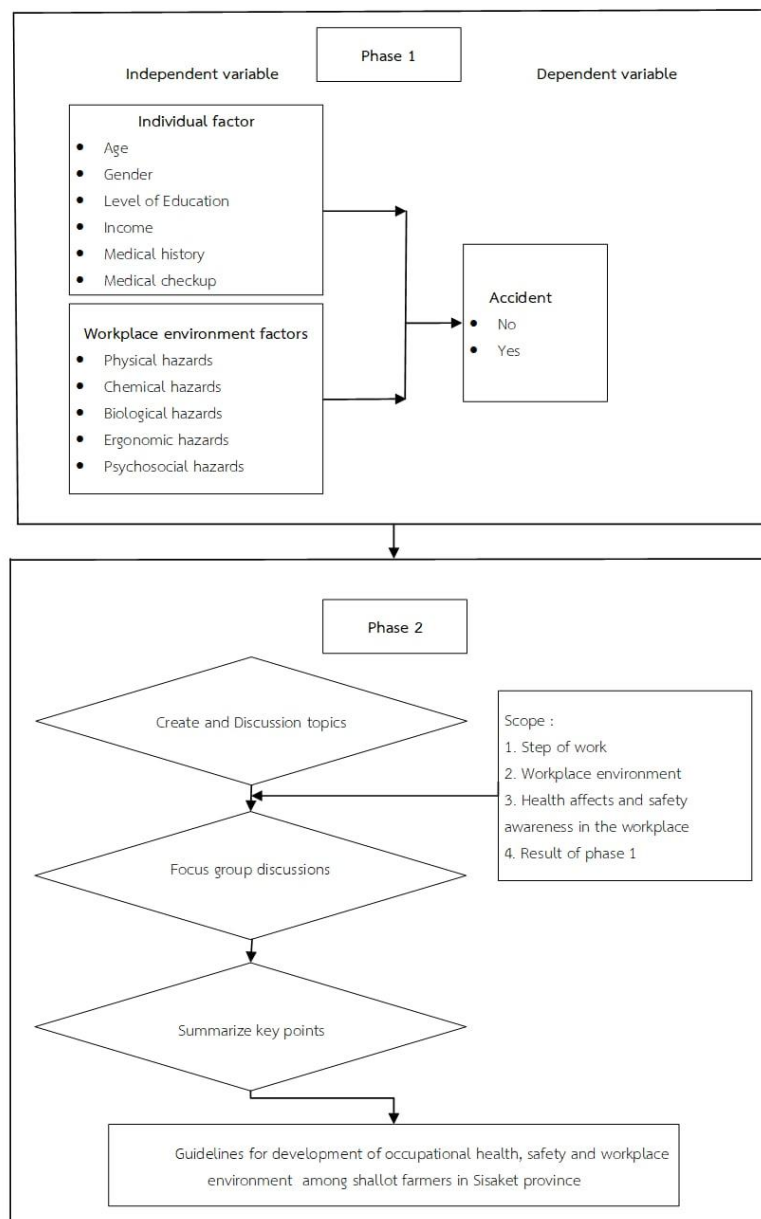


Figure 1. Conceptual framework



2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นภาคตัดขวาง (cross-sectional study) โดยแบ่งเป็น 2 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 รูปแบบการศึกษาเชิงวิเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อม และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ

ระยะที่ 2 รูปแบบการศึกษาเชิงคุณภาพ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแนวทางการพัฒนารูปแบบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ระยะที่ 1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง ในเขตพื้นที่ตำบลน้ำคำ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ที่ผ่านการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงจำนวนทั้งสิ้น 320 คน มีเกณฑ์คัดเข้าคือ 1) เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง ทั้งเพศชายและเพศหญิง มีประสบการณ์ทำงานอย่างน้อย 3 เดือน 2) สามารถสื่อสารความหมายและเข้าใจภาษาไทยได้ 3) ยินดีเข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ และเกณฑ์คัดออก คือ เกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงที่ไม่สามารถให้ข้อมูลได้ครบถ้วน

ระยะที่ 2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง ในเขตพื้นที่ตำบลน้ำคำ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ที่ผ่านการคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจงทั้งหมดจำนวน 12 คน มีเกณฑ์คัดเข้าและคัดออกเช่นเดียวกับระยะที่ 1

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ระยะที่ 1 เป็นแบบสัมภาษณ์คำถามปลายปิด ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ 1) ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคล ประกอบด้วย เพศ ระดับการศึกษา รายได้ ประวัติการเจ็บป่วย จำนวน 4 ข้อ 2) ด้านอุบัติเหตุจากการทำงาน ประกอบด้วย การเกิดอุบัติเหตุ ประเภทของการเกิดอุบัติเหตุ ความรุนแรงของอุบัติเหตุ จำนวน 4 ข้อ 3) ด้านสภาพแวดล้อมในการทำงาน ประกอบด้วย ด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ การยศาสตร์ และจิตสังคม จำนวน 6 ข้อ

ระยะที่ 2 แบบสัมภาษณ์มีลักษณะเป็นคำถามปลายเปิด ได้แก่ แนวคำถามการสนทนากลุ่ม (focus group discussion) แบบมีโครงสร้างเกี่ยวกับ 1) ขั้นตอนกระบวนการทำงาน 2) สภาพแวดล้อมในการทำงาน และ 3) ผลกระทบต่อสุขภาพและการรับรู้ด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน จำนวน 4 ข้อ

การศึกษาครั้งนี้ใช้แบบสัมภาษณ์โดยระยะที่ 1 และ ระยะที่ 2 มีค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามค่าความเชื่อมั่น IOC = 0.87 และ 0.89 ตามลำดับ และคุณภาพของเครื่องมือมีความเชื่อมั่น Cronbach's alpha coefficient 0.84 และ 0.83 ตามลำดับ สำหรับจริยธรรมการวิจัยได้รับอนุมัติให้ดำเนินการวิจัยตามเงื่อนไขการวิจัยของคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดศรีสะเกษ เลขที่ SPPH 2021-002

2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการทำหนังสือขอความอนุเคราะห์เก็บรวบรวมข้อมูลยื่นต่อองค์การบริหารส่วนตำบล และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลน้ำคำ อำเภอเมืองศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ หลังจากนั้นคัดเลือกผู้ช่วยวิจัยที่ผ่านการอบรมการเตรียมการสัมภาษณ์ ทำการซักซ้อมการสัมภาษณ์เพื่อทบทวนการสัมภาษณ์ตามเค้าโครงที่กำหนด ประชุมชี้แจงรายละเอียด และวัตถุประสงค์ของการวิจัยแก่กลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล และตรวจสอบความครบถ้วนและความถูกต้องของข้อมูลก่อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ระยะที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป ได้แก่ 1) สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistics) วิเคราะห์บริบทประชากรและสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมใน



การทำงาน โดยใช้สถิติความถี่ (frequency) ร้อยละ (percentage) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) 2) สถิติเชิงอนุมาน การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุ โดยใช้สถิติ Chi-square ระดับความเชื่อมั่น 95%

ระยะที่ 2 เก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการสังเกต การสัมภาษณ์ การสนทนากลุ่ม แล้วนำมาบันทึกพร้อมทั้งพิจารณา กิริยาท่าทาง พฤติกรรม บรรยากาศต่างๆ ที่เกี่ยวกับผู้ให้ข้อมูล นำมาวิเคราะห์เนื้อหา (content analysis) เพื่อมาประกอบการแปลความหมายความครอบคลุมเพียงพอในการพรรณนาวิเคราะห์และอธิบายสรุปผลการศึกษา

3. ผลการวิจัย

3.1 ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง

กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิง ร้อยละ 55.62 ค่าดัชนีมวลกายส่วนใหญ่ตามเกณฑ์ปกติคิดเป็นร้อยละ 45.62 ส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา คิดเป็นร้อยละ 86.87 มีรายได้ต่อเดือนต่ำกว่า 5,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 94.90 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ไม่เคยรับการตรวจร่างกายประจำปี คิดเป็น ร้อยละ 65.62 ในส่วนประวัติเคยเจ็บป่วย กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีประวัติโรคระบบหลอดเลือดและหัวใจ รองลงมาคือโรคระบบโครงกระดูกและกล้ามเนื้อ คิดเป็นร้อยละ 47.19 และ 45.38

3.2 ข้อมูลด้านอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ด้านอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยได้รับอุบัติเหตุจากการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 76.88 โดยประเภทของการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด ได้แก่ การลื่น/หกล้ม และถูกวัตถุหรือของมีคมบาด คิดเป็นร้อยละ 37.81 และ 34.69 ตามลำดับ ความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุอยู่ในระดับเล็กน้อย สามารถปฐมพยาบาลเบื้องต้น สามารถทำงานต่อได้ สำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานที่กลุ่มตัวอย่างต้องสัมผัสมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวในขณะทำงาน กระบวนการทำงานก้มหรือบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน กระบวนการทำงานมีการใช้สารเคมีและสัมผัสฝุ่น คิดเป็น ร้อยละ 77.19, 74.38 และ 66.88 ตามลำดับ รายละเอียด Table 1.

Table 1. Occupational Health, Safety and Workplace Environment Data (n=320)

Occupational Health, Safety and Workplace Environment information	Number (n)	Percentage (%)
Accident		
Accident Occurrence		
No	74	23.13
Yes	246	76.88
Type of Accident		
Slipping	121	37.81
Striking Against an Object	36	11.25
Injury from Sharp Objects	111	34.69
Falling from a Height	9	2.81
Contact with Venomous Animals	43	13.44



Table 1. Occupational Health, Safety and Workplace Environment Data (n=320) (Cont.)

Occupational Health, Safety and Workplace Environment information	Number (n)	Percentage (%)
Accident		
Level of Accident		
Low (receive first aid and continue the work)	216	67.50
Medium (see a doctor and continue the work)	87	27.19
High (see a doctor and can't continue the work)	17	5.31
Workplace Environment Exposure		
Heat		
No	73	22.81
Yes	247	77.19
Noise		
No	202	63.13
Yes	94	29.38
Vibration		
No	172	53.75
Yes	124	66.88
Chemicals (pesticides, dust)		
No	106	33.13
Yes	214	66.88
Biological Hazards (fungi, insects, venomous animals)		
No	159	49.69
Yes	161	50.31
Ergonomic (Stooping and Twisted posture)		
No	82	25.63
Yes	238	74.38

3.3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Chi-square ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดอุบัติเหตุกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปัจจัยส่วนบุคคล และปัจจัยสภาพแวดล้อมในการทำงาน พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์การเกิดอุบัติเหตุกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวในขณะทำงาน และกระบวนการทำงานก้ม บิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน (p -value = 0.04, 0.03, < 0.00 และ < 0.00 ตามลำดับ) รายละเอียด Table 2.



Table 2. Factors Associated with Occupational Accidents Among Shallot Farmers (n = 320)

Variable	χ^2	df	p-value
Age			
Gender	4.45	1	0.04*
Level of Education	5.01	3	0.02*
Income	1.23	1	0.18
Medical History	1.48	1	0.57
Medical Checkup	2.19	1	0.07
Heat Exposure	11.65	1	0.00*
Noise Exposure	4.84	1	0.69
Vibration Exposure	1.76	1	0.08
Chemical Exposure (pesticides, dust)	2.62	1	0.17
Biological Hazards (fungi, insects, venomous animals)	1.32	1	0.07
Ergonomic Risks (stooping and twisted posture)	10.62	1	0.00*

3.4 แนวทางการพัฒนารูปแบบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

จากการศึกษาสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง จังหวัดศรีสะเกษ ผู้วิจัยนำผลการวิเคราะห์ประเด็นปัญหาที่พบในระยะที่ 1 ดำเนินการสนทนากลุ่ม ถอดบทเรียน และสรุปผล เพื่อหาแนวทางในการพัฒนารูปแบบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน โดยใช้วิธีการสนทนากลุ่ม รวมถึงประเด็นเพิ่มเติมประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ ประเด็นที่ 1 กระบวนการขั้นตอนในการทำงาน ประเด็นที่ 2 สภาพแวดล้อมในการทำงาน และประเด็นที่ 3 ผลกระทบต่อสุขภาพและการรับรู้ด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ผลการวิจัยพบว่า ขั้นตอนในการทำงานกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง มี 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) เตรียมหน้าดิน 2) นำหอมแดงลงปลูกและดูแลต้นหอมแดง และ 3) เตรียมเก็บเกี่ยวและจัดส่งลูกค้า

สำหรับขั้นตอนที่มีความเสี่ยงด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานมากที่สุดคือขั้นตอนที่ 2) นำหอมแดงลงปลูกและดูแลต้นหอมแดง โดยสิ่งคุกคามสุขภาพที่พบคือสำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงาน คือ (1) สิ่งคุกคามด้านกายภาพ ได้แก่ อากาศร้อนในเวลากลางวัน (2) สิ่งคุกคามด้านเคมี ได้แก่ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและฝุ่นจากการเกษตร (3) สิ่งคุกคามด้านชีวภาพ ได้แก่ แมลง เชื้อรา สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม สัตว์เลื้อยคลาน (4) สิ่งคุกคามด้านการยศาสตร์ ได้แก่ การก้ม ๆ เงย ๆ การบิดหมุนเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน และการยกของหนัก (5) สิ่งคุกคามด้านจิตสังคม ได้แก่ ความเครียดที่เกิดจากความรีบเร่งในการปฏิบัติงาน (6) สิ่งคุกคามด้านอุบัติเหตุ ได้แก่ สลื่นไถลหกล้มและของมีคมที่มือและเท้า รวมไปถึงประเด็นรับรู้ถึงผลกระทบต่อสุขภาพและการรับรู้ด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน กลุ่มตัวอย่างมีวิธีการที่จะหลีกเลี่ยงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นด้วยตนเอง เช่น หากอากาศร้อนอบอ้าวมีการพักในที่ร่มและหาน้ำดื่ม รวมไปถึงมีการป้องกันตนเองจากฝุ่น สารเคมี และแมลง โดยมีการสวมใส่เสื้อ หมวก ถุงมือ รองเท้า ผ้าปิดจมูกขณะปฏิบัติงาน แต่อาจมีข้อจำกัดบางอย่างที่ไม่สามารถจัดการได้ คือ การก้ม ๆ เงย ๆ ขณะปลูกหอมแดง หรือบิดหมุนเอี้ยวตัวขณะพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เป็นท่าทางในการทำงาน

โดยสรุป จากการดำเนินการสนทนากลุ่ม ถอดบทเรียน และสรุปผล เพื่อหาแนวทางในการพัฒนารูปแบบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พบว่า แนวทางในการพัฒนา ได้แก่ 1) การจัดอบรมให้ความรู้ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในทุกมิติ ได้แก่ ด้านอุบัติเหตุ ด้านกายภาพ ด้านเคมี



ด้านชีวภาพ ด้านการยศาสตร์ ด้านจิตสังคม รวมถึงผลกระทบต่อสุขภาพและการป้องกันตนเอง 2) การออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่ช่วยลดท่าทางการทำงานที่ต้องการก้มลำตัว และออกแบบให้เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกาย โดยใช้เครื่องมือที่เป็นมาตรฐานในการวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometer) และนำค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมาใช้ในการออกแบบ

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายข้อมูลลักษณะส่วนบุคคล ข้อมูลด้านอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง และแนวทางการพัฒนา รูปแบบด้านอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ดังนี้

4.1 ข้อมูลลักษณะส่วนบุคคลกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงส่วนใหญ่ไม่ได้รับการตรวจสุขภาพประจำปี และพบว่ามีประวัติอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างกระดูกและกล้ามเนื้อ รองจากโรคทางระบบหลอดเลือดและหัวใจ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบบ่อยมากที่สุดในกลุ่มแรงงาน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงจากการทำงานของเกษตรกร จังหวัดพะเยา พบว่า ปัญหาสุขภาพของเกษตรกร ได้แก่ อาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ โดยส่วนใหญ่พบบริเวณไหล่ แขน และมือ (Chio et al., 2014) นอกจากนี้อาชีพเกษตรกรเป็นอาชีพที่มีลักษณะการทำงานที่ไม่เหมาะสม เช่น การลักษณะงานที่มีการก้มต่อเนื่องขณะทำงาน รวมไปถึงมีการออกแรงในการเข็น ผลัก ลาก หรือดึงของหนักเกินขีดจำกัดของร่างกาย ซึ่งอาจส่งผลต่ออาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ โดยมีการศึกษาที่ภาวะโรคและการบาดเจ็บที่เกี่ยวข้องกับการทำงานในกลุ่มเกษตรกรในประเทศไทย 3 ปีย้อนหลัง พบว่าอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเป็นปัญหาที่พบบ่อยที่สุดในอาชีพเกษตรกร (Chaiklieng et al., 2022)

4.2 ข้อมูลด้านอาชีพอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยได้รับอุบัติเหตุจากการทำงาน โดยประเภทของการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด ได้แก่ การลื่น/หกล้ม และถูกวัตถุหรือของมีคมบาด สอดคล้องกับการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของเกษตรกร จังหวัดนครราชสีมา พบว่า ส่วนใหญ่เกิดจากสิ่งของตัด/บาด/ตำแทง รองลงมาคือ ลื่น/หกล้ม สำหรับระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่ไม่ถึงขั้นหยุดงาน (Witchaya, 2021; Cook et al., 2022) นอกจากนี้ มีการศึกษาอุบัติเหตุจากการทำงานในกลุ่มเกษตรกร พบว่าประเภทของอุบัติเหตุที่พบบ่อยที่สุด คือการถูกบาดเจ็บมือโดยเฉพาะนิ้วมือที่เกิดจากการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการทำงาน (Mona, 2023; Chawapornpan et al., 2019)

สำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานที่กลุ่มตัวอย่างต้องสัมผัสมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวในขณะทำงาน กระบวนการทำงานก้มหรือบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน และกระบวนการทำงานมีการใช้สารเคมีและสัมผัสฝุ่น มีการศึกษาปัญหาที่กลุ่มเกษตรกรต้องสัมผัสกับความร้อนที่ต้องทำงานกลางแจ้งเป็นเวลานานต้องสัมผัสกับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดความอ่อนเพลีย (Woraluk et al., 2025) นอกจากนี้ จากการศึกษาพบกระบวนการทำงานของกลุ่มผู้ปลูกหอมแดงมีท่าทางการทำงานที่ต้องก้มหรือบิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน ซึ่งมีการศึกษาพบว่าในกลุ่มเกษตรกรพบอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างกระดูกและกล้ามเนื้อมากที่สุด โดยมีอาการที่บริเวณหลังส่วนล่าง รองลงมาคือเข่า และน่อง ตามลำดับ ซึ่งส่งผลให้การปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพลดลง รวมไปถึงต้องหยุดงานเพื่อเข้ารับการรักษาพยาบาล (Kawinthida et al., 2020; Mucci et al., 2020)



นอกจากนี้ยังพบว่าในกระบวนการทำงานมีการใช้สารเคมีและสัมผัสฝุ่นที่กลุ่มตัวอย่างต้องสัมผัสตลอดเวลาในการทำงาน มีการศึกษาการใช้สารเคมีในเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง พบว่าสารเคมีจะช่วยลดความเสียหายจากศัตรูพืชทำให้ผลิตผลทางการเกษตรเพิ่มสูงขึ้น เมื่อได้รับฝุ่นละอองสารเคมีเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าจะเป็นทางการหายใจ ผิวหนัง หรือปนเปื้อนในอาหารและน้ำดื่มจะทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นพิษเฉียบพลัน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ปวดหัว ปวดกล้ามเนื้อ ท้องร่วง หายใจติดขัด ตาพร่ามัว เป็นต้น ส่วนผลกระทบที่เป็นพิษเรื้อรัง เช่น มะเร็ง เบาหวาน อัมพฤกษ์ อัมพาต โรคผิวหนัง เป็นต้น (Somying & Somsak, 2023; Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2024; Kobashi et al., 2021)

4.3 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง พบว่า เพศมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง สอดคล้องกับการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุ พบว่า เพศมีความสัมพันธ์กับการรับรู้แรงของการบาดเจ็บจากการเกิดอุบัติเหตุและเพศชาย มีโอกาสเกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุเป็น 1.27 เท่าของเพศหญิง (Ananya et al., 2023; Mendoza & Vega, 2023) รวมถึงระดับการศึกษา พบว่ามีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงโดยกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จบการศึกษาในระดับประถมศึกษา สอดคล้องกับการศึกษาการรับรู้มาตรการความปลอดภัย ทักษะคิดและพฤติกรรมความปลอดภัยของแรงงาน พบว่า ระดับการศึกษา ส่งผลต่อการรับรู้ ทักษะคิด และความรู้ความเข้าใจด้านความปลอดภัย ทำให้แรงงานแสดงพฤติกรรมด้านความปลอดภัยในการทำงานออกมา เช่น หากแรงงานไม่มีการรับรู้หรือตระหนักถึงอันตรายหรือความเสี่ยงจากการปฏิบัติงาน ทำให้มีแรงงานจะแสดงพฤติกรรมที่เรียกว่าการกระทำที่ไม่ปลอดภัย ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ (Caffaro et al., 2021; Pongsak & Piraya, 2016; Kitiyawadee et al., 2023)

นอกจากนี้กระบวนการทำงานกัม บิดเอี้ยวตัวตลอดเวลา มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง สอดคล้องกับการศึกษาในกลุ่มอาชีพเกษตรกรที่มีลักษณะท่าทางการทำงานที่มีการก้มโค้งตัว เงยศีรษะ การบิดเอี้ยวตัวตลอดเวลาในการทำงาน (Riddarong et al., 2020) เมื่อต้องทำงานแข่งกับเวลาทำให้ต้องเคลื่อนไหวร่างกายเร็วขึ้น อาจส่งผลอาการหน้ามืดหรือเป็นลมเมื่อเปลี่ยนท่าทาง ซึ่งเป็นผลจากการที่เลือดส่งไปเลี้ยงสมองไม่ทันเมื่อมีการขยับร่างกาย (Salin, 2022) รวมไปถึงต้องสัมผัสกับอุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวในขณะที่ทำงาน สอดคล้องกับการศึกษาความชุกการเกิดโรคจากความร้อนในเกษตรกร พบว่า ความชุกของการเกิดโรคจากความร้อนในเกษตรกรเพาะปลูกมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นในทุกปี สอดคล้องกับอุณหภูมิของโลกที่เพิ่มสูงขึ้น โรคความร้อนที่พบ ได้แก่ อาการล้า (ชั่วคราว) และ อาการเป็นลมแดด โดยส่วนใหญ่ผู้ป่วยเป็นเพศหญิง (Patommarek et al., 2019) โดยอาการแสดงดังกล่าวส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุ โดยเฉพาะการลื่น/หกล้ม หรือถูกวัตถุหรือของมีคมบาดด้วยอาการตาพร่ามัว นอกจากนี้การจดวงสิ่งของที่ไม่เป็นระเบียบ มีบริเวณพื้นดินที่มีน้ำขัง และพื้นผิวไม่สม่ำเสมอส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุได้เช่นกัน (Thanee et al., 2020)

4.4 แนวทางการพัฒนารูปแบบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน

จากการศึกษาสรุปได้ว่าแนวทางในการพัฒนา คือ การจัดอบรมให้ความรู้ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในทุกมิติ และการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกาย โดยมีการศึกษาพบว่า การรับรู้ด้านความปลอดภัยความปลอดภัยส่งผลต่อทัศนคติและพฤติกรรมความปลอดภัย ทำให้ความตระหนักด้านความปลอดภัยและการป้องกันตนเองจากสิ่งคุกคามสุขภาพ (Caffaro et al., 2021) นอกจากนี้การศึกษาของ Abate & Hailemariam (2023) และ Hoque et al. (2021) ที่ได้ศึกษาการออกแบบสถานงานโดยคำนึงถึงหลักการยศาสตร์ ให้ข้อเสนอแนะว่าเครื่องมืออุปกรณ์และสถานงานใหม่ต้องเหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีสุขภาพดีและปลอดภัย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น



5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสถานการณ์ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอุบัติเหตุในกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดง เขตพื้นที่ตำบลน้ำคำ อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยได้รับอุบัติเหตุจากการทำงาน สำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานที่กลุ่มตัวอย่างต้องสัมผัสมากที่สุดคือ ด้านกายภาพ ได้แก่ ความร้อน ด้านการยศาสตร์ และด้านเคมี ในขณะที่ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับอุบัติเหตุ ได้แก่ เพศ ระดับการศึกษา อุณหภูมิอากาศร้อนอบอ้าวในการทำงาน และกระบวนการทำงานก้ม บิดเอี้ยวตัวขณะปฏิบัติงาน และแนวทางในการพัฒนารูปแบบการจัดอบรมให้ความรู้ด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานในทุกมิติ และการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกาย โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

5.1.1 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรร่วมมือวางแผนป้องกันและแก้ไขปัญหาทางด้านอาชีวอนามัย ส่งเสริมคุณภาพชีวิต รวมถึงเปิดโอกาสให้กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงมีโอกาสแสดงความคิดเห็นและตัดสินใจในการการป้องกันและแก้ปัญหาตนเอง รวมทั้งจัดให้มีสวัสดิการด้านสุขภาพอันจะนำไปสู่การมีคุณภาพชีวิตของที่ดี

5.1.2 กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกหอมแดงควรมีการกำหนดช่วงเวลาหยุดพักครั้งละ 10-15 นาที ในทุก 30 นาที ซึ่งจะเป็นการช่วยลดความเมื่อยล้าที่สะสมจากการทำงาน นอกจากนี้ควรมีการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ในขณะที่ปฏิบัติงาน เช่น หมวกป้องกันแสงแดด ถุงมือ เสื้อผ้าที่ปิดคลุมร่างกายมิดชิดที่สามารถระบายอากาศได้ดี เป็นต้น นอกจากนี้ควรได้รับการตรวจสอบสุขภาพประจำปีเพื่อเป็นการเฝ้าระวังอาการเจ็บป่วยจะช่วยลดปัญหาการเกิดโรคจากการประกอบอาชีพที่อาจส่งผลต่อสุขภาพในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.2.1 จากผลการศึกษาครั้งนี้ควรศึกษาข้อมูลในการทำงานเพิ่มเติม เช่น ประสิทธิภาพการทำงานระยะในการปฏิบัติงาน ระยะเวลาพักระหว่างปฏิบัติงาน เป็นต้น รวมไปถึงควรมีการใช้เครื่องมือด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมเข้ามาตรวจวัดสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ใช้การศึกษาแบบภาคตัดขวาง จึงอาจมีข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลเชิงลึกของสาเหตุที่แท้จริง

5.2.2 ควรมีการศึกษาในกลุ่มอาชีพอื่น ๆ ที่มีลักษณะการปฏิบัติงานที่คล้ายคลึงกัน และพัฒนารูปแบบการจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยให้เหมาะสมกับบริบทของแต่ละพื้นที่ของการศึกษา อันจะนำไปสู่แผนการจัดการบริหารความเสี่ยง และการติดตามประเมินผลอย่างต่อเนื่องในกลุ่มแรงงาน เพื่อเป็นการลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น และให้กับกลุ่มแรงงานให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- Abate, E., & Hailemariam, S. (2023). Improving work-related musculoskeletal disorders for sewing machine operators in Ethiopia. *Int J Occup Saf Ergon*, 29(2), 573-585.
- Ammarin, S. & Pongsawut, R. (2023). Adaptation of shallot farmers in the new normal case study ban Kok, latay sub-district, kanthararom district, sisaket province. *Jayaphruekirom Journal*, 5(1), 76-87. (in Thai)
- Ananya, H., Chananya, J. & Naowarat, M. (2024). Prevalence and Factors affecting Motorcycle Accidents among Students of The Vocational Education Institutes in Nongkhai Province. *Academic Journal of Community Public Health*, 10(1), 179-192. (in Thai)
- Caffaro, F., Roccato, M., de Paolis, G., Micheletti-Cremasco, M. & Cavallo, E. (2021). Promoting farming sustainability: the effects of age, training, history of accidents and social-psychological variables on the adoption of on-farm safety behaviors. *J Safety Res*, 80 ,371-379.



- Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Agricultural Safety – Agriculture Worker Safety and Health [Online]. Retrieved March 10, 2025, from: <https://www.cdc.gov/niosh/agriculture/about/index.html>
- Chaiklieng, S., Suggaravetsiri, P., Poochada, W., Thinkhamrop, W., & Dacherngkhao, T. (2022). The Burden of Work-Related Diseases and Injuries among Agriculturists: A Three-Year Retrospective Study in Thailand. *Safety*, 8(4), 78.
- Chawapornpan, C., Waruntorn, J., Thanee, K., Anon, W. & Wilaipan J. (2019). Occupational and Environmental Health Situations among Corn Farmers. *Nursing Journal*, 46(1), 5-17. (in Thai)
- Chio, C., Chawapornpan, C. & Waruntorn, J. (2014). Health Status Related to Risk at Work Among Shallot Farmers, Cham Pa Wai Subdistrict, Mueang District, Phayao Province. *Nursing Journal*, 41(2), 35-47. (in Thai)
- Chuangchai, C. & Wipa C. (2021). Factor Related to the Quality of Life of Informal Workers. *Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University*, 1(2), 30-39. (In Thai)
- Cook, A., Fry, R., Desai, Y., Swindall, R., Boyle, J., Wadle, C., Casanova, V., Cloonan, M., Rogers, F., Horst, M. Morgan, M. & Norwood, S. (2022). Agricultural injury surveillance using a regional trauma registry. *J Surg Res*, 273, 181–191.
- Hoque, M., Halder, P., Rahman, S., Ahmed, T., & Szecsi, T. (2021). Garments furniture design for Bangladeshi workers considering ergonomic principles. *Work*, 70(2), 657-671.
- International Labor Organization. (2011). Safety and health in agriculture. Safety and health in agriculture. International Labor Organization [Online]. Retrieved March 10, 2025, from: <https://www.ilo.org/resource/other/safety-and-health-agriculture>
- Jakob, MC., Santa, D., Holte, KA., Sikkeland, U., Hilt, B. & Lundqvist, P. (2021). Occupational health and safety in agriculture - a brief report on organization, legislation and support in selected European countries. *Ann Agric Environ Med*, 28(3), 452–457.
- Kawinthida, T., Pornnapa, S. & Sunisa, C. (2020). Factors Associated with Musculoskeletal Disorders (MSDs) among Seed Watermelon Contract Farming in Nongrua district, Khon Kean province. *Journal of The Office of ODPC 7 Khon Kaen*, 27(2), 80-91. (in Thai)
- Kitiyawadee, P., Srirat, L. & Nantaporn, P. (2023). Safety perception and attitude related to safety behavior at work among workers in an ink industrial production in Samutsakorn Province during the Covid-19 Outbreak. *The Public Health Journal of Burapha University*, 18(1), 131-142. (in Thai)
- Kobashi, Y., Haque, SE., Nishikawa, Y., Morita, T., Nagami, H., Sakisaka, K, Mubassara, S. & Tsubokura, M. (2021). The increase in frequency of protective behavior against pesticide poisoning in Narail, Bangladesh through use of an easy paper checklist; an interventional study. *Int J Environ Res Public Health*, 18(17), 9349.
- Mendoza, G. & Vega, M. (2023). Occupational safety and health in the agricultural sector: a bibliographic review. *Revista brasileira de medicina do trabalho : publicacao oficial da Associacao Nacional de Medicina do Trabalho-ANAMT*, 21(3), 1-11.
- Ministry of Agriculture and Cooperatives. (2024). The Summary Report on the Import of Pesticides Chemical in Agriculture [Online]. Retrieved March 10, 2025, from: https://www.doa.go.th/ard/?page_id=386
- Mona, R. (2023). Work-Related Injuries Among Farmers in El-Nakhas Village, Al-Sharkia. *Egyptian Journal of Community Medicine*, 41(1), 36-41.
- Mucci, N., Traversini, V., Lulli, LG., Baldassarre, A., Galea, RP. & Arcangeli, G. (2020). Upper limb's injuries in agriculture: A systematic review. *Int J Environ Res Public Health*, 17(12), 4501.
- Patommarek, M., Sunisa, C. & Anootnara, T. (2019). Prevalance of occupational heat related illness among farmers. *Safety and Environment Review E-Journal*, 4(2), 53-61. (in Thai)
- Policy and Strategy Office. (2025). Consumption, Creates Value, Exporting Thai Shallots [Online]. Retrieved March 10, 2025, from: <https://tpso.go.th/news/2501-0000000012>. (in Thai)



- Pongsak, O. & Piraya, A. (2016). Utilization of Participation Process to Prevent Health Impact from Pesticide Use in Shallot Farming. *Journal of Health Science*, 25(4), 593- 603. (in Thai)
- Riddarong, E., Weeraporn, S. & Kannika, NL. (2020). Risks of Occupational Health Hazards and Health Status among Dairy Farmers in Mae On District Chiang Mai Province. *Lanna Public Health Journal*, 16(2), 13-24. (in Thai)
- Salin, S. (2022). Health [Online]. Retrieved March 10, 2025, from: <https://www.pobpad.com>.
- Sisaket Provincial Labour Office. (2025). Sisaket Labor situation Report [Online]. Retrieved April 2, 2025, from: https://sisaket.mol.go.th/news_group/labour_situation. (in Thai)
- Sisaket Provincial Public Health Office. (2025). Health data center: Rate of Work-related injury [Online]. Retrieved April 2, 2025, from: <https://hdc.moph.go.th/ssk/public/main>. (in Thai)
- Somying, S. & Somsak, I. (2023). The application of health belief model to improve preventive health behaviors on pesticide use among *Allium Ascalonicum* L growers. *Journal of environmental and community health*, 8(2), 677-686. (in Thai)
- Thanee, K., Weeraporn, S. & Kunlayanee, T. (2020). Situation Analysis of Occupational and Environmental Health Among Rice Farmers: Health Status and Work Behavior. *Nursing Journal*, 47(4), 100-113. (in Thai)
- Witchaya, P. (2021). Prevalence and Associated Factors of Work related Accident among the Elderly Farmers in Pudsasub-district, Mueang District, Nakhon Ratchasima Province. *Journal of Safety and Health*, 14(2), 114-127. (in Thai)
- Woraluk, S., Phatcharee, S., & Bhuddhipong, S. (2025). Factors Associated with Health Problems from Rice Farming of Rice Farmers in Nakhon Ratchasima Province. *Health Sci J Thai*, 7(1), 40-49. (in Thai)



การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
และลดต้นทุนในการเลี้ยงปลานิล
Application of Experimental Design to Improve Efficiency
and Reduce Costs in Tilapia Farming

วรพจน์ แซงบุญเรือง¹ สมควร สงวนแพง^{2*} และ อวยพร ต๊ะวัน³

Woraphod Saengbunrueang¹ Somkuan Sanguanpang^{2*} and Aouypron Thawan¹

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม จังหวัดนครพนม

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย จังหวัดเชียงราย

³คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย จังหวัดเชียงราย

¹Sri Songkham Industrial Technology College, Nakhon Phanom University, Nakhon Phanom Province

²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai Province

³Faculty of Business Administration and Liberal Arts,

Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai, Chiang Rai Province

*Corresponding Author: tongtanghero@rmutl.ac.th

Received: March 17, 2025

Revised: April 11, 2025

Accepted: April 21, 2025

บทคัดย่อ

การเลี้ยงปลานิลเป็นอุตสาหกรรมสำคัญของภาคเกษตรกรรมไทย แต่ยังคงเผชิญกับปัญหาด้านต้นทุนการผลิตที่สูงและความแปรปรวนของผลผลิต ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทาคุชิ (Taguchi Method) เพื่อกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุน โดยพิจารณา 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน การทดลองดำเนินการในบ่อดินขนาด 150 ตารางเมตร เป็นเวลา 6 เดือน และเก็บข้อมูลน้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น จากนั้นวิเคราะห์ด้วย One-way ANOVA และ S/N Ratio ผลการศึกษาพบว่า อาหารแบบผสมให้ผลการเจริญเติบโตดีที่สุด โดยให้น้ำหนักเฉลี่ย 765.66 กรัมต่อตัว ขณะที่กลุ่มอาหารผลิตเองและอาหารสำเร็จรูปให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่า อีกทั้งการควบคุมจำนวนปลาไม่เกิน 750 ตัวต่อบ่อ และให้อาหารวันละ 3-4 ครั้ง ร่วมกับการเติมออกซิเจนด้วย Venturi Aerator ช่วยเพิ่มอัตราการรอดชีวิตสูงสุดร้อยละ 99.21 ขณะที่กลุ่มที่ใช้อาหารผลิตเองร่วมกับการเติมออกซิเจนด้วย Venturi Aerator ให้ต้นทุนอาหารต่ำสุดที่ 19.35 บาทต่อกิโลกรัม ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่า การจัดการพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน และส่งเสริมขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทย

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง วิธีทาคุชิ การเลี้ยงปลานิล การลดต้นทุน การเพิ่มผลผลิต



Abstract

Tilapia farming plays a crucial role in Thailand's agricultural sector; however, it still faces persistent challenges related to high production costs and inconsistent yields. This study aims to identify the key parameters affecting farming efficiency and employs the Taguchi experimental design method to determine optimal conditions for maximizing productivity and minimizing costs. Four critical factors were investigated: feed type, fish density per pond, feeding frequency, and aeration method. The experiment was conducted over six months in 150-square-meter earthen ponds, with data collected on average fish weight, survival rate, and feed cost per unit weight gain. Statistical analyses were performed using One-way ANOVA and the Signal-to-Noise Ratio (S/N Ratio). The results revealed that mixed feed-combining commercial and homemade components-promoted the highest growth rate, achieving an average fish weight of 765.66 g, outperforming both standalone commercial and homemade feeds. Additionally, a stocking density of no more than 750 fish per pond, feeding three to four times per day, and using a Venturi aerator led to the highest survival rate of 99.21%. Furthermore, the lowest feed cost at 19.35 THB/kg was achieved with homemade feed combined with Venturi aeration. These findings suggest that carefully managing input parameters-especially feed formulation, stocking density, feeding schedule, and aeration system-can meaningfully improve production, lower costs, and increase the overall competitiveness of tilapia aquaculture in Thailand.

Keywords: Experimental design, Taguchi method, Tilapia farming, Cost reduction, Productivity enhancement

1. บทนำ

ประเทศไทยกำลังก้าวสู่การพัฒนาภาคเกษตรกรรมตามนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ซึ่งมุ่งเน้นการยกระดับจากเกษตรแบบดั้งเดิม (Traditional farming) ไปสู่เกษตรสมัยใหม่ (Smart farming) โดยใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตลดต้นทุน และเพิ่มมูลค่าเกษตรกรรม (Ngamsin et al., 2024; Tab-eam et al., 2024) ในบริบทนี้ การเพาะเลี้ยงปลานิลนับเป็นภาคการผลิตที่มีศักยภาพสูง โดยเฉพาะในจังหวัดเชิงรายซึ่งเป็นแหล่งผลิตสำคัญของภาคเหนือ (Faria & Mixon, 2016; Pashovska et al., 2024; Popova & Dolgova, 2016) อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิลยังเผชิญข้อจำกัดหลายประการ เช่น ต้นทุนการผลิตสูง อัตราการรอดต่ำ และการจัดการที่ไม่มีประสิทธิภาพ (Hernandez-Vidal, 2024; Rayos & Macaraeg, 2024) ซึ่งยังไม่มียานวิจัยใดที่สามารถวิเคราะห์พารามิเตอร์เหล่านี้อย่างเป็นระบบภายใต้สภาพแวดล้อมการเลี้ยงในประเทศไทย

การออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi method) เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการวิเคราะห์ปัจจัยหลักได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่จำเป็นต้องดำเนินการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full factorial design) จึงช่วยลดทรัพยากร เวลา และค่าใช้จ่าย งานวิจัยในต่างประเทศได้ประยุกต์ใช้แนวทางนี้ในหลากหลายสาขา เช่น การพัฒนาอาหารสัตว์ (Vakili, 2023), การผลิตสารโรทินอยด์จากวัชพืคลือใช้ (Mata-Gómez et al., 2023) การควบคุมการเสื่อมสภาพของปลา (Awalistyaningrum et al., 2023) และการยืดอายุความสดของผลิตภัณฑ์ปลา (Qiu & Wu, 2021) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ในการสกัดคอลลาเจนจากปลา (Makgobole et al., 2024) การจัดการโรคพืช (Ritchie et al., 2025) และการผลิตปุ๋ยอินทรีย์จากของเสียจากปลา (Munang et al., 2024) เป็นต้น



ด้านการให้อาหารปลาและโภชนาการ มีงานวิจัยที่นำเสนอแนวทางการจัดการที่เหมาะสม เช่น การเลือกสูตรอาหารให้สอดคล้องกับระบบการเลี้ยง (Davis & Hardy, 2022) การกำหนดความถี่ในการให้อาหารเพื่อเพิ่มผลผลิตและผลตอบแทน (Hassan et al., 2021) และการใช้ระบบให้อาหารอัจฉริยะที่ปรับปริมาณอาหารตามพฤติกรรมการกินของปลา (Adegboye et al., 2020) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแหล่งอาหารที่มีคุณภาพทางโภชนาการสูงและต้นทุนต่ำ เช่น การใช้วัตถุดิบจากพืชทดแทนปลาป่น (Lall & Dumas, 2022) รวมถึงการศึกษาและพัฒนาแหล่งอาหารทางเลือกจากสาหร่าย โดย Safavi et al. (2021) ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสาหร่าย *Picochlorum* sp. ในการผลิตสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถนำมาเป็นองค์ประกอบในสูตรอาหารสัตว์น้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ Tharek et al. (2020) ใช้ Taguchi method ในการเพิ่มปริมาณแอสตาแซนธินในสาหร่าย *Coelastrum* sp. ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีมูลค่าและมีบทบาทสำคัญต่อสุขภาพของปลา

นอกจากนี้ Chary et al. (2022) ได้เสนอแบบจำลองระดับฟาร์ม (FSMs) สำหรับประเมินความยั่งยืนของฟาร์มในด้านพลังงาน สารอาหาร และการจัดการผลพลอยได้ ส่วน Araujo et al. (2022) ศึกษาการเพิ่มอัตราการรอดในระยะตัวอ่อนของปลาโดยเน้นเทคนิคการเพาะเลี้ยงที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และ Arici et al. (2025) เสนอการใช้ระบบ Venturi Aerator ซึ่งช่วยกระจายออกซิเจนอย่างมีประสิทธิภาพด้วยพลังงานต่ำเหมาะกับฟาร์มเชิงพาณิชย์ที่ต้องการลดต้นทุนพลังงาน

จากการรวบรวมและเปรียบเทียบผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยก่อนหน้าดัง Table 1. Summary of Key Parameters and Outcomes in Related Research Studies ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของการประยุกต์ใช้ Taguchi method และวิธีการที่เกี่ยวข้องในหลากหลายสาขา โดยเน้นการวิเคราะห์พารามิเตอร์สำคัญ อาทิ สูตรอาหาร ความถี่ในการให้อาหาร ระบบการเติมอากาศ หรือกระบวนการแปรรูป ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อผลลัพธ์ เช่น คุณภาพผลผลิต ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต หรือการลดต้นทุน ทั้งนี้ตารางดังกล่าวช่วยให้เห็นภาพรวมขององค์ความรู้ที่สอดคล้องกันในหลายมิติ และสนับสนุนความเหมาะสมของการนำ Taguchi method มาประยุกต์ใช้กับระบบการเลี้ยงปลานิลในประเทศไทยอย่างเป็นรูปธรรม

แม้งานวิจัยก่อนหน้านี้จะชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของการใช้ Taguchi method ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้านการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่ส่วนใหญ่ยังอยู่ในรูปแบบการทดลองภายใต้สภาวะควบคุม หรือมุ่งเน้นเพียงพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งเท่านั้น อีกทั้งยังขาดการประยุกต์ใช้กับระบบเลี้ยงปลานิลจริงที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรและการจัดการแบบเกษตรกรรายย่อยในประเทศไทย งานวิจัยในอดีตยังไม่เคยวิเคราะห์ผลกระทบร่วมกันของพารามิเตอร์หลักทั้ง 4 ต่อผลลัพธ์สำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ น้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อย่างเป็นระบบภายใต้เงื่อนไขฟาร์มจริง ส่งผลให้ยังไม่สามารถระบุ "ชุดเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด" ได้อย่างชัดเจนในเชิงเศรษฐศาสตร์และชีวภาพ อีกทั้งยังไม่มีแบบจำลองหรือแนวทางที่สอดคล้องกับปัจจัยท้องถิ่นที่สามารถนำไปใช้จริงได้ในวงกว้าง

ข้อเสนอของงานวิจัยนี้อยู่ที่การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการเลี้ยงปลานิลในบริบทฟาร์มจริง ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ โดยมีวัตถุประสงค์ในการค้นหาวิธีการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการเลี้ยงปลานิล ซึ่งสามารถระบุค่าที่เหมาะสมที่สุดของพารามิเตอร์การผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ผลกระทบร่วมกันของพารามิเตอร์ 4 ตัว ได้แก่ ชนิดของอาหาร ความหนาแน่นของปลา ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ต่อผลลัพธ์ 3 ด้าน คือ น้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอด และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำในบริบทที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร อีกทั้งยังใช้โครงสร้างการทดลองแบบ Orthogonal Array L27 ที่ช่วยลดจำนวนชุดการทดลองลงได้อย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ลดความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจของเกษตรกรเพื่อเพิ่มผลผลิต ลดต้นทุน และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะในกลุ่มเกษตรกรรายย่อย



นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังมีความสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนของสหประชาชาติ ได้แก่ SDG 8 ที่มุ่งส่งเสริมการเติบโตทางเศรษฐกิจและการจ้างงานที่มีคุณค่า SDG 9 ที่ส่งเสริมการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมในภาคอุตสาหกรรม และ SDG 12 ที่เน้นการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืน ซึ่งสะท้อนถึงบทบาทของงานวิจัยนี้ในการเชื่อมโยงระหว่างความเข้มแข็งเชิงวิชาการกับประโยชน์ใช้สอยในระดับปฏิบัติการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Table 1. Summary of key parameters and outcomes in related research studies

No.	Author(s) (Year)	Investigated Parameters	Methodology	Key Findings
1	Vakili (2023)	Production rate, particle size, temperature	Taguchi Method	Improved pellet quality in poultry feed production
2	Mata-Gómez et al. (2023)	Agricultural waste types	Taguchi Method	Increased carotenoid yield, reduced process costs
3	Arici et al. (2025)	Aeration system configurations	GRA with Taguchi	Enhanced oxygen distribution, minimized energy consumption
4	Awalistyaningrum et al. (2023)	Preservation techniques for fish	Taguchi Method	Extended shelf life, reduced spoilage
5	Makgobole et al. (2024)	Buffer concentration, pH, extraction time	Taguchi DOE	Optimized collagen extraction, reduced waste
6	Qiu & Wu (2021)	Salt level, temperature, duration	Taguchi DOE	Controlled oxidation, maintained product quality
7	Hassan et al. (2021)	Feeding frequency	Field experiment	Enhanced growth rate and survival in sea bass
8	Safavi et al. (2021)	Culture media composition	Taguchi Method	Improved antioxidant yield in <i>Picochlorum</i> sp. algae

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การกำหนดพารามิเตอร์ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล ซึ่งประกอบด้วย ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่เกษตรกรต้องตัดสินใจในกระบวนการเลี้ยงปลาและมีผลต่อทั้งอัตราการรอดของปลา น้ำหนักเฉลี่ย และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบ ทากูชิ (Taguchi method) เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยอย่างเป็นระบบ โดยไม่จำเป็นต้องทดสอบในระดับเต็มรูปแบบ (Full factorial design) ซึ่งช่วยประหยัดทรัพยากรและเวลาในการทดลอง

เพื่อตอบวัตถุประสงค์ของการวิจัย ได้มีการออกแบบการทดลองในบ่อดินขนาด 150 ตารางเมตร (กว้าง 10 เมตร ยาว 15 เมตร) โดยร่วมกับเกษตรกรในอำเภอฟาน จังหวัดเชียงราย จำนวน 9 ราย แต่ละรายมีบ่อดินทดลอง 3 บ่อ รวมทั้งหมด 27 บ่อ โดยควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ 1.5 เมตร ตลอดระยะเวลา 6 เดือน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่



มีผลต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลานิล โดยทุกบ่อเริ่มต้นการเลี้ยงด้วยลูกปลานิลที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 0.15 ± 0.22 กรัม (Kamonrat, 2017) การตั้งค่าน้ำหนักของพารามิเตอร์ทั้ง 4 ด้าน ได้รับการกำหนดตามข้อมูลและแนวปฏิบัติที่เกษตรกรต้องดำเนินการทดลองใช้จริง เพื่อให้ผลการทดลองมีความสอดคล้องกับบริบทเชิงปฏิบัติและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองแสดงใน Table 2. โดยผู้วิจัยได้นำปัจจัยที่มีความสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ซึ่งล้วนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังที่ปรากฏในผลงานของ Vakili (2023), Mata-Gómez et al. (2023) และ Hassan et al. (2021) ที่ใช้ปัจจัยคล้ายกันในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการเลี้ยงสัตว์น้ำ ทั้งนี้ได้กำหนดระดับของพารามิเตอร์แต่ละตัวไว้ตามที่แสดงใน Table 2.

2.1.1 การกำหนดชนิดของอาหาร (Type of feed)

ชนิดของอาหารที่ใช้ในการทดลองตามแนวทางที่เกษตรกรนิยมใช้ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) อาหารสำเร็จรูป (Commercial feed) คือ อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่สามารถหาซื้อได้ทั่วไปตามท้องตลาด 2) อาหารแบบผลิตใช้เอง (Homemade feed) คือ อาหารเม็ดที่เกษตรกรผลิตเอง โดยมีส่วนประกอบหลัก เช่น รำข้าว กากถั่วเหลือง กากมะพร้าว ปลาป่น กากมันสำปะหลัง และแร่ธาตุเสริม และ 3) อาหารแบบผสม (Mixed feed) อาหารเม็ดสำเร็จรูปที่ผสมกับอาหารเม็ดที่เกษตรกรผลิตเองในอัตราส่วนที่เท่ากัน

2.1.2 จำนวนปลาต่อบ่อ (Number of fish per pond)

เพื่อศึกษาผลกระทบของความหนาแน่นของปลาต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอด ได้กำหนดจำนวนปลาต่อบ่อเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 500 ตัว 750 ตัว และ 1,000 ตัว ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลาในอำเภอบางจังหวัดเชียงราย ที่ระบุว่าความหนาแน่นที่เหมาะสมของปลานิลในบ่อดินอยู่ที่ 3–10 ตัวต่อตารางเมตร โดยบ่อปลาทดลองสามารถรองรับจำนวนปลาได้ตั้งแต่ 450–1,500 ตัว

2.1.3 ความถี่ในการให้อาหาร (Feeding frequency (times per day))

ปลานิลสามารถย่อยอาหารได้ภายใน 2–4 ชั่วโมงหลังการกิน ดังนั้นควรเว้นระยะเวลาระหว่างมื้ออาหารเพื่อให้ปลาย่อยอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kamonrat, 2017) ในการทดลองนี้ได้กำหนดความถี่ในการให้อาหารเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) จำนวน 2 ครั้งต่อวัน เวลา 08:00 น. และ 16:00 น., 2) จำนวน 3 ครั้งต่อวัน เวลา 08:00 น. 13:00 น. และ 18:00 น. และ 3) จำนวน 4 ครั้งต่อวัน เวลา 06:00 น., 10:00 น., 14:00 น., และ 18:00 น.

2.1.4 วิธีการเติมออกซิเจน (Aeration method)

การเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการรอด น้ำหนักปลา และคุณภาพน้ำโดยออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตและกระบวนการเผาผลาญอาหารของปลา หากระดับออกซิเจนต่ำ อาจส่งผลให้ปลามีอัตราการเจริญเติบโตลดลง เกิดความเครียด และเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต ดังนั้นในการทดลองนี้ได้กำหนดวิธีการเติมออกซิเจนเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) No Aeration คือ ไม่ใช้เครื่องเติมอากาศ โดยพึ่งพาการแพร่กระจายออกซิเจนจากผิวน้ำตามธรรมชาติ 2) Venturi Aerator คือ ใช้แรงดันน้ำดึงอากาศเข้าสู่บ่อเป็นระบบที่ใช้พลังงานต่ำแต่สามารถเพิ่มค่า DO ได้ดี และ 3) Paddle Wheel Aerator คือ เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดน้ำที่ช่วยกระจายออกซิเจนทั่วทั้งบ่อเหมาะสำหรับการเลี้ยงที่มีความหนาแน่นสูง

2.2 การออกแบบการทดลอง (Experimental design)

การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตและลดความแปรปรวนของพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยใช้ Orthogonal Array (OA) หรือ ตารางเชิงตั้งฉาก ซึ่งช่วยลดจำนวนการทดลองที่ต้องดำเนินการ ขณะที่ยังคงสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์แต่ละตัวได้อย่างครบถ้วน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเลี้ยงปลานิล โดยกำหนด 4 พารามิเตอร์



และ 3 ระดับ ตาม Table 2. ซึ่งประกอบด้วยชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน เพื่อให้สามารถศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์เหล่านี้ต่ออัตราการรอด และการเจริญเติบโตของปลาได้อย่างเป็นระบบ งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Orthogonal Array L27 (3^4) ซึ่งช่วยลดจำนวนการทดลองจาก 81 กรณี ($3^4 = 81$) ให้เหลือเพียง 27 กรณี แต่ยังสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละพารามิเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หลังจากเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทดลอง จะดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) เพื่อประเมินผลกระทบของพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ต่อตัวแปรตาม ได้แก่ น้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักปลา โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ใช้ตรวจสอบนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละพารามิเตอร์ผ่านค่า p-value ขณะที่ S/N Ratio ใช้ระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดตาม Table 2. โดยใช้เกณฑ์ของผลตอบสนองทั้ง 3 ตัว คือ น้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต โดยใช้เกณฑ์คือ ยิ่งมีค่าสูงยิ่งดี (Larger-the-Better) และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยใช้เกณฑ์คือ ยิ่งต่ำยิ่งดี (Smaller-the-Better) ดังนั้นในการวิเคราะห์ใช้โปรแกรม Minitab สำหรับกำหนดเกณฑ์การประเมินแบบ S/N Ratio ให้สอดคล้องกับลักษณะของแต่ละตัวแปร เพื่อให้การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพสามารถทำได้ถูกต้อง และเพื่อให้ผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีช่วยระบุพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลอย่างเป็น

Table 2. Primary experimental parameters and factors

Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
Type of feed	Commercial Feed	Homemade Feed	Mixed Feed
Number of fish per pond	500 fish	750 fish	1000 fish
Feeding frequency (times per day)	2 times	3 times	4 times
Aeration method	No Aeration	Venturi Aerator	Paddle Wheel Aerator

2.3 การกำหนดสมมติฐาน (Hypothesis Testing) สำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติ

ในการศึกษานี้ได้กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) จำนวน 3 ตัว ได้แก่ 1) น้ำหนักปลาเฉลี่ย (Average fish weight; g/fish) ซึ่งสะท้อนประสิทธิภาพการเจริญเติบโต 2) อัตราการรอดชีวิต (Survival rate; %) ที่แสดงถึงความแข็งแรงของปลาในสภาพจริง และ 3) ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Feed cost per weight gain; THB/kg) ซึ่งสะท้อนความคุ้มค่าทางต้นทุน ทั้งสามตัวแปรได้จากการทบทวนวรรณกรรมและสอดคล้องกับเป้าหมายของเกษตรกร โดยสะท้อนผลลัพธ์ในมิติชีวภาพและเศรษฐศาสตร์ น้ำหนักปลาเฉลี่ย บ่งชี้การเปลี่ยนอาหารเป็นมวลชีวภาพ อัตราการรอดชีวิตบ่งชี้ความเหมาะสมของระบบการเลี้ยง ส่วนต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักเป็นตัววัดประสิทธิผลด้านเศรษฐกิจ ตัวแปรเหล่านี้ไม่เพียงเป็นค่าทางสถิติ แต่ยังสามารถนำไปใช้ตัดสินใจเชิงปฏิบัติ และรองรับการวิเคราะห์แบบหลายเป้าหมาย (Multi-objective) เพื่อกำหนดสถานะที่ได้ผลผลิตสูง คงอัตราการรอด และควบคุมต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้มีการกำหนดสมมติฐานทางสถิติเพื่อทดสอบว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่นำมาทดลอง ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน เป็นตัวแปรต้น (Independent variables) มีผลต่อผลตอบสนองหรือไม่ โดยพิจารณาตัวแปรตาม (Dependent variables) ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น การวิเคราะห์จะช่วยให้สามารถระบุได้ว่าปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อผลผลิตและต้นทุนของการเลี้ยงปลานิลอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่



ดังนั้นสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis; H_0) จึงถูกกำหนดให้ตัวแปรต้นไม่มีผลต่อตัวแปรตาม ขณะที่สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis; H_1) ระบุว่าตัวแปรต้นมีผลกระทบต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ค่า p -value ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) หากค่า p -value ≤ 0.05 จะปฏิเสธ H_0 ซึ่งหมายความว่า พารามิเตอร์ที่ศึกษามีผลกระทบต่อค่าตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 95% แต่หากค่า p -value > 0.05 จะยอมรับ H_0 ซึ่งหมายความว่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไม่มีผลต่อค่าตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ

2.4 การเตรียมการทดลอง

เพื่อให้การทดลองมีความแม่นยำและลดความแปรปรวนจากพารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ ถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดให้เกษตรกรแต่ละรายเลี้ยงปลานิลในบ่อทดลอง 3 บ่อ ซึ่งแต่ละบ่อได้รับการสุ่มจัดสรรชนิดอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ตามหลัก Orthogonal Array (OA) การจัดสรรบ่อทดลองช่วยลดความคลาดเคลื่อนและเพิ่มความถูกต้องของการวิเคราะห์ โดยบางบ่อได้รับการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางพารามิเตอร์ขณะที่พารามิเตอร์อื่นถูกควบคุมให้คงที่ เพื่อให้สามารถศึกษาผลกระทบของแต่ละตัวแปรได้อย่างชัดเจน

หลังจากการกำหนดพารามิเตอร์และดำเนินการทดลองแล้ว ข้อมูลที่ได้รับจะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติ เช่นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) เพื่อประเมินผลกระทบของแต่ละพารามิเตอร์ที่ศึกษา โดยมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลในด้านของอัตราการรอด น้ำหนักเฉลี่ยของปลา และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น รายละเอียดของผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอในหัวข้อถัดไป เพื่อสรุปแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลานิล

3. ผลการวิจัย

การศึกษานี้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิล โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ เพื่อระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ข้อมูลถูกวิเคราะห์ใน 2 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) ผลกระทบของพารามิเตอร์ต่อน้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอด และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักปลา โดยพิจารณาช่องทางหลัก ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน และ 2) การเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมผ่าน ANOVA และอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (S/N Ratio) เพื่อระบุค่าที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการวิเคราะห์ช่วยกำหนดแนวทางจัดการฟาร์มปลานิล เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิล

การศึกษานี้ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ ในการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิล โดยพิจารณา 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน ซึ่งแต่ละพารามิเตอร์ถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ เพื่อศึกษาผลกระทบต่อน้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอด ชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองดังแสดงใน Table 3.



Table 3. Experimental results of factors affecting tilapia farming efficiency

Type of Feed	Number of Fish per Pond	Feeding Frequency	Aeration Method	Avg. Fish Weight (g/fish)	Survival Rate (%)	Feed Cost per Weight Gain (THB/kg)
Commercial	500	2	No Aeration	704.97	87.75	46.03
	500	2	No Aeration	698.62	85.8	45.93
	500	2	No Aeration	706.48	86.42	44.16
	750	3	Venturi Aeration	740.73	84.1	35.19
	750	3	Venturi Aeration	723.16	89	35.83
	750	3	Venturi Aeration	723.16	85.27	36.48
	1000	4	Paddle Wheel	721.79	73.98	28.52
	1000	4	Paddle Wheel	713.67	77.75	28.81
	1000	4	Paddle Wheel	701.31	73.66	27.89
Homemade	500	3	Paddle Wheel	738.43	94.72	34.8
	500	3	Paddle Wheel	728.37	90.38	36.81
	500	3	Paddle Wheel	728.34	91.64	37.36
	750	4	No Aeration	700.92	80.99	29.43
	750	4	No Aeration	679.37	82.08	30.5
	750	4	No Aeration	681.25	80.94	29.86
	1000	2	Venturi Aeration	694.38	73.27	19.35
	1000	2	Venturi Aeration	689.87	72.9	20.36
	1000	2	Venturi Aeration	703.14	70.54	21.54
Mixed	500	4	Venturi Aeration	741.92	95.66	37.96
	500	4	Venturi Aeration	736.88	96.18	39.56
	500	4	Venturi Aeration	765.66	99.21	35.38
	750	2	Paddle Wheel	705.24	83.19	32.32
	750	2	Paddle Wheel	708.18	78.97	31.59
	750	2	Paddle Wheel	693.25	83.15	31.2
	1000	3	No Aeration	667.56	68.03	25.09
	1000	3	No Aeration	674.11	67.45	23.01
	1000	3	No Aeration	661.49	70.02	24.78

3.1.1 น้ำหนักปลาเฉลี่ย (Average fish weight)

น้ำหนักปลาเฉลี่ยได้รับอิทธิพลจากพารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน พบว่า กลุ่มที่ใช้อาหารแบบผสม จำนวนปลา 500 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi Aerator ให้น้ำหนักปลาเฉลี่ยอยู่ในช่วง 661.49 ถึง 765.66 กรัมต่อตัว ซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 765.66 กรัมต่อตัว ในขณะที่กลุ่มที่ใช้ อาหารแบบผสม จำนวนปลา 1000 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารวันละ 3 ครั้ง และไม่มีการเติมออกซิเจน (No aeration) ให้น้ำหนักปลาดำต่ำสุดที่ 661.49 กรัมต่อตัว ซึ่งสะท้อนถึงผลกระทบของความหนาแน่นของปลาและปริมาณออกซิเจนต่อการเจริญเติบโต



โดยอาหารแบบผสมให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากมีสารอาหารครบถ้วน ขณะที่อาหารแบบผลิตเอง แม้มีต้นทุนต่ำกว่าแต่ให้การเติบโตที่ต่ำกว่า การเพิ่มจำนวนปลาในบ่อทำให้เกิดการแย่งอาหารและออกซิเจนสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักเฉลี่ยลดลง โดยปลา 500 ตัวต่อบ่อให้ค่าที่ดีกว่าปลา 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 4 ครั้งช่วยเพิ่มอัตราการเติบโตได้ดีที่สุด เนื่องจากตอบสนองการเผาผลาญของปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนการเติมออกซิเจนมีผลอย่างชัดเจน โดยการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการกระจายออกซิเจน ส่งผลให้ปลาเติบโตได้ดีขึ้น ในขณะที่กลุ่มที่ไม่มีการเติมออกซิเจนให้น้ำหนักต่ำที่สุด สะท้อนถึงข้อจำกัดของระดับออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มน้ำหนักปลาที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ การใช้อาหารแบบผสม จำนวนปลาไม่ให้เกิน 750 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 4 ครั้ง และเติมออกซิเจนด้วย Venturi Aerator

3.1.2 อัตราการรอดชีวิต (Survival rate)

พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิต ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน พบว่า อัตราการรอดชีวิตอยู่ในช่วงร้อยละ 67.45 ถึง 99.21 โดยกลุ่มที่ใช้อาหารผสม จำนวนปลา 500 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 4 ครั้งต่อวัน และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator มีอัตราการรอดสูงสุดที่ร้อยละ 99.21 ขณะที่กลุ่มที่ใช้อาหารผสม จำนวนปลา 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 3 ครั้งต่อวัน และไม่มีการเติมอากาศ มีอัตราการรอดต่ำสุดที่ร้อยละ 67.45 สะท้อนให้เห็นว่าความหนาแน่นของปลาและระดับออกซิเจนมีผลต่อการดำรงชีวิตโดยตรง

อาหารผสมช่วยให้ปลามีอัตราการรอดที่สูงขึ้น เนื่องจากให้สารอาหารครบถ้วนมากกว่าอาหารที่ผลิตเอง ขณะที่การเพิ่มจำนวนปลาต่อบ่อทำให้เกิดการแย่งกันอาหารและออกซิเจนสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการรอดลดลง ซึ่งพบว่าบ่อที่มี 500 ตัวต่อบ่อให้อัตราการรอดที่ดีกว่าบ่อที่มี 1,000 ตัวต่อบ่อ ในขณะที่การให้อาหาร 4 ครั้งต่อวัน ช่วยลดการแย่งอาหารและเพิ่มอัตราการรอดได้ดีกว่าการให้อาหาร 2 หรือ 3 ครั้งต่อวัน

นอกจากนี้การเติมออกซิเจนมีผลอย่างชัดเจน โดยการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator สามารถช่วยเพิ่มการกระจายออกซิเจนในบ่อได้ดีกว่าระบบอื่น ส่งผลให้อัตราการรอดสูงขึ้น ขณะที่กลุ่มที่ไม่มีการเติมอากาศให้อัตราการรอดต่ำที่สุด แสดงถึงข้อจำกัดของระดับออกซิเจนที่ไม่เพียงพอ ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่ออัตราการรอดชีวิตที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ การใช้อาหารผสม ควบคุมจำนวนปลาไม่ให้เกิน 750 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 4 ครั้งต่อวัน และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ซึ่งช่วยลดความเครียดของปลา เพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ และลดอัตราการสูญเสียในกระบวนการเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.3 ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Feed cost per weight gain)

ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้รับอิทธิพลจากพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน โดยพบว่าต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 19.35 ถึง 46.03 บาทต่อกิโลกรัม โดยกลุ่มที่ใช้ อาหารแบบผลิตเอง จำนวนปลา 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator มีต้นทุนต่ำสุดที่ 19.35 บาทต่อกิโลกรัม ขณะที่กลุ่มที่ใช้ อาหารสำเร็จรูป จำนวนปลา 500 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน และไม่มีการเติมอากาศ มีต้นทุนสูงสุดที่ 46.03 บาทต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นว่าการเลือกอาหารที่เหมาะสมและการจัดการที่มีประสิทธิภาพช่วยลดต้นทุนได้อย่างมีนัยสำคัญ

อาหารแบบผลิตเองมีต้นทุนต่ำสุด เนื่องจากใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น รำข้าว กากถั่วเหลือง กากมะพร้าวและปลาป่น ในขณะที่อาหารสำเร็จรูปแม้มีสารอาหารครบถ้วน แต่ให้ต้นทุนอาหารสูงกว่า การเพิ่มจำนวนปลาต่อบ่อเป็น 1,000 ตัวต่อบ่อ มีแนวโน้มลดต้นทุนอาหาร เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากอาหารและลดอาหารเหลือทิ้ง ความถี่ในการให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน ให้ต้นทุนต่ำที่สุด เนื่องจากช่วยลดการสูญเสียอาหารในน้ำ และลดต้นทุนการจัดการเมื่อเทียบกับการให้อาหาร 4 ครั้งต่อวัน



ส่วนการเติมออกซิเจนมีผลอย่างมีนัยสำคัญ โดยการเติมออกซิเจนแบบ Venturi aerator และ Paddle wheel aerator ช่วยลดต้นทุนอาหาร เนื่องจากเพิ่มประสิทธิภาพการเผาผลาญอาหารของปลาและลดอัตราการสูญเสียอาหาร ขณะที่กลุ่มที่ไม่มีการเติมอากาศมีต้นทุนอาหารสูงที่สุด เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตต่ำลงและต้องใช้เวลาเลี้ยงนานขึ้น ดังนั้นพารามิเตอร์ที่ช่วยลดต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด คือ การให้อาหารแบบผลิตเอง จำนวนปลาอยู่ที่ 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักปลา ลดระยะเวลาเลี้ยง และช่วยให้กระบวนการเลี้ยงมีความคุ้มค่ามากที่สุด

ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเพิ่มน้ำหนักปลาเฉลี่ยและอัตราการรอดชีวิตสูงสุด ได้แก่ อาหารแบบผสม จำนวนปลา 500 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 4 ครั้ง และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ซึ่งให้ผลน้ำหนักเฉลี่ยของปลานิลสูงถึง 765.66 กรัมต่อตัว และอัตราการรอดชีวิตสูงสุดถึงร้อยละ 99.21 ความสำเร็จของชุดพารามิเตอร์นี้มาจากการที่อาหารแบบผสมสามารถให้สารอาหารที่หลากหลายและครบถ้วน ความหนาแน่นระดับ 500 ตัวต่อบ่อช่วยลดการแข่งขันในการกินอาหารและการใช้ออกซิเจน การให้อาหารวันละ 4 ครั้ง ช่วยให้ปลาดูดซึมสารอาหารได้อย่างต่อเนื่อง และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

ในขณะที่พารามิเตอร์ที่ช่วยลดต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้ดีที่สุด ได้แก่ อาหารแบบผลิตเอง จำนวนปลา 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 2 ครั้ง และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ซึ่งให้ต้นทุนต่ำสุดอยู่ที่ 19.35 บาทต่อกิโลกรัม โดยกลุ่มนี้สามารถลดต้นทุนจากการใช้วัตถุดิบอาหารที่ทำได้ในท้องถิ่น ความหนาแน่นที่สูงขึ้น ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่และอาหาร การให้อาหารเพียงวันละ 2 ครั้งช่วยลดการสูญเสีย และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยและการเผาผลาญอาหาร

จาก Table 3. สามารถสรุปได้ว่า การจัดการพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมมีความสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพของการเลี้ยงปลานิล ทั้งในมิติชีวภาพและเศรษฐศาสตร์ โดยการใช้ชุดพารามิเตอร์ควรขึ้นอยู่กับเป้าหมายของเกษตรกรว่าจะเน้นที่การเพิ่มผลผลิตหรือการลดต้นทุน เพื่อให้สามารถบริหารจัดการการเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

3.2.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (Figure 1.) พารามิเตอร์ทั้ง 4 ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน มีอิทธิพลต่อน้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value = 0.000, α = 0.05) ส่งผลให้สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และสรุปได้ว่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลกระทบต่อผลผลิตของการเลี้ยงปลานิล โดยค่าทางสถิติ R-Sq เท่ากับร้อยละ 99.74 และ R-Sq (adj) เท่ากับร้อยละ 99.74 แสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรตามได้อย่างแม่นยำ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าจำนวนปลาต่อบ่อและวิธีการเติมออกซิเจนเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสูงสุด โดยการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่นสูงเกินไปทำให้การแย่งอาหารและออกซิเจนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้น้ำหนักปลาเฉลี่ยและอัตราการรอดลดลง ขณะที่การเติมออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพ เช่น การเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator มีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการรอดและส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลา จากผลการทดลองแนวทางที่ให้ผลผลิตดีที่สุด คือ การให้อาหารแบบผสม ควบคุมจำนวนปลาไม่เกิน 750 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง และเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ช่วยเพิ่มผลผลิตสูงสุด ลดต้นทุน และเพิ่มอัตราการรอดของปลาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แม้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ จะสามารถบ่งชี้ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยได้จากค่าเฉลี่ยและค่า S/N Ratio แต่ไม่สามารถระบุค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ One-way ANOVA ควบคู่กันเพื่อพิจารณาค่า p -value ในการวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้วิธีการออกแบบ



การทดลองทางสถิติ มีข้อดี คือ ลดจำนวนการทดลองจาก 81 กรณีใน Full factorial design เหลือเพียง 27 กรณีใน Orthogonal Array (L27) และยังช่วยให้สามารถวิเคราะห์ผลของแต่ละปัจจัยได้อย่างชัดเจนและเป็นขั้นตอน

ในกรณีนี้การตรวจสอบความมีนัยสำคัญของแต่ละพารามิเตอร์พิจารณาจากค่า p -value ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ ANOVA หาก p -value ≤ 0.05 หมายความว่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อผลตอบแทนของระบบการเลี้ยงปลานิล ใน Figure 1. ค่า p -value ของทั้งสี่พารามิเตอร์ (ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน) ล้วนมีค่า ≤ 0.05 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแต่ละพารามิเตอร์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของระบบการเลี้ยง ทั้งด้านน้ำหนักปลา อัตรารอด และต้นทุนอาหาร

One-way ANOVA: Avg. Fish Weight, Survival Rate (%), Feed Cost per Weight Gain (THB/kg)

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	7670022	3835011	15125.83	0.000
Error	78	19776	254		
Total	80	7689798			

S = 15.92 R-Sq = 99.74% R-Sq(adj) = 99.74%

Figure 1. One-way ANOVA results for fish farming efficiency analysis

รวมถึงการวิเคราะห์ที่ใช้ One-way ANOVA ซึ่งเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับในแต่ละพารามิเตอร์ เพื่อระบุว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติหรือไม่ โดยไม่สนใจปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Interaction Effect) ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งของวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ ที่ออกแบบมาสำหรับการลดจำนวนการทดลอง แต่เมื่อนำ ANOVA มาประกอบการวิเคราะห์ จึงสามารถยืนยันความมีนัยสำคัญทางสถิติของแต่ละพารามิเตอร์ได้อย่างชัดเจน

3.2.2 ผลการวิเคราะห์ตารางค่าผลตอบแทนเฉลี่ย (Response Table for Means)

ผลการวิเคราะห์ตารางค่าผลตอบแทนเฉลี่ย (Figure 2) พบว่า จำนวนปลาต่อบ่อ เป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อผลเฉลี่ย (Delta = 23.7, Rank = 1) โดยเมื่อจำนวนปลาเพิ่มขึ้น น้ำหนักปลาเฉลี่ยลดลงจากการแย่งกันด้านอาหารและออกซิเจน รองลงมา คือ วิธีการเติมออกซิเจน (Delta = 14.2, Rank = 2) โดยการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ให้ผลเฉลี่ยสูงที่สุดเนื่องจากสามารถกระจายออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่ความถี่ในการให้อาหารมีผลกระทบปานกลาง (Delta = 6.4, Rank = 3) โดยการให้อาหารถี่ขึ้นช่วยเพิ่มน้ำหนักปลาเล็กน้อยแต่ไม่ใช่ปัจจัยหลัก ส่วน ชนิดของอาหาร มีอิทธิพลน้อยที่สุด (Delta = 6.1, Rank = 4) แสดงว่าการใช้อาหารแบบผลิตเอง หรืออาหารแบบผสมสามารถช่วยลดต้นทุนโดยไม่กระทบการเติบโตของปลานิลอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเพิ่มผลผลิต คือ การควบคุมจำนวนปลาต่อบ่อในระดับที่เหมาะสม ร่วมกับการเติมออกซิเจนแบบ Venturi aerator ขณะที่ความถี่ในการให้อาหารและชนิดของอาหารเป็นปัจจัยรองที่มีผลกระทบน้อยกว่า สามารถปรับใช้เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลได้

ในการวิเคราะห์ตารางค่าผลตอบแทนเฉลี่ย (Response table for means) จะใช้ชุดข้อมูลเดียวกันกับ Figure 1 แต่มีจุดประสงค์และวิธีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดย Figure 2. มุ่งเน้นการเปรียบเทียบค่าผลเฉลี่ย (Mean comparison) และการจัดลำดับความสำคัญ (Rank) ของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเลี้ยงปลานิล เพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลการวิเคราะห์



ดังนั้นเพื่อให้เห็นแนวโน้มของค่าผลตอบสนองทั้ง 3 ตัว ได้แก่ น้ำหนักปลาเฉลี่ย (Average fish weight), อัตราการรอดชีวิต (Survival rate) และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Feed cost per weight gain) ภายใต้แต่ละระดับของพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้นำเสนอแผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ย (Mean Plot) ดังแสดงใน Figure 3. ซึ่งครอบคลุมพารามิเตอร์หลัก 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร (Feed type), จำนวนปลาต่อบ่อ (Fish density), ความถี่ในการให้อาหาร (Feeding frequency) และวิธีการเติมออกซิเจน (Aeration method)

Response Table for Means

Level	Type of Feed	Number of Fish per Pond	Feeding Frequency	Aeration Method
1	278.0	286.5	271.1	266.0
2	271.9	273.9	274.6	280.2
3	273.2	262.8	277.4	276.9
Delta	6.1	23.7	6.4	14.2
Rank	4	1	3	2

Figure 2. Response Table for Means in Tilapia Farming Efficiency Analysis

*Note: Figure 2. illustrates mean comparisons based on S/N analysis and is complementary to the statistical significance results presented in Figure 1.

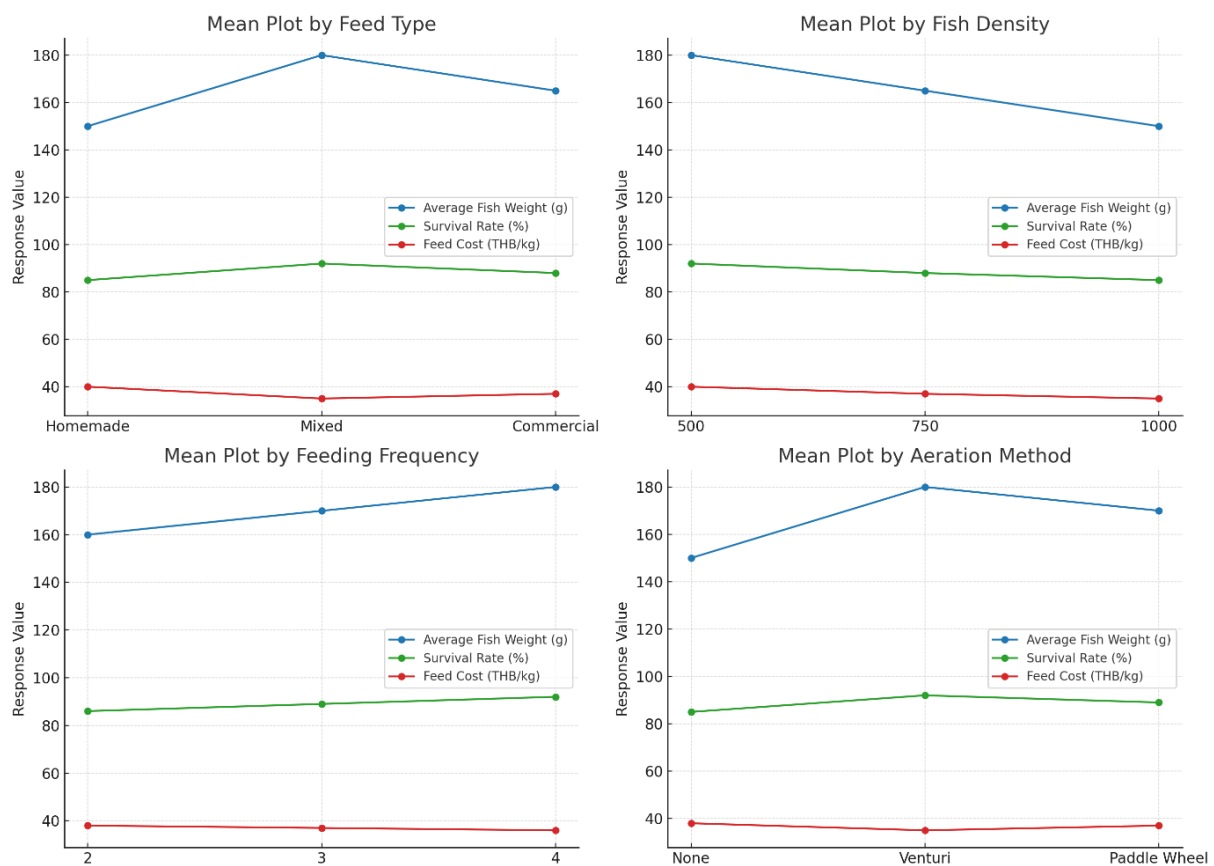


Figure 3. Mean plots of (a) Average Fish Weight, (b) Survival Rate, and (c) Feed Cost per Weight Gain across all experimental levels



จาก Figure 3. (a) พบว่าอาหารแบบผสมให้ผลตอบสนองดีที่สุด โดยมีน้ำหนักปลาเฉลี่ย (180 กรัมต่อตัว) อัตราการรอด (ร้อยละ 92) และต้นทุนอาหารต่ำสุด (35 บาทต่อกิโลกรัม) เมื่อเทียบกับอาหารผลิตเองและอาหารสำเร็จรูป แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมทั้งด้านชีวภาพและเศรษฐศาสตร์ ส่วน Figure 3. (b) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มจำนวนปลาในบ่อ จาก 500 เป็น 1,000 ตัว น้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการรอดลดลง ขณะที่ต้นทุนอาหารต่อหน่วยลดลงเพียงเล็กน้อย สะท้อนถึงความสมดุลระหว่างผลผลิตรวมและประสิทธิภาพการผลิต โดยความหนาแน่นที่สูงเกินไปอาจกระทบต่อสุขภาพปลา

ใน Figure 3. (c) การให้อาหารบ่อยขึ้น โดยเฉพาะวันละ 4 ครั้ง ส่งผลให้น้ำหนักปลาและอัตราการสูงชันพร้อม ต้นทุนที่มีแนวโน้มลดลง แสดงถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความถี่ในการให้อาหารกับผลผลิต สุดท้าย Figure 3. (d) พบว่า Venturi aerator ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านน้ำหนัก อัตราการรอด และต้นทุน ขณะที่การไม่เติมออกซิเจนให้ผลลัพธ์ต่ำสุดอย่างชัดเจน สะท้อนถึงบทบาทสำคัญของระบบเติมออกซิเจนในกระบวนการเลี้ยงปลานิล

โดยสรุปแผนภูมิตารางค่าผลตอบสนองเฉลี่ย (Response table for means) ทั้ง 4 รายการแสดงแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ทางสถิติจาก Figure 2. (Response table for means) และการวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผลตอบสนอง (Signal-to-Noise Ratios (S/N Ratios)) แสดงในหัวข้อ 3.2.4 ซึ่งสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลได้อย่างเป็นระบบ

3.2.3 ผลการวิเคราะห์ตารางค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบสนอง (Response table for standard deviations)

ผลการวิเคราะห์ตารางค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลตอบสนอง (Figure 4.) พบว่า วิธีการเติมออกซิเจนเป็น พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความแปรปรวนของผลผลิตมากที่สุด ($\Delta = 18.2$, Rank = 1) โดยการไม่เติมออกซิเจนทำให้ปลาเติบโต ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากระดับออกซิเจนในน้ำต่ำ ส่งผลให้อัตราการเติบโตของปลาแตกต่างกันในแต่ละส่วนของ บ่อรองลงมา จำนวนปลาต่อบ่อ ($\Delta = 9.2$, Rank = 2) โดยค่าความแปรปรวนลดลงเมื่อจำนวนปลาเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายตัวของอาหารและพื้นที่อยู่อาศัยที่มีความเหมาะสมมากขึ้น ความถี่ในการให้อาหาร มีผลกระทบระดับปานกลาง ($\Delta = 6.9$, Rank = 3) โดยการให้อาหารบ่อยขึ้นอาจทำให้เกิดการกระจายอาหารที่ไม่สม่ำเสมอ และชนิดของอาหาร มีผลต่อ ความแปรปรวนน้อยที่สุด ($\Delta = 2.9$, Rank = 4) แสดงว่าการเปลี่ยนชนิดอาหารไม่มีผลต่อความสม่ำเสมอของผลผลิต อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้จากผลการทดลอง พบว่าการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ให้ผลเฉลี่ยของค่าผลตอบสนองสูง ที่สุด (280.2) ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการกระจายออกซิเจนที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของปลาได้ดีกว่า เมื่อเทียบกับ การเติมออกซิเจนด้วย Paddle wheel aerator (276.9) และ ไม่เติมออกซิเจน (266.0) แม้ว่าค่าความแปรปรวนของการเติม ออกซิเจนด้วย Venturi aerator อาจสูงกว่าบางวิธี แต่ด้วยระดับค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด จึงแสดงให้เห็นว่าการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator มีศักยภาพในการเพิ่มผลผลิตได้อย่างชัดเจน ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมในการควบคุมทั้งค่าเฉลี่ยและ ความสม่ำเสมอของผลผลิต คือ การเลือกระบบเติมออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ร่วมกับการกำหนดจำนวนปลาต่อบ่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมมากกว่าการเปลี่ยนชนิดของอาหารหรือความถี่ในการให้อาหาร เพื่อเสริมความสม่ำเสมอของกระบวนการเลี้ยง และลดความแปรปรวนของผลผลิตให้ได้มากที่สุด



Response Table for Means

Level	Type of Feed	Number of Fish per Pond	Feeding Frequency	Aeration Method
1	278.0	286.5	271.1	266.0
2	271.9	273.9	274.6	280.2
3	273.2	262.8	277.4	276.9
Delta	6.1	23.7	6.4	14.2
Rank	4	1	3	2

Figure 4. Response table for means in tilapia farming efficiency analysis

3.2.4 ผลการวิเคราะห์ตารางอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนของผลตอบสนอง (Response table for Signal-to-Noise ratios)

ผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ (Figure 5.) พบว่า จำนวนปลาต่อบ่อ เป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้เกิดความแปรปรวนของผลผลิตมากที่สุด (Delta = 0.510, Rank = 1) โดยเมื่อจำนวนปลาต่อบ่อเพิ่มขึ้น ค่า S/N Ratios (Signal-to-Noise Ratios) ลดลงอย่างชัดเจน สะท้อนถึงความแปรปรวนของผลผลิตที่เพิ่มขึ้น อันเป็นผลจากการแย่งอาหารและออกซิเจน รองลงมา คือ ชนิดของอาหาร (Delta = 0.126, Rank = 2) โดยอาหารสำเร็จรูปให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าอาหารแบบผลิตเอง หรือ อาหารแบบผสม เนื่องจากมีความสม่ำเสมอของสารอาหาร ส่วนวิธีการเติมออกซิเจน (Delta = 0.038, Rank = 3) พบว่า การเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ช่วยลดความแปรปรวนของผลผลิตได้ดีที่สุด ขณะที่ความถี่ในการให้อาหาร มีผลน้อยที่สุด (Delta = 0.019, Rank = 4) แสดงว่าการให้อาหารวันละ 2 3 หรือ 4 ครั้ง ไม่ได้ช่วยลดความแปรปรวนของการเลี้ยงปลาอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ คือ จำนวนปลาต่อบ่อ รองลงมา คือ ชนิดของอาหารและวิธีการเติมออกซิเจน ขณะที่ความถี่ในการให้อาหารมีผลกระทบน้อยที่สุด โดยการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator และการควบคุมจำนวนปลาในระดับที่เหมาะสมสามารถช่วยลดความแปรปรวนของการเลี้ยงปลาได้ และทำให้ผลลัพธ์มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

Response Table for Signal to Noise Ratios
Nominal is best ($10 \cdot \log_{10}(\bar{Y}^2/s^2)$)

Level	Type of Feed	Number of Fish per Pond	Feeding Frequency	Aeration Method
1	-1.443	-1.273	-1.518	-1.492
2	-1.569	-1.485	-1.521	-1.530
3	-1.528	-1.782	-1.502	-1.518
Delta	0.126	0.510	0.019	0.038
Rank	2	1	4	3

Figure 5. Response Table for Signal-to-Noise Ratios

3.2.5 การวิเคราะห์ผลตอบสนองด้วยแผนภูมิช่วงความเชื่อมั่น (Interval plot)

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลของชนิดอาหารต่อค่าผลตอบสนองทั้ง 3 ตัว ได้แก่ น้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงได้นำเสนอแผนภูมิช่วงความเชื่อมั่น (Interval Plot)

ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของผลตอบแทนแต่ละตัว พร้อมช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95% Confidence Interval) สำหรับแต่ละกลุ่มอาหารดังแสดงใน Figure 6.

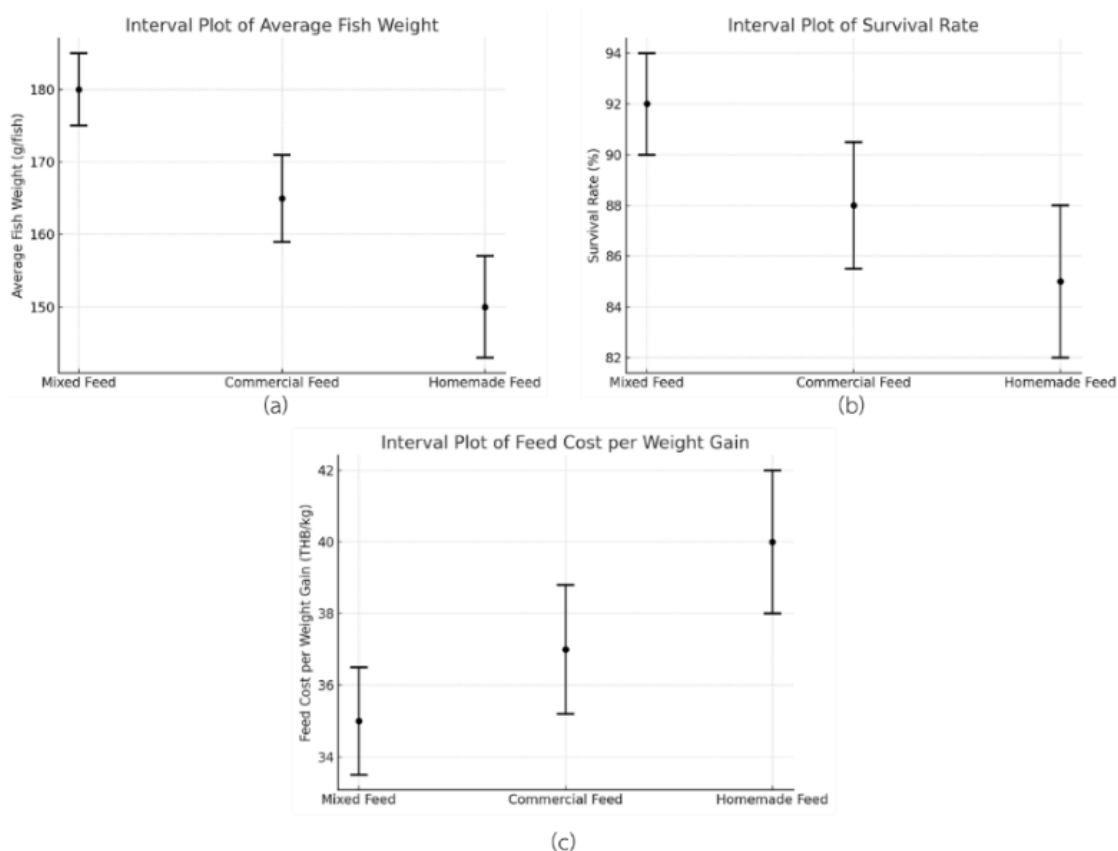


Figure 6. Interval plots of growth, survival, and feed cost by feed type

จาก Figure 6. (a) พบว่าอาหารแบบผสมให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักปลาสูงสุด (180 กรัมต่อตัว) พร้อมช่วงความเชื่อมั่นที่แคบที่สุด สะท้อนผลลัพธ์ที่มั่นคงและสม่ำเสมอ อีกทั้งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากอาหารแบบผลิตเองที่ให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด (150 กรัมต่อตัว) ส่วน Figure 6. (b) แสดงว่าอาหารแบบผสมยังให้อัตรารอดเฉลี่ยสูงสุด (ร้อยละ 92) แม้จะมีช่วงทับซ้อนของความเชื่อมั่นกับอาหารแบบอื่น แต่แนวโน้มบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดีกว่า ขณะที่ Figure 6. (c) แสดงว่าอาหารแบบผสมมีต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักต่ำสุด (35 บาทบาทต่อกิโลกรัม) ในขณะที่อาหารผลิตเองมีต้นทุนสูงสุด (40 บาทต่อกิโลกรัม) แม้วัตถุดิบจะถูกกว่า แต่การเปลี่ยนน้ำหนักได้ไม่ดี ทำให้ค่าใช้จ่ายต่อผลผลิตสูงขึ้นโดยรวม

แผนภูมิทั้ง 3 ใน Figure 6. (a)–(c) จึงยืนยันว่าอาหารแบบผสมให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด ทั้งด้านการเจริญเติบโต อัตรารอด และความคุ้มค่าทางต้นทุน สอดคล้องกับการวิเคราะห์ S/N Ratio และค่าเฉลี่ยก่อนหน้า ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ใช้วิธี Multi-objective optimization โดยพิจารณาเกณฑ์ ยิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-Better) สำหรับน้ำหนักและอัตรารอด และ ยิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) สำหรับต้นทุน จากนั้นพิจารณาค่าเฉลี่ย S/N Ratio และจัดลำดับความเหมาะสมโดยใช้การถ่วงน้ำหนักเท่าเทียม (Equal weighting) ผลลัพธ์พบว่า ชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ อาหารแบบผสม จำนวนปลา 500 ตัวต่อบ่อ ให้อาหารวันละ 4 ครั้ง และเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีทั้งด้านชีวภาพและเศรษฐศาสตร์ โดยไม่ต้องเลือกเพียงด้านใดด้านหนึ่ง



4. อภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการใช้วิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลา ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลา ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และ วิธีการเติมออกซิเจน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อน้ำหนักปลาเฉลี่ย อัตราการรอดชีวิต และต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย One-way ANOVA ยืนยันว่าปัจจัยเหล่านี้มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลผลิตของการเลี้ยงปลา ($p\text{-value} = 0.000$, $\alpha = 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยเหล่านี้ในการเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ (Ngamsin et al., 2024; Pashovska et al., 2024; Rayos & Macaraeg, 2024)

4.1 อิทธิพลของชนิดอาหารต่อการเจริญเติบโตและอัตราการรอด

จากผลการทดลอง พบว่า อาหารแบบผสม ซึ่งประกอบด้วยอาหารสำเร็จรูป และอาหารแบบผลิตเอง ในอัตราส่วน 50:50 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดต่อน้ำหนักปลาเฉลี่ยและอัตราการรอด เนื่องจากมีสารอาหารที่สมดุล ทำให้ปลาสามารถดูดซึมสารอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Vakili (2023) ที่พบว่า การปรับองค์ประกอบของอาหารด้วยวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอาหารสัตว์ได้ นอกจากนี้ Qiu & Wu (2021) ยังแสดงให้เห็นว่าการปรับสูตรอาหารสามารถเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อปลาที่ผ่านกระบวนการแปรรูป อย่างไรก็ตาม แม้ว่าอาหารแบบผลิตเองจะมีต้นทุนต่ำกว่า แต่หากไม่มีการปรับสูตรให้เหมาะสม อาจส่งผลให้สารอาหารที่ได้รับไม่ครบถ้วน และอาจทำให้ปลาเติบโตช้ากว่าอาหารสำเร็จรูป (Faria and Mixon, 2016; Mata-Gómez et al., 2023)

4.2 ผลของจำนวนปลาต่อบ่อต่อประสิทธิภาพการเลี้ยง

การเพิ่มจำนวนปลาต่อบ่อจาก 500 ตัวเป็น 1,000 ตัว มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของปลาลดลง ซึ่งเกิดจากการแย่งกันด้านอาหารและออกซิเจนภายในบ่อ ส่งผลให้ปลามีภาวะเครียดและการเผาผลาญอาหารลดลง ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ Chary et al. (2022) ที่พบว่า การควบคุมความหนาแน่นของปลาในระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตและลดการสูญเสียในกระบวนการเลี้ยง ทั้งนี้ผลการศึกษายังพบว่าบ่อที่มีปลาความหนาแน่นต่ำกว่า 750 ตัวต่อบ่อให้ผลผลิตที่ดีกว่าในแง่ของน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการรอด ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการเลี้ยงปลาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.3 ความถี่ในการให้อาหารและผลต่ออัตราการรอด

จากการทดลอง พบว่า การให้อาหาร 4 ครั้งต่อวัน ส่งผลให้ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยและอัตราการรอดสูงขึ้น เนื่องจากปลามีระบบเผาผลาญอาหารที่เร็ว และต้องการพลังงานต่อเนื่องตลอดทั้งวัน อย่างไรก็ตามการให้อาหาร 2 ครั้งต่อวัน มีต้นทุนอาหารต่ำสุด ซึ่งแสดงถึงความสมดุลระหว่างการเจริญเติบโตและต้นทุนการผลิต ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Davis & Hardy (2022) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเลือกความถี่ในการให้อาหารที่เหมาะสมช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตปลาโดยไม่กระทบต้นทุนมากเกินไป นอกจากนี้ Adegboye et al. (2020) ได้ศึกษาระบบการให้อาหารอัตโนมัติที่สามารถช่วยลดความแปรปรวนของการบริโภคอาหารในกลุ่มปลา ซึ่งสนับสนุนว่าการให้อาหารที่ขึ้นสามารถช่วยให้ปลามีอัตราการเติบโตที่ดีขึ้น และลดการแย่งอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.4 ผลของวิธีการเติมออกซิเจนต่ออัตราการเจริญเติบโตของปลา

การเติมออกซิเจนด้วย Venturi Aerator มีผลทำให้ปลามีอัตราการรอดและน้ำหนักเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ไม่มีการเติมอากาศ (No Aeration) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการที่ออกซิเจนละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) มีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการเผาผลาญอาหารของปลา ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานของ Arici et al. (2025) ที่ใช้ Gray Relational Analysis (GRA) และวิธีการออกแบบการทดลองทางสถิติ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบเติมอากาศสำหรับ



การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยพบว่าการเติมอากาศที่เหมาะสมช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและลดต้นทุนพลังงาน นอกจากนี้ยังพบว่า บ่อที่ไม่มีการเติมอากาศ (No aeration) มีแนวโน้มให้อัตราการรอดต่ำกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการขาดออกซิเจนที่เพียงพอต่อกระบวนการเจริญเติบโตของปลา

4.5 ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Feed Cost per Weight Gain)

จากการทดลอง พบว่า อาหารแบบผลิตเอง ช่วยลดต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามพบว่า ปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารชนิดนี้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าปลาที่เลี้ยงด้วยอาหารแบบผสม ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสมดุลระหว่างต้นทุนและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร งานวิจัยของ (Safavi et al., 2021) ยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการออกแบบการทดลองทางภูมิศาสตร์ สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของอาหารเลี้ยงสัตว์น้ำและปรับสภาวะโภชนาการให้เหมาะสม

4.6 ปัจจัยที่ควรพิจารณาเพิ่มเติมและการควบคุมตัวแปรรอบวนในการทดลอง

แม้ว่างานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการศึกษาผลของปัจจัยหลัก 4 ประการ ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และวิธีการเติมออกซิเจน แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิล ซึ่งควรพิจารณาเพิ่มเติมในงานวิจัยในอนาคต เช่น คุณภาพน้ำ (pH, อุณหภูมิ, แอมโมเนีย) สายพันธุ์ปลานิล และอายุของลูกปลาเริ่มต้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่อาจควบคุมได้หากมีระบบติดตามและบริหารจัดการที่เหมาะสม

ในขณะเดียวกันการทดลองภาคสนามในบ่อดินยังต้องเผชิญกับ ตัวแปรรอบวน (Noise factors) ที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยตรง เช่น สภาพอากาศ ฝนตก ความแปรปรวนของคุณภาพน้ำจากแหล่งธรรมชาติ หรือแม้กระทั่งพฤติกรรม การกินอาหารของปลาแต่ละกลุ่ม เพื่อลดอิทธิพลของปัจจัยรอบวนเหล่านี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการควบคุมตัวแปรสำคัญร่วม ได้แก่ 1) ใช้ลูกปลาที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากันจากแหล่งเดียวกัน 2) ดำเนินการทดลองในช่วงเวลาเดียวกันของปี (ฤดูฝน) เพื่อให้ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีความสม่ำเสมอ 3) ใช้ระบบการให้อาหารและเติมออกซิเจนตามกำหนดเวลาแบบอัตโนมัติ 4) กระจายกลุ่มการทดลองในหลายบ่อเพื่อเฉลี่ยผลกระทบจาก Noise factors

ดังนั้นแนวทางนี้ช่วยให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในการปรับปรุงการเลี้ยงปลานิลในระดับฟาร์มได้อย่างเหมาะสม โดยงานวิจัยในอนาคตอาจพัฒนาเป็นระบบการติดตามและวิเคราะห์แบบอินเทอร์เนตของสรรพสิ่ง (Internet of Things; IoT) เพื่อตรวจสอบตัวแปรแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เพื่อเสริมความแม่นยำในการวิเคราะห์

4.7 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่ากลุ่มที่ใช้ฟาร์มอเตอร์ต้นทุนต่ำสุด ได้แก่ อาหารแบบผลิตเอง จำนวนปลา 1,000 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 2 ครั้ง และเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator ให้ต้นทุนอาหารต่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียง 19.35 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่ากลุ่มที่ใช้อาหารสำเร็จรูปซึ่งมีต้นทุนสูงถึง 46.03 บาทต่อกิโลกรัมเกือบ 2.4 เท่า หากพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยสมมติว่าอัตราการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยต่อปลานิล คือ ประมาณ 700 กรัม และราคาขายปลานิลหน้าฟาร์มอยู่ที่ 60 บาทต่อกิโลกรัม จะมีรายรับต่อปลาประมาณ 42 บาทต่อรอบการเลี้ยง ในขณะที่ต้นทุนอาหารอยู่ที่ประมาณ 13.55 บาท (700 กรัม $\times$ 19.35 บาทต่อกิโลกรัม) คิดเป็นสัดส่วนต้นทุนอาหารเพียงร้อยละ 32 ของรายรับ ขณะที่กลุ่มที่ใช้อาหารสำเร็จรูปจะมีต้นทุนอาหารสูงถึงร้อยละ 75 ของรายรับ

ดังนั้นการเลือกใช้ชุดฟาร์มอเตอร์ที่ช่วยลดต้นทุนอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงไม่เพียงแต่ช่วยลดภาระค่าใช้จ่าย แต่ยังเพิ่ม ผลตอบแทนสุทธิ ของเกษตรกรในแต่ละรอบการเลี้ยงอย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้จึงสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการเลี้ยงเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะสำหรับเกษตรกรรายย่อยที่มีข้อจำกัดด้านเงินทุน ซึ่งต้องการเพิ่มกำไรสุทธิจากต้นทุนจำกัดที่มีอยู่



โดยสรุปผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบหลักของการเลี้ยงปลาไนล์ โดยใช้แนวทางของ วิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาได้อย่างเป็นระบบ โดยเกษตรกรสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้ เพื่อนำไปปรับปรุงการจัดการเลี้ยงปลา เพื่อลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลผลิต และเพิ่มอัตราการรอด ซึ่งจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมการเลี้ยงปลาไนล์ในระดับประเทศต่อไป และผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้การออกแบบการทดลองทากูชิ เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนการเลี้ยงปลาไนล์ โดยการใช้อาหารแบบผสม การควบคุมความหนาแน่นของปลา การให้อาหารอย่างเหมาะสม และการเติมออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพ สามารถช่วยให้อุตสาหกรรมเลี้ยงปลาไนล์มีความคุ้มค่ามากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางของ Sustainable Development Goal (SDG) 12 ที่มุ่งเน้นการบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ ในการออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการเลี้ยงปลาไนล์ โดยพิจารณา 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ชนิดของอาหาร จำนวนปลาต่อบ่อ ความถี่ในการให้อาหาร และ วิธีการเติมออกซิเจน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การเลือกใช้อาหารแบบผสม การควบคุมจำนวนปลาไม่เกิน 750 ตัวต่อบ่อ การให้อาหารวันละ 3-4 ครั้ง และการเติมออกซิเจนด้วย Venturi aerator เป็นแนวทางที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงปลาไนล์ โดยช่วยให้ปลามีน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด อัตราการรอดที่ดีขึ้น และต้นทุนอาหารต่อหน่วยน้ำหนักที่ลดลง

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติจาก One-way ANOVA ระบุว่าทุกพารามิเตอร์ที่ศึกษา มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ของการเลี้ยงปลาไนล์อย่างมีนัยสำคัญ โดยชนิดของอาหารและจำนวนปลาต่อบ่อเป็นพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของปลา ในขณะที่วิธีการเติมออกซิเจนมีผลโดยตรงต่ออัตราการรอดและต้นทุนอาหารต่อหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การใช้วิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ (Taguchi method) ยังช่วยลดความแปรปรวนของกระบวนการเลี้ยง ทำให้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษานี้จึงเป็นแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและผู้ประกอบการในการปรับปรุงกระบวนการเลี้ยงปลาไนล์ให้มีความคุ้มค่ามากขึ้น

จากมุมมองด้านการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDG) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับ SDG 12 การบริโภคและการผลิตที่ยั่งยืน โดยเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ ลดของเสีย และปรับปรุงวิธีการผลิตให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ SDG 9 อุตสาหกรรม นวัตกรรม และโครงสร้างพื้นฐานที่ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรม ในการเพิ่มผลผลิตของอุตสาหกรรมเกษตร นอกจากนี้ผลการศึกษายังเชื่อมโยงกับ SDG 8 การเติบโตทางเศรษฐกิจและการจ้างงานที่มีคุณค่า เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุน เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และเพิ่มศักยภาพการแข่งขันของเกษตรกรในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

5.1 แนวทางในอนาคต

การศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของวิธีการออกแบบการทดลองทากูชิ ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลาไนล์ อย่างไรก็ตามยังมีแนวทางที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้ในอนาคต ได้แก่

5.1.1 การศึกษาการใช้สูตรอาหารเฉพาะพื้นที่ ควรมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาสูตรอาหารเฉพาะพื้นที่ (Localized feed formula) เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในแต่ละภูมิภาค ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบอาหารและเพิ่มความยั่งยืนของกระบวนการผลิต

5.1.2 การพัฒนาเทคโนโลยีระบบเติมออกซิเจนอัจฉริยะ โดยการใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT) และระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automated aeration system) เพื่อปรับระดับออกซิเจนในบ่อเลี้ยงตามสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงและลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเลี้ยงปลาได้



5.1.3 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ควรมีการศึกษาวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับ Economic feasibility analysis เพื่อตรวจสอบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของแนวทางที่ปรับปรุงแล้ว และสามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบให้กับเกษตรกรรายย่อยได้

5.1.4 การพัฒนาแนวทางการเลี้ยงปลาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ควรมีการศึกษาการใช้ระบบบำบัดน้ำ และการนำของเสียจากกระบวนการเลี้ยงปลากลับมาใช้ใหม่ (Waste recycling) เพื่อส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) ในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

5.1.5 การศึกษาอัตราการเติบโตของปลาในระบบเพาะเลี้ยงแบบหมุนเวียน (Recirculating Aquaculture System; RAS); ควรมีการศึกษาการเลี้ยงปลานิลในระบบเพาะเลี้ยงน้ำหมุนเวียน (RAS) เพื่อเปรียบเทียบกับการเลี้ยงแบบบ่อดิน เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการประยุกต์ใช้

จากผลการศึกษาเกษตรกรสามารถนำแนวทางที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเลี้ยงปลานิลได้ทันทีโดยควรเน้นที่การใช้สูตรอาหารที่เหมาะสม การควบคุมความหนาแน่นของปลา การจัดการให้อาหารที่เหมาะสม และการเติมออกซิเจนอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่สูงขึ้น ลดต้นทุน และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาด นอกจากนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หรือสถาบันการศึกษาควรสนับสนุนการนำแนวทางเหล่านี้ไปเผยแพร่ในกลุ่มเกษตรกร พร้อมทั้งพัฒนาองค์ความรู้เพิ่มเติม เพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการวิจัยทุน Fundamental Fund (FF) ประจำปีงบประมาณ 2566 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยฯ ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ ทรัพยากร และอุปกรณ์ในการดำเนินงาน รวมถึงคณะผู้บริหาร คณาจารย์ ทีมวิจัย และกลุ่มเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิล ที่มีส่วนร่วมในกระบวนการศึกษาวิจัย ตลอดจนผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ความสำเร็จของงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการพัฒนาความรู้และนวัตกรรมเพื่อการประยุกต์ใช้ในอนาคต

7. เอกสารอ้างอิง

- Adegboye, MA., Aibinu, AM., Kolo, JG., Aliyu, I., Folorunso, TA., & Lee, SH. (2020). Incorporating Intelligence in Fish Feeding System for Dispensing Feed Based on Fish Feeding Intensity. IEEE Access, 8, 91948–91960. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994442>
- Araujo, GS., Silva, JWAD., Cotas, J., & Pereira, L. (2022). Fish Farming Techniques: Current Situation and Trends. Journal of Marine Science and Engineering, 10(11), 1598. <https://doi.org/10.3390/jmse10111598>
- Arici, E., Tuna, MC., Aytac, A., & Kelestemur, GT. (2025). Multi-Objective Optimization of a Pond Aeration System using Taguchi-Based Gray Relational Analysis. Aquaculture International, 33(1), 50. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01758-z>
- Awalistyaningrum, N., Jumeri, J., & Supartono, W. (2023). Optimization of Skipjack Tuna (Katsuwonus Pelamis) Quality Factors in Chilled Box Storage using Taguchi Method. Agroindustrial Journal, 10(1), 1-11. <https://doi.org/10.22146/aij.v10i1.84730>
- Chary, K., Brigolin, D., & Callier, MD. (2022). Farm-Scale Models in Fish Aquaculture – An Overview of Methods and Applications. Reviews in Aquaculture, 14(4), 2122–2157. <https://doi.org/10.1111/raq.12695>
- Davis, DA., & Hardy, RW. (2022). Feeding and Fish Husbandry. In Fish Nutrition (pp. 857–882). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819587-1.00015-X>



- Faria, J., & Mixon, F. (2016). Farmer-Entrepreneurs, Agricultural Innovation, and Explosive Research and Development Cycles. *Administrative Sciences*, 6(4), 13. <https://doi.org/10.3390/admsci6040013>
- Hassan, HU., Ali, QM., Khan, W., Masood, Z., Abdel-Aziz, MFA., Shah, MIA., Gabol, K., Wattoo, J., Mahmood Chatta, A., Kamal, M., Zulfiqar, T., & Hossain, Md. Y. (2021). Effect of Feeding Frequency as a Rearing System on Biological Performance, Survival, Body Chemical Composition and Economic Efficiency of Asian Seabass Lates Calcarifer (Bloch, 1790) Reared Under Controlled Environmental Conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(12), 7360–7366. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.08.031>
- Hernandez-Vidal, U. (2024). Estrategias De Alimentación Y Retos De La Acuicultura Tropical. *Tropical Aquaculture*, 2(2). <https://doi.org/10.19136/ta.a2n2.5740>
- Kamonrat, N. (2017). A Study of Fish Feeding Pattern to Reduce Cost of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Production in Cage-Cum-Pond Culture System. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 19(3), 80–87.
- Lall, SP., & Dumas, A. (2022). Nutritional Requirements of Cultured Fish: Formulating Nutritionally Adequate Feeds. In *Feed and Feeding Practices in Aquaculture* (pp. 65–132). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821598-2.00005-9>
- Makgobole, MU., Onwubu, SC., Baruwa, A., Mpofana, N., Obiechefu, Z., Naidoo, D., Khathi, A., & Mkhwanazi, B. (2024). Optimization of Collagen Extraction from Fish Scales Using Tris-Glycine Buffer: A Taguchi Methodological Approach. *Marine Drugs*, 22(12), 562. <https://doi.org/10.3390/md22120562>
- Mata-Gómez, LC., Mapelli-Brahm, P., Meléndez-Martínez, AJ., Méndez-Zavala, A., Morales-Oyervides, L., & Montañez, J. (2023). Microbial Carotenoid Synthesis Optimization in Goat Cheese Whey using the Robust Taguchi Method: A Sustainable Approach to Help Tackle Vitamin A Deficiency. *Foods*, 12(3), 658. <https://doi.org/10.3390/foods12030658>
- Munang, A., Latifah, N., Nurisulawati, I., & Setiawan, AW. (2024). Fish Waste-Based Organic Fertilizer Formulation with Taguchi Design of Experiment Approach. *2024 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/DASA63652.2024.10836370>
- Ngamsin, P., Janprachom, W., Seesaprai, Y., & Vanpetch, Y. (2024). Development of Smart Farming System using Internet of Things (Case Study: Hom Nil Chakraphat Rice, Bang Bo District, Samut Prakan Province, Thailand). *The EURASEANS: Journal on Global Socio-Economic Dynamics*, 6(49), 63–73. [https://doi.org/10.35678/2539-5645.6\(49\).2024.63-73](https://doi.org/10.35678/2539-5645.6(49).2024.63-73)
- Pashovska, S., Srbinska, M., & Bahtijari, G. (2024). The Role of the Entrepreneur in Modern Agribusiness and Choosing the Most Favorable Entrepreneurial Strategy. *Journal of Agriculture and Sustainable Rural Development-JASRD*, 2(3–4), 128–133. <https://doi.org/10.62792/ut.jasrd.v2.i3-4.p2678>
- Popova, OV., & Dolgova, SA. (2016). Modern State and Tendencies of Development of Entrepreneurship in Russian Agribusiness. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 56(8), 171–180. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2016-08.21>
- Qiu, X., & Wu, Y. (2021). Application of Taguchi Method to Improve the Sous Vide Processed Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*) Fillet Product Quality During Cold Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15565>
- Rayos, JCC., & Macaraeg, NA. (2024). Determinants of Production and Technical Efficiency of Tilapia Farming in the Philippines. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 26(6), 1–16. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2024/v26i6771>
- Ritchie, F., Sapelli, L., Smith, JA., Paveley, ND., Lees, AK., Bain, RA., & Ritchie, JM. (2025). Testing the Taguchi method to design and analyze integrated disease management strategies, for the control of late blight (PHYTOPHTHORA INFESTANS) on potato. *Pest Management Science*, ps.8629. <https://doi.org/10.1002/ps.8629>
- Safavi, M., Jafari Olia, MS., Abolhasani, MH., Amini, M., & Kianirad, M. (2021). Optimization of the Culture Medium and Characterization of Antioxidant Compounds of a Marine Isolated Microalga as a Promising Source in Aquaculture Feed. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35, 102098. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102098>



- Tab-eam, R., Lata, P., & Thawornsujaritkul, T. (2024). Guidelines for Future Agricultural Technology Development to Increase Productivity in the Agricultural Sector. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 8(7), 5180. <https://doi.org/10.24294/jipd.v8i7.5180>
- Tharek, A., Yahya, A., Salleh, MM., Jamaluddin, H., Yoshizaki, S., Dolah, R., Hara, H., Iwamoto, K., & Mohamad, SE. (2020). Improvement of Astaxanthin Production in *Coelastrum* sp. By Optimization using Taguchi Method. *Applied Food Biotechnology*, 7(4), 205–214. <https://doi.org/10.22037/afb.v7i4.29697>
- Vakili, R. (2023). The Application of Taguchi Method to Optimize Pellet Quality in Broiler Feeds. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 45, e58931. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v45i1.58931>



การสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ
ต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน
Topic Modeling and Text Clustering of Foreign Tourists' Reviews
on Khao Yai National Park Using Unsupervised Learning

จักรินทร์ สันติรัตนภักดี^{1*} และ ศุภกฤษฎี นิวัฒนากุล²

Chakkarin Santirattanaphakdi^{1*} and Suphakit Niwattanakul²

¹หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีธุรกิจดิจิทัล คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา

²สำนักวิทยาศาสตร์และศิลปดิจิทัล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

¹Bachelor of Business Administration Program in Digital Business Technology, Faculty of Business Administration,
Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province

²Institute of Digital Arts and Science, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima Province

*Corresponding Author: chakkarin_san@vu.ac.th

Received: March 4, 2025

Revised: March 14, 2025

Accepted: April 21, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนี้ รวบรวมบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่จากแพลตฟอร์มออนไลน์ต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 มกราคม 2566 ถึง 31 ธันวาคม 2567 รวมทั้งสิ้น 3,491 รายการ นำมาผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อมูล ก่อนจะแทนความหมายของคำ เพื่อแปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์เชิงตัวเลขโดยใช้เทคนิค TF-IDF เพื่อสร้างแบบจำลองหัวข้อด้วยการจัดสรรดีรีเคล พบว่าประกอบด้วย 5 หัวข้อหลัก ได้แก่ 1) สถานที่ท่องเที่ยวและสิ่งแวดล้อม 2) คุณภาพของบริการและสิ่งอำนวยความสะดวก 3) ค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่า 4) การเดินทางและการเข้าถึง และ 5) ประสบการณ์ส่วนตัวและความสนุกสนาน สอดคล้องกับผลการจัดกลุ่มแบบเคมีนกับบทวิจารณ์เชิงลบ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและโครงสร้างการกำหนดราคา 2) ด้านการเข้าถึงและความพึงพอใจในการบริการ และ 3) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและกิจกรรมการท่องเที่ยว ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว การแก้ไขข้อบกพร่องเหล่านี้จะช่วยกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสม เพื่อตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวที่หลากหลาย นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้ข้อมูลขนาดใหญ่ในการพัฒนานโยบายอย่างเป็นระบบ ยังเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางการบริหารจัดการที่ตอบสนองต่อปัญหา และสร้างความยั่งยืนด้านการท่องเที่ยวไทยในอนาคต

คำสำคัญ: การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน แบบจำลองหัวข้อ การจัดกลุ่มข้อความ การจัดสรรดีรีเคล การจัดกลุ่มแบบเคมีน



Abstract

This research on topic modeling combined with text clustering of international tourists' reviews on Khao Yai National Park utilizing unsupervised learning techniques collected a total of 3,491 reviews from various online platforms between January 1, 2023, and December 31, 2024. The data underwent a cleaning process before being transformed into numerical vectors using the Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF) technique. Topic modeling was then conducted using the Latent Dirichlet Allocation (LDA) method. The analysis identified five main topics: 1) tourist attractions and the natural environment, 2) service quality and available facilities, 3) costs and value for money, 4) transportation and accessibility, and 5) personal experiences and enjoyment. These results correspond with the findings from K-means clustering of negative reviews, which were categorized into three major groups: 1) entrance fees and pricing structures, 2) accessibility and service satisfaction, and 3) facilities and tourism activities. These factors were found to significantly influence tourist satisfaction. Addressing the identified shortcomings can support the development of appropriate strategies to meet the diverse needs of tourists. Furthermore, the application of big data in systematic policy development is instrumental in shaping responsive management approaches that effectively tackle emerging issues and contribute to the long-term sustainability of Thailand's tourism industry.

Keywords: Unsupervised learning, Topic modelling, Text clustering, Latent Dirichlet Allocation (LDA), K-Means clustering

1. บทนำ

การท่องเที่ยวของไทยยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่องจากความต้องการท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น รวมถึงการสนับสนุนจากภาครัฐที่มีมาตรการฟรีวีซ่าที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเดินทางเข้าประเทศ และการกลับมาของสายการบินและเที่ยวบินที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประเทศไทยเป็นหนึ่งในปลายทางหลักที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวจากทั่วโลก ในปี 2567 มีนักท่องเที่ยวต่างชาติถึง 35.54 ล้านคน และสร้างรายได้เข้าประเทศกว่า 1.67 ล้านล้านบาท (Ministry of Tourism and Sports, 2024)

หนึ่งในสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมมากที่สุดแห่งหนึ่งของประเทศไทยคืออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ซึ่งเป็นพื้นที่มรดกโลกทางธรรมชาติ (World Heritage Site) และอุทยานมรดกแห่งอาเซียน (ASEAN Heritage Park) โดยในปี 2565 มีจำนวนนักท่องเที่ยวถึง 1,428,765 คน แบ่งเป็นนักท่องเที่ยวชาวไทย 1,392,078 คน และชาวต่างชาติ 36,687 คน (National Statistical Office, Ministry of Digital Economy and Society, 2022) และเพิ่มเป็น 1,486,532 คน ในปี 2566 จากปริมาณนักท่องเที่ยวจำนวนมาก และพฤติกรรมนักท่องเที่ยวในยุคดิจิทัลจึงเกิดการแบ่งปันประสบการณ์การท่องเที่ยวผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวจึงต้องปรับตัวให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว เพื่อตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของนักท่องเที่ยวที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Kozak & Kozak, 2018) หนึ่งในข้อมูลสำคัญที่สามารถนำมาปรับปรุงการให้บริการของแหล่งท่องเที่ยว นั่นคือบทวิจารณ์สาธารณะ (Public reviews) ที่นักท่องเที่ยวได้แบ่งปันประสบการณ์ตรงที่เกี่ยวกับความพึงพอใจจากการท่องเที่ยว จุดเด่นของสถานที่ท่องเที่ยว รวมถึงความต้องการและความคาดหวังที่ยังไม่ถูกตอบสนองบนแพลตฟอร์มออนไลน์ (Kumar et al., 2022) อย่างไรก็ตาม มุมมองของนักท่องเที่ยวชาวไทยอาจส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อความพึงพอใจในแหล่งท่องเที่ยวในประเทศอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งแตกต่างจากนักท่องเที่ยวต่างชาติที่อาจประเมินคุณภาพจากมุมมองที่เน้นประสบการณ์



ชั่วคราวหรือเฉพาะด้านมากกว่า ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่หลากหลายจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติจะช่วยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องสามารถเข้าใจความต้องการได้อย่างรอบด้าน และนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพให้ตรงตามความคาดหวังของนักท่องเที่ยวได้อย่างยั่งยืน (Suntornteerasut et al., 2024)

งานวิจัยในปัจจุบันเกี่ยวกับการวิเคราะห์บทวิจารณ์การท่องเที่ยวแบ่งเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์และแนวโน้มต่าง ๆ ด้วยการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) การวิเคราะห์ความถี่ (Frequency analysis) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation analysis) เช่น ราคาทำเลที่ตั้ง หรือคุณภาพของสถานที่ท่องเที่ยว (Wonglapas & Rakha, 2024) ซึ่งสามารถประมวลผลข้อมูลขนาดใหญ่ได้อย่างรวดเร็วและให้ผลลัพธ์ที่เป็นรูปธรรม แต่ข้อจำกัดที่สำคัญคือไม่สามารถสะท้อนความรู้สึกจากนักท่องเที่ยวได้อย่างครบถ้วน 2) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) เพื่อทำความเข้าใจความรู้สึกเชิงลึกของนักท่องเที่ยว (Soltani-Nejad et al., 2022) ด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) การวิเคราะห์ธีม (Thematic analysis) และการวิเคราะห์กรณีศึกษา (Case study) ร่วมกับการสัมภาษณ์ ซึ่งมีจุดเด่นคือสามารถเข้าถึงมิติที่ซ่อนอยู่ของความคิดเห็น เช่น ความรู้สึกแรงจูงใจ หรือบริบทเฉพาะ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดในด้านระยะเวลา และอคติจากผู้วิเคราะห์ที่อาจมีผลต่อการตีความข้อมูล 3) การวิเคราะห์ความรู้สึก (Sentiment analysis) ในบทวิจารณ์ว่าเป็นเชิงบวก เชิงลบ หรือเป็นกลางที่มีต่อสถานที่ท่องเที่ยวหรือบริการ (George & Ramos, 2024) จากอัลกอริทึมต่าง ๆ เช่น นาอิวเบย์ (Naïve bayes) ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) หรือโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) เช่น หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long Short-Term Memory: LSTM) โมเดลเชิงภาษาบนสถาปัตยกรรม Transformer เช่น BERT หรือ RoBERTa รวมถึงเครื่องมือประเมินความรู้สึก เช่น TextBlob, Flair หรือ VADER ข้อดีคือสามารถสรุปภาพรวมได้อย่างเป็นระบบ แต่อาจเผชิญปัญหาเมื่อพบภาษาที่มีนัยซ่อนเร้น หรือภาษาที่มีความกำกวม นอกจากนี้โมเดลขนาดใหญ่ยังต้องการทรัพยากรในการประมวลผล จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานกับข้อมูลขนาดใหญ่ หรืออุปกรณ์ที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากร และ 4) การวิเคราะห์เนื้อหาเชิงลึก (Advanced text analytics) เพื่อสกัดข้อมูลเชิงลึกและค้นหาความสัมพันธ์ด้วยการประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural language processing: NLP) (Nawawi et al., 2024) เพื่อแยกคำสำคัญด้วยการวิเคราะห์โครงสร้างประโยค และหาความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหา เช่น การวิเคราะห์เครือข่ายความสัมพันธ์ (Network analysis) การทำเหมืองข้อความ (Text mining) และการวิเคราะห์หัวข้อ (Ali et al., 2022) เพื่อค้นหาหัวข้อหลักที่พบบ่อยครั้งจากบทวิจารณ์ นอกจากนี้การจัดกลุ่มข้อความ เพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งช่วยให้สามารถปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของแหล่งท่องเที่ยวและการให้บริการที่เกี่ยวข้องได้อย่างตรงจุด อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของแนวทางนี้คือความซับซ้อนในการประมวลผล และความจำเป็นในการมีผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์อย่างถูกต้อง

จากที่กล่าวมาคณะผู้วิจัยจึงได้เห็นถึงความสำคัญในการวิเคราะห์เนื้อหาเชิงลึกด้วยการประมวลผลภาษาธรรมชาติ จึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน ประกอบด้วยการสร้างแบบจำลองหัวข้อเพื่อจำแนกและสกัดหัวข้อหลัก รวมถึงหัวข้อย่อยที่ซ่อนอยู่ในบทวิจารณ์ได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งมีประโยชน์ในการวิเคราะห์เนื้อหาที่หลากหลายโดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ที่ละเอียดรายการ ส่งผลให้สามารถเข้าถึงประเด็นสำคัญที่นักท่องเที่ยวให้ความสนใจได้อย่างแม่นยำและครอบคลุม ในขณะที่การจัดกลุ่มข้อความที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ทำให้สามารถมองเห็นแนวโน้ม รูปแบบพฤติกรรม และความต้องการของนักท่องเที่ยวได้ชัดเจนยิ่งขึ้น กระบวนการดังกล่าวจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ และผลลัพธ์สามารถเป็นปัจจัยขับเคลื่อนหลักในการวางแผนพัฒนาคุณภาพการให้บริการของแหล่งท่องเที่ยวให้สอดคล้องและตอบสนองต่อความคาดหวังของนักท่องเที่ยวได้อย่างยั่งยืน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์เพื่อสร้างแบบจำลองหัวข้อ ร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย การสร้างชุดข้อมูลจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองหัวข้อ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มข้อความ มีรายละเอียดดัง Figure 1.

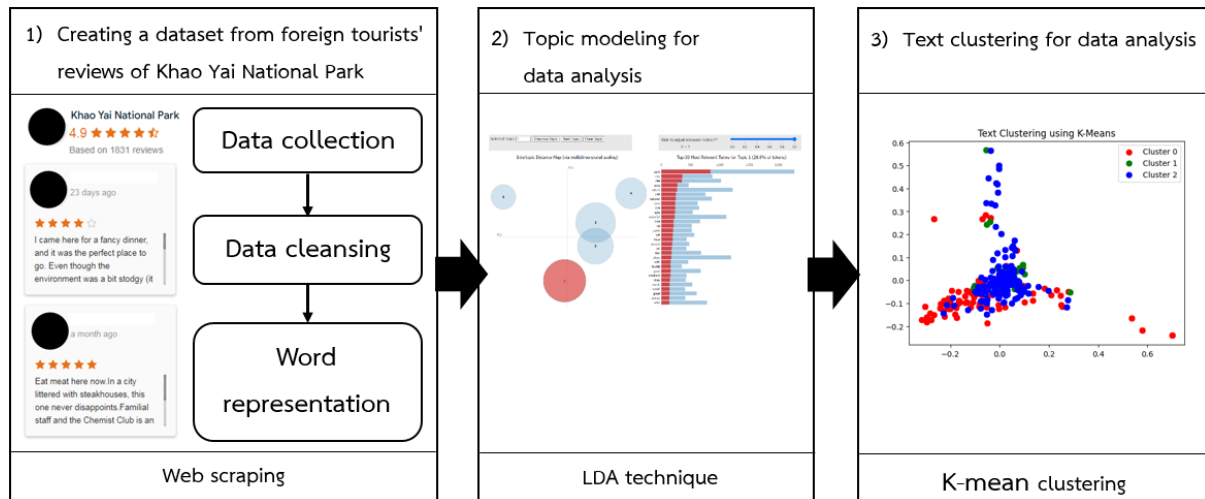


Figure 1. Conceptual framework

2.1 การสร้างชุดข้อมูลจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ (Creating a dataset from foreign tourists' reviews of Khao Yai National Park)

ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน มีรายละเอียดดังนี้

2.1.1 การรวบรวมข้อมูล (Data collection)

ด้วยการสกัดและดึงข้อมูล (Web scraping) จากแพลตฟอร์มออนไลน์ด้านการท่องเที่ยวที่เปิดให้นักท่องเที่ยวเข้ามาให้คะแนนและเขียนบทวิจารณ์สาธารณะต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เช่น Google reviews, Agoda.com, TripAdvisor.com และ Trip.com ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567 เป็นระยะเวลา 24 เดือน รวมทั้งสิ้น 3,491 รายการ

2.1.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data cleansing)

งานวิจัยนี้ใช้ไลบรารี NLTK (Natural language toolkit) ประกอบด้วยการนำเข้าชุดคำ ไร้ความหมายจาก nltk.corpus เช่น “the”, “is”, “and” เป็นต้น คำเหล่านี้ไม่มีนัยสำคัญต่อความหมายโดยรวมของข้อความ และมักถูกตัดออกก่อนการวิเคราะห์เพื่อให้โมเดลสามารถมุ่งเน้นไปยังคำที่มีความสำคัญมากกว่า เช่นเดียวกับการนำเข้า WordNetLemmatizer จาก nltk.stem ซึ่งใช้สำหรับการแปลงคำให้อยู่ในรูปแบบรากศัพท์ (Lemma) จากการดาวน์โหลด omw-1.4 (Open multilingual wordnet) ที่ช่วยให้การแปลงคำมีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยพิจารณาตามบริบททางไวยากรณ์ กระบวนการนี้ช่วยลดความหลากหลายของคำที่มีรูปแบบแตกต่างกันแต่มีความหมายคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ใช้ไลบรารี spaCy เพื่อตัดคำจากข้อความภาษาอังกฤษจาก en_core_web_sm ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นวัตถุ (Object) ที่ประกอบด้วยคำแต่ละคำและข้อมูลทางภาษาศาสตร์ที่สำคัญ เช่น ประโยค “this park is amazing!” จะถูกแยกเป็น



“this”, “park”, “is”, “amazing”, “!” จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่า word_tokenize จาก nltk.tokenize โดยเฉพาะเมื่อจัดการกับภาษาที่ซับซ้อนหรือคำที่มีรูปแบบพิเศษ เช่น คำย่อ เครื่องหมายวรรคตอน หรือชื่อเฉพาะ

2.1.3 การแทนความหมายของคำ (Word representation)

โดยแปลงข้อความให้กลายเป็นเวกเตอร์เชิงตัวเลขด้วยเทคนิค TF-IDF เพื่อช่วยวิเคราะห์ความสำคัญของคำในข้อความ จากการเรียกใช้ TfidfVectorizer ซึ่งอยู่ในไลบรารี scikit-learn หรือ sklearn ในการแปลงข้อความที่ผ่านการทำความสะอาดข้อมูลแล้วมาตัดคำในแต่ละข้อความออกเป็นหน่วยย่อย (Tokens) ก่อนจะคำนวณความถี่ของคำหรือ TF (Term Frequency) และความถี่ผกผันของเอกสาร หรือ IDF (Inverse Document Frequency) จากสมการที่ 1 และ 2

$$TF(t, d) = \frac{\int t, d}{\sum_{t' \in d} \int t', d} \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 1})$$

โดย $\int t, d$ คือจำนวนครั้งที่คำ t ปรากฏในเอกสาร d และตัวส่วนเป็นจำนวนรวมของคำทั้งหมดในเอกสาร d

$$IDF(t) = \log \left(\frac{N}{1 + DF(t)} \right) \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 2})$$

โดย N คือจำนวนเอกสารทั้งหมด และ $DF(t)$ คือจำนวนเอกสารที่มีคำ t ปรากฏอยู่ ซึ่งการบวก 1 ในตัวส่วนช่วยป้องกันปัญหาการหารด้วยศูนย์

ดังนั้นค่า TF-IDF จะช่วยถ่วงน้ำหนักของคำ โดยพิจารณาทั้งความสำคัญของคำภายในเอกสารเดียวกันและความสำคัญของคำเมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารทั้งหมดในชุดข้อมูลก่อนจะแปลงเป็นเวกเตอร์เชิงตัวเลข ดังสมการที่ 3

$$TF - IDF(t, d) = TF(t, d) \times IDF(t) \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 3})$$

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองหัวข้อ (Topic modeling for data analysis)

โดยนำเวกเตอร์ เชิงตัวเลขจากการแทนความหมายของคำ มากำหนดจำนวนหัวข้อที่ต้องการเป็น 3, 5, 7 และ 10 หัวข้อตามลำดับผ่านการจัดสรรดีรีเคล (Latent Dirichlet Allocation: LDA) (Blei et al., 2003) งานวิจัยนี้เลือกใช้ไลบรารี gensim ซึ่งเป็นไลบรารีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในงานประมวลผลภาษาธรรมชาติ โมเดลที่นำมาใช้คือ gensim.models.LdaModel โดยอาศัยอัลกอริทึมแบบ Online variational bayes ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ซ่อนอยู่เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นในการรองรับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ โดยไม่จำเป็นต้องโหลดข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่หน่วยความจำพร้อมกัน อีกทั้งยังทำงานแบบออนไลน์ (Online learning) เพื่ออัปเดตพารามิเตอร์ของโมเดลอย่างต่อเนื่อง และแสดงผลภาพข้อมูลผ่านไลบรารี pyLDAvis.gensim เป็นแผนภาพระยะห่างระหว่างหัวข้อ และรายการคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับแต่ละหัวข้อ ซึ่งช่วยให้สามารถตีความและวิเคราะห์ความหมายของแต่ละหัวข้อได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การตีความผลลัพธ์จากแบบจำลอง ผู้วิจัยจำเป็นต้องประเมินความเหมาะสมของจำนวนหัวข้อ โดยหัวข้อที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไปอาจส่งผลให้หัวข้อที่ได้มีความซ้ำซ้อน หรือไม่สามารถแยกแยะได้อย่างชัดเจน ร่วมกับตรวจสอบการกระจายตัวของหัวข้อให้ห่างกันพอสมควร (Non-overlapping) เพื่อบ่งชี้ว่าหัวข้อที่ได้มีความแตกต่างกันชัดเจน และสามารถ



นำไปสู่การตีความที่มีนัยสำคัญ ตลอดจนพิจารณาค่าที่เกี่ยวข้องกับแต่ละหัวข้อด้วยค่า Relevance score จากความถี่ของคำในแต่ละหัวข้อควบคู่กับค่าความสำคัญของคำในภาพรวม ดังนั้นการเลือกค่าพารามิเตอร์ในการปรับระดับความเกี่ยวข้องจึงมีผลต่อการแสดงหัวข้อที่เหมาะสม ก่อนจะแปลความหมายแต่ละหัวข้อโดยผู้วิจัยให้สอดคล้องกับบริบทด้านการท่องเที่ยว

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มข้อความ (Text clustering for data analysis)

งานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมเคมีน (K-Means) ในการจัดกลุ่มข้อมูลที่ไม่มีโครงสร้าง โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ในการหาความใกล้เคียงกันของข้อมูลในเชิงเวกเตอร์ ซึ่งทำงานผ่านกระบวนการที่เป็นเชิงซ้ำ (Iterative process) เพื่อหาจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มอย่างเหมาะสม เริ่มการกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ที่ต้องการจำแนก งานวิจัยนี้กำหนดเป็น 3, 5, 7 และ 10 กลุ่มตามลำดับ จากนั้นโมเดลจะสุ่มเลือกจุดศูนย์กลางเริ่มต้น (Initial centroids) จำนวน K จุดจากชุดข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ เพื่อใช้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม ก่อนจะคำนวณระยะทางของข้อมูลจากศูนย์กลางแต่ละกลุ่ม โดยใช้ระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean distance) เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลใดควรอยู่ในกลุ่มใด ดังสมการที่ 4

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 4})$$

โดยที่ x และ y แทนค่าพิกัดของข้อมูลและศูนย์กลางในแต่ละมิติ

จากสมการที่ 4 ระยะทางแบบยูคลิดเป็นระยะทางทางเรขาคณิตในปริภูมิเวกเตอร์ n มิติ ช่วยให้สามารถวัดความใกล้เคียงระหว่างข้อมูลแต่ละรายการกับศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม เพื่อพิจารณาว่าข้อมูลใดควรถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มใด เมื่อข้อมูลถูกจัดกลุ่มเสร็จสิ้นแล้ว จะคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่ของแต่ละกลุ่มโดยการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดในกลุ่มนั้น ซึ่งค่าที่ได้จะกลายเป็นศูนย์กลางใหม่ในแต่ละรอบของกระบวนการแบบวนซ้ำ (Iterative process) จนกว่าจุดศูนย์กลางจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งถือว่าเข้าสู่ภาวะคงที่ (Convergence)

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงประยุกต์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ด้วยการสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความด้วยการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน แบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ผลการสร้างชุดข้อมูลจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

จากการรวบรวมบทวิจารณ์สาธารณะต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่จากแพลตฟอร์มออนไลน์ด้านการท่องเที่ยว ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2566 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2567 ประกอบด้วยค่าคะแนนความพึงพอใจ และเนื้อหาบทวิจารณ์ภาษาอังกฤษ แบ่งเป็นค่าคะแนนความพึงพอใจระดับ 1, 2, 3, 4 และ 5 เป็นจำนวน 149, 158, 462, 788 และ 1,934 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 3,491 รายการ

กระบวนการทำความสะอาดข้อมูล เพื่อกำจัดข้อมูลที่ไม่จำเป็นและปรับข้อความให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการประมวลผล ประกอบด้วยการแปลงข้อความเป็นตัวอักษรพิมพ์เล็กทั้งหมด การลดรูปคำให้อยู่ในรูปแบบพื้นฐาน รวมถึงการลบอักขระพิเศษและเครื่องหมายวรรคตอนที่ไม่มีความหมายของข้อความ รายละเอียดดัง Table 1. คำที่มีความหมายที่ถูกลบออก ได้แก่ “an”, “and”, “is”, “the”, “its”, “well”, “so”, “during”, “you”, “will”, “to”, “it”, “at”, “where”, “or”, “such”, “as”, “with”, “in”, “my”, “not”, “for”, “but”, “more”, “on”, “of”,



“so”, “that”, “was”, “had”, “no”, “till”, “any” และ “has” รวมถึงแปลงเป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด เช่นเดียวกับ “hands” เมื่อถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบพื้นฐานจะเป็น “hand” ตลอดจนการลบอักขระพิเศษและเครื่องหมายวรรคตอน

Table 1. Example of a tourist review of Khao Yai National Park after data cleansing

Rating	Plain text	Cleaned text
5	An incredibly big and scenic park. Locals pay 40 thb per head while foreigners pay 100 thb. Its well worth the visit. Wild animals roam the massive park. Go during the winter months. The weather is cool and windy. You will need a car to go through the entire park.	incredibly big scenic park locals pay 40 thb per head foreigners pay 100 thb worth visit wild animals roam massive park winter month weather cool windy need car go entire park
4	The park is not meant for hiking, tracking but more on wheels, driving or biking. At places where you can park, stop over such as viewing points or waterfalls, it is usually crowded and with small stores selling food and drinks. The chance of encounters wild animals is slim in my opinion.	park meant hiking tracking wheel driving biking place park stop viewing point waterfall usually crowded small store selling food drink chance encounter wild animal slim opinion
3	Very beautiful place beautiful waterfall and overview. I paid for entry 400 + 20 thb, the price is very high for entry, did not like that there was no water in the toilet near the first waterfall. soaped my hands and had to look for water to wash off the soap. A lot of monkeys that robbed motorcycles	beautiful place beautiful waterfall overview paid entry 400 20 thb price high entry like water toilet near first waterfall soaped hand look water wash soap lot monkey robbed motorcycle
2	Not quite worth the 2.5 hour drive from Bangkok though. Some trails are not walkable due to fallen trees. Waterfalls are the main attraction but they were just ok. There are other things to see within the Khao Yai National Park, such as elephants and cliff, however no luck seeing them, and the cliff is closed till Oct 2024.	quite worth 2.5 hour drive bangkok though trail walkable due fallen tree waterfall main attraction ok thing see within khao yai national park elephant cliff however luck seeing cliff closed oct 2024
1	400 baht for foreigner, 40 baht for thai. Where is equity? Or you think foreigners so stupid to pay 400 baht for nothing. I'll never go to any of national parks anymore as it has no sense for such money.	400 baht foreigner 40 baht thai equity think foreigner stupid pay 400 baht nothing never go national park anymore sense money



การแทนความหมายของคำ เริ่มจากนำข้อความที่ผ่านการทำความสะอาดข้อมูลแล้ว (Cleaned text) มาตัดคำในแต่ละข้อความออกเป็นหน่วยย่อย (Tokens) ก่อนจะแปลงเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขในรูปแบบเวกเตอร์ (Vector) ด้วยการคำนวณค่า TF-IDF ช่วยวิเคราะห์ความสำคัญของคำในข้อความ ตัวอย่างประโยค “the park is good and awesome” และ “the park is disappointed” แทนด้วย doc1 และ doc2 ตามลำดับ รายละเอียดดัง Table 2. เวกเตอร์คุณลักษณะ (Feature vector) จากการคำนวณ TF-IDF จะแสดงถึงความสำคัญของคำในเอกสารแต่ละฉบับที่แตกต่างกัน เช่น “good”, “awesome” และ “disappointed” ที่ปรากฏในเอกสาร doc1 และ doc2 จึงสามารถใช้ในการแยกแยะคำสำคัญได้ดีขึ้น ในทางกลับกัน “the” และ “is” มีค่า TF-IDF ต่ำหรืออาจเท่ากับ 0 แสดงถึงเป็นคำที่ปรากฏบ่อย แต่ไม่ค่อยมีความสำคัญในเอกสาร และถือเป็นคำไร้ความหมายที่อาจถูกกำจัดตั้งแต่กระบวนการทำความสะอาดข้อความ เช่นเดียวกับ “and”

Table 2. Example of TF-IDF calculation for two documents

Word	TF		df	IDF(log ₂)	TF * IDF	
	doc1	doc2			doc1	doc2
the	1/7	1/7	2	$\log(2/2) = 0$	0	0
park	1/7	1/7	2	$\log(2/2) = 0$	0	0
is	1/7	1/7	2	$\log(2/2) = 0$	0	0
good	1/7	0	1	$\log(2/1) = 0.3010$	$0.3010 \times 1/7 \approx 0.043$	0
and	1/7	0	1	$\log(2/1) = 0.3010$	0.043	0
awesome	1/7	0	1	$\log(2/1) = 0.3010$	0.043	0
disappointed	0	1/7	1	$\log(2/1) = 0.3010$	0	0.043

3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแบบจำลองหัวข้อ

จากการนำเวกเตอร์เชิงตัวเลขที่ผ่านการแทนความหมายของคำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้วยการจัดสรรทีรีเคล เพื่อระบุหัวข้อที่ซ่อนอยู่ในบทวิจารณ์ ภายใต้แนวคิดที่ว่าแต่ละบทวิจารณ์เป็นการรวมกันของประเด็นย่อยหลายประเด็น และแต่ละประเด็นย่อยถูกประกอบขึ้นจากชุดของคำศัพท์ที่มีความสัมพันธ์กัน การวิเคราะห์ข้อความจึงต้องคำนึงถึงโครงสร้างเชิงเนื้อหาและการกระจายตัวของคำภายในแต่ละหัวข้อ ดัง Figure 2.

จาก Figure 2. ผลการวิเคราะห์หัวข้อด้วยการจัดสรรทีรีเคล และนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบภาพข้อมูลเชิงโต้ตอบผ่าน pyLDAvis ที่ช่วยให้สามารถตีความและวิเคราะห์โครงสร้างของหัวข้อได้อย่างชัดเจนขึ้น ประกอบด้วย

3.2.1 แผนที่ระยะห่างระหว่างหัวข้อ (Intertopic distance map)

แสดงการกระจายตัวของหัวข้อในรูปแบบ Multidimensional Scaling (MDS) โดยแต่ละวงกลมมีหมายเลขกำกับภายในแทนหัวข้อที่ได้จากการวิเคราะห์ และขนาดของวงกลมสะท้อนถึงสัดส่วนของข้อความที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อนั้นในชุดข้อมูลทั้งหมด

3.2.2 ความเกี่ยวข้องของคำศัพท์กับหัวข้อที่เลือก (Relevance metric: λ) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมความสำคัญของคำศัพท์แต่ละคำในแต่ละหัวข้อ โดยค่าความเกี่ยวข้องจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 คำนวณได้จากสมการที่ 5

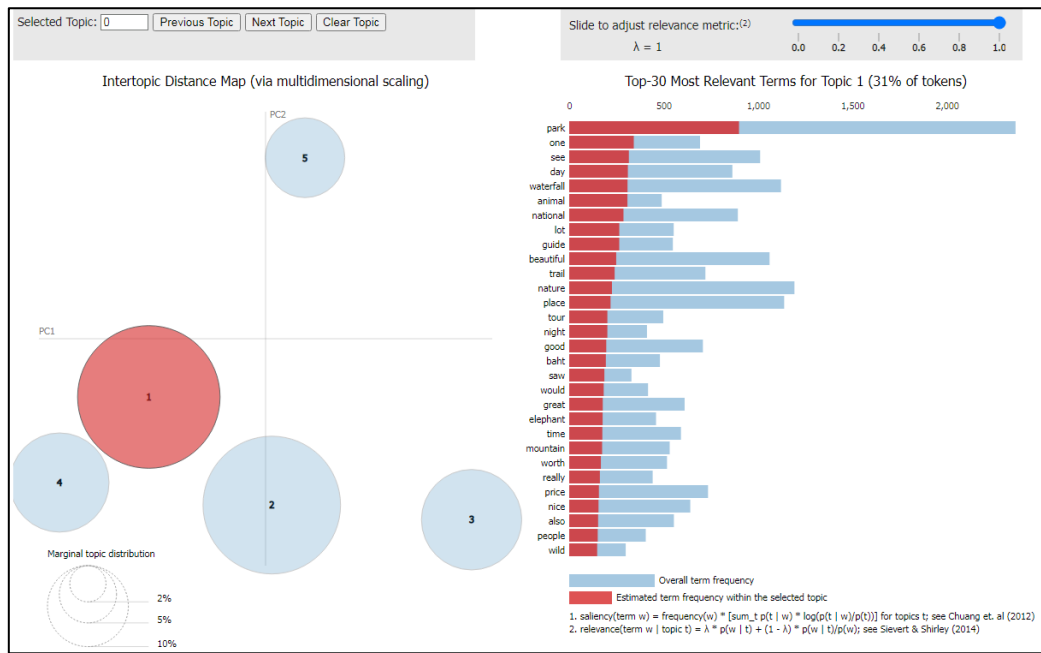


Figure 2. Topic Modeling Analysis Results with topic = 5

$$relevance(w|t) = \lambda P(w|t) + (1 - \lambda) \frac{P(w|t)}{P(w)} \quad \dots\dots\dots(\text{สมการที่ 5})$$

โดย $P(w|t)$ คือ ความน่าจะเป็นของคำ w ที่จะปรากฏในหัวข้อ t

$P(w)$ คือ ความน่าจะเป็นของคำ w ทั้งหมดในเอกสาร

λ คือ พารามิเตอร์ที่ควบคุมความสมดุลระหว่างสององค์ประกอบข้างต้น

จากสมการที่ 5 หากกำหนดค่าพารามิเตอร์ $\lambda = 1$ คำที่ปรากฏจะเป็นคำที่พบได้บ่อยที่สุดในหัวข้อที่เลือก ซึ่งหมายความว่าคำเหล่านี้เป็นคำที่ใช้ซ้ำบ่อยภายในหัวข้อนั้นโดยเฉพาะ โดยไม่มีการพิจารณาว่าคำเหล่านั้นกระจายอยู่ในเอกสารทั้งหมดมากน้อยเพียงใด วิธีนี้เหมาะสำหรับการระบุคำหลักที่เป็นเอกลักษณ์ของหัวข้อนั้น อย่างไรก็ตาม คำที่ใช้ทั่วไปในหลายหัวข้ออาจถูกนำมาแสดงด้วย ในทางตรงกันข้าม หากกำหนดค่า $\lambda = 0$ คำที่ถูกแสดงจะเป็นคำที่มีความจำเพาะกับหัวข้อที่เลือก โดยเปรียบเทียบกับกระจายของคำเหล่านั้นในเอกสารทั้งหมด ดังนั้นคำที่อาจมีความถี่ต่ำแต่มีบทบาทสำคัญในการแยกแยะหัวข้อนั้นออกจากหัวข้อนั้นจะถูกเน้นให้เห็นเด่นชัด วิธีนี้เหมาะสำหรับค้นหาคำที่ช่วยจำแนกหัวข้อต่าง ๆ ออกจากกันได้อย่างชัดเจน และเมื่อค่า λ อยู่ระหว่าง 0 และ 1 ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงทั้งคำที่มีความถี่สูงในหัวข้อที่เลือกและคำที่มีนัยสำคัญในการจำแนกหัวข้อ วิธีนี้ช่วยให้สามารถมองเห็นภาพรวมของหัวข้อนั้นได้อย่างสมดุล ทั้งในแง่ของคำที่ใช้บ่อยและคำที่มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างของโมเดล

3.2.3 คำที่มีความเกี่ยวข้องกับหัวข้อ (Most relevant terms)

ซึ่งแสดงคำศัพท์ที่มีอิทธิพลต่อหัวข้อที่เลือกประกอบด้วยความถี่ของคำในเอกสารทั้งหมด (Overall term frequency) แทนด้วยสีฟ้า และความถี่ของคำในหัวข้อที่เลือก (Estimated term frequency within the selected topic) แทนด้วยสีแดง



จากผลการวิเคราะห์หัวข้อด้วยการจัดสรรตรีเคล พบว่า การกระจายตัวของหัวข้อและคำที่เกี่ยวข้องในหัวข้อที่ 1 เป็นหัวข้อหลักของชุดข้อมูล เนื่องจากมีขนาดใหญ่ที่สุดและประกอบด้วยคำที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวและธรรมชาติ ในขณะที่หัวข้ออื่น ๆ มีขนาดเล็กกว่า สะท้อนให้เห็นถึงเนื้อหาที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น นอกจากนี้ระยะห่างระหว่างวงกลมแสดงถึงความแตกต่างของเนื้อหา หากหัวข้ออยู่ห่างจากกลุ่มของหัวข้ออื่นมากหมายถึงหัวข้อนั้นมีเนื้อหาที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ในทางกลับกันวงกลมที่อยู่ใกล้กันสะท้อนถึงหัวข้อที่มีเนื้อหาคล้ายคลึงกันหรือมีคำที่ซ้อนทับกันสูง อันจะเห็นได้จากหัวข้อที่ 5 ซึ่งแยกตัวออกจากกลุ่มของหัวข้ออื่นอย่างชัดเจน อาจหมายถึงเนื้อหาที่แตกต่างจากหัวข้ออื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ รวมถึงอาจเป็นเรื่องที่ไม่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวหรือมีคำศัพท์เฉพาะที่แตกต่างจากหัวข้อหลักดัง Table 3.

Table 3. Topic analysis results using LDA: 5 key topics emphasized in the reviews

Topics	Keywords
1. Tourist attractions and environment	park, nature, beautiful, trail, waterfall, mountain, scenario, guide
2. Service quality and amenities	staff, service, friendly, helpful, hotel, restaurant, clean, food
3. Cost and value for money	price, expensive, worth, money, cheap, ticket, entrance, cost
4. Transportation and accessibility	transport, bus, taxi, road, drive, parking, far, location
5. Personal experience and enjoyment	fun, experience, amazing, enjoy, exciting, great, love, adventure

จากตารางที่ 3 สามารถแบ่งผลการวิเคราะห์หัวข้อจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ที่สะท้อนถึงสิ่งที่นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญ ได้แก่ 1) สถานที่ท่องเที่ยวและสิ่งแวดล้อม (Tourist attractions and environment) จากบทวิจารณ์ในกลุ่มนี้ที่กล่าวถึงความงามของธรรมชาติ น้ำตก เส้นทางเดินป่า สัตว์ป่า และภูเขา รวมถึงการแนะนำสถานที่ และเส้นทางที่น่าสนใจในการเยี่ยมชม 2) คุณภาพของบริการและสิ่งอำนวยความสะดวก (Service quality and amenities) หัวข้อนี้เกี่ยวข้องกับคุณภาพบริการของโรงแรม ร้านอาหาร และผู้ให้บริการ โดยที่นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญเน้นเรื่องความสะดวกสบายที่พัก ความเป็นกันเองของเจ้าหน้าที่ และคุณภาพอาหาร 3) ค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่า (Cost and value for money) ที่สะท้อนถึงความพึงพอใจเกี่ยวกับค่าธรรมเนียม โดยเฉพาะการเปรียบเทียบระหว่างชาวไทยและชาวต่างชาติ ทั้งความรู้สึกว่าเหมาะสมหรือสูงเกินไปสำหรับประสบการณ์ที่ได้รับจากการท่องเที่ยวในสถานที่อื่น ๆ 4) การเดินทางและการเข้าถึง (Transportation and accessibility) ตลอดจนปัญหาและอุปสรรคในการเดินทาง เช่น จำนวนยานพาหนะในช่วงเทศกาลหรือวันหยุดยาว การใช้ความเร็วเกินกฎหมายกำหนดในเส้นทางสาธารณะ หรือค่าบริการขนส่งสาธารณะที่ไม่ครอบคลุม ยากต่อการเข้าถึงและมีราคาแพง และ 5) ประสบการณ์ส่วนตัวและความสนุกสนาน (Personal experience and enjoyment) โดยใช้คำที่มีความหมายเชิงบวกจากความประทับใจในการท่องเที่ยว ซึ่งสอดคล้องกับกิจกรรมที่หลากหลายและตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวได้ทุกรูปแบบ

การวิจัยนี้แบ่งการทดสอบโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ความเกี่ยวข้อง (λ) ที่แตกต่างกัน เพื่อแสดงถึงผลกระทบของการเลือกจำนวนหัวข้อในการสรุปข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 3, 5, 7 และ 10 หัวข้อตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้ เมื่อแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อ กำหนด $\lambda = 1.0$ ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นหัวข้อที่กว้างและครอบคลุม เช่น สถานที่ การบริการและค่าใช้จ่ายจากคำที่พบได้บ่อย เช่น “hotel”, “food” และ “transport” ซึ่งยังไม่สามารถแยกแยะหัวข้อย่อยได้อย่างชัดเจน เมื่อใช้ $\lambda = 0.6$ เริ่มเห็นคำที่เฉพาะเจาะจงมากขึ้น เช่น “mountain”, “adventure” และ “experience” สำหรับหัวข้อที่เกี่ยวกับสถานที่ แต่ยังไม่สามารถแยกแยะหัวข้อย่อยได้ดีมากนัก แต่เมื่อใช้ $\lambda = 0.3$ คำที่เลือกมีความสำคัญเชิงจำแนกที่ชัดเจนมากขึ้น เช่น “parking”, “taxi” และ “expensive” แต่ยังคงมีข้อจำกัดในการแยกหัวข้อย่อยได้อย่างสมบูรณ์ เช่นเดียวกับการแบ่งเป็น 5 หัวข้อ โดยกำหนด $\lambda = 1.0$ พบว่าการแบ่งหัวข้อยังคงค่อนข้างคลุมเครือ และคำที่โดดเด่นยังเป็น



คำที่ทั่วไป แต่เมื่อใช้ $\lambda = 0.6$ หัวข้อเริ่มมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ประกอบด้วย สถานที่ท่องเที่ยว เช่น “park”, “waterfall” และ “trail” การบริการ เช่น “staff”, “hotel” และ “friendly” คำใช้จ่าย เช่น “expensive”, “ticket” และ “worth” การเดินทาง เช่น “bus”, “taxi” และ “drive” และประสบการณ์โดยรวม เช่น “fun”, “amazing” และ “enjoy” เป็นต้น โดยคำที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อจะมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ซึ่งสามารถทำให้การแยกแยะหัวข้อย่อยทำได้ดีขึ้น และเมื่อใช้ $\lambda = 0.3$ การจำแนกหัวข้อชัดเจนขึ้น เช่น หัวข้อค่าใช้จ่ายสามารถแยกออกจากการเดินทางได้ดีขึ้น ดังนั้นการใช้ 5 หัวข้อจึงเหมาะสมสำหรับการอธิบายข้อมูลให้ครบถ้วน โดยการลดค่าของ λ ช่วยแยกแยะคำที่เฉพาะเจาะจงได้ดีขึ้น

นอกจากนั้นเมื่อแบ่งเป็น 7 หัวข้อ กำหนด $\lambda = 1.0$ พบว่าหัวข้อที่แยกออกมาหลัก ๆ ยังคงมีความคล้ายคลึงกับ 5 หัวข้อเดิม แต่เมื่อใช้ $\lambda = 0.6$ จะสามารถแยกคำที่เฉพาะเจาะจงได้มากขึ้น ประกอบด้วยอาหาร โรงแรม และการบริการ ซึ่งแยกออกจากกันได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อใช้ $\lambda = 0.3$ หัวข้อที่ได้มีรายละเอียดลึกขึ้น ประกอบด้วยอาหารและร้านอาหาร เช่น “food”, “taste” และ “delicious” ตลอดจนรีวิวเชิงบวก เช่น “wonderful”, “love” และ “unforgettable” หรือรีวิวเชิงลบ เช่น “dirty”, “bad” และ “terrible” ซึ่งมีความเฉพาะเจาะจงมากขึ้น แต่บางหัวข้อเริ่มเล็กลงไปและอาจไม่มีความหมายที่ชัดเจน เช่น “spicy” สำหรับอาหาร หรือ “overprice” สำหรับค่าใช้จ่าย ตลอดจนการแบ่งเป็น 10 หัวข้อ เมื่อใช้ $\lambda = 1.0$ พบว่าหัวข้อที่ได้มีความซ้ำซ้อนกันมาก จึงไม่สามารถแยกแยะข้อมูลได้อย่างชัดเจน หรือเมื่อใช้ $\lambda = 0.6$ พบว่าการแยกรีวิวเชิงบวก และรีวิวเชิงลบออกจากกันทำได้ดีขึ้น แต่บางหัวข้ออาจแตกย่อยมากเกินไป เช่น บ้านพักอุทยานกับลานกางเต็นท์ ซึ่งมีบริบทที่แตกต่างกันในด้านความสะดวกสบาย แต่เมื่อใช้ $\lambda = 0.3$ คำที่ปรากฏมีความเฉพาะทางมาก เช่น “vegan” และ “rush hour” ซึ่งบางครั้งยากต่อการตีความข้อมูล ส่วนเมื่อใช้ $\lambda = 0.0$ หัวข้อเริ่มแตกเป็นกลุ่มย่อยที่อาจไม่จำเป็น และบางหัวข้อเริ่มซ้ำซ้อนกันเกินไปและยากต่อการทำความเข้าใจ

3.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการจัดกลุ่มข้อความแบบเคมีน

จากการนำเวกเตอร์เชิงตัวเลขที่ผ่านการแทนความหมายของคำมาใช้ในการคำนวณระยะห่างระหว่างข้อมูล โดยกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการ และสุ่มเลือกจุดเซ็นทรอยด์จำนวน K จุด เพื่อเป็นจุดตั้งต้นของแต่ละกลุ่ม ก่อนจะจัดกลุ่มข้อมูลจากการคำนวณระยะห่างจากข้อมูลนั้นไปยังจุดเซ็นทรอยด์ของแต่ละกลุ่ม และจัดกลุ่มข้อมูลให้ใกล้เคียงกับจุดเซ็นทรอยด์ที่มีระยะห่างน้อยที่สุด แล้วจะทำการปรับค่า เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของจุดเซ็นทรอยด์ใหม่สำหรับแต่ละกลุ่มซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจุดเซ็นทรอยด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

งานวิจัยนี้กำหนดจำนวนกลุ่ม (K) เริ่มต้นเท่ากับ 3 เมื่อนำผลการจัดกลุ่มมาผ่านกระบวนการลดมิติข้อมูลด้วย PCA (Principal Component Analysis) โดยการหาทิศทางที่ข้อมูลมีความแปรปรวนสูงสุด และใช้ทิศทางเหล่านั้นเป็นแกนใหม่เพื่อแทนข้อมูลเดิม ซึ่งช่วยให้สามารถแสดงผลข้อมูลใน 2 มิติได้โดยที่ยังคงลักษณะสำคัญของข้อมูลไว้ ก่อนจะนำมาแสดงผลด้วยแผนภาพการกระจาย (Scatter plot) และวิเคราะห์คำสำคัญในแต่ละกลุ่ม รายละเอียด Figure 3.

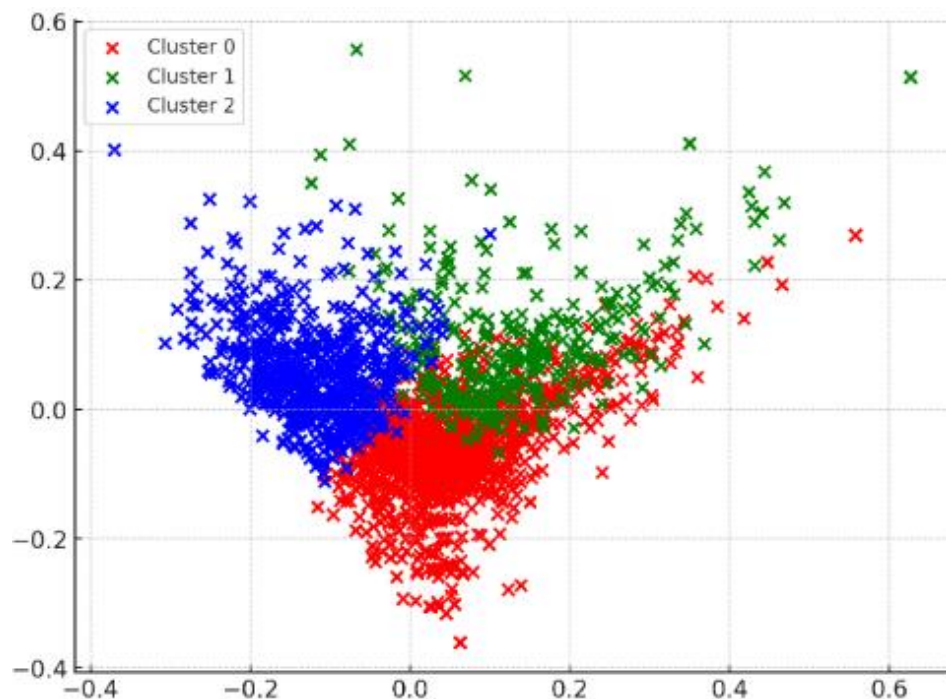


Figure 3. Clustering Results Using K-Means with K = 3

จาก Figure 3. ผลการวิเคราะห์บทวิจารณ์สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลักในประเด็นที่แตกต่างกันตามบริบท ได้แก่ 1) ประสบการณ์เกี่ยวกับสัตว์ป่าและบริการนำเที่ยว (Wildlife experience and guided tours) 2) ความสวยงามของธรรมชาติและแหล่งท่องเที่ยวภายในอุทยาน (Natural beauty and tourist attractions) และ 3) ค่าธรรมเนียมและความคุ้มค่า (Fees and value for tourism) ดัง Table 4.

Table 4. Key terms from K-Means clustering with K = 3

Clusters	Keywords
1. Wildlife experience and guided tours	park, guide, saw, day, animals, elephants, tour, great, wildlife, monkeys
2. Natural beauty and tourist attractions	park, mountain, atmosphere, reservoir, visit, beautiful, waterfalls, nature, view, day
3. Fees and value for tourism	place, park, beautiful, 400, good, thai, visit, nature, baht, nice

จาก Table 4. ผลลัพธ์จากการจัดกลุ่มข้อความแบบเคมีน ประกอบด้วย Cluster 0 (สีแดง) นักท่องเที่ยวในกลุ่มนี้ มุ่งเน้นไปที่ประสบการณ์เกี่ยวกับสัตว์ป่า โดยเฉพาะการพบเห็นช้าง ลิง และสัตว์อื่น ๆ นอกจากนี้ยังมีการกล่าวถึงบริการนำเที่ยวโดยผู้นำทางหรือไกด์ ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกและให้ความรู้เกี่ยวกับระบบนิเวศของอุทยาน ซึ่งสะท้อนถึงความต้องการของนักท่องเที่ยวที่มองหาโอกาสในการชมสัตว์ป่าในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ Cluster 1 (สีเขียว) บทวิจารณ์ในกลุ่มนี้ กล่าวถึงลักษณะทางธรรมชาติของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เช่น น้ำตก ป่าไม้ และความสวยงามของระบบนิเวศ นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่แสดงความชื่นชมต่อทัศนียภาพของอุทยาน และให้ความเห็นว่าควรค่าแก่การเดินทางมาเยี่ยมชม และ Cluster 2

(สีน้ำเงิน) บทวิจารณ์ในกลุ่มนี้มุ่งเน้นไปที่ค่าธรรมเนียมเข้าอุทยาน ซึ่งบางบทวิจารณ์แสดงความคิดเห็นว่ามีอัตราที่สูงเกินไป เมื่อเทียบกับค่าธรรมเนียมสำหรับชาวไทย นอกจากนี้ยังมีความคิดเห็นเกี่ยวกับความคุ้มค่าของการเข้าชมอุทยาน ทั้งในด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและประสบการณ์ที่ได้รับสะท้อนถึงข้อกังวลเกี่ยวกับค่าธรรมเนียมเข้าอุทยาน โดยบทวิจารณ์จำนวนไม่น้อยแสดงความคิดเห็นว่าค่าธรรมเนียมมีอัตราสูงกว่าเมื่อเทียบกับนักท่องเที่ยวชาวไทย ปัจจุบันนี้เป็นประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาเพื่อหาสมดุลระหว่างการสร้างรายได้จากการท่องเที่ยวและการเข้าถึงของนักท่องเที่ยวต่างชาติ

เนื่องจากบทวิจารณ์ที่มีคะแนนสูงมักจะไม่นับข้อบกพร่องหรือปัญหามากนัก จึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึก งานวิจัยนี้จึงได้คัดเลือกเฉพาะบทวิจารณ์ที่มีคะแนนความพึงพอใจเท่ากับ 3, 2 และ 1 จำนวน 462, 158 และ 149 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 769 รายการเพื่อทำการจัดกลุ่มข้อความอีกครั้ง ผลการวิเคราะห์บทวิจารณ์เชิงลบจากนักท่องเที่ยวต่างชาติ พบว่า จำแนกเป็น 3 กลุ่ม ดัง Figure 4.

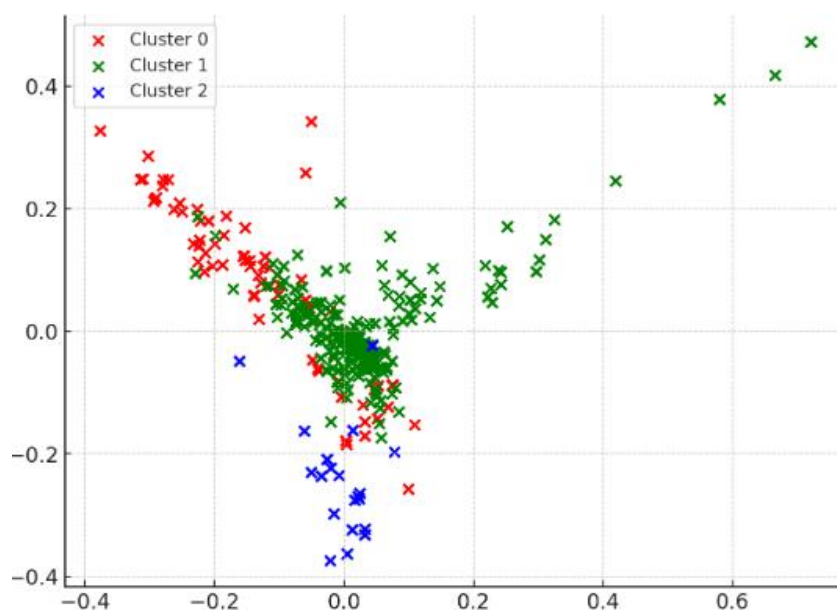


Figure 4. K-means clustering results for negative reviews with K = 3

จาก Figure 4. เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลของแต่ละกลุ่มในภาพรวม พบว่าไม่มีจุดข้อมูลใดที่แยกตัวออกห่างจากกลุ่มอย่างชัดเจน (Outlier) สะท้อนว่าข้อมูลที่ใช้จัดกลุ่มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และทุกกลุ่มมีบทบาทสำคัญต่อการวิเคราะห์ความคิดเห็นของนักท่องเที่ยวอย่างครอบคลุม เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่าการวิเคราะห์และจัดกลุ่มบทวิจารณ์เชิงลบออกเป็น 3 กลุ่ม ประกอบด้วย Cluster 0 (สีแดง) ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและโครงสร้างการกำหนดราคาถือเป็นหนึ่งในประเด็นหลักที่นักท่องเที่ยวให้ความสนใจ คำสำคัญที่ปรากฏในกลุ่มนี้ ได้แก่ “entrance”, “fee”, “thai”, “pay”, “price” และ “foreign” เป็นต้น ซึ่งอาจสะท้อนถึงข้อสังเกตเกี่ยวกับค่าธรรมเนียมการเข้าชมและอัตราค่าบริการ อาจมาจากความต้องการข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้นเกี่ยวกับโครงสร้างราคา ตลอดจนแนวทางการเรียกเก็บค่าธรรมเนียมที่มีความสอดคล้องกับคุณภาพของบริการและสิ่งอำนวยความสะดวก เช่นเดียวกับ Cluster 1 (สีเขียว) ด้านการเข้าถึงและความพึงพอใจในการบริการ โดยเฉพาะการเดินทางและการใช้บริการภายในอุทยานเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญ คำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มนี้ ได้แก่ “hard”, “new”, “disappointed”, “help” และ “watch” เป็นต้น ซึ่งอาจสะท้อนถึงข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความสะดวกสบายในการเดินทาง เช่น ความต้องการระบบขนส่งสาธารณะที่ง่ายต่อการเข้าถึงและเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบ การเพิ่มจำนวนป้ายบอกทางและพัฒนาให้ชัดเจนยิ่งขึ้น เส้นทางที่เหมาะสมกับการเดินเท้า รวมถึง



การให้บริการข้อมูลและความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ที่รองรับความต้องการของนักท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Cluster 2 (สีน้ำเงิน) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและกิจกรรมการท่องเที่ยว นอกเหนือจากเส้นทางธรรมชาติและทัศนียภาพที่งดงาม สิ่งอำนวยความสะดวกและตัวเลือกในการทำกิจกรรมภายในอุทยานก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว คำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มนี้ ได้แก่ “activities”, “choice”, “time”, “rent”, “signs” และ “camp” รวมถึง “watch” ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมส่องชีวิตสัตว์ป่า ซึ่งสะท้อนถึงข้อเสนอแนะเกี่ยวกับความหลากหลายของกิจกรรมและสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น เพิ่มตัวเลือกในการท่องเที่ยว มีป้ายบอกทางที่ครอบคลุมพื้นที่สำคัญ และการพัฒนาพื้นที่ให้บริการ เป็นต้น

อย่างไรก็ดี เมื่อทดสอบจัดกลุ่มข้อความออกเป็น 5, 7 และ 10 กลุ่ม เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มของปัญหาและศึกษาผลกระทบของจำนวนกลุ่มต่อความชัดเจนของผลลัพธ์ พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวนเป็น 5 กลุ่มจะมีการแยกย่อยออกไปโดยจำแนกเพิ่มเติมเป็นด้านการบริการของเจ้าหน้าที่และข้อมูลสำหรับนักท่องเที่ยว และด้านกิจกรรมและคุณภาพของแหล่งท่องเที่ยว นอกเหนือจากสามกลุ่มเดิม ส่งผลให้สามารถมองเห็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการและความคาดหวังของนักท่องเที่ยวได้ชัดเจนขึ้น โดยเฉพาะเรื่องความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่และคุณภาพของกิจกรรมที่น่าเสนอ อย่างไรก็ตาม บางกลุ่มอาจยังมีประเด็นที่ทับซ้อนกัน ทำให้ยังไม่สามารถแยกย่อยปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ เช่นเดียวกับการจัดเป็น 7 กลุ่มช่วยให้สามารถจำแนกปัญหาได้อย่างเฉพาะเจาะจงมากขึ้น โดยแยกปัญหาเกี่ยวกับเส้นทางเดินป่าและสิ่งแวดล้อมภายในอุทยาน ความเท่าเทียมด้านค่าธรรมเนียม และคุณภาพของอาหารและร้านค้าภายในอุทยานออกจากกลุ่มเดิมได้ ซึ่งการเพิ่มจำนวนกลุ่มทำให้สามารถมองเห็นข้อบกพร่องที่เป็นปัญหาเชิงลึก เช่น การบำรุงรักษาสิ่งอำนวยความสะดวกและป้ายบอกทางที่อาจยังไม่มี ความชัดเจนเพียงพอ นอกจากนี้ นักท่องเที่ยวบางกลุ่มยังสะท้อนถึงความไม่คุ้มค่าของค่าธรรมเนียมเมื่อเทียบกับคุณภาพของสถานที่และบริการที่ได้รับ การจัดกลุ่มในลักษณะนี้ช่วยให้เห็นภาพรวมของความต้องการที่มีความซับซ้อนมากขึ้น แต่บางกลุ่มอาจมีขนาดเล็กเกินไปจนทำให้ขาดความสำคัญในภาพรวมของปัญหา และเมื่อจัดเป็น 10 กลุ่ม พบว่าปัญหามีการกระจายตัวอย่างละเอียด และเฉพาะเจาะจงมากขึ้น เช่น ด้านป้ายบอกทางและระบบนำทาง ด้านความปลอดภัยของนักท่องเที่ยวจากสัตว์มีพิษหรือสัตว์ที่ลงมาหากินในพื้นที่ยามค่ำคืน และด้านระบบขนส่งสาธารณะในการเข้าถึงอุทยาน ตลอดจนยังสามารถจำแนกปัญหาด้านค่าธรรมเนียมออกเป็นหลายมิติ เช่น ค่าธรรมเนียมที่ไม่สมเหตุสมผล และค่าบริการเพิ่มเติมที่ไม่ได้รับแจ้งล่วงหน้า อย่างไรก็ตาม จำนวนกลุ่มที่มากอาจทำให้การสรุปผลทำได้ยากขึ้น เนื่องจากต้องพิจารณาประเด็นที่มีความซับซ้อนมากขึ้น และบางกลุ่มอาจมีเนื้อหาที่คล้ายคลึงกันมากเกินไป

4. การอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์บทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ผ่านการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน โดยใช้การสร้างแบบจำลองหัวข้อและการจัดกลุ่มข้อความ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการสร้างแบบจำลองหัวข้อ

พบว่า นักท่องเที่ยวให้ความสำคัญกับประเด็นหลัก 5 ด้าน ได้แก่ 1) สถานที่ท่องเที่ยวและสิ่งแวดล้อม 2) คุณภาพของบริการและสิ่งอำนวยความสะดวก 3) ค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่า 4) การเดินทางและการเข้าถึง และ 5) ประสบการณ์ส่วนตัวและความสนุกสนาน ซึ่งสามารถเชื่อมโยงกับกรอบการวิเคราะห์จุดหมายปลายทางการท่องเที่ยวแบบ 6A (Six As Framework for the Analysis of Tourism Destinations) ของ Buhalis (2000) ประกอบด้วยด้านสิ่งดึงดูดใจ (Attractions) ของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ เช่น ทิวทัศน์ น้ำตก จุดชมวิว และเส้นทางศึกษาธรรมชาติที่มีระบบนิเวศอุดมสมบูรณ์ ต่อมาคือการเข้าถึง (Accessibility) นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่เห็นว่าการเดินทางมายังอุทยานทำได้สะดวกโดยใช้รถยนต์ส่วนตัว อย่างไรก็ตาม มีข้อจำกัดในเรื่องของระบบขนส่งสาธารณะที่อาจทำให้นักท่องเที่ยวบางกลุ่มเข้าถึงพื้นที่ได้ยากในส่วน of สิ่งอำนวยความสะดวก (Amenities) แม้ว่าจะมีบริการพื้นฐาน เช่น ที่พัก ลานกางเต็นท์ ร้านอาหาร และ



ศูนย์บริการนักท่องเที่ยว แต่นักท่องเที่ยวบางส่วนให้ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับคุณภาพของห้องน้ำสาธารณะ ความสะอาดของพื้นที่และความพร้อมของระบบสาธารณูปโภค เช่น ไฟฟ้าและน้ำประปา นอกจากนี้ ยังมีข้อเรียกร้องให้พัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกเพิ่มเติมเพื่อรองรับกลุ่มนักท่องเที่ยวที่มีความต้องการเฉพาะ เช่น กลุ่มครอบครัวหรือผู้สูงอายุ นอกจากนี้การให้บริการแบบเป็นชุด (Available packages) และกิจกรรมการท่องเที่ยว (Activities) ที่หลากหลายตอบสนองความต้องการของกลุ่มนักท่องเที่ยวที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นการเดินป่า ปั่นจักรยาน หรือส่องสัตว์ โดยนักท่องเที่ยวส่วนใหญ่ให้ความเห็นเชิงบวกเกี่ยวกับโอกาสในการสัมผัสธรรมชาติอย่างใกล้ชิด และการให้บริการของแหล่งท่องเที่ยว (Ancillary services) นักท่องเที่ยวแสดงความพึงพอใจต่อการบริการข้อมูลจากศูนย์บริการนักท่องเที่ยว และระบบจองที่พักออนไลน์ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อเสนอแนะให้เพิ่มการชำระเงินแบบอิเล็กทรอนิกส์เพื่อรองรับพฤติกรรมของนักท่องเที่ยว

4.2 ผลการจัดกลุ่มข้อความ

พบว่า นักท่องเที่ยวให้ความสนใจในประเด็นที่แตกต่างกันสามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพเกี่ยวกับสัตว์ป่าและบริการนำเที่ยว 2) ความสวยงามของธรรมชาติและแหล่งท่องเที่ยวภายในอุทยาน และ 3) ประเด็นเกี่ยวกับค่าธรรมเนียมและความคุ้มค่า เมื่อพิจารณาในรายละเอียด เพื่อการศึกษาปัญหาหรือข้อบกพร่องที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติพบเจอในอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ พบว่า ความคิดเห็นเชิงลบสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและโครงสร้างการกำหนดราคาที่มีราคาสูงเมื่อเทียบกับสิ่งอำนวยความสะดวกและบริการที่ได้รับ นอกจากนี้ การกำหนดราคาที่แตกต่างกันระหว่างชาวไทยและชาวต่างชาติ ยังถูกมองว่าอาจส่งผลกระทบต่อ การรับรู้ความคุ้มค่า 2) ด้านการเข้าถึงและความพึงพอใจในการบริการ จากข้อจำกัดด้านระบบขนส่งสาธารณะที่ไม่ครอบคลุม ส่งผลให้ต้องใช้บริการรถบริการท้องถิ่นหรือทัวร์นำเที่ยว ซึ่งอาจมีค่าใช้จ่ายสูงและมีมาตรฐานแตกต่างกัน และ 3) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและกิจกรรมการท่องเที่ยว จากข้อจำกัดในด้านความหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มนักท่องเที่ยวที่เดินทางเป็นครอบครัวหรือผู้สูงอายุ สอดคล้องกับทฤษฎีคุณค่าโดยรวม (Overall value theory) ของ Zeithaml (1988) ที่อธิบายว่าความคุ้มค่าที่รับรู้ (Perceived value) เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสิ่งที่ได้รับ (Benefits) กับสิ่งที่ต้องเสียไป (Sacrifices) ในการประเมินประสบการณ์การท่องเที่ยวจึงต้องให้ความสำคัญทั้งปัจจัยที่เป็นรูปธรรม เช่น ค่าใช้จ่ายและคุณภาพของบริการ และปัจจัยที่เป็นนามธรรม เช่น ความสะดวกในการเดินทางและความประทับใจต่อธรรมชาติ โดยองค์ประกอบของความคุ้มค่าในการท่องเที่ยว โดยเฉพาะเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคุณค่าทางการเงิน (Economic value) ที่สะท้อนถึงการที่นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติเปรียบเทียบค่าธรรมเนียมเข้าชมกับประสบการณ์ที่ได้รับ ซึ่งอาจเกิดความรู้สึกไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับประสบการณ์ที่ได้รับกับคุณค่าทางประสบการณ์ (Experiential value) เกิดจากความประทับใจที่ได้รับจากธรรมชาติและสัตว์ป่า เช่น การเดินป่าหรือการชมสัตว์ป่าหายาก ซึ่งเป็นจุดเด่นของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะได้ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองหัวข้อร่วมกับการจัดกลุ่มข้อความจากบทวิจารณ์ของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติต่ออุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน รวบรวมบทวิจารณ์เกี่ยวกับอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่จากแพลตฟอร์มออนไลน์ออนไลน์ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2566 ถึง 31 ธันวาคม 2567 รวมทั้งสิ้น 3,491 รายการผ่านกระบวนการทำความสะอาดข้อมูล ก่อนจะแทนความหมายของคำ เพื่อแปลงข้อความให้อยู่ในรูปแบบเวกเตอร์เชิงตัวเลขด้วยเทคนิค TF-IDF จากนั้นสร้างแบบจำลองหัวข้อด้วยการจัดสรรทีรีเคล ประกอบด้วย 5 หัวข้อหลัก ได้แก่ 1) สถานที่ท่องเที่ยวและสิ่งแวดล้อมเป็นหัวข้อที่ได้รับการกล่าวถึงในเชิงบวกมากที่สุด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ดึงดูดนักท่องเที่ยว



2) คุณภาพของบริการและสิ่งอำนวยความสะดวก จากข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานให้มีมาตรฐานที่ดีขึ้น เพื่อรองรับจำนวนนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้น 3) ค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าเป็นประเด็นที่มีความคิดเห็นในหลากหลายมุมมอง บางกลุ่มอาจเห็นว่าค่าธรรมเนียมอาจสูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งอำนวยความสะดวกและบริการที่มีอยู่ 4) การเดินทาง และการเข้าถึงที่ระบบขนส่งสาธารณะมีข้อจำกัด ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคสำหรับนักท่องเที่ยวที่ไม่มีพาหนะส่วนตัว และ 5) ประสบการณ์ส่วนตัวและความสนุกสนานจากข้อจำกัดในการเลือกทำกิจกรรมในช่วงเวลา เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่า การปรับค่าพารามิเตอร์ ส่งผลโดยตรงต่อความเฉพาะเจาะจงของคำภายในแต่ละหัวข้อ โดยการกำหนดค่าที่ต่ำช่วยให้ โมเดลสามารถระบุคำที่มีลักษณะเฉพาะของแต่ละกลุ่มหัวข้อได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในทางกลับกัน จำนวนหัวข้อที่มากเกินไป อาจทำให้เกิดความซ้ำซ้อนระหว่างหัวข้อหรือทำให้ข้อมูลกระจายตัวมากเกินไปจนยากต่อการตีความ ดังนั้นการเลือกจำนวนหัวข้อ และกำหนดค่าพารามิเตอร์อย่างเหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของการวิเคราะห์เนื้อหา

นอกจากนั้น ผลการจัดกลุ่มข้อความแบบเคมีนออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและ โครงสร้างการกำหนดราคา 2) ด้านการเข้าถึงและความพึงพอใจในการบริการ และ 3) ด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและ กิจกรรมการท่องเที่ยว โดยทุกกลุ่มมีการกระจุกตัวและทิศทางการกระจายที่ต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะของเนื้อหา ภายในกลุ่มที่มีความเฉพาะเจาะจงในตัวเอง เมื่อพิจารณารูปแบบการกระจายของข้อมูลแต่ละกลุ่ม พบว่า ด้านการเข้าถึงและ ความพึงพอใจในการบริการมีการกระจายตัวกว้างมากกว่ากลุ่มอื่น และแผ่กระจายออกไปในหลายทิศทาง ซึ่งอาจสะท้อนถึง ความคิดเห็นที่หลากหลายภายในกลุ่มที่ครอบคลุมหลายด้าน ในขณะที่ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและโครงสร้างการกำหนด ราคา และด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและกิจกรรมการท่องเที่ยวนั้นมีลักษณะการกระจุกตัวหนาแน่นกว่า สื่อให้เห็นถึงความ คล้ายคลึงกันของข้อมูลภายในที่อาจมุ่งเน้นไปยังประเด็นใดประเด็นหนึ่งเป็นหลัก นอกจากนี้ยังพบว่า ความคิดเห็นเชิงลบใน ด้านค่าธรรมเนียมการเข้าชมและโครงสร้างการกำหนดราคามีแนวโน้มอยู่ห่างจากกลุ่มอื่นอย่างเด่นชัด ขณะที่ด้านการเข้าถึง และความพึงพอใจในการบริการ และด้านสิ่งอำนวยความสะดวกและกิจกรรมการท่องเที่ยว ยังมีบางจุดที่แทรกอยู่ใกล้กัน ซึ่งอาจเป็นตัวสะท้อนถึงความสัมพันธ์หรือความทับซ้อนของเนื้อหาในบางประเด็น แม้จะอยู่คนละกลุ่มก็ตาม

จะเห็นได้ว่าผลการวิจัยนี้สามารถสกัดข้อมูลเชิงลึกที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนและพัฒนาการจัดการแหล่งท่องเที่ยว โดยเฉพาะในบริบทของการท่องเที่ยวเชิงธรรมชาติในประเทศไทย ช่วยให้สามารถมองเห็นแนวโน้มของปัญหาที่เกิดขึ้นในมุมมองของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาการ ให้บริการให้สอดคล้องกับความคาดหวังของนักท่องเที่ยว และช่วยเพิ่มระดับความพึงพอใจจากการท่องเที่ยวในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

การเลือกแบบจำลองสำหรับการวิเคราะห์ข้อความถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของผลลัพธ์โดยตรง แม้การจัดสรรทรัพยากรจะเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการจับความสัมพันธ์เชิงบริบทของคำภายใน ประโยค ในทางกลับกัน โมเดลเชิงภาษาที่พัฒนามาบนสถาปัตยกรรม Transformer เช่น BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) หรือ RoBERTa (Robustly Optimized BERT Pretraining Approach) สามารถ เรียนรู้บริบทของคำภายในประโยคได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยกลไก Self-attention ที่สามารถพิจารณาความสัมพันธ์ ระหว่างคำทั้งก่อนหน้าและถัดไปภายในข้อความเดียวกัน นอกจากนี้ ยังสามารถปรับแต่ง (Fine-tuning) ให้สามารถวิเคราะห์ ข้อความเฉพาะทาง ได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้ควรพิจารณาทั้งในด้านวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และ ข้อจำกัดด้านทรัพยากร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดกับลักษณะของข้อมูลและเป้าหมายของงานวิจัย



6. เอกสารอ้างอิง

- Ali, T., Omar, B., & Soulimane, K. (2022). Analyzing tourism reviews using an LDA topic-based sentiment analysis approach. *MethodsX*, 9, 101894.
- Blei, DM., Ng, AY., & Jordan, MI. (2003). Latent Dirichlet allocation. *Journal of Machine Learning Research*, 3(2003), 993–1022.
- Buhalis, D. (2000). Marketing the competitive destination of the future. *Tourism Management*, 21(1), 97–116
- George, OA., & Ramos, CMQ. (2024). Sentiment analysis applied to tourism: Exploring tourist-generated content in the case of a wellness tourism destination. *International Journal of Spa and Wellness*, 7(2), 139–161.
- Kozak, M., & Kozak, N. (2018). *Tourist behavior* (1st ed.). Springer International Publishing.
- Kumar, N., Sousa, BB., & Sharma, S. (2022). *Tourist behavior: Past, present, and future*. CRC Press/Apple Academic Press.
- Ministry of Tourism and Sports. (2024). Preliminary statistics on international tourists entering Thailand, Ministry of Tourism and Sports. Retrieved from <https://www.mots.go.th/news/category/759>. (in Thai)
- National Statistical Office, Ministry of Digital Economy and Society. (2022). Number of tourists in national parks, fiscal year 2022. Retrieved from <https://directory.gdcatalog.go.th/Dataset/Content/83aedce9-4cc1-4127-9d44-1b2f7c423add>. Accessed ??? (in Thai)
- Nawawi, I., Ilmawan, KF., Maarif, MR., & Syafrudin, M. (2024). Exploring tourist experience through online reviews using aspect-based sentiment analysis with zero-shot learning for hospitality service enhancement. *Information*, 15(8), 499.
- Soltani-Nejad, N., Rastegar, R., Shahriari-Mehr, G., & Taheri-Azad, F. (2024). Conceptualizing tourist journey: Qualitative analysis of tourist experiences on TripAdvisor. *Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism*, 25(2), 343-364.
- Suntornteerasut, P., Darawong, C., & Wongvedvanij, R. (2024). The impact of travel experience on tourist satisfaction and intention to revisit towards wellness tourism in Thailand. *Journal of Business, Innovation and Sustainability*, 19(4), 160-179. (in Thai)
- Wonglapas, S. & Rakha, C. (2024). Structural equation modeling analysis of service quality affecting tourist loyalty in the Mekong River lifestyle-based tourism development area for sustainable grassroots economy development. *Southern Technology Journal*, 17(1), 14–26. (in Thai)
- Zeithaml, VA. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: A means-end model and synthesis of evidence. *Journal of Marketing*, 52(3), 2–22.



การศึกษาความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ (ศรีสะเกษ – ท่าเรือแหลมฉบัง)

Feasibility Study of Multimodal Freight Transport using Trucks and Trains (Sisaket-Laem Chabang Port)

โชติรส นพพลกรัง¹ ณัฐกร โต๊ะสิงห์¹ ปกรณ์ชัย สุพัฒน์² และ ทิพย์สุดา กุมพันธ์^{1*}

Chotiros Nopphonkrang¹ Nathagorn Tosing¹ Pakornchai Suphat² and Thipsuda Kumphan^{1*}

¹คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

²คณะครุศาสตร์และการพัฒนามนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ

¹Faculty of Liberal Arts and Science, Sisaket Rajabhat University, Sisaket province

²Faculty of Education and Human Development, Sisaket Rajabhat University, Sisaket province

*Corresponding Author: Thipsuda.k@sskru.ac.th

Received: March 23, 2025

Revised: May 22, 2025

Accepted: July 4, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ในเส้นทางศรีสะเกษ-ท่าเรือแหลมฉบัง โดยเน้นการเชื่อมโยงระหว่างระบบขนส่งทางถนนและทางราง เพื่อลดต้นทุนการขนส่งและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันในภาคการขนส่งของประเทศไทย การวิจัยดำเนินการด้วยวิธีการเชิงคุณภาพ เก็บข้อมูลจากกลุ่มผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ ผู้ประกอบการขนส่ง ผู้ส่งออก เจ้าหน้าที่ภาครัฐ และผู้แทนหอการค้าในจังหวัดศรีสะเกษ ผ่านการสัมภาษณ์เชิงลึก การสนทนากลุ่ม และการสำรวจภาคสนาม สินค้าหลักที่ขนส่งในเส้นทางนี้ ได้แก่ มันสำปะหลังและอ้อย ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การพัฒนาระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีศักยภาพสูงในการลดต้นทุนกิจกรรมการขนส่ง 4,910 บาทต่อเที่ยวการขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 40.92 เมื่อเทียบกับการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียวตามแนวคิดระบบต้นทุนฐานกิจกรรม สอดคล้องกับผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ พบว่า การพัฒนาระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีอัตราผลตอบแทนภายใน เท่ากับร้อยละ 15-18 โดยระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 7-8 ปี อีกทั้งมีโครงสร้างพื้นฐานที่มีศักยภาพสูงเหมาะที่จะพัฒนาเป็นจุดเชื่อมโยงระหว่างทางรางและทางถนน รวมถึงการสร้างศูนย์กระจายสินค้าขนาดเล็ก ได้แก่ สถานีบ้านหนองแวง แม้ว่าการพัฒนาระบบนี้จะช่วยลดต้นทุนและเพิ่มความสามารถในการขนส่ง แต่ยังคงเผชิญกับข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ความไม่เพียงพอของสถานีขนถ่ายสินค้าและความเชื่อมโยงระหว่างระบบรางกับถนนในพื้นที่ชนบท การสนับสนุนจากภาครัฐในด้านการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน และการพัฒนานโยบายที่เหมาะสม ที่เป็นปัจจัยสำคัญเพื่อผลักดันให้เกิดการใช้งานระบบขนส่งต่อเนื่องอย่างเต็มศักยภาพ

คำสำคัญ: การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ การลดต้นทุนโลจิสติกส์ การศึกษาความเป็นไปได้



Abstract

This study examines the feasibility of developing a multimodal transport system along the Sisaket–Laem Chabang corridor, focusing on the integration of road and rail networks to enhance cost efficiency and competitiveness in Thailand's logistics sector. A qualitative methodology was adopted, involving in-depth interviews, focus group discussions, and field surveys with key stakeholders, including transport operators, exporters, government officials, and representatives from the Sisaket Chamber of Commerce. The primary commodities on this route are cassava and sugarcane. The results show that implementing a multimodal transport approach could reduce transportation activity costs by 4,910 Baht per trip representing a 40.92% cost saving compared to conventional road-only transport based on the Activity-Based Costing (ABC) framework. Project feasibility analysis revealed an internal rate of return (IRR) of 15–18% and a payback period of approximately 7 to 8 years. Ban Nong Waeng Station was identified as a strategically located site suitable for development into a small-scale distribution hub and rail-road transfer point. Despite its potential, the proposed system faces infrastructure-related limitations, such as the inadequacy of transshipment facilities and weak rail-road connectivity in rural areas. To maximize the system's effectiveness, policy support and public investment in infrastructure development will be essential. This study contributes practical insights into multimodal planning for regional logistics networks in emerging economies.

Keywords: Multimodal transport, Logistics cost reduction, Feasibility study

1. บทนำ

การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 (พ.ศ. 2566 - 2570) เป็นการปฏิรูปเพื่อแก้ไขปัญหาพื้นฐานท่ามกลางสถานการณ์โลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สังคมโลกมีความเชื่อมโยงใกล้ชิดกันเป็นสภาพไร้พรมแดนมากขึ้น การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบโลจิสติกส์ภายใต้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 จึงมุ่งเน้นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านคมนาคมและโลจิสติกส์ เป้าหมายสำคัญของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบโลจิสติกส์ ตลอดจนระบบขนส่งเพื่อลดต้นทุนโลจิสติกส์จากร้อยละ 14 เป็นร้อยละ 12 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ โดยมีสัดส่วนต้นทุนการขนส่งสินค้าต่ำกว่าร้อยละ 7 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ รวมถึงเพิ่มปริมาณการขนส่งสินค้าทางราง และทางน้ำต่อปริมาณการขนส่งสินค้าทั้งหมดภายในประเทศ เป็นร้อยละ 4 และร้อยละ 15 ตามลำดับ ในปี 2564 จังหวัดศรีสะเกษมีฐานทุนการพัฒนาตามแผนพัฒนาตามแผนพัฒนาจังหวัด พศ.2566-2570 ในด้านเศรษฐกิจมีสินค้าที่ส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ ข้าว แป้ง ชันไม้สัก ยูคาลิปตัส หอมแดง โดยการขนส่งสินค้าส่วนใหญ่ใช้วิธีการขนส่งทางถนนเป็นหลัก แม้ว่าภาครัฐจะให้การสนับสนุนแนวคิดการพัฒนารูปแบบการขนส่งหลายรูปแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนโลจิสติกส์ ซึ่งถือเป็นกุญแจสู่ความสำเร็จในการให้บริการลูกค้าและเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันในธุรกิจภาคการขนส่ง แต่การผสมผสานรูปแบบการขนส่งในประเทศไทยยังมีข้อจำกัดและไม่เกิดผลเป็นรูปธรรมมากนัก จึงเป็นที่มาของการศึกษาการศึกษาความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ (ศรีสะเกษ – ท่าเรือแหลมฉบัง) ซึ่ง Pinyowong (2016) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจขนส่งสินค้าต่อเนื่องด้วยรถบรรทุกและรถไฟ กรณีศึกษาการขนส่งสินค้าอุปโภคบริโภคบนเส้นทางแหลมฉบัง – หนองตะไกร จังหวัดอุดรธานี เป็นการ



สนับสนุนนโยบายการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งสู่รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ภายใต้ยุทธศาสตร์การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก ใน (ร่าง) แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2560 - 2564) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส และภัยคุกคาม และประเมินความเป็นไปได้ของธุรกิจขนส่งสินค้าต่อเนื่องด้วยรถบรรทุกและรถไฟ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และด้านการเงิน อีกทั้ง Jiang (2010) ศึกษาเกี่ยวกับธุรกิจขนส่งต่อเนื่องร่วมกันระหว่างรถบรรทุกและรถไฟบนพื้นฐานด้านโลจิสติกส์ พบว่าแนวโน้มการเติบโตของการขนส่งสินค้าเกิดจากการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ โดยแผนการปรับเปลี่ยนและการส่งเสริมด้านโลจิสติกส์ได้มีการกำหนดว่า ควรส่งเสริมการเชื่อมโยงระบบการขนส่งที่แตกต่างกันและการประสานงานเกี่ยวกับโครงสร้างพื้นฐานด้านโลจิสติกส์โดยตระหนักถึง "non-stop express" ในระบบการขนส่งที่แตกต่างกัน และการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง การขนส่งต่อเนื่องร่วมกันระหว่างรถบรรทุกและรถไฟเป็นรูปแบบสำคัญของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบภายในประเทศ ดังนั้นจึงศึกษาทฤษฎีและวิธีการของธุรกิจขนส่งต่อเนื่องร่วมกันระหว่างรถบรรทุกและรถไฟตามแนวทางการพัฒนาด้านโลจิสติกส์และการขนส่งต่อเนื่องทั้งภายในและระหว่างประเทศ ตลอดจนวิเคราะห์รูปแบบการขนส่งทางถนนและทางรางของประเทศ ซึ่ง Muangnuae (2013) ได้ศึกษาเรื่องประเทศไทยกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ พบว่าการที่ประเทศไทยจะประสบความสำเร็จและเป็นผู้นำด้านการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบทั้งทางราง ทางถนน ทางน้ำ และทางอากาศ ในภูมิภาคอาเซียน ซึ่งเอื้อประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยนั้น หน่วยงานภาครัฐจะต้องให้การสนับสนุนส่งเสริมผู้ประกอบการทั้งภาคอุตสาหกรรม ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ให้บริการขนส่งโดยเฉพาะผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมให้เข้าใจถึงผลกระทบและการเตรียมตัวในเรื่องการปรับตัวขององค์กรรวมถึงการออกกฎระเบียบข้อบังคับให้สอดคล้องและรองรับ พรบ.ขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบตลอดจนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อรองรับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบอย่างเป็นรูปธรรม Phamornmongkhonchai et al. (2020) ทำการศึกษาด้านต้นทุนการขนส่งสินค้าตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างสถานีบรรจุและแยกสินค้ากล่องกับท่าเรือแหลมฉบัง ซึ่งเป็นเส้นทางที่สำคัญเส้นทางหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับการรถไฟแห่งประเทศไทย เนื่องจากการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์นั้น ประกอบด้วยกระบวนการทำงานและกิจกรรมหลายขั้นตอน งานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธี Activity Based Costing มาประยุกต์ใช้ในการหาต้นทุน พบว่าการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์นั้นประกอบด้วยกิจกรรมหลายกิจกรรม และบางกิจกรรมมีค่าใช้จ่ายแฝง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแยกให้ได้อย่างชัดเจนว่าต้นทุนแต่ละประเภทนั้นมีสัดส่วนเท่าใด อีกทั้ง Athikomrattanakul & Rattanachum (2017) ศึกษาต้นทุนในการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก โดยทำการวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรมและวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรมในกระบวนการขนส่ง โดยผู้วิจัยเลือกเอาบริษัทขนส่งปูนซีเมนต์มาดำเนินการศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากปูนซีเมนต์เป็นสินค้าที่มีความสำคัญ มีปริมาณการผลิตสูง มีปริมาณการขนส่งทางถนนและมีระยะทางในการขนส่งสูงเป็นลำดับต้นๆ ของประเทศไทย จากการศึกษาพบว่า ต้นทุนกิจกรรมขนส่งสินค้ามีสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 82.76 และ Koothongsumrit & Meethom (2021) ทำการศึกษาการเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบระหว่างประเทศไทยกับเวียดนาม พบว่าเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ A5 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด เริ่มต้นด้วยการขนส่งด้วยรถบรรทุกจากนิคมอุตสาหกรรมอมตะนครผ่านด่านศุลกากรลาวบาวไปยังท่าอากาศยานนานาชาติดานัง จากนั้นใช้การขนส่งด้วยเครื่องบินไปยังท่าอากาศยานนานาชาติเดียนเบียนฟู และสุดท้ายใช้การขนส่งด้วยรถบรรทุกไปยังศูนย์กระจายสินค้าในนครโฮจิมินห์

โดยในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิด เรื่องการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ มาใช้ในการพัฒนาและสนับสนุนการใช้ระบบขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรม (Activity Based Costing) และประยุกต์ใช้ร่วมกับแนวคิดด้านการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการได้แก่ วิเคราะห์ด้านการตลาด (Market Analysis), วิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) วิเคราะห์ด้านการจัดการ (Management Analysis) วิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) ทำให้เพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ ซึ่งจะมีผลดีต่อธุรกิจในระยะยาวและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้เติบโตอย่างยั่งยืน



2. วิธีดำเนินการวิจัย

จังหวัดศรีสะเกษ เป็นจังหวัดที่ทำการเกษตร โดยเฉพาะพืชไร่ ได้แก่ มันสำปะหลัง และอ้อยโรงงาน ส่วนการทำนา มีทั้งนาปีและนาปรัง โดยจะทำในลักษณะนาหว่าน นาหว่านตาม นาดำ ในปี พ.ศ. 2565 มีเนื้อที่ปลูกข้าวนาปี ทั้งสิ้น 3,024,005 ไร่ ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้ 1,177,811.59 ตัน ผลผลิตเฉลี่ย 389.49 กิโลกรัมต่อไร่ ในปี 2565 พืชไร่นิยมปลูกกันมาก เช่น มันสำปะหลังโรงงาน อ้อยโรงงาน ฯลฯ ส่วนไม้ผล และไม้ยืนต้นที่นิยมปลูก เช่น ยางพารา ปาล์มน้ำมัน ทุเรียน เงาะ ฝรั่ง ลำไย มะม่วง มังคุด ลองกอง เป็นต้น สำหรับพืชผักที่นิยมปลูกกันมาก ได้แก่ หอมแดง พริกชี้หนู กระเทียมหัว จำนวนฟาร์มที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด 7,107 ฟาร์มปริมาณสัตว์น้ำจืด ที่จับได้ 1,144,400 กิโลกรัม ปริมาณสินค้าที่ขนส่งจากจังหวัดศรีสะเกษไปยังท่าเรือแหลมฉบังนั้น แม้จะไม่มีตัวเลขที่แน่ชัด แต่สามารถประมาณการได้จากข้อมูลการผลิตและการส่งออก โดยเฉพาะสินค้าเกษตรที่มีการส่งออกต่างประเทศ เช่น ข้าว ผลไม้ หอมแดง ผักต่างๆ และผลิตภัณฑ์แปรรูปทางการเกษตร ซึ่งอาจมีปริมาณหลายแสนตันต่อปี

2.1 การเก็บข้อมูล

2.1.1 เดือนมกราคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2567 ผู้วิจัยได้ใช้การสนทนากลุ่ม (Focus Group) โดยผู้ให้ข้อมูล ได้แก่ กลุ่มผู้ขนส่งสินค้า กลุ่มผู้ส่งออกสินค้าจากจังหวัดศรีสะเกษ หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง หอการค้าจังหวัด ศรีสะเกษ รวมทั้งหมด 6 คน ดำเนินกระบวนการ Focus Group (Pinyowong, 2016) ซึ่งกลุ่มผู้เข้าร่วมมีส่วนร่วมในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น โดยผู้วิจัยใช้ประเด็น การปรับการขนส่งสินค้าจากรูปแบบการใช้รถบรรทุกเพียงอย่างเดียวมาเป็นรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ มาเป็นประเด็นหลักในการพูดคุย เพื่อคัดเลือกผู้ให้ข้อมูล ร่วมกับวิธีการ Snowball Sampling ในการสร้างข้อคำถามเชื่อมโยงในประเด็นต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ต้นทุนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ลักษณะเส้นทางที่ใช้ในการขนส่ง เป็นต้น

2.1.2 เดือนเมษายน พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2567 เมื่อผู้วิจัยได้ผู้ให้ข้อมูลที่สมัครใจและพร้อมให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลแล้ว ผู้วิจัยได้เริ่มเก็บข้อมูลโดยใช้การสำรวจภาคสนามพื้นที่สำรวจจุดที่จะมีการสร้างท่าขนถ่ายสินค้าทางราง บ้านหนองแวง สำรวจเส้นทางขนส่งทางถนน หมายเลข 24 และ 226 สำรวจจุดรวบรวมสินค้าสำหรับการขนส่งสินค้าทางถนน ณ ตลาดท่าเรือศรีสะเกษ รวมทั้งการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกกับกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลัก เพื่อหาข้อมูลที่เป็นสำหรับการเขียนกรณีศึกษา

2.1.3 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2567 เป็นช่วงของการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบแล้วแยกเป็นหมวดหมู่ตามเนื้อหา วัตถุประสงค์ วิเคราะห์โดยใช้กรอบแนวคิด การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ ศรีสะเกษ – แหลมฉบัง วิเคราะห์ด้านการตลาด (Market Analysis) วิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) วิเคราะห์ด้านการจัดการ (Management Analysis) วิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) เชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ของข้อมูล จนสามารถนำมาเป็นรูปแบบและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายของการพัฒนาการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจังหวัดศรีสะเกษ

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1 การสำรวจ ผู้วิจัยใช้การสำรวจข้อมูลภาคสนาม โดยได้ลงพื้นที่สำรวจจุดที่จะมีการสร้างท่าขนถ่ายสินค้าทางราง บ้านหนองแวง สำรวจเส้นทางขนส่งทางถนน หมายเลข 24 และ 226 สำรวจจุดรวบรวมสินค้าสำหรับการขนส่งสินค้าทางถนน ณ ตลาดท่าเรือศรีสะเกษ

2.2.2 การสัมภาษณ์ ผู้วิจัยได้เตรียมประเด็นหลักสำหรับการสัมภาษณ์ผู้ให้ข้อมูล และนำมาประยุกต์ใช้กับการสัมภาษณ์แบบเจาะลึกและแบบสนทนากลุ่ม (Phamornmongkhonchai et al., 2020) จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบแล้วแยกเป็นหมวดหมู่ตามเนื้อหาและวัตถุประสงค์โดยจำแนกเพื่อเรียงลำดับตามความสำคัญ และได้พิจารณา



คำตอบที่มีผู้ให้ข้อมูลตอบมากที่สุด ไปหาน้อยที่สุด ว่ามีความสำคัญมากและรองลงมาตามลำดับ แล้ววิเคราะห์โดยใช้กรอบแนวคิดที่กำหนดไว้ เชื่อมโยงหาความสัมพันธ์ของข้อมูล ข้อมูลที่ได้รับมาจะต้องนำมาวิเคราะห์หาความเป็นไปได้ของการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟในเขตศรีสะเกษ – แห่มดบัง ในมิติต่าง ๆ ได้แก่ ข้อมูลรูปแบบการส่งสินค้าในปัจจุบัน ข้อมูลวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรม ข้อมูลเกี่ยวข้องกับการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ 4 องค์ประกอบ ดังนี้ วิเคราะห์ด้านการตลาด (Market Analysis) วิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) วิเคราะห์ด้านการจัดการ (Management Analysis) วิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) ในที่นี้ประเมินความเป็นไปได้โดยใช้หลักเกณฑ์การตัดสินใจเพื่อลงทุนได้แก่

1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{เงินสดเข้าสุทธิต่อปีหลังภาษี}} \dots\dots\dots (1)$$

2. อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return) สูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$I - \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

กำหนดให้

I	=	เงินลงทุนเริ่มแรก
C_t	=	กระแสเงินสดได้สุทธิในแต่ละงวด
t	=	ปีที่ 1 ถึงปีที่ n
n	=	จำนวนงวดดอกเบี้ย/จำนวนปี
r	=	อัตราดอกเบี้ย/อัตราผลตอบแทน

3. ผลการวิจัย

3.1 รูปแบบการขนส่งสินค้าในจังหวัดศรีสะเกษที่ส่งสินค้าไปยังท่าเรือแหลมฉบังในปัจจุบัน

การขนส่งสินค้าเพื่อส่งออกไปยังต่างประเทศในปัจจุบันนั้น นับว่าเป็นส่วนสำคัญในการเชื่อมโยงเศรษฐกิจระดับภูมิภาคกับตลาดต่างประเทศ ซึ่งในจังหวัดศรีสะเกษมีการส่งออกสินค้าที่สำคัญได้แก่ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์เกษตร เช่น ข้าวหอมมะลิ มะม่วง ทุเรียน และพริก โดยส่งออกไปยังตลาดสำคัญ 2 แห่ง ได้แก่ ประเทศจีนและประเทศมาเลเซีย ซึ่งในประเทศจีนที่มีประชากรจำนวนมากและบริโภคข้าวเป็นหลัก มาเลเซียนิยมผลไม้สดจากไทย เช่น ทุเรียนและมะม่วง เป็นต้น โดยการส่งออกสินค้านั้น เป็นการขนส่งผ่านผู้ประกอบการขนส่งทั้งในประเทศและบริษัทข้ามชาติที่มีเครือข่ายทั่วโลก จากการสัมภาษณ์ตัวแทนผู้ค้าที่มีการส่งออกสินค้าทางการเกษตรไปยังต่างประเทศ พบว่าการขนส่งสินค้าจากศรีสะเกษไปยังจีนและมาเลเซียใช้ช่องทางหลักสามประเภท ได้แก่ 1) การขนส่งทางรถยนต์ที่เชื่อมต่อระหว่างจังหวัดศรีสะเกษกับท่าเรือต่าง ๆ ในประเทศไทยและมาเลเซีย 2) การขนส่งทางรถไฟซึ่งเป็นทางเลือกที่ประหยัด โดยมีเส้นทางรถไฟที่เชื่อมโยงจากไทยไปยังประเทศจีน และ 3) การขนส่งทางเรือที่เป็นช่องทางหลักสำหรับการส่งสินค้าในปริมาณมาก โดยเรือจะออกจากท่าเรือในประเทศไทย เช่น ท่าเรือแหลมฉบัง ไปยังท่าเรือในประเทศจีนและมาเลเซีย การรวมช่องทางการขนส่งเหล่านี้ทำให้การขนส่งสินค้าจากศรีสะเกษเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมตลาดทั้งในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียตะวันออก (Figure 1.)

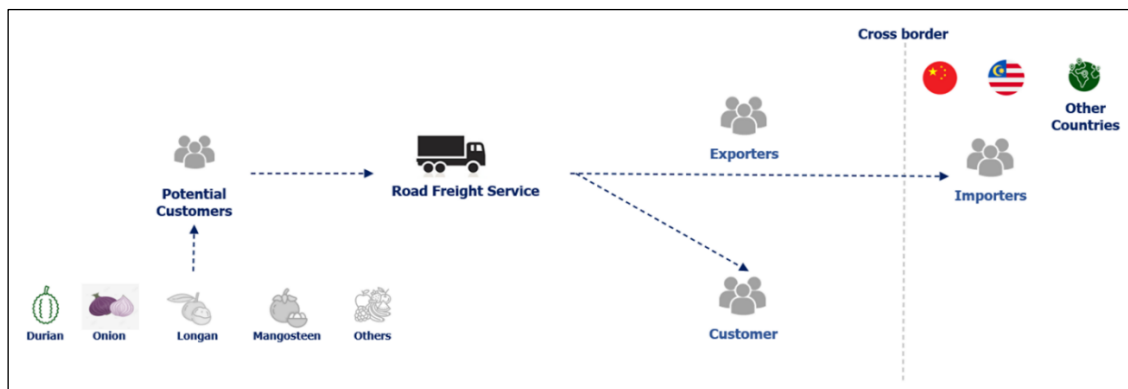


Figure 1. The mode of transportation in Sisaket Province that sends goods to Laem Chabang Port

3.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ

จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่ารูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟจากจังหวัดศรีสะเกษไปยังท่าเรือแหลมฉบังที่มีความเป็นไปได้คือ การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Truck + Rail) ช่วงที่ 1 ขนส่งโดยรถบรรทุกจากอำเภอเมืองศรีสะเกษไปยังสถานีรถไฟหนองแขง (Container Yard) ช่วงที่ 2 ขนถ่ายตู้สินค้าขึ้นขบวนรถไฟสินค้าจากสถานีหนองแขงไปยังสถานีแหลมฉบัง ระยะทางทางรถไฟประมาณ 500 กิโลเมตร และช่วงที่ 3 ขนถ่ายตู้สินค้าจากสถานีแหลมฉบังไปยังท่าเรือแหลมฉบัง (Figure 2.) สอดคล้องกับแผนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของประเทศ โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างรถไฟทางคู่ช่วงชุมทางถนนจิระ-อุบลราชธานี มีการพัฒนาย่านกองเก็บและขนถ่ายสินค้า (Container Yard) ที่สถานีหนองแขง จังหวัดศรีสะเกษ เพื่อรองรับการขนส่งสินค้าทางรถไฟในอนาคต จากข้อมูลปริมาณการขนส่งสินค้าของจังหวัดศรีสะเกษพบว่าในปี 2564 มีมูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) 78,658 ล้านบาท โดยภาคเกษตรกรรมมีสัดส่วนสูงถึงร้อยละ 23.4 ของ GPP ซึ่งมีศักยภาพในการส่งออกสินค้าเกษตรไปยังตลาดต่างประเทศผ่านท่าเรือแหลมฉบัง โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจสำคัญ เช่น ข้าว มันสำปะหลัง และอ้อยโรงงาน ที่มีปริมาณผลผลิตรวมกันมากกว่า 5 ล้านตันต่อปี

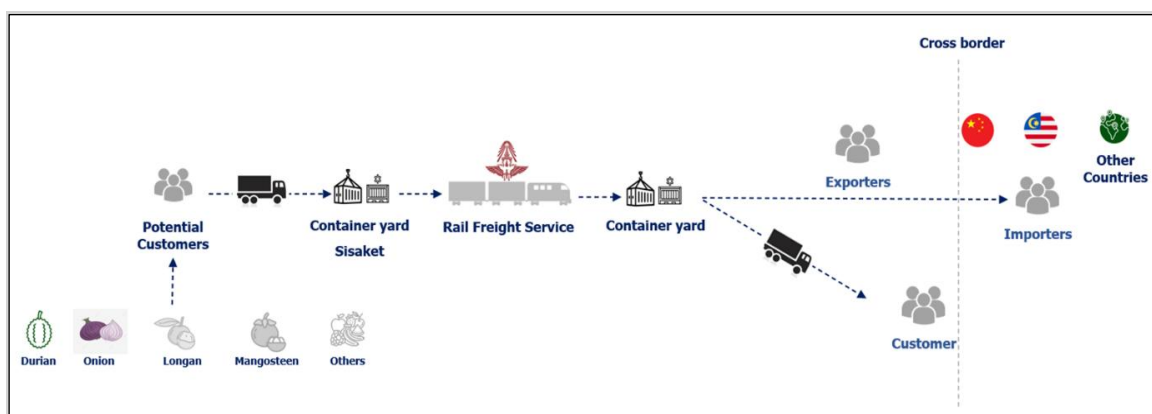


Figure 2. Road & Rail freight service model

นอกจากนี้ จังหวัดศรีสะเกษยังมีสถานประกอบการอุตสาหกรรม 407 แห่ง ด้วยเงินลงทุนรวม 15,055 ล้านบาท ซึ่งมีความต้องการในการขนส่งวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูป โดยเฉพาะในอำเภอเมืองกันทรลักษณ์ และราชันี้อยู่ ที่มีการกระจุกตัว



ของโรงงานอุตสาหกรรม ดังนั้น การพัฒนารูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจึงมีความสำคัญในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับสินค้าของจังหวัดศรีสะเกษ

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการประกอบด้วย 4 องค์ประกอบได้ผลดังนี้ 1) ผลการวิเคราะห์ด้านการตลาด (Market Analysis) พบว่า การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟจากจังหวัดศรีสะเกษไปยังท่าเรือแหลมฉบังมีศักยภาพทางการตลาดที่ดี เช่น ขนาดการตลาดและการเติบโต กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย เนื่องจากมีฐานการผลิตสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมที่แข็งแกร่ง ประกอบกับแนวโน้มการเติบโตของการค้าระหว่างประเทศในภูมิภาค อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีกลยุทธ์การตลาดที่เหมาะสมเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและดึงดูดลูกค้าให้หันมาใช้บริการขนส่งรูปแบบใหม่นี้ 2) ผลการวิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) พบว่ามีความเป็นไปได้ทางเทคนิค แต่จำเป็นต้องมีการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนายานกองเก็บและขนถ่ายสินค้าที่สถานีหนองแวง และการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเปลี่ยนถ่ายรูปแบบการขนส่ง ทั้งนี้ การพัฒนาดังกล่าวจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านโลจิสติกส์ของจังหวัดศรีสะเกษและภูมิภาคโดยรวม 3) การวิเคราะห์ด้านการจัดการ (Management Analysis) พบว่า มีความจำเป็นต้องมีระบบการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่น สามารถรองรับความซับซ้อนของการดำเนินงานและการประสานงานระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่าย การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการบริหารจัดการจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน นอกจากนี้ การให้ความสำคัญกับการพัฒนาบุคลากรและการสร้างความยั่งยืนจะช่วยให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จในระยะยาว และ 4) การวิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) พบว่า มีความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในที่น่าสนใจ (IRR 15-ร้อยละ 18) และระยะเวลาคืนทุนที่ยอมรับได้ (7-8 ปี) รายละเอียดดังแสดงใน Table 1.

Table 1. Calculation results of Internal Rate of Return (IRR) and payback period

Year	Income	Cost	Administrative costs	Depreciation cost	Net Cash Flow: (Million Bath)
0	0.00	1200.00	0.00	0.00	-1200.00
1	400.00	240.00	60.00	62.50	162.50
2	440.00	264.00	66.00	62.50	172.50
3	484.00	290.40	72.60	62.50	183.50
4	532.40	319.44	79.86	62.50	195.60
5	585.64	351.38	87.85	62.50	208.91
6	644.20	386.52	96.63	62.50	223.55
7	708.62	425.17	106.29	62.50	239.66
8	779.49	467.69	116.92	62.50	257.37
9	857.44	514.46	128.62	62.50	276.86
10	943.18	565.91	141.48	62.50	298.29
11	1037.50	622.50	155.62	62.50	321.87
12	1141.25	684.75	171.19	62.50	347.81
13	1255.37	753.22	188.31	62.50	376.34
14	1380.91	828.55	207.14	62.50	407.73
15	1519.00	911.40	227.85	62.50	442.25
IRR	17%				



อย่างไรก็ตาม โครงการนี้ต้องการเงินลงทุนเริ่มต้นค่อนข้างสูง และมีความอ่อนไหวต่อปัจจัยภายนอก เช่น ปริมาณการขนส่งและราคาน้ำมัน ดังนั้น การบริหารความเสี่ยงและการควบคุมต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพจะเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จทางการเงินของโครงการในระยะยาว นอกจากนี้ การสนับสนุนจากภาครัฐในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การให้สิทธิประโยชน์ทางภาษีหรือการร่วมลงทุน จะช่วยเพิ่มความน่าสนใจของโครงการและดึงดูดการลงทุนจากภาคเอกชนได้มากขึ้น

3.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการขนส่งในรูปแบบรถบรรทุก และการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยวิธีต้นทุนรายกิจกรรม

3.3.1 ค่าใช้จ่ายรูปแบบการขนส่งทางถนน

การขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบหลักที่ใช้ในการขนส่งสินค้าระหว่างจังหวัดศรีสะเกษและท่าเรือแหลมฉบัง เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงและสามารถให้บริการแบบ door-to-door เส้นทางหลักที่ใช้ในการขนส่งคือทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 24 และ 226 เชื่อมต่อจังหวัดศรีสะเกษกับจังหวัดนครราชสีมา ไปยังภาคตะวันออกและท่าเรือแหลมฉบัง รถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งมีหลายขนาดตั้งแต่รถกระบะ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ ขึ้นอยู่กับปริมาณและลักษณะของสินค้า โดยสินค้าเกษตรสดมักใช้รถบรรทุกห้องเย็นเพื่อรักษาคุณภาพระหว่างการขนส่งผู้ขายต้องใช้บริการรถจ้างเหมาจากศรีสะเกษไปยังท่าเรือแหลมฉบัง โดยค่าบริการนำสินค้าขึ้นรถ จะอยู่ที่ 1,000 บาท ค่าขนส่งสินค้าจะคิดตามระยะทาง จุดต้นทางจังหวัดศรีสะเกษไปยังปลายทางท่าเรือแหลมฉบัง ระยะทางทั้งสิ้น 557 กิโลเมตร คิดเป็น 600 กิโลเมตรโดยประมาณ ค่าขนส่งกิโลเมตรละ 20 บาท คิดเป็น 12,000 บาท การบรรจุสินค้าขึ้นตู้คอนเทนเนอร์จะบรรจุที่บริษัทผู้รับจ้างส่งออกสินค้า ณ ท่าเรือแหลมฉบัง โดยบริษัทผู้รับจ้างจะเป็นผู้ดำเนินการค่าขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ เอกสารและภาษีต่าง ๆ ให้กับลูกค้าทั้งหมด ค่าใช้จ่ายในบริเวณนี้จะเป็นค่านำสินค้าลงจากรถจากเหมาเพื่อบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ 1,000 บาท ในกรณีศึกษานี้จะเป็นการรวมรวมค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางจังหวัดศรีสะเกษ ไปยังปลายทางท่าเรือแหลมฉบังเท่านั้น โดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วจะเท่ากับ 14,000 บาทถ้วน รายละเอียด Table 2.

Table 2. The current logistics and freight transportation costs in Sisaket Province

Num.	Activities	Mode of transportation	Location	Cost (Bath)	Duration (Day)	Hour
1	Loading Goods onto a Hired Truck.	Hired Truck	Sisaket Province	1,000	0.5	12
2	Transporting Goods to The Freight Service Provider Using Containers.	Truck	Sisaket Province to Laem Chabang Sea Port.	12,000	1	24
3	The Freight Service Provider Loads Goods into Containers.		Laem Chabang Sea Port.	1,000	0.5	12
4	The hired truck returns empty on the backhaul trip.					
Total				14,000	2	48

ที่มา: การสำรวจและสอบถามผู้ขายสินค้าในจังหวัดศรีสะเกษ



3.3.2 ค่าใช้จ่ายรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ

การขนส่งสินค้าเริ่มจากการจ้างเหมาเพื่อนำสินค้าขึ้นรถบรรทุกไปยังสถานีรถไฟหนองแวง อ.กันทรารมย์ จ.ศรีสะเกษ ซึ่งมีแผนพัฒนาเป็นลานตู้คอนเทนเนอร์ (Container Yard) ในอนาคต ที่สถานีจะมีการบรรจุสินค้าเข้าตู้คอนเทนเนอร์และขนขึ้นรถไฟแบบเต็มตู้ (Full Container Load: FCL) โดยใช้ตู้มาตรฐานขนาด 20 ฟุต มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งตู้ไปยังสถานีท่าเรือแหลมฉบังอยู่ที่ 423 บาท (Song & Zhang, 2024) ตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุตเหมาะสมกับสินค้าที่มีน้ำหนักมากแต่ปริมาณไม่มาก เช่น สินค้าเกษตร เนื่องจากสามารถบรรทุกได้เต็มน้ำหนักโดยไม่เกินพิกัด อีกทั้งยังเหมาะกับสถานีในภูมิภาคที่มีพื้นที่จำกัด และสามารถรองรับความต้องการที่ไม่แน่นอนได้ดีกว่า (Li et al., 2025) เนื่องจากลานตู้คอนเทนเนอร์ สถานีรถไฟหนองแวง อำเภอกันทรารมย์ จังหวัดศรีสะเกษ จะเกิดขึ้นในอนาคต ผู้วิจัยจึงได้เทียบเคียงค่าใช้จ่ายการขนส่งจากจุดต้นทางสถานีรถไฟอุบลราชธานี ไปยังปลายทางสถานีรถไฟท่าเรือแหลมฉบัง ระยะทาง 642 กิโลเมตร อัตราค่าระวางการขนส่งตู้สินค้าคอนเทนเนอร์แบบเหมาคัน มีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 7,090 บาท บริเวณลานตู้คอนเทนเนอร์สถานีรถไฟแหลมฉบังจะเป็นการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ลงจากรถไฟ ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายประกอบไปด้วย ค่าภาระยกตู้คอนเทนเนอร์ขึ้นหรือลงรถไฟ 423 บาท ค่าขนส่งกรณีศุลกากรร้องขอให้นำตู้ไปเอกซเรย์ 1,000 บาท ค่าขนส่งกรณีตู้สินค้าทำไม่ได้ ต้องลากกลับลงรถไฟ 1,000 บาท รวมทั้งสิ้น 2,423 บาท ในกรณีศึกษานี้จะเป็นการรวมรวมค่าใช้จ่ายการขนส่งสินค้าจากจุดต้นทางจังหวัดศรีสะเกษ ไปยังปลายทางท่าเรือแหลมฉบังเท่านั้น โดยค่าใช้จ่ายทั้งหมดแล้วจะเท่ากับ 11,936 บาท รายละเอียดดัง Table 3.

Table 3. Cost and duration of freight transport by truck from Sisaket Province to Laem Chabang Port

Num.	Activities	Mode of transportation	Location	Cost (Bath)	Duration (Day)	Hour
1	Loading Goods onto a Hired Truck.	Hired Truck	Sisaket Province		0.5	12
2	Transporting Goods to Nong Waeng Railway Station.	Hired Truck	Nong Waeng Railway Station	1,000 *	0.08	2
3	Loading Goods into Containers at The Container Yard of Nong Waeng Railway Station		Nong Waeng Railway Station	1,000 *	0.5	12
4	Moving the Loaded Container onto The Train.		Nong Waeng Railway Station	423**		
5	Transporting the Loaded Container.	Railway	Nong Waeng Railway Station - Laem Chabang Railway Station	7,090**	0.5	12
6	Delivering the Loaded Container to The Shipping Line.	Railway	Laem Chabang Railway Station	2,423**	0.5	12
Total				11,936	2	50

ที่มา * การสำรวจและสอบถามผู้ขายสินค้าในจังหวัดศรีสะเกษ ไปยังต่างประเทศ

** กองบริการสินค้าคอนเทนเนอร์ ฝ่ายบริการสินค้า การรถไฟแห่งประเทศไทย <https://srtcontainer.railway.co.th>



3.3.3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรม

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายรูปแบบการขนส่งทางถนนมีกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานจำนวน 4 กิจกรรม ได้แก่ 1) นำสินค้าขึ้นรถจ้งเหมา 2) ขนส่งสินค้าไปยังผู้ให้บริการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์ 3) ผู้ให้บริการขนส่งสินค้าบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์ และ 4) รถจ้งเหมาวิ่งกลับรถเที่ยวเปล่า โดยข้อมูลค่าใช้จ่ายรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีกิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานจำนวน 6 กิจกรรม ได้แก่ 1) นำสินค้าขึ้นจ้งเหมา 2) ขนส่งสินค้าไปยังสถานีรถไฟหนองแขว 3) บรรจุสินค้าเข้าตู้ที่ลานตู้คอนเทนเนอร์สถานีรถไฟหนองแขว 4) ขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุสินค้าขึ้นรถไฟ 5) ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุสินค้าแล้ว และ 6) ส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่บรรจุสินค้าแล้วให้แก่สายเรือ จากนั้นกำหนดกิจกรรมหลักต้นคือ จำนวนต้นทุนต่อเที่ยวของทั้ง 2 ทางเลือกนี้ และกำหนดกิจกรรมหลักที่เป็นกิจกรรมในหมวดเดียวกันได้ 3 กิจกรรมหลัก กิจกรรมต้นทุนยกขน ได้แก่ การขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ การนำสินค้าขึ้นรถ กิจกรรมต้นทุนขนส่งเช่น ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ และกิจกรรมต้นทุนโซ่หุ่ย เช่น การบรรจุสินค้า เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างการขนส่งทางถนนด้วยรถบรรทุกเทียบกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบโดยรถบรรทุกร่วมกับรถไฟ ซึ่งเป็นรูปแบบที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคตพบว่า รูปแบบทางถนนมีค่าใช้จ่ายโดยรวม 14,000 บาท/เที่ยว รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบมีค่าใช้จ่ายรวมอยู่ที่ 11,936 บาท/เที่ยว สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่าหากผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะสามารถประหยัดต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมได้ถึง 2,070 บาท/เที่ยว รายละเอียดดัง Table 4.

Table 4. Cost comparison between current freight transport and potential multimodal transport alternatives in the future for Sisaket Province

Cost	Road transport (Bath)	Percent	Multimodal Transport (Bath)	Percent
1. Handling Cost	2,000	14.29	2,846	23.84
2. Transportation Cost	12,000	85.71	7,090	59.40
3. Overhead Cost	0		2,000	16.76
Total	14,000		11,936	

4. อภิปรายผลการวิจัย

จากวัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ จังหวัดศรีสะเกษ ที่ส่งสินค้าไปยังท่าเรือแหลมฉบังนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้ผลดังนี้ 1) ผลการวิเคราะห์ด้านการตลาด (Market Analysis) พบว่า การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟจากจังหวัดศรีสะเกษไปยังท่าเรือแหลมฉบังมีศักยภาพทางการตลาดที่ดี เนื่องจากมีฐานการผลิตสินค้าเกษตรและอุตสาหกรรมที่แข็งแกร่ง และจำเป็นต้องมีกลยุทธ์การตลาดที่เหมาะสมเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันและดึงดูดลูกค้าให้หันมาใช้บริการขนส่งรูปแบบใหม่นี้สอดคล้องกับ Muangnuae (2013) พบว่าการที่ประเทศไทยจะประสบความสำเร็จและเป็นผู้มีอำนาจด้านการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ หน่วยงานภาครัฐจะต้องให้การสนับสนุนส่งเสริมผู้ประกอบการทั้งภาคอุตสาหกรรม ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ให้บริการขนส่งโดยเฉพาะผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมให้เข้าใจถึงผลกระทบและการเตรียมตัวในเรื่องการปรับตัวขององค์กร เพื่อรองรับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบอย่างเป็นรูปธรรม 2) ผลการวิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) พบว่ามีความเป็นไปได้ทางเทคนิค แต่จำเป็นต้องมีการลงทุนพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาย่านกองเก็บและขนถ่ายสินค้า



ที่สถานีหนองแวง และการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการเปลี่ยนถ่ายรูปแบบการขนส่ง ทั้งนี้ การพัฒนาดังกล่าวจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันด้านโลจิสติกส์ของจังหวัดศรีสะเกษและภูมิภาคโดยรวม 3) ผลการวิเคราะห์ด้านการจัดการ (Management Analysis) พบว่ามีความจำเป็นต้องมีระบบการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพและยืดหยุ่น สามารถรองรับความซับซ้อนของการดำเนินงานและการประสานงานระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายฝ่าย การนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในการบริหารจัดการจะเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพและความสามารถในการแข่งขัน นอกจากนี้ การให้ความสำคัญกับการพัฒนาบุคลากรและการสร้างความยั่งยืนจะช่วยให้การดำเนินงานประสบความสำเร็จในระยะยาว และ 4) ผลการวิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) พบว่ามีความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในที่น่าสนใจ (IRR ร้อยละ 15-18) และระยะเวลาคืนทุนที่ยอมรับได้ (7-8 ปี) โดยสอดคล้องกับ Pinyowong (2016) ที่พบว่าการศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจขนส่งสินค้าต่อเนื่องด้วยรถบรรทุกและรถไฟด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านการจัดการ และด้านการเงิน เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการเงินและการลงทุน มีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 11 และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) อยู่ที่ร้อยละ 2.12 จากนั้นวิเคราะห์ต้นทุนรายกิจกรรมพบว่าต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างทางถนนด้วยรถบรรทุกเทียบกับการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบซึ่งเป็นรูปแบบที่จะเกิดขึ้นได้ในอนาคต ประกอบด้วย 3 กิจกรรมหลัก กิจกรรมต้นทุนยกขน กิจกรรมต้นทุนขนส่ง และกิจกรรมต้นทุนโสหุ้ย โดยการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบสามารถลดต้นทุนกิจกรรมการขนส่งได้เท่ากับ 4,910 บาทต่อเที่ยวการขนส่ง คิดเป็นร้อยละ 40.92 เมื่อเทียบกับการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียวตามแนวคิดระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity Based Costing) สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่าหากผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะสามารถประหยัดต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมได้ถึง 2,070 บาทต่อเที่ยว สอดคล้องกับนั้น Phamornmongkhonchai et al. (2020) เลือกใช้วิธี Activity Based Costing มาประยุกต์ใช้ในการหาต้นทุนการขนส่งสินค้า พบว่าการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์นั้นประกอบด้วยกิจกรรมหลายกิจกรรม และบางกิจกรรมมีค่าใช้จ่ายแฝง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องแยกให้ได้อย่างชัดเจนว่าต้นทุนแต่ละประเภทนั้นมีสัดส่วนเท่าใด

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟจังหวัดศรีสะเกษ ที่ส่งสินค้าไปยังท่าเรือแหลมฉบังนั้น พบว่ามีความเป็นไปได้จากผลการวิเคราะห์ด้านการเงิน (Financial Analysis) พบว่า มีความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยมีอัตราผลตอบแทนภายในที่น่าสนใจ (IRR ร้อยละ 15-18) และระยะเวลาคืนทุนที่ยอมรับได้ (7-8 ปี) อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนกิจกรรมการขนส่งได้เท่ากับ 4,910 บาทต่อเที่ยวการขนส่ง คิดเป็น 40.92% เมื่อเทียบกับการขนส่งทางถนนเพียงรูปแบบเดียวตามแนวคิดระบบต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity Based Costing) สามารถสรุปผลการวิจัยได้ว่าหากผู้ประกอบการเปลี่ยนมาใช้รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบจะสามารถประหยัดต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมได้ถึง 2,070 บาทต่อเที่ยว ถือเป็นการลดต้นทุนโลจิสติกส์และเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในและต่างประเทศ นอกจากนี้ยังส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งทางรางที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาการจราจรติดขัด ซึ่งจะเพิ่มโอกาสทางเศรษฐกิจให้กับผู้ประกอบการในจังหวัดและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานโลจิสติกส์ในภูมิภาคต่อไป

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้ทำการเปรียบเทียบการขนส่งเพียง 2 รูปแบบเท่านั้น หากมีการเพิ่มรูปแบบการขนส่งรูปแบบต่าง ๆ เข้ามาร่วมพิจารณาศึกษา อาจจะเป็นแนวทางที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต และควรวางแผนการศึกษาสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ในขนาดต่าง ๆ ที่นิยมใช้เพื่อรองรับทุกสถานการณ์ อีกทั้งควรเพิ่มการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการประหยัดพลังงานในระบบขนส่งต่อเนื่อง และการขยายขอบเขตการวิจัยไปยังพื้นที่อื่น เช่น ภาคกลางและภาคใต้ เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพและข้อจำกัดของระบบขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ



6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การศึกษาความเป็นไปได้ของการขนส่งสินค้าต่อเนื่องหลายรูปแบบด้วยรถบรรทุกและรถไฟ (ศรีสะเกษ – ท่าเรือแหลมฉบัง)” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุนและความร่วมมือจากหลายภาคส่วน คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (กองทุน ววน.) หอการค้าจังหวัดศรีสะเกษ และกลุ่มผู้ส่งออกสินค้าทางการเกษตรจังหวัดศรีสะเกษ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษา ตลอดจนมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษที่ให้ความเห็นชอบโครงการวิจัยฉบับนี้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

7. เอกสารอ้างอิง

- Athikomrattanakul, P., & Rattanachum, P., (2017). Activity-Based Costing in Freight Transportation Case Study: Cement Transport Company. *Science and Engineering Connect journal*, 40(1), 117-136. (in Thai)
- Jiang, B. (2010). *Research on Organization Coordinated in Motor - Rail Multimodal Transport base on Logistics*. United States: University of Michigan, Ann Arbor.
- Koohathongsumrit, N., & Meethom, W., (2021). An Application of Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution for Selecting Multimodal Transportation Route. *Rajamangala University of Technology Srivijaya Research Journal*, 13(1), 40-56. (in Thai)
- Li, ZC., Bing, X., & Fu, X. (2025). A hierarchical hub location model for the integrated design of urban and rural logistics networks under demand uncertainty. *Annals of Operations Research*, 348(1), 1087–1108.
- Muangnuae, N., (2013). Thailand and Multimodal Transportation. *Journal of Vocational and Technical Education*, 3(5). 58-65. (in Thai)
- Phamornmongkhonchai, M., Pueboobpaphan, R., and Soonthornnond, Y. (2020). Cost Analysis of Railway Container Freight Operations: A Case Study of Freight Transportation between Ladkrabang Inland Container Depot and Laem Chabang Port. *Science and Engineering Connect journal*, 43(3), 349-366. (in Thai)
- Pinyowong, A., (2016). Feasibility study of multimodal transport operator by trucks and trains case study: transportation of consumer products from laem chabang to nong takai, udonthani province. Master dissertation. Sripatum University. (in Thai)
- Song, Y., & Zhang, Y. (2024). Modeling and optimization of the inland container transportation problem considering multi-size containers, fuel consumption, and carbon emissions. *Processes*, 12(10), 2231.



การเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวมันแกวโดยใช้การออกแบบ
การทดลองแบบแฟลกเกตต์-เบอร์แมน (Plackett-Burman Design)
Optimization of Oligosaccharide Extraction from Yam Bean Root
Using Plackett-Burman Design

ทรงวิทย์ หงสประภาส^{1,2} ปิยะวดี สราภิรมย์¹ ผกามาศ จุลศรี¹ วีรนุช วอนแก่น้อย¹

กนกอร คำผุย³ มัลลิกา ธีระกุล⁴ และ ปัญญา ชัยรัตนพานิช^{1,5*}

Thongvidt Hongsaprabhas^{1,2} Piyawadee Saraphirom¹ Phakamas Jullstri¹

Weeranuch Wonkaonoi¹ Kanok-on Khampui³ Mullika Teerakun⁴

and Panya Chairattanaphanich^{1,5*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

²บริษัท สหพันธ์ เซ็นจูรี่ จำกัด กรุงเทพมหานคร

³คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

⁴คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

⁵บริษัท กรีนเดลี ฟู้ดส์ จำกัด จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Science and Technology, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

²Sahapan Century Co., Ltd., Bangkok

³Faculty of Education, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham Province

⁴Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin Province;

⁵Greendeli Foods Co., Ltd., Pathum Thani Province

*Corresponding Author: panya.ch@rmu.ac.th

Received: March 07, 2025

Revised: April 25, 2025

Accepted: May 19, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์จากหัวมันแกว (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟลกเกตต์-เบอร์แมน (Plackett-Burman Design: PBD) การคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญดำเนินการใน 5 ตัวแปร ได้แก่ ขนาดตัวอย่าง (2 มม. และ 10 มม.) อุณหภูมิในการสกัด (30°C และ 60°C) ระยะเวลาในการสกัด (30 และ 100 นาที) ความเข้มข้นของเอทานอล (30% และ 50% v/v) และค่า pH (5.0 และ 7.0) ผลการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล ค่า pH และอุณหภูมิการสกัด มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ได้ โดยสภาวะที่ให้ผลผลิตโอลิโกแซ็กคาไรด์สูงสุด (36.00% โดยน้ำหนัก) คือ ขนาดตัวอย่าง 2 มม. อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที ความเข้มข้นของเอทานอล 50% โดยปริมาตร และค่า pH 7.0 การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Design-Expert® 7.0.0 ยืนยันว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม ($R^2 = 0.90$) และค่าคงเหลือมีการแจกแจงแบบปกติเป็นอิสระ และมีความแปรปรวนสม่ำเสมอ ผลการวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการขยายระดับการผลิตหรือศึกษาคุณสมบัติทางหน้าที่เพิ่มเติมในอนาคตได้

คำสำคัญ: หัวมันแกว การสกัดโอลิโกแซ็กคาไรด์ การออกแบบการทดลองแบบแฟลกเกตต์-เบอร์แมน



Abstract

This study aimed to identify the key factors influencing the extraction efficiency of oligosaccharides from yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) root using the Plackett-Burman design (PBD). The screening was conducted on five critical factors: sample size (2 mm and 10 mm), extraction temperature (30°C and 60°C), extraction duration (30 and 100 min), ethanol concentration (30% and 50% v/v), and pH (5.0 and 7.0). The experimental results revealed that ethanol concentration, pH, and extraction temperature had significant effects on oligosaccharide yield, with the highest yield (36.00% wt) obtained under the following conditions: 2 mm sample size, 60°C extraction temperature, 30 min extraction time, 50% ethanol, and pH 7.0. Statistical analysis using Design-Expert® 7.0.0 confirmed the adequacy of the model ($R^2 = 0.90$), and residuals exhibited normal distribution, independence, and homoscedasticity. The findings highlight optimal conditions for oligosaccharide extraction, which may serve as a foundation for future scale-up studies or further functional characterization.

Keywords: Yam bean root, Oligosaccharides extraction, Plackett-Burman design

1. Introduction

Yam bean (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban) is a leguminous root crop widely cultivated in tropical regions, including Thailand. The root is consumed fresh and processed into various food products due to its crisp texture and mild sweetness. It contains valuable carbohydrate components, notably inulin-type fructans and other oligosaccharides, which have attracted attention for their potential application as functional food ingredients (Bhanja et al., 2023). However, the extraction of such oligosaccharides is influenced by multiple factors, including solvent composition, temperature, and pH. Ethanol-water mixtures are frequently used in extraction because they offer an effective polarity range to isolate low molecular weight saccharides without degrading thermolabile compounds (Huang & Huang, 2020). Despite increasing interest in bioactive oligosaccharides, preliminary extraction studies often lack statistical rigor in evaluating the influence of multiple process variables. Conventional single-variable approaches are time-consuming and fail to reveal interactive effects between factors (Fan et al., 2022). Hence, a robust experimental design is essential for efficiently screening and identifying key variables influencing oligosaccharide extraction.

The Plackett-Burman Design (PBD) is a fractional factorial method suitable for identifying statistically significant factors among large variables using minimal experiments. This design is particularly effective for early-stage screening and has been widely applied in the food and biotechnology industries for optimizing extraction, fermentation, and formulation processes (Boateng & Yang, 2021). While PBD does not directly model interactions or curvature, it serves as a critical precursor to response surface methodology (RSM) or central composite designs (CCD) for further optimization (Du et al., 2021).

This study employed PBD to identify the most influential variables affecting the extraction of oligosaccharides from yam bean roots. Five factors—sample size, extraction temperature, extraction



duration, ethanol concentration, and pH—were evaluated for their impact on extraction yield. The study aims to establish statistically validated conditions that maximize oligosaccharide recovery and to provide a framework for further functional assessment and process scale-up.

2. Materials and methods

2.1 Raw material preparation

Fresh yam bean roots (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban), aged 90 days, were harvested, washed with tap water, and peeled. The roots were sliced into thin pieces and dried at ambient temperature for 6 h. Subsequently, the slices were dried in a hot air oven at 55°C for another 6 h to reduce moisture content. The thoroughly dried samples were cut into two particle sizes: 2 mm and 10 mm. These samples were stored in a desiccator at room temperature until use.

2.2 Extraction and analytical procedures

Twenty grams of dried yam bean samples were immersed in ethanol-water at a solid-to-liquid ratio of 1:5 (w/v). The extraction process used specific temperature, time, ethanol concentration, and pH combinations according to the Plackett-Burman design. The mixture was stirred continuously during extraction. After extraction, the mixture was filtered through Whatman No.1 filter paper, and the filtrate was centrifuged at 4,000 rpm for 10 min. The supernatant was then evaporated at 40°C for 1 h using a rotary evaporator to reduce the ethanol content. The concentrate was further dried in a hot air oven at 50°C for 48 h, followed by freeze-drying at -55°C for 12 h to obtain a stable dry powder. The final extract was weighed to determine total yield, and the following analyses were conducted:

- Total sugar content was measured using the phenol-sulfuric acid method.
- Reducing sugar content was determined using the 3,5-dinitrosalicylic acid (DNS) method (Jain et al., 2020).

- Non-reducing sugar content was calculated using the equation:

$$\text{Non-reducing sugar} = \text{Total sugar} - \text{Reducing sugar} \quad \dots\dots\dots(1)$$

- Oligosaccharide yield (% wt) was used as the primary response and calculated as:

$$\text{Yield of oligosaccharide (\% wt)} = (W_o/W_d) \times 100 \quad \dots\dots\dots(2)$$

where W_o is the dry weight (g) of oligosaccharide extract obtained, W_d is the dry weight (g) of the yam bean sample used.

2.3 Experimental design and statistical analysis

2.3.1 Plackett-Burman design (PBD)

The Plackett-Burman Design (PBD) was employed to identify the significant factors affecting the extraction yield of oligosaccharides from yam bean roots. Five independent variables were investigated:



sample diameter (X_1), extraction temperature (X_2), extraction duration (X_3), ethanol concentration (X_4), and pH (X_5). Each variable was tested at low (-1) and high (+1) levels, as shown in Table 1. The experimental design follows a first-order linear model without interaction terms:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \quad \dots\dots\dots(3)$$

where, Y is the response variable (oligosaccharide yield, wt%), β_0 is the intercept, and β_i represents the linear coefficient for the i -th factor, and X_i is the coded value of each variable. Each factor was tested at two levels (-1 and +1) (Table 1. and Table 2).

PBD is suitable for screening purposes, where the primary goal is to determine the most influential factors with statistical significance using a minimum number of experimental runs. While it does not account for interaction or quadratic effects, PBD serves as a valuable foundation for further optimization using response surface methodology (RSM) or central composite design (CCD).

The experimental results were analyzed using Design-Expert® version 7.0.0 (Stat-Ease, Inc., USA). Model validation was carried out through residual diagnostics, including normal probability plots, independence checks, and variance stability assessments to ensure the assumptions of linear regression were met. The R-squared (R^2) value was used to evaluate the goodness of fit of the model, while analysis of variance (ANOVA) was performed to assess the statistical significance of the independent variables. The impact of each variable on oligosaccharide yield was quantified using the following expression for the main effect:

$$E_{(X_i)} = \frac{2(\sum M_{i+} - M_{i-})}{N} \quad \dots\dots\dots(4)$$

where, E_{X_i} is the concentration effect of the tested variable, M_{i+} and M_{i-} are the response values (oligosaccharide yield in %wt) from experiments in which the variable of interest was at the high (+1) and low (-1) levels, respectively, N is the number of experimental runs. This first-order model enabled the identification of significant factors without considering interaction or quadratic effects, as is typical of screening designs like Plackett-Burman.

2.3.2 Statistical optimization and desirability function

The optimization function in the software was employed to determine the most suitable conditions for maximizing oligosaccharide yield. The analysis considered composite desirability (D), where values closer to 1 indicate greater optimization efficiency. This multi-response optimization ensured a balance between experimental feasibility and extraction performance. Using statistical tools and PBD design



ensured the experiment was robust and reproducible. It provided a solid foundation for identifying the most influential parameters, guiding further process refinement using advanced optimization models.

Table 1. Levels of Independent Variables Used in the PBD

Code	Variable	-1 (Low Level)	+1 (Low Level)
X_1	Sample diameter (mm)	2	10
X_2	Extraction temperature (°C)	30	60
X_3	Extraction duration (min)	30	100
X_4	Ethanol concentration (% v/v)	30	50
X_5	pH	5.0	7.0

3. Result

3.1 The yield of oligosaccharide extract from yam bean root

The results in Table 2. illustrate the influence of various extraction parameters on oligosaccharide yield from yam bean root. The highest yield (36.00% wt) was achieved in experiment 5, which employed a 2 mm sample size, 60°C extraction temperature, 30-min extraction time, 50% (v/v) ethanol concentration, and pH 7.0. Conversely, the lowest yield (8.94% wt) was observed in experiment 12, where all parameters were set at their minimum levels.

Among the tested variables, ethanol concentration and pH were found to have the most pronounced positive effects, as shown by the Pareto chart. A smaller particle size (2 mm) also significantly contributed to a higher yield, likely due to an increased surface area, which enhances mass transfer and solvent penetration during extraction. These observations are consistent with the theoretical expectation that finer sample sizes promote solute-solvent interaction, thereby improving extraction efficiency. An additional extraction was carried out under the predicted optimal conditions—2 mm sample size, 60°C, 99.93 min, 50% ethanol, and pH 7.0 to validate the predictive model. The experimentally obtained yield (34.96% wt) was in close agreement with the model's predicted value (35.58% wt), demonstrating a relative error of less than 2%. This confirms the accuracy and practical applicability of the Plackett-Burman model for optimizing oligosaccharide extraction from yam bean root.

3.2 Statistical analysis

3.2.1 Model validation

Model validation was performed based on three key assumptions: normality of residuals, independence, and homoscedasticity (constant variance). Figure 1. illustrates the standard probability plot of the residuals. The residuals were approximately aligned along a straight diagonal line, indicating that the errors followed a normal distribution. No significant deviation or curvature was observed, thus supporting the normality assumption. Figure 2. displays the residuals versus predicted values to assess independence.



The plot showed a random scatter without any visible pattern or trend, confirming that the residuals were independently distributed. Figure 3. demonstrates the homogeneity of variance, showing residuals plotted against levels of the independent variables. The distribution of residuals was fairly symmetrical and balanced between positive and negative values, indicating stable variance across factor levels. These results collectively support the validity of the model assumptions. The residual analysis confirms that the experimental data meets the requirements for reliable statistical interpretation using regression analysis and ANOVA.

Table 2. PBD design matrix for evaluating factors influencing oligosaccharide yield from yam bean root

Run	X ₁		X ₂		X ₃		X ₄		X ₅		Oligosaccharide
	code	actual	Code	actual	code	actual	code	actual	code	actual	Yield (% wt)
1	+1	10	+1	60	+1	100	-1	30	-1	5.0	18.81
2	-1	2	-1	30	-1	30	+1	50	-1	5.0	22.50
3	-1	2	+1	60	+1	100	-1	30	+1	7.0	28.98
4	+1	10	+1	60	-1	30	+1	50	+1	7.0	25.83
5	-1	2	+1	60	-1	30	+1	50	+1	7.0	36.00
6	+1	10	-1	30	+1	100	+1	50	+1	7.0	24.70
7	+1	10	-1	30	-1	30	-1	30	+1	7.0	14.25
8	+1	10	+1	60	-1	30	-1	30	-1	5.0	11.01
9	-1	2	-1	30	+1	100	-1	30	+1	7.0	17.15
10	+1	10	-1	30	+1	100	+1	50	-1	5.0	14.70
11	-1	2	+1	60	+1	100	+1	50	-1	5.0	25.45
12	-1	2	-1	30	-1	30	-1	30	-1	5.0	8.94

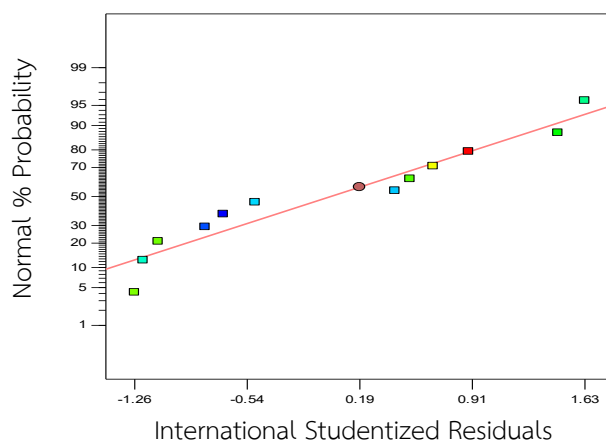


Figure 1. Normal probability of the residual plot

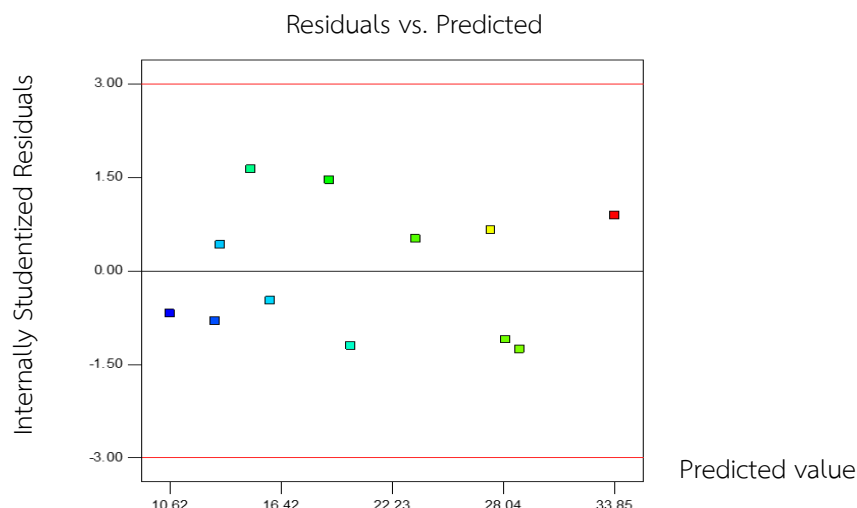


Figure 2. Studentized residuals and run number

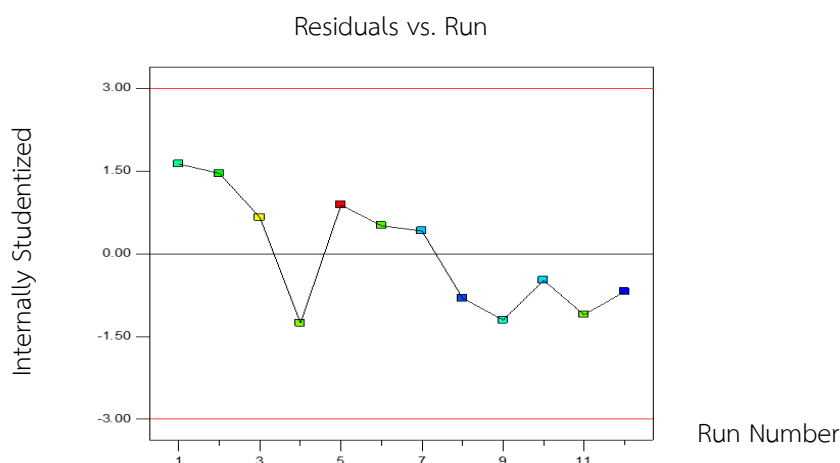


Figure 3. Studentized residuals and predicted values

3.2.2 Coefficient of decision and analysis of variance (ANOVA)

The coefficient of determination (R^2) was used to assess the goodness of fit of the regression model. The calculated R^2 value was 0.90, indicating that 90% of the variability in oligosaccharide yield could be explained by the five independent variables in the model (Table 3.). This reflects a high predictive power and model adequacy. Analysis of variance (ANOVA) was conducted to test the significance of each factor. The results showed that ethanol concentration, pH, and extraction temperature had statistically significant effects ($p < 0.05$) on oligosaccharide yield. These findings support using the Plackett-Burman model for screening influential variables in the extraction process.

3.2.3 Effect of independent factors

The oligosaccharide yield obtained from the experiments ranged from 8.94% wt to 36.00% wt, as shown in Table 2. The influence of the five independent variables—sample size, extraction



temperature, extraction duration, ethanol concentration, and pH—was analyzed using a Pareto chart (Figure 4.), which graphically displays the standardized effects of each factor.

In the Pareto chart, effects that exceed the Bonferroni limit are considered statistically significant. In contrast, those above the *t*-value limit are likely significant, and those below the *t*-value limit are unlikely to be substantial. The results indicate that ethanol concentration, pH, extraction temperature, and sample size exceeded the Bonferroni limit, suggesting that they strongly influenced oligosaccharide yield.

Table 3. Coefficient of decision and analysis of variance (ANOVA)

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	Remark
Model	625.5352	5	125.107	10.53954	0.0062	significant
A - Sample diameter	73.55701	1	73.55701	6.196752	0.0472	
B - Extraction temperature	160.3083	1	160.3083	13.50505	0.0104	
C - Extraction duration	10.56563	1	10.56563	0.890093	0.3819	
D - Ethanol concentration	208.5834	1	208.5834	17.57194	0.0057	
E - pH	172.5208	1	172.5208	14.53388	0.0088	
Residual	71.22152	6	11.87025			
Cor Total	696.7567	11				
Std. Dev. = 3.44; Mean = 20.70; C.V. % = 16.65; PRESS = 284.89; R-Squared = 0.90; Adj R-Squared = 0.81						

Although not crossing the Bonferroni limit, extraction duration remained above the *t*-value threshold, indicating a moderate effect. The findings were consistent with the ANOVA results (Table 3.), which showed that all five variables had *p*-values less than 0.05, indicating statistical significance at the 95% confidence level.

The results confirm that optimizing these independent factors is critical for maximizing oligosaccharide recovery from yam bean root. The sign of the effect coefficients (Table 4.) provided further insights into the direction of influence:

- A negative coefficient for sample size suggests that increasing particle size reduced oligosaccharide yield, likely due to reduced surface area and mass transfer efficiency.

- Positive coefficients for ethanol concentration, pH, and extraction temperature indicate that increasing these variables enhances oligosaccharide extraction efficiency, likely by improving solute solubility and cell wall disruption.

The multiple regression analysis can establish models or equations that predict the experimental results of each factor. The results obtained from this experiment were a non-linear quadratic correlation model. Results of the oligosaccharide yield extract are shown as follows:

$$Y = 20.69 - (2.47X_1) + (3.65X_2) + (0.93X_3) + (4.16X_4) + (3.79X_5) \quad \dots\dots\dots(5)$$

where, Y is the yield of the oligosaccharide extract, X_1 , X_2 , X_3 , X_4 and X_5 represents sample diameter, extraction temperature, extraction duration, ethanol concentration, and pH.

3.3 Optimization of extraction conditions

The statistical analysis of experimental data was conducted using Design-Expert® version 7.0.0 (Stat-Ease, Inc., Minneapolis, MN, USA). The study was divided into three key components: model validation, coefficient of determination (R^2), and analysis of variance (ANOVA). These analyses were performed to evaluate model adequacy, identify significant factors, and confirm the reliability of the regression model. The numerical optimization function within the software was used to determine the most effective combination of extraction conditions. This function identifies the factor levels that maximize the desired response—in this case, oligosaccharide yield—while satisfying practical constraints. The composite desirability (D) index, which ranges from 0 to 1, was used to assess the overall optimization outcome. A value of 1.0 represents an ideal solution where all goals are fully met.

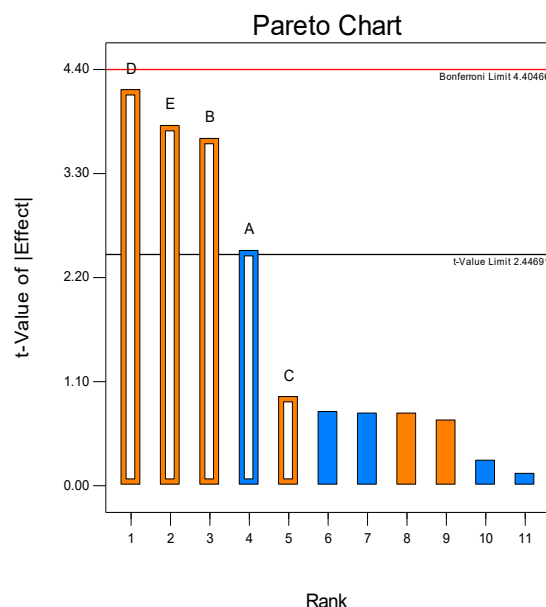


Figure 4. Pareto chart of the standardized effects of independent variables on the oligosaccharide yield



Table 4. Effect of independent factors

Term	Effect	Sum of Squares	% Contribution
Sample diameter (X_1)	-4.95	73.55	10.55
Extraction temperature (X_2)	7.31	160.30	23.00
Extraction duration (X_3)	1.87	10.56	1.51
Ethanol concentration (X_4)	8.33	208.58	29.93
pH (X_5)	7.58	172.52	24.76

The optimization results revealed the predicted optimal conditions for oligosaccharide extraction from yam bean root to be:

- Sample size: 2 mm
- Extraction temperature: 60°C
- Extraction duration: 99.93 min
- Ethanol concentration: 50% (v/v)
- pH: 7.0

Under these conditions, the model predicted an oligosaccharide yield of 35.58% wt with a composite desirability of 0.985, indicating a high level of agreement between the objectives and the optimal solution (Figure 5).

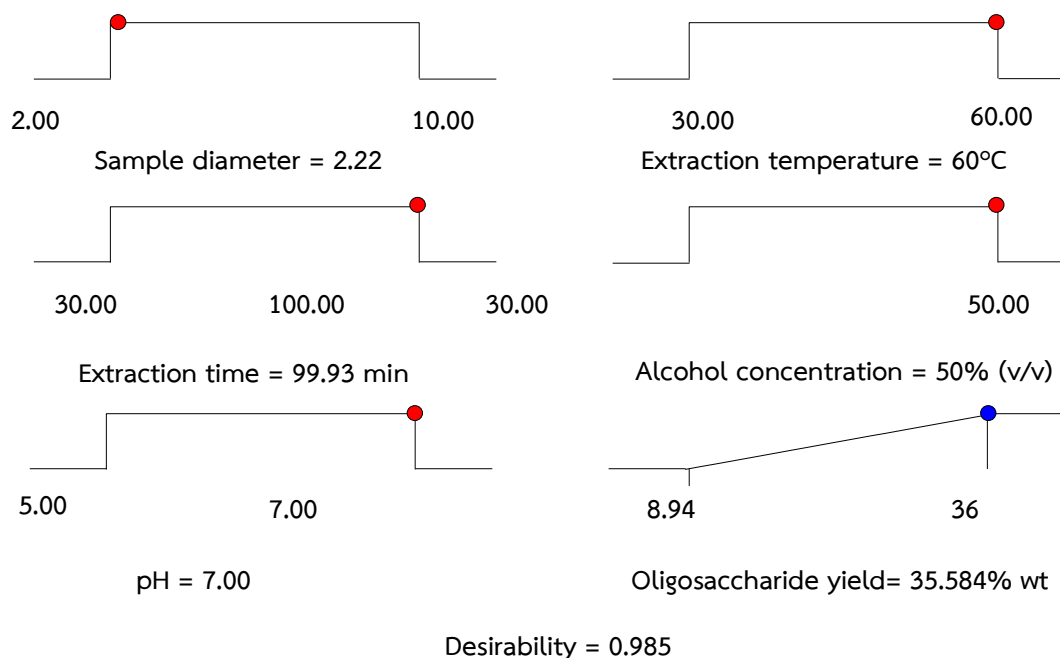


Figure 5. The optimal conditions for oligosaccharide yield



4. Discussion

The optimal conditions for oligosaccharide extraction from yam bean root were confirmed, highlighting the substantial influence of multiple factors on extraction efficiency and supporting the effectiveness of the Plackett-Burman Design in screening critical variables. Among these factors, ethanol concentration had a strong positive effect on oligosaccharide yield. Ethanol's amphiphilic nature facilitates the selective solubilization of oligosaccharides by adjusting the solvent polarity. Increasing ethanol content reduces the overall polarity of the solution, promoting the precipitation of high-molecular-weight polysaccharides and enhancing the solubility of smaller oligosaccharide fractions. This observation is consistent with (Huang & Huang 2020), who reported that ethanol concentration significantly affects carbohydrate solubility and fractionation during extraction.

Temperature also played a key role in improving yield. Elevated temperatures increase molecular mobility, solvent penetration, and diffusion rates, enhancing mass transfer between plant tissue and solvent. This trend aligns with the findings of (Poka et al. 2023), who demonstrated that higher temperatures facilitate more efficient oligosaccharide extraction from plant roots.

Extraction time was another contributing factor, as longer durations allow for more extensive contact between solvent and solutes, increasing the total recovery of sugars. This agrees with (Jaffur et al. 2024), who observed enhanced fermentable sugar recovery with prolonged extraction periods.

Sample size (particle diameter) was deliberately varied (2 mm vs. 10 mm) to study its effect on extraction performance. Smaller particles provided greater surface area and disrupted cellular structures more effectively, improving mass transfer and facilitating the release of target compounds. These results confirm the hypothesis that finer particle sizes enhance extraction efficiency, a trend also reported by (Fan et al. 2022) in studies on solvent extraction of bioactives. In contrast, larger particles may be more advantageous during industrial-scale processing by reducing clogging and energy input during milling. These findings underscore the relevance of particle engineering in optimizing both yield and downstream process compatibility.

The effect of pH was also significant. Lower pH values (more substantial acidity) enhanced the cleavage of glycosidic bonds in complex carbohydrates, thereby increasing oligosaccharide release. (Lu 2023; Wandee et al. 2021) previously supported this acid-assisted hydrolysis mechanism, which reported improved breakdown of plant-based carbohydrates under acidic conditions.

Although this study focused on oligosaccharide extraction from yam bean root, the findings provide comparative value when considering other plant sources. As summarized in Table 5., extraction efficiency and bioactive composition vary depending on plant material, method, and conditions. Therefore, the selection of raw material and process parameters must be tailored for each application. The insights gained from this work are relevant to research on functional carbohydrates and the design of scalable extraction protocols for use in functional foods and nutraceutical product development.



Table 5. Comparison of prebiotic extraction results from different plant sources

Plant source	Extraction method and Processing conditions	Reference
Jackfruit seeds (<i>Artocarpus heterophyllus</i>)	The extraction method using different solvents (e.g., distilled water, 50% ethanol, and 95% ethanol) demonstrated that 50% ethanol yielded the highest extraction efficiency.	(Wichienchot et al., 2011)
Sangyod rice (<i>Oryza sativa</i> L.)	Prebiotic extraction from Sangyod rice involves germination, drying, and milling processes. The obtained prebiotic powder is rich in non-digestible carbohydrates, serving as potential ingredients in health-promoting products.	(Sivamaruthi et al., 2023)
Mung bean seeds (<i>Vigna radiata</i> L.)	Oligosaccharides (RFOs) are the prebiotic extract of mung bean seeds. The ethanol extraction process has shown promising results in isolating these oligosaccharides, which contribute to the modulation of gut microbiota.	(Elango et al., 2022)
Carrot (<i>Daucus carota</i> L.)	A prebiotic extract from carrot residues is a polysaccharide developed as a functional ingredient. Studies indicate that consuming 300 mg daily enhances immune function and gut health.	(McKay et al., 2022)
Coconut residue (<i>Cocos nucifera</i> L.)	The extraction uses acid hydrolysis and enzymatic treatment. Oligosaccharides are used for the prebiotic extraction of coconut residue. The presence of these compounds was confirmed through Thin-Layer Chromatography analysis.	(Plangklang et al., 2023)

5. Conclusion and suggestions

5.1 Conclusion

This study successfully optimized the extraction of oligosaccharides from yam bean (*Pachyrhizus erosus*) roots using the Plackett-Burman Design (PBD). The statistical analysis revealed that ethanol concentration, pH, and sample size were the most influential variables affecting extraction efficiency. The optimal conditions identified were: 2 mm sample diameter, 60 °C extraction temperature, 99.93 min extraction duration, 50% (v/v) ethanol concentration, and pH 7.0, which yielded a maximum oligosaccharide content of 36% wt. An additional experiment was conducted under these optimal conditions to validate the predictive model. The experimentally obtained yield (34.96% wt) closely matched the predicted value (35.58% wt), with a relative error of less than 2%. This confirms the reliability and practical applicability of the PBD model for identifying effective conditions to enhance oligosaccharide extraction. The findings contribute to the design of statistically robust, scalable, and efficient extraction protocols for use in food



and bioactive compound applications.

5.2 Suggestions for future research

5.2.1 Scale-up and industrial application

Further research should focus on scaling up the optimized extraction process to pilot or industrial scale, evaluating technical feasibility, cost-effectiveness, and process efficiency.

5.2.2 Structural and functional characterization

Advanced analytical techniques (e.g., HPLC, NMR, FTIR, MALDI-TOF) should be used to determine the extracted oligosaccharides' chemical structure and functional groups and assess their biological activity.

5.2.3 Stability and shelf-life assessment

The stability of oligosaccharide powders should be examined under varying temperature, humidity, and light exposure to evaluate shelf-life for commercial use in powdered or encapsulated forms.

5.2.4 Synergistic effects with probiotics

Studies should explore *in vitro* and *in vivo* interactions between the extracted oligosaccharides and probiotic strains (e.g., *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*) to assess potential synbiotic effects.

5.2.5 Alternative extraction technologies

Comparative research involving ultrasound-assisted, microwave-assisted, or enzymatic hydrolysis may offer enhanced yield, reduced energy use, and improved selectivity.

6. References

- Bhanja, A., Paikra, SK., Sutar, PP., & Mishra, M. (2023). Characterization and identification of inulin from *Pachyrhizus erosus* and evaluation of its antioxidant and in-vitro prebiotic efficacy. *Journal of Food Science and Technology*, 60(1), 328–339.
- Boateng, ID., & Yang, XM. (2021). Process optimization of intermediate-wave infrared drying: Screening by Plackett–Burman; comparison of Box–Behnken and central composite design and evaluation: A case study. *Industrial Crops and Products*, 162, 113287.
- Du, Y., Huang, P., Jin, W., Li, C., Yang, J., Wan, H., & He, Y. (2021). Optimization of extraction or purification process of multiple components from natural products: Entropy weight method combined with Plackett–Burman design and central composite design. *Molecules*, 26(18), 5572.
- Elango, D., Rajendran, K., Van der Laan, L., Sebastiar, S., Raigne, J., Thaiparambil, N.A., ... & Singh, A.K. (2022). Raffinose family oligosaccharides: Friend or foe for human and plant health? *Frontiers in Plant Science*, 13, 829118.
- Fan, L., Fan, W., Mei, Y., Liu, L., Li, L., Wang, Z., & Yang, L. (2022). Mechanochemical assisted extraction as a green approach in preparation of bioactive components extraction from natural products – A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 98–110.
- Huang, H., & Huang, G. (2020). Extraction, separation, modification, structural characterization, and antioxidant activity of plant polysaccharides. *Chemical Biology & Drug Design*, 96(5), 1209–1222.
- Jaffur, BN., Kumar, G., & Khadoo-Jeetah, P. (2024). Enhancing deep eutectic solvent systems for efficient fermentable sugar recovery from lignocellulosic fiber. *International Journal of Biological Macromolecules*, 269, 131888.



- Jain, A., Jain, R. & Jain, S. (2020). Quantitative Analysis of Reducing Sugars by 3, 5-Dinitrosalicylic Acid (DNSA Method). In: Basic Techniques in Biochemistry, Microbiology and Molecular Biology (pp. 181–183). Springer Protocols Handbooks. Humana, New York, NY.
- Lu, Y. (2023). Effect of acid-assisted hydrolysis on oligosaccharide release from tuber polysaccharides. *Carbohydrate Polymers*, 315, 120097.
- McKay, S., Teitsma-Jansen, A., Floris, E., Dekker, T., Smids, B., Khurshid, R., Calame, W., Kardinaal, A., Lutter, R., & Albers, R. (2022). Effects of dietary supplementation with carrot-derived rhamnogalacturonan-I (cRG-I) on accelerated protective immune responses and quality of life in healthy volunteers challenged with rhinovirus in a randomized trial. *Nutrients*, 14(20), 4258.
- Plangklang T., Khuwijitjaru P., Klinchongkon K., Adachi S. (2023). Subcritical fluid process for producing mannoooligosaccharide-rich carbohydrates from coconut meal and their in vitro fermentation. *Food and Bioprocess Technology*, 16, 1048–1060.
- Poka, R., Chuenklin, S., & Tanwar, B. (2023). Influence of extraction temperature on the recovery of soluble carbohydrates from root vegetables: A kinetic approach. *Journal of Applied Food Chemistry*, 11(2), 101–110.
- Sivamaruthi, BS., Alagarsamy, K., Thangaleela, S., Bharathi, M., Kesika, P., & Chaiyasut, C. (2023). Composition, microbiota, mechanisms, and anti-obesity properties of rice bran. *Foods*, 12(6), 1300.
- Wandee, W., Sae-Lee, N., & Prinyawiwatkul, W. (2021). Acid-assisted release of functional oligosaccharides from plant biomass: Mechanisms and applications. *Food Hydrocolloids*, 113, 106505.
- Wichienchot, S., Thammarutwasik, P., Jongjareonrak, A., Chansuwan, W., Hmadhlu, P., Hongpattarakere, T., Itharat, A., & Ooraikul, B. (2011). Extraction and analysis of prebiotics from selected plants from southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 33(5), 517–523.



การปรับปรุงอัตราการส่งคำขอเอพีไอของแพลตฟอร์มจัดการบทความ
ด้วยหน่วยความจำแคชบนแพลตฟอร์ม CMS แบบไม่มีส่วนหัว
Improvement of API Request Throughput of Article Platform
with Cache Memory on Headless CMS Platform

ชวลิต โควีระวงศ์¹ ณัฐรดี อนูปงศ์¹ วสิท ลิ้มประเสริฐ² และ ดารธรา วีระพันธ์^{1*}

Chavalit Koweerawong¹ Natradee Anupong¹ Wasit Limprasert² and Daorathar Weerapan^{1*}

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

²วิทยาลัยสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี

¹Faculty of Science and Technology, Walailak Alongkorn Rajabhat University under Royal Patronage, Pathum Thani Province

²College of Interdisciplinary Studies, Thammasat University, Pathum Thani Province

*Corresponding Author: daorathar@vru.ac.th

Received: March 27, 2025

Revised: June 1, 2025

Accepted: June 5, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ศึกษาผลกระทบของเทคนิคการแคชต่อปริมาณงานและเวลาตอบสนองของ RESTful API ในสถาปัตยกรรม CMS แบบไม่มีส่วนหัวที่สร้างด้วย PHP Laravel ที่ทำงานร่วมกับ CMS ภายนอก ผู้ใช้ปลายทางมักประสบปัญหาในการใช้งานระบบ เช่น ความล่าช้าในการโหลดหน้าเว็บ ข้อมูลที่ไม่อัปเดตแบบทันที และข้อผิดพลาดระหว่างการใช้งาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ประสบการณ์ผู้ใช้ลดลง และบั่นทอนความน่าเชื่อถือของระบบในภาพรวม วัตถุประสงค์หลักคือการปรับปรุงเวลาตอบสนองของ API ระหว่างเลเยอร์การนำเสนอและ CMS และเพื่อประเมินเทคนิคการแคชที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ API ของ Laravel ไดรเวอร์การแคชต่าง ๆ รวมถึงแคชที่ใช้ไฟล์ MySQL และ Redis ได้รับการทดสอบเพื่อวัดผลกระทบต่อปริมาณงาน API แคชทั้งสามแบบมีข้อดีและเสียที่แตกต่างกันโดยไฟล์ และ Redis เป็นกลไกแคชในตัว ในขณะที่ MySQL เป็นฐานข้อมูลที่ดัดแปลงมาเพื่อจุดประสงค์ในการแคช WRK ถูกใช้เพื่อจำลองการใช้งาน API ในสถานการณ์สมจริง โดยสร้างคำขอผู้ใช้พร้อมกันไปยัง API การทดสอบแต่ละครั้งเกี่ยวข้องกับการส่งคำขอไปยังแอปพลิเคชันโดยมีผู้ใช้พร้อมกันเพียงรายเดียวต่อเซิร์ฟเวอร์เป็นเวลา 60 วินาที โดยใช้ขนาดเพย์โหลดที่แตกต่างกันคือ 20 KB, 200 KB และ 2000 KB ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าการแคชช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของ API ได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยการแคชที่ใช้ไฟล์มีปริมาณงาน 126.82 การร้องขอต่อวินาที เมื่อเทียบกับ 5.55 การร้องขอต่อวินาทีโดยไม่ใช้แคชที่ขนาดข้อมูล 20 กิโลไบต์ในบรรดาไดรเวอร์แคชทั้งสามตัวที่ทดสอบ การแคชที่ใช้ไฟล์ให้การปรับปรุงประสิทธิภาพสูงสุด โดยเพิ่มขึ้น 20 เท่าเมื่อเทียบกับการไม่แคช อย่างไรก็ตามการแคชที่ใช้ไฟล์แม้ว่าจะง่ายต่อการตั้งค่ามีข้อจำกัดในด้านการปรับขนาดและความยืดหยุ่นในการปรับใช้ทำให้เหมาะกับงานขนาดเล็ก ในขณะที่ Redis เป็นทางเลือกที่ดีกว่าสำหรับแอปพลิเคชันประสิทธิภาพสูงเนื่องจากความสามารถในการปรับขนาดในแนวนอน ในทางกลับกันไม่แนะนำให้ใช้แคช MySQL เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำกว่า ยกเว้นในกรณีที่โหลดแคชต่ำซึ่งตัวเลือกแคชอื่น ๆ ไม่สามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: เอพีไอ ซีเอ็มเอสแบบไม่มีส่วนหัว การแคช การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ปริมาณงาน



Abstract

This study examines the impact of caching techniques on the throughput and response time of RESTful APIs in a headless CMS architecture developed with PHP Laravel that connected with external CMS. End users frequently experience issues such as slow page loading, delayed content updates, and occasional system errors. These factors contribute to a diminished user experience and undermine the overall reliability of the system. The primary objectives are to enhance the API response time between the Presentation Layer and the CMS and to evaluate the most effective caching technique for optimizing Laravel's API performance. Various caching drivers, including file-based caching, MySQL caching, and Redis caching, were tested to assess their effects on API throughput. All three caches have their own advantages and disadvantages, with File and Redis being built-in cache mechanisms, while MySQL is a database adapted for caching purposes. WRK was used to simulate realistic API usage by generating concurrent user requests to the API. Each test involved sending requests to the application with a single concurrent user per thread for 60 seconds, using varying payload sizes of 20KB, 200KB, and 2000KB. The results indicate that caching significantly improves API performance, with file-based caching achieving a throughput of 126.82 requests per second compared to 5.55 requests per second without caching at payload 20 KB. Among the three cache drivers tested, file-based caching provided the greatest performance improvement, with 20 times increase compared to no caching. However, file-based caching while easy to config, has limitations in terms of scalability and deployment flexibility, making it more suitable for small applications. Redis was found to be a superior alternative for high-performance applications due to its horizontal scalability. In contrast, MySQL caching was not recommended due to its relatively low performance, except in scenarios of low cache loads where other caching options were impractical.

Keywords: API, Headless CMS, Caching, Performance optimization, Throughput

1. Introduction

A Headless CMS (Content Management System) is a content management system that provides content without a front-end website. It allows developers to build websites and applications that consume and display content as needed. This approach decouples the content from the presentation layer, giving developers with greater flexibility to create engaging user experiences. Kamal (2022) suggests that a Content Management System (CMS) is a cost-effective option, as it enables individuals without coding knowledge to develop websites in traditional CMS systems where the front-end and back-end are tightly coupled. However, in a Headless CMS, the back-end is entirely decoupled from the front-end, resulting in greater flexibility and scalability. In the research context, a headless CMS offers a key benefit: write content once and display it across multiple subdomains within the organization. Typically, a Headless CMS requires an API (Application Programming Interface) to allow other applications or websites to retrieve and display content. In a Headless CMS, content is stored separately from the presentation layer, meaning the CMS



does not dictate how the content is presented. Instead, the content is made available through an API, allowing developers to access and use it in their own applications or websites. The API usually contains content in a structured format, such as JSON or XML, that can be easily consumed by other applications. This empowers developers to create customized front-end applications or websites that can display content in a manner that suits their specific needs, without being concerned about the underlying CMS or presentation layer. Integrating APIs with external CMS in a headless architecture often encounters challenges such as slow response times and instability due to external dependencies. Data retrieval delays can negatively impact user experience, while caching limitations, rate limiting, and API version changes pose further complications. Debugging becomes more complex, requiring in-depth understanding of interconnected systems. These issues collectively reduce the overall performance and reliability of the platform.

One of the most critical factors influencing Web API performance is response time. Response time refers to the duration it takes for the API to respond to a client's request. Slow response times can lead to a degraded user experience, resulting in high bounce rates and negatively impacting the overall API performance. According to the study by Babovic et al. (2016), response time is a key determinant of the overall efficiency of a web API. Reducing response time can significantly enhance Web API efficiency, resulting in improved user experience and increased user engagement.

To improve API speed and efficiency, several key strategies can be implemented. Caching plays a crucial role by storing frequently accessed data in memory using tools like file, database, Redis, significantly reducing response times. JSON compression techniques such as GZIP help minimize payload size, enabling faster data transmission over the network. Integrating a Content Delivery Network (CDN) allows static API responses and media files to be served from edge locations closer to users, decreasing latency. Moreover, load balancing evenly allocates incoming requests across multiple servers, helping to prevent system overload and maintain stable performance during periods of high traffic. Combined with other optimization strategies, this approach supports the development of an API infrastructure that is scalable, efficient, and resilient (Bautista et al., 2023; Vemasani & Modi, 2024).

Caching is a widely used technique for improving the performance of web APIs by temporarily storing frequently accessed data, allowing subsequent requests to be served more quickly without repeatedly querying the underlying data source. Various research studies have investigated and validated the effectiveness of caching strategies in optimizing API performance across a range of platforms and application scenarios (Mertz & Nunes, 2017; Hasnain et al., 2020; Sudda, 2024; Shi et al., 2024). They found that this approach greatly reduces response latency, leading to faster load times and more efficient resource utilization.

Laravel Cache is a powerful caching library that can be used to implement caching in Laravel-based web APIs. Consistent with the work of Ahmed et al. (2024), that focused on a comparative analysis of performance optimization techniques applied to two PHP frameworks, Laravel and CodeIgniter, in implemented various optimization strategies, including caching, query optimization, and code refactoring,



and measured their impact on the frameworks' response times over single and multiple iterations. Laravel Cache is a popular caching library for PHP-based web applications. This library provides a simple and efficient approach to cache data and reduce web API response times. Laravel Cache can be utilized to cache database queries and API responses, and it seamlessly integrated into Laravel-based web applications. There are many caching techniques like file, Redis, and database caching, each with different performance benefits. Laravel supports multiple cache drivers, making it easy to improve performance by caching data, queries, or full API responses efficiently without additional hardware.

A RESTful API (Representational State Transfer API) is a web service that follows the principles of REST (Representational State Transfer) architecture (Rodríguez et al, 2016) to enable communication between clients and servers over the internet. It is widely used for building scalable, maintainable, and stateless web applications. It enhances scalability, simplicity, and performance by enforcing statelessness and resource-oriented interactions. This architectural style has become the foundation of modern RESTful APIs, significantly influencing web standards, particularly in HTTP-based API design (Fielding, 2000). By leveraging the advanced capabilities of the Laravel framework, the proposed approach seeks to optimize the development process of RESTful APIs, thereby improving efficiency and maintainability. Chen et al. (2017) emphasize Laravel's built-in functionalities, which ensure compliance with REST architectural principles, facilitating the design of scalable and resilient web services. This study provides significant insights into the adoption of Laravel for RESTful API development, contributing to the establishment of best practices in modern web service architecture.

Therefore, this study aims to improve the response time of a RESTful API between the presentation layer and a headless content management system, and to evaluate the most effective caching techniques in PHP Laravel for optimizing API throughput and response times.

2. Methodology

2.1 Experimental Setup

This experiment is conducted to gather information about various types of caching in the PHP Laravel framework, their advantages and disadvantages, as well as cache functionalities. This case study involves implementing caching in a Laravel application and measuring the impact on performance and throughput relevant to APIs and caching used for Headless CMS. Throughput is the rate of work that can be done. In the case of Web APIs, it is the rate of processing API calls, specifically the average number of requests that can be successfully processed per second or per minute over a given period.

Laravel offers a standardized API for multiple caching backends, enabling seamless transitions between different caching systems without requiring modifications to the application code. The framework supports various caching drivers, including Array, File, Database, Memcached, Redis, DynamoDB, and Octane. However, this experiment focuses on File Cache, Database Cache, and Redis Cache.

File Cache stores cached data as individual files in the filesystem. While simple to implement, it suffers from slower read/write performance compared to Redis due to disk I/O limitations. Additionally, managing large cache files can become inefficient in high-traffic applications.

Database Cache mechanism stores cache data in a database table, making it easier to query and manage. However, retrieving cached data requires database queries, introducing latency and reducing performance under heavy load.

Redis Cache operates entirely in-memory, resulting in ultra-fast read and write operations. It also supports advanced caching features like automatic expiration, data persistence, and pub/sub messaging. Due to its ability to scale horizontally, Redis is the preferred choice for applications requiring high concurrency and low-latency responses. Redis can sometimes be slower by its communication over the network, even on localhost.

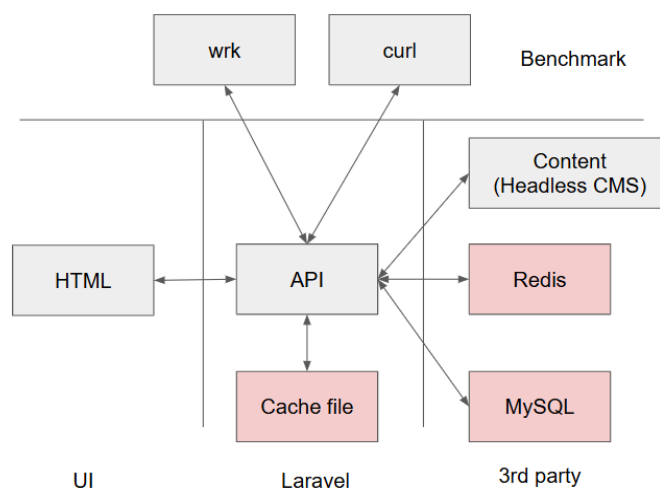


Figure 1. Components used in the experiment

WRK is a modern open-source HTTP benchmarking tool that enables the measurement of the performance and throughput of web servers or API servers. It is designed to generate a high load on web applications to simulate realistic scenarios and evaluate how well a server handles the load. To measure the throughput of cached responses, the ‘curl’ command was used to execute PHP scripts that record the time taken to retrieve data using the ‘get cache’ command, successfully fetching cached data across different caching types.

The experiment was conducted to evaluate the impact of different caching techniques on the performance and throughput of a RESTful API. The API application was developed using the Laravel framework (version 10) and connected to a MySQL database and a Redis server. The application was deployed on a cloud server with 1 vCPU, 1GB RAM, and a 25GB SSD, running a LEMP stack (Linux/Ubuntu 22, NGINX, MySQL, PHP 8.2). Additionally, Redis Server and WRK were installed for performance benchmarking.



2.2 Testing Procedure

To measure the effect of caching on API performance, a structured testing procedure was implemented. The experiment aimed to evaluate various caching mechanisms under controlled conditions to assess their impact on response time, throughput, and resource utilization.

2.2.1 Load Simulation

WRK was used to simulate realistic API usage by generating concurrent user requests to the API. Each test involved sending requests to the application with a single concurrent user per thread for 60 seconds, using varying payload sizes of 20KB, 200KB, and 2000KB.

Table 1. Experimental Environment

Configurations	Sizes
Concurrent user	1, 100, 200 concurrent user(s)
CPU	1 thread
Duration	60 seconds
Payload Size	20KB, 200KB, 2000KB
Cache Size	1 – 1,000 records

2.2.2 Caching Implementation

Laravel's built-in caching system was utilized to implement and compare various caching methods. The evaluation was conducted under three distinct test conditions: File Cache, where responses were stored in Laravel's file-based caching system; MySQL Database Cache, where cached data was stored in a MySQL database table; and Redis Cache, an in-memory caching system, which was employed for storing cached responses.

2.2.3 Performance Metrics

To comprehensively evaluate the caching mechanisms, this study measured the following performance metrics, which are often used in various research studies (Ahmed et al., 2024; Arifiany & Kusuma, 2025) to assess the effectiveness of caching strategies: Response Time (ms), which refers to the duration taken for the API to respond to each request; Throughput (requests per second), the number of successful API requests processed per second; Throughput vs. Payload Size, which analyzes how different caching mechanisms handled varying payload sizes in terms of processing efficiency; and CPU and Memory Usage, where the system resource consumption for each caching method was recorded to determine the trade-offs between performance and resource utilization (Babovic et al., 2016) including/excluding API processing in the measurement process for testing power of only cache without API lag overhead.

2.3 Data Collection and Analysis

The response times and throughput metrics were systematically logged during each test. To ensure accuracy, multiple iterations of each test were conducted, and the collected data was analyzed using



descriptive statistics (Kamal, 2022). In this experiment, each test was conducted 10 times, with throughput and response time reported as the mean and standard deviation of the observed values. The performance differences between caching mechanisms were visualized using bar and line charts. Throughput was compared across different payload sizes and cache sizes to determine which caching mechanism offered the best scalability and efficiency. The results were then interpreted to identify the most effective caching strategy for optimizing Laravel API performance in a Headless CMS environment.

2.4 Limitations and Considerations

Despite the structured methodology, certain limitations existed in the experimental setup. The experiment was conducted on a single-node server without horizontal scaling, which may limit its ability to handle higher traffic loads (Bhatt, 2024). Horizontal scaling may be considered for implementation in future work to improve scalability. Additionally, only three caching mechanisms (File, Redis, and MySQL) were evaluated, while other caching technologies such as Memcached and DynamoDB were not included in the study. Moreover, network latency and external traffic variations were not considered since the tests were performed in a controlled environment.

Measuring the impact of caching on performance and throughput, WRK was used to simulate user traffic on the application. The experimental scenario involved sending one concurrent user per thread to the application for 60 seconds, while using different payload sizes of 20KB, 200KB, and 2000KB. Throughput was monitored throughout the test. Cache drivers were implemented in the sample application using Laravel's built-in caching functions. The cache drivers tested included File, Redis, MySQL Database, and No Cache. The results were compared to evaluate the impact of caching on performance and throughput. The collected data was analyzed using descriptive statistics and visualized with bar and line charts.

3. Results

3.1 Installation Complexity

The complexity of installation and configuration varies significantly across different caching drivers, as summarized in Table 2., indicates that the File driver does not require any installation or configuration steps, while Redis and MySQL necessitate the installation of software and configuration within the application to connect. Redis on Windows may require additional setup for proper functionality.

These differences in installation complexity highlight that while file caching is the easiest to implement, it lacks scalability. Conversely, Redis and MySQL require additional setup but provide better support for distributed applications or horizontally scalable by network I/O configuration (Camilleri et al., 2024).

3.2 Throughput, Response Time vs. Payload Size

The performance evaluation measured the throughput of the API under different caching mechanisms using payload sizes of 20KB, 200KB, and 2000KB, simulating various realistic traffic scenarios in a headless CMS application. The results are summarized in Table 3. and Table 4.



Table 2. Installation Complexity of Each Caching Driver

Driver	Installation Condition
File	- No dependencies required, simply use the built-in file driver in the framework. - The cache storage location is in the folder /framework/cache/data. - Supported on all operating systems.
Redis	- Redis is a key-value store, which requires specific configuration for the connection. - Redis is officially supported on Windows using WSL2 (Windows Subsystem for Linux). The performance can be more efficient for running on Linux. - Requires installation and configuration within the application. - Network I/O configuration
MySQL	- MySQL Server needs to be installed with some php-mysql extension for PHP. - Create a database and some schemas specifically for caching. - Requires configuration with the application to ensure proper connectivity. - Network I/O configuration

Table 3. API Throughput vs. Payload Size

Driver	Throughput (request/second)					
	Payload 20KB		Payload 200KB		Payload 2000KB	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
File	126.82	14.19	115.88	13.93	63.28	7.70
Redis	113.71	13.81	96.92	13.04	49.81	6.84
MySQL	104.31	12.98	85.28	10.82	48.76	6.44
No cache	5.55	1.99	3.66	0.88	2.45	0.31

Table 4. API Response time vs. Payload Size

Driver	Response Time (ms)					
	Payload 20KB		Payload 200KB		Payload 2000KB	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
File	7.89	1.33	8.63	1.43	15.80	2.35
Redis	8.79	1.62	10.31	1.83	20.08	2.88
MySQL	9.59	1.65	11.73	1.57	20.51	2.43
No cache	180.18	10.59	273.22	14.03	408.16	49.99



File Cache outperforms other caching mechanisms across all payload sizes with the highest throughput. At 20KB, the file caching method demonstrated a throughput of 126.82 req/s, SD = 14.19, outperforming Redis, which achieved 113.71 req/s, SD = 13.81, and MySQL, which recorded 104.31 req/s, SD = 12.98. As the payload size increased to 2000KB, the File Cache remained the fastest but dropped to 63.28 req/s, SD = 7.70, showing a decline in performance due to file system limitations. Redis provided better performance than MySQL in all scenarios. At 200KB, Redis achieved 96.92 req/s, SD = 13.04, while MySQL lagged at 85.28 req/s, SD = 10.82. At 2000KB, Redis performance declined to 49.81 req/s, SD = 6.84, though it remained marginally more efficient than MySQL, which achieved 48.76 req/s, SD = 6.44. Both caching methods, relying on network communication, still suffered performance degradation at higher payload sizes. The API without caching (No cache) is the baseline, achieving 5.55 req/s, SD = 1.99, which is more than 20 times slower than any cache driver. As shown in Table 4., considering API response time alongside API throughput, the File Cache driver is the fastest in all payload sizes.

The results of the payload simulation scenario demonstrate that caching has a significant impact on the performance and response time of the sample Laravel application. File caching is best suited for small-scale applications where simplicity and fast access to local files are priorities. However, it lacks horizontal scalability. Redis offers a balance between performance and scalability, making it the preferred choice for large-scale applications requiring low-latency and high-throughput responses. MySQL caching is the least effective for high traffic or high payload applications and is primarily useful in cases where existing database infrastructure must be leveraged for caching. However, caution is needed to avoid system bottlenecks caused by database caching.

API Throughput (request/second) vs. payload sizes

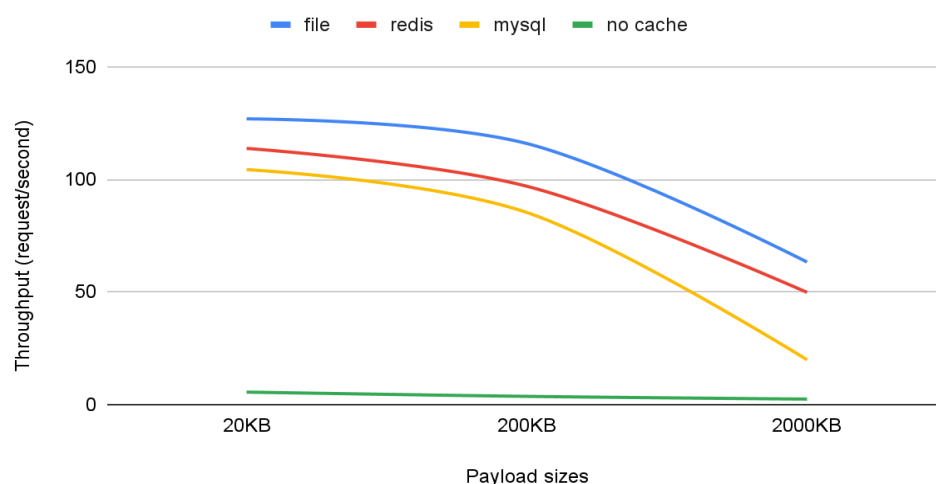


Figure 2. API Throughput vs. Payload Size



3.3 Cache Throughput vs. Payload Size

To analyze the caching mechanism alone (excluding API processing overhead), an additional benchmark was performed focusing purely on cache retrieval throughput. This test aimed to measure the effect of caching alone, where both the cache and no-cache scenarios should be in the same direction with different throughput results. File Cache again demonstrated the fastest response times, maintaining higher throughput across all payload sizes. At a payload size of 20KB, the File driver achieved a mean throughput of 25,006 req/s, SD = 3,034, which was 2.5 times higher than Redis (10,002 req/s, SD = 1,334), and over 31 times higher than MySQL (791 req/s, SD = 112). However, its performance depends on disk I/O speed, and for applications with limited storage, this could be a bottleneck. At the highest payload of 2000KB, throughput dropped sharply across the board: File at 164 req/s (SD = 22), Redis at 124 req/s (SD = 18), and MySQL at 98 req/s (SD = 12). Despite the sharp drop, File Cache maintained the lead, but the performance gap between File and Redis narrowed significantly. Redis performed better than MySQL, confirming its efficiency as an in-memory cache. However, Redis's advantage diminishes with large payloads due to the memory cost of storing large objects, which aligned with the study of Shi et al. (2024) regarding Redis's advantages in data structure support and persistence features, and highlights issues like scalability and multi-core CPU utilization. MySQL struggled with larger payloads, reaffirming that databases are not optimized for high-speed caching. While file caching provides excellent single-server performance, it is not suitable for distributed environments. Redis and MySQL, on the other hand, support remote access, clustering, and horizontal scaling, making them more appropriate for applications with growing traffic. Intuitively, memory operation (Redis) should be faster than storage (file), Redis can sometimes be slower than file-based caching in Laravel because it communicates over the network I/O, even on localhost, introducing slight latency due to TCP connections and data serialization. Moreover, on modern SSD with light traffic, file I/O can be faster than Redis in some situations with small application or low traffic.

Table 5. Cache Throughput vs. Payload Size

Driver	Throughput (request/second)					
	Payload 20KB		Payload 200KB		Payload 2000KB	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
File	25,006	3,034	8,822	1,131	164	22
Redis	10,002	1,334	2,807	400	124	18
MySQL	791	112	539	64	98	12

Caches Throughput (request/second) vs. payload sizes

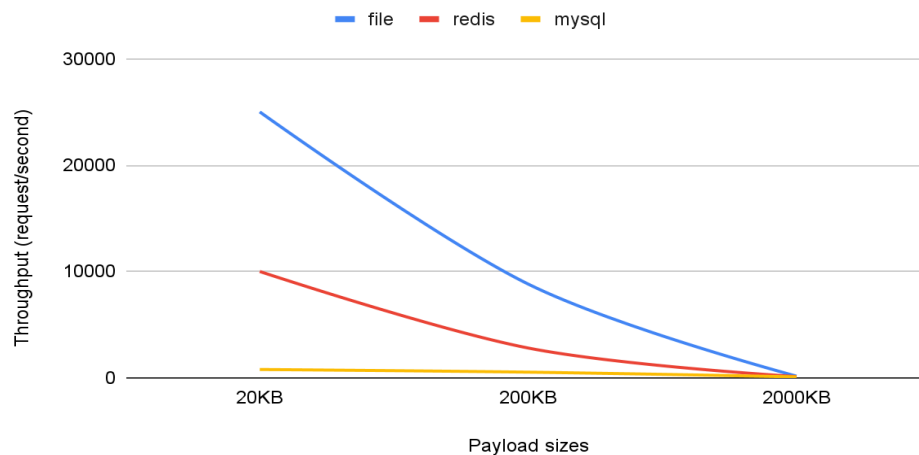


Figure 3. Cache Throughput vs. Payload Size

3.4 Cache Throughput vs. Cache Size

Cache throughput refers to how many read/write operations a cache can handle per second, while cache size determines how much data it can store. While a larger cache size can reduce cache misses by storing more data and tend to cause higher throughput as table 6, it doesn't always lead to higher throughput. At a cache size of 10 records, File driver achieved the highest throughput at 125.80 req/s (SD = 15.02), followed by MySQL at 97.59 req/s (SD = 13.13) and Redis at 97.24 req/s (SD = 15.08). As the cache size increased to 100 records, File throughput slightly declined to 116.71 req/s (SD = 16.71), Redis dropped to 87.49 req/s (SD = 27.41), while MySQL improved to 101.40 req/s (SD = 11.71). At 1,000 records, File throughput slightly recovered to 118.90 req/s (SD = 17.37), Redis increased to 102.21 req/s (SD = 15.46), and MySQL decreased to 90.90 req/s (SD = 13.79). These results show that Redis is more stable at higher cache sizes, while MySQL fluctuates and may degrade due to database read overhead. The File Cache maintains consistent performance across all sizes, though slightly impacted at 100 records.

In-memory caches like Redis offer high throughput with low latency but are limited by RAM, whereas file-based and MySQL cache may support larger sizes but have slower access speeds due to disk I/O. Optimizing API performance requires balancing both cache size and throughput to ensure fast responses and efficient data access.

3.5 Cache Requests vs. Concurrent users

The number of cache requests typically increases as concurrent users grow, each user request may trigger a cache read. With effective caching, most of these user requests are served directly from the cache, reducing database load and improving response times. However, if the cache isn't sized or configured properly, high concurrency can lead to higher timeout requests and degrading performance. To maintain stability, the cache system must scale to handle increasing read/write throughput as concurrent user counts rise.



Table 6. Cache Throughput vs. Cache Size with Payload 20KB

Driver	Throughput (request/second)					
	10 records		100 records		1,000 records	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
File	125.80	15.02	116.71	16.71	118.90	17.37
Redis	97.24	15.08	87.49	27.41	102.21	15.46
MySQL	97.59	13.13	101.40	11.71	90.90	13.79

As shown in Table 7., with 100 concurrent users, the File Cache handled 6,596 requests with no timeouts, demonstrating excellent single-node efficiency. MySQL also performed well with 5,288 requests and no timeouts, indicating acceptable performance at low load due to direct database access. Redis, while faster in memory access, recorded 2,412 requests with 140 timeouts, showing stable behavior under low concurrency. When the concurrency doubled to 200 users, File Cache still performed relatively well with 6,656 requests and 638 timeouts. Redis's performance dropped further to 2,210 received requests and 1,177 timeouts, likely due to memory pressure or network I/O bottlenecks. MySQL showed a drastic increase in timeout behavior with 5,181 requests and 5,018 timeouts, meaning nearly all requests experienced latency or failure to respond within time limits.

These results highlight that while File and MySQL caches handle light concurrency well, they deteriorate rapidly under higher user loads. Redis, although designed for high-concurrency workloads, needs proper configuration and more system resources to meet expectations. Although MySQL is convenient in certain infrastructures, it is not optimized for caching under high concurrency and exhibited critical bottlenecks due to limitations in concurrent query execution and disk access contention.

Table 7. API Request vs. Concurrent Users in 1 Minute

Driver	Requests 20 KB			
	100 concurrent users		200 concurrent users	
	Received	Timeout	Received	Timeout
File	6,596	0	6,656	638
Redis	2,412	140	2,210	1,177
MySQL	5,288	0	5,181	5,018



3.6 Scalability and Infrastructure Considerations

Although the results demonstrate an impressive performance range for the file driver, it is important to note that the file driver is only suitable for single-node servers, where the API and cache reside in the same file storage. On the other hand, Redis and MySQL can be deployed on separate nodes and connected over the network. If insufficient file space is an issue, File Cache can easily fail. Additionally, for APIs that need to share cache data, Redis and MySQL are more appropriate solutions. Both Redis and MySQL are designed to scale both horizontally and vertically, whereas file caching is limited by the performance and capacity of the file system, resulting in lower scalability for large applications or high-traffic scenarios on cache of Laravel Framework. Although MySQL can function as a cache, it is not its primary purpose since MySQL is typically used for persistent storage and can become a bottleneck in routine query services. In rare cases, MySQL may be selected for caching simply due to existing infrastructure, but Redis remains a more efficient and scalable caching solution compared to MySQL.

The scalability of each caching mechanism was evaluated, as summarized in Table 8. This result may provide additional insights to inform decision-making regarding the selection of appropriate cache drivers for specific situations.

Table 8. Experiment Scenarios

Scenarios	File	Redis	MySQL
remote server	FALSE	TRUE	TRUE
cluster	FALSE	TRUE	TRUE
vertical scale	TRUE	TRUE	TRUE
horizontal scale	FALSE	TRUE	TRUE
replication	FALSE	TRUE	TRUE

Based on the experimental outcomes, File Cache, while efficient in localized deployments, showed significant limitations, especially when subjected to concurrency stress and increasing data sizes. As seen in Table 7, it experienced higher timeout rates when user concurrency exceeded 200, mainly due to its reliance on file I/O and lack of network-level scalability. Redis and MySQL support advanced infrastructure capabilities like clustering, remote access, and replication. However, Redis outperforms MySQL in read/write speed, memory efficiency, and cache-specific features, making it more appropriate for dynamic, high-throughput environments.

In conclusion, File Cache is ideal for simple, single-node setups with minimal scalability needs. MySQL may be used where integration is prioritized over performance, but Redis remains the optimal solution for scalable, distributed, and high-performance Laravel applications.



3.7 Advantages and Disadvantages of Each Cache

A comparative analysis of each caching mechanism is presented in Table 9.

Table 9. Comparison of the advantages and disadvantages of each cache

Cache Driver	Advantages	Disadvantages
File	- Easy to set up and use as it utilizes the file system for cache storage. - Suitable for small applications or development environments. - No need for additional dependencies or configurations.	- Performance may degrade as the cache size grows due to file system operations. - Limited scalability and performance compared to other drivers. No horizontal scaling. - May be slower than in-memory caches like Redis for certain workloads.
Redis	- Fast in-memory data caching with high performance and low latency. - Provides advanced caching features like expiration, tagging, and pub/sub messaging. - Network I/O provides Highly scalable, handling large datasets and high traffic loads, ideal for horizontal scaling. - Supports more complex data structures and operations beyond basic key-value caching.	- Requires a Redis server, adding extra dependency. - Needs specific setup and configuration for connecting to the Redis server. - More complex configuration compared to file or MySQL caching. - Network I/O Overhead made some certain lags even though enhance fast speed from in-memory.
MySQL	- Leverages the existing MySQL database infrastructure, requiring no additional setup. - Ideal for applications already using MySQL and wishing to use the same database for caching. - Provides data persistence and durability.	- Performance may degrade compared to file-based or in-memory caching due to disk I/O and database operations. - Can increase the workload on the MySQL server. - Limited scalability and performance compared to dedicated caching systems. Can scale horizontally but at a higher cost than Redis.



The comparison of caching mechanisms reveals distinct advantages and disadvantages for each. File caching is the simplest to implement, requiring no additional setup or dependencies, making it ideal for small-scale applications. However, it suffers from performance degradation as the cache size grows and lacks scalability. Redis caching offers fast in-memory data access, advanced features like expiration policies, and excellent scalability through clustering and replication, making it ideal for high-concurrency applications. The trade-off is that it requires more complex setup and consumes more memory. MySQL caching, while leveraging existing infrastructure and offering data persistence, is the least efficient for caching due to slower performance from database query overhead, making it better suited for persistent storage rather than real-time cache retrieval.

4. Discussion

In summary, the results of the case study demonstrate that caching has a significant impact on the performance and throughput of the Laravel API application. The File Cache driver provided slightly better performance compared to Redis and MySQL drivers by the result of throughput and response time, although with limitations when used on a single-node machine, which can only improve performance through vertical scaling. In contrast, both Redis and MySQL can be deployed anywhere and connected through a network layer, offering more flexibility in deployment. Using MySQL as a caching mechanism is considered a rare case due to performance concerns and potential bottlenecks. The result of cache performance with and without API are in the same direction, while the without API shows better throughput due to no network impact.

The selection of an appropriate cache driver (File, MySQL, or Redis) depends on various factors, including the application's context, complexity, performance requirements, scalability needs, and available resources. File Cache is easy to set up but may have limitations in performance, especially in terms of scalability, as the cache resides within the API project code. MySQL caching can be beneficial if MySQL is already in use and you want to reuse the same infrastructure. MySQL offers better scalability than file-based caching because MySQL services can be separated from the API, though scaling MySQL remains challenging and costly.

In comparison with existing research, this study confirms several key observations. Hasnain et al. (2020) emphasized caching's role in improving scalability for web services in CMS platforms. Similarly, this study found Redis to be the most suitable for scalable, high-performance deployments, while file caching was effective only in single-node environments with limited scalability. Mertz & Nunes (2017) provided a broad theoretical foundation on caching benefits, such as reduced latency and better resource utilization. This work complements their findings by presenting experimental evidence specific to Laravel APIs, particularly regarding performance across varying payload sizes. The observed performance order (File, Redis, MySQL) is consistent with Sudda (2024), who demonstrated that server-side caching in Laravel improves responsiveness. Sudda's suggestions for future enhancements, such as prefetching and rate



limiting, offer valuable directions to extend this research. Compared with Bang et al. (2024), which quantitatively showed Redis outperformed MySQL in data operations by several factors, this study supports the conclusion in the context of API caching, especially for large payload scenarios. Moreover, Ahmed et al. (2024) benchmarked Laravel and CodeIgniter and highlighted Laravel's flexible caching system, an insight directly reflected in this research's ability to switch between multiple cache drivers.

Redis, on the other hand, is highly efficient and offers advanced features, but requires additional configuration. Therefore, selecting the most suitable cache driver for an application should align with its specific needs. This aligns with the study by Bang et al. (2024), which demonstrated that Redis outperforms MySQL, requiring 5.84 times less time for data insertion, 6.61 times less for data retrieval, and 12.33 times less for data deletion. These results indicate that Redis is particularly advantageous in environments requiring high data processing and maintenance. Consequently, organizations and online service providers may opt for NoSQL databases such as Redis to enhance data management efficiency.

File caching can be faster than Redis in some cases because it avoids network overhead and accesses data directly from local storage, making it more efficient for simple, low-traffic applications. For a small usage application like the experiment configuration, File Cache is recommended to use.

As the number of concurrent users increases, cache requests also rise. A well-optimized cache reduces database load by quickly serving frequent data; however, under high concurrency, it may cause higher timeouts, so the cache size (i.e., how much data can be stored) must be carefully balanced. In-memory caches like Redis offer high throughput but limited storage capacity, while file-based and MySQL caches allow more storage at the cost of slower access speed. To maintain performance, systems must scale caching strategies to handle both increasing user load and efficient data storage.

This research focuses on improving API performance for headless CMS platforms. File-based caching is the most suitable choice for small-scale applications, considering payload sizes between 20 KB and 2000 KB, cache sizes of 10 to 100 records, and concurrent usage of around 100 users.

5. Conclusion

In the research context, headless CMS enhance a crucial benefit feature that write content one, display many subdomains in the organization and the bottleneck of these system is slow API. Caching is an effective method for improving throughput and enhancing the performance of web applications built using the Laravel framework. This study evaluated three caching mechanisms (File Cache, Redis, and MySQL) within a Laravel-based API environment for optimizing RESTful API throughput and response times of headless content management system by using system without cache as baseline. The result of cache performance with and without API are in the same direction, while the without API shows better throughput due to no network impact. File caching is the simplest and fastest for single-node applications but lacks scalability. Redis offers the best balance of speed, scalability, and flexibility, making it the ideal choice for large-scale applications. MySQL is the least efficient for caching, as it introduces additional query overhead



and is better suited for persistent storage rather than high-speed cache retrieval. For production applications requiring high throughput, low latency, and scalability, Redis may be the recommended caching solution. However, for small-scale applications or development environments, file caching remains a viable option due to its simplicity and keeps the best performance as the experimental result. The study also revealed that the File Cache driver provided performance that was 20 times better than the no-cache driver. Among the three cache drivers, the file driver performed the best, although it had limitations in scalability and deployment flexibility. For easy installation and low-cost implementation, the file driver is recommended, despite its limited scalability. For high performance and cost-effectiveness, Redis with high horizontal scalability is recommended. MySQL is not recommended as a cache due to its lower performance, except in cases with light cache loads where it does not create system bottlenecks and using file and Redis caching would be inconvenient. File caching can be faster than Redis in some cases because it avoids network overhead and accesses data directly from local storage, making it more efficient for simple, low-traffic applications. For a small usage application like the experiment configuration, File Cache is recommended to use. Future research could include studying caching in scenarios with very high loads (more than one concurrent user and test more than 60 seconds) and horizontal scaling.

6. Acknowledgements

We would like to express our sincere gratitude to the Thailand Science Research and Innovation (TSRI) for providing research funding from the government budget for the fiscal year 2023. We would also like to extend our thanks to all individuals who have contributed valuable data, feedback, and suggestions, which have greatly supported the successful completion of this research.

7. References

- Ahmed, MK., Bello, AH., Jauro, SS., & Dawaki, M. (2024). A comparative analysis of performance optimization techniques for benchmarking PHP frameworks: Laravel and CodeIgniter. *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, 10(3c), 284–295.
- Arifany, I., & Kusuma, GP. (2025). Leveraging headless content management system as a service in a service-based architecture: Enhancing user experience and overcoming resource limitations for start-ups. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103(7), 2991–3011.
- Babovic, ZB., Protic, J., & Milutinovic, V. (2016). Web performance evaluation for internet of things applications. *IEEE Access*, (4), 6974-6992.
- Bang, H., Kim, SH., & Jeon, S. (2024). Comparative Evaluation of Data Processing Performance between MySQL and Redis. *Journal of Internet Computing and Services*, 25(3), 35-41.
- Bautista, PB., Comellas, J., & Urquiza-Aguir, L. (2023). Evaluating scalability, resiliency, and load balancing in software-defined networking. *Engineering Proceedings*, 47(1), 16.
- Bhatt, S. (2024). Best practices for designing scalable REST APIs in cloud environments. *Journal of Sustainable Solutions*, 1(4), 48–71.
- Camilleri, C., Vella, JG., & Nezval, V. (2024). Horizontally Scalable Implementation of a Distributed DBMS Delivering Causal Consistency via the Actor Model. *Electronics*, 13(17), 3367.



- Chen, X., Ji, Z., Fan, Y., & Zhan, Y. (2017). Restful API Architecture Based on Laravel Framework. *Journal of Physics: Conference Series*, 910(1), 1-6.
- Fielding R. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. Dissertation. California: University of California.
- Hasnain, M., Pasha, MF., & Ghani, I. (2020). Drupal core 8 caching mechanism for scalability improvement of web services. *Software Impacts*, 3, 100014.
- Kamal, J. (2022). Design and Development of a Headless Content Management System. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 9(7), 697-700.
- Mertz, J., & Nunes, I. (2017). Understanding application-level caching in web applications: A comprehensive introduction and survey of state-of-the-art approaches. *ACM Computing Surveys*, 9(4), Article 39.
- Rodríguez, C., Báez, M., Daniel, F., Casati, F., Trabucco, J. C., Canali, L., & Percannella, G. (2016). REST APIs: A large-scale analysis of compliance with principles and best practices. *International Conference on Web Engineering, Lecture Notes in Computer Science*, 9671, 21–39.
- Shi, L., Qiao, H., Yang, C., Jiang, Y., Yu, K., & Chen, C. (2024). Research and application of distributed cache based on Redis. *Journal of Software*, 19(1), 1-8.
- Sudda, PR. (2024). *Optimizing PHP API calls with pagination and caching*. Master's thesis. USA: Michigan Technological University, Michigan.
- Vemasani, P., & Modi, S. (2024). Optimizing cloud computing performance: How CDNs revolutionize global content delivery. *Journal of Advanced Research Engineering and Technology (JARET)*, 3(1), 11–24.



การปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่าง
และกล้ามเนื้อในพนักงานขับรถโดยสาร จังหวัดนครราชสีมา
Improving Work Posture to Reduce the Risk of Musculoskeletal Disorders
among Bus Drivers in Nakhon Ratchasima Province

กนกพร ปลั่งกลาง¹ อัครพล ทองคำ¹ พัทชมล กลิ่นเล็ก¹ ธนาคาร ศรีมะเร็ง¹
รชนีกร พลปัดพี¹ และ พรศิริ จงกล^{1*}

Kanokporn Plangklang¹ Aukrapol Thongkam¹ Phatchamon Klinlek¹
Tanakan Seemaroeng¹ Ratchaneekorn Polpattapee¹ and Pornsiri Jongkol^{1*}

¹สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

¹Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima Province

*Corresponding Author: pornsiri@sut.ac.th

Received: March 17, 2025

Revised: May 21, 2025

Accepted: May 23, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาภาคตัดขวาง มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความชุกและประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงาน รวมถึงแนวทางปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในพนักงานขับรถโดยสาร จังหวัดนครราชสีมา จำนวนทั้งสิ้น 72 คน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม Standardized Nordic Questionnaire และ แบบประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา วิเคราะห์ความถี่ สัดส่วน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า ความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในช่วง 7 วันและ 12 เดือนที่ผ่านมา คิดเป็นร้อยละ 88.89 และ 94.67 ตามลำดับ ส่วนของร่างกายที่พบมากที่สุด ได้แก่ บริเวณหลังส่วนล่าง บริเวณสะโพก/ต้นขา และบริเวณ หลังส่วนบนตามลำดับ ในส่วนการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี RULA พบว่า ส่วนใหญ่มีคะแนนเสี่ยงท่าทางการทำงานอยู่ที่ระดับ 2 หมายถึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง อาจจะจำเป็นที่จะต้องมีการ ออกแบบงานใหม่สำหรับผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการปรับปรุงท่าทางการทำงาน พบว่าก่อนการปรับปรุง ท่าทางการทำงานที่คะแนนระดับเสี่ยงที่ระดับ 3 จำนวน 3 คน หมายถึงงานนั้นเริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและ ควรปรับปรุง และหลังการปรับปรุงท่าทางการทำงาน พบว่ามีคะแนนระดับเสี่ยงที่ระดับ 2 ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อใช้ด้าน สุขอนามัยการทำงานยังมีน้อย เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากการนั่งขับรถในระยะยาว จำเป็นต้องศึกษากำหนดเกณฑ์ท่าทางการ นั่งหรือการปรับอุปกรณ์ในแต่ละรถให้เป็นมาตรฐาน

คำสำคัญ: ความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ท่าทางการทำงาน การประเมินความเสี่ยง พนักงานขับรถโดยสาร



Abstract

This cross-sectional study aimed to determine the prevalence and assess the risk associated with work postures, including recommendations for improving them to reduce the risk of musculoskeletal disorders among 72 bus drivers in Nakhon Ratchasima Province. Data were collected using the Standardized Nordic Questionnaire and the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method. Data were analyzed using descriptive statistics: frequency, proportion, percentage, mean, and standard deviation (SD). The results showed that the prevalence of musculoskeletal disorders in the past 7 days and 12 months were 88.89% and 94.67%, respectively. The most common body parts were lower back, hip/thigh, and upper back. For the RULA method, most of them had a risk score of 2, indicating that further study and continuous monitoring are recommended. Redesigning certain work tasks may be necessary. For the comparison of scores before and after improving working postures, it was found that prior to the intervention, 3 people had a risk level score of 3, indicating that the work was becoming problematic and required prompt study and improvement. After improving the work posture, the risk level score had improved to level 2. Currently, research on occupational hygiene related to long-term driving remains limited. In order to prevent diseases caused by prolonged driving, it is necessary to establish standardized sitting postures or equipment adjustments for each vehicle.

Keywords: Musculoskeletal disorders, Work postures, Risk assessment, Bus drivers

1. บทนำ

ปัจจุบันการคมนาคมในประเทศไทยพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ธุรกิจโลจิสติกส์จึงมีการเติบโตเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้สภาพทางเศรษฐกิจในประเทศมีแนวโน้มที่ดีขึ้น การคมนาคมมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตประจำวันเป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งการคมนาคมทางบกที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสามารถเดินทางได้อย่างรวดเร็ว สะดวก ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าทางน้ำหรือทางอากาศ (Soykaew & Sirisuwan, 2019) ซึ่งการขนส่งทางบกได้ดำเนินการบริหารจัดการอำนวยความสะดวกด้านยานพาหนะแก่ประชาชนหลากหลายประเภท อาทิ รถยนต์ รถตู้ และรถบัส เป็นต้น การใช้บริการรถบัสได้รับความนิยมสำหรับประชาชนในการเดินทางภายในประเทศเนื่องจากประชาชนสามารถเข้าถึงการบริการได้ในเกือบทุกจุดพื้นที่ สะดวกในการเดินทาง ประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการเดินทางไกลด้วยรถส่วนตัว ผู้ที่ไม่มีรถส่วนตัวก็สามารถเดินทางไกลได้ด้วยการให้บริการรถบัสโดยสารทำให้การดำเนินชีวิตของประชาชน

พนักงานขับรถบัสโดยสารหมายถึงพนักงานที่ทำหน้าที่ขับรถโดยสารประจำทางตามเส้นทางที่กำหนดเพื่อขนส่งผู้โดยสารตามจุดหมาย โดยมีการทำงานขับรถโดยสารเป็นส่วนใหญ่ เช่น รถบัสโดยสาร 8 ล้อขึ้นไปมีการทำงานตั้งแต่เช้าถึงเย็น (08.00 น.-17.00 น.) ทั้งนี้เมื่อพนักงานมีระยะในการปฏิบัติงาน 4 ชั่วโมง ต้องมีการจอดพักระหว่างการเดินทางเป็นระยะเวลา 30 นาที/ 4 ชั่วโมง และจึงกลับมาปฏิบัติงานเดินทางไปยังจุดหมาย (Tonglim, 2012) ในขณะที่การปฏิบัติงานของพนักงานขับรถบัสโดยสารในเส้นทางระยะไกลเป็นการทำงานต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ทำให้ไม่มีการขยับตัวหรือมีลักษณะท่าทางเดียวเป็นเวลานาน โดยเฉพาะลักษณะท่าทางการทำงานที่เป็นท่าหนึ่ง ทำให้เกิดความเมื่อยล้าไปจนถึงการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อได้ รวมถึงหากพนักงานเกิดการเจ็บป่วยและลางานเพื่อเข้ารับการรักษาพยาบาลเนื่องจากสาเหตุดังกล่าว อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานและกระทบต่อรายได้ของกิจการ



เกิดปัญหาต่อทางสังคมและเศรษฐกิจ (Hongchuvech, 2024)

กลุ่มแรงงานที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับแรงงานหนักหรือการทำงานซ้ำ ๆ เช่น การยกของหนัก หรือการทำงานในตำแหน่งที่ต้องโค้งงอหรืออยู่ในท่าที่ผิดปกติ เป็นระยะเวลานาน พบว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา แนวโน้มของความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ (Musculoskeletal Disorders: MSDs) มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มอาการที่เกี่ยวข้องกับปวดกล้ามเนื้อ บริเวณเอว สะโพก ไหล่ คอ และหลัง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากสำนักงานสถิติแห่งชาติที่ระบุว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2554–2558 อัตราการเกิด MSDs ในประเทศไทยเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 83.09 เมื่อเทียบกับประชากรที่เจ็บป่วยทั้งหมด โดยโรคกลุ่มนี้ถือเป็นโรคที่พบมากที่สุดตามรหัส ICD-10 (WHO, 2019) ในกลุ่มโรคระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ ได้แก่ โรคออร์ธโรปี (M00–M25) และโรคของเนื้อเยื่ออ่อน (M60–M79) มีสาเหตุหลักจากภาระงานและแรงกดดันทางกล้ามเนื้อ การศึกษาจาก Pongpattarapokin (2023) ยังสนับสนุนข้อมูลดังกล่าว โดยพบว่าในกลุ่มพยาบาลหอผู้ป่วยวิกฤตผู้ใหญ่ มีอัตราการเกิด MSDs สูงถึงร้อยละ 84 โดยอาการที่พบบ่อย ได้แก่ ปวดไหล่ คอ หลังส่วนล่าง และหลังส่วนบน สะท้อนให้เห็นถึงความรุนแรงและผลกระทบของ MSDs ต่อคุณภาพชีวิตของแรงงาน ซึ่งอาจนำไปสู่การลาป่วยบ่อยครั้ง ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และในบางรายอาจรุนแรงจนกลายเป็นภาวะพิการเรื้อรัง สาเหตุสำคัญของปัญหานี้มักเกิดจากการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม เช่น ขาดอุปกรณ์ช่วยพยุง ขาดช่วงเวลาพักผ่อนที่เพียงพอ และการขาดความรู้ในการดูแลกล้ามเนื้อและกระดูก นอกจากนี้ พฤติกรรมการทำงานที่ไม่ถูกต้องซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะยาวยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งเสริมให้ความเสี่ยงของ MSDs สูงขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้น การแก้ไขปัญหาควรเริ่มต้นจากการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานให้เหมาะสมกับสรีระของแรงงาน รวมถึงการให้ความรู้ด้านสุขภาพและการดูแลร่างกายอย่างเหมาะสมอย่างต่อเนื่อง

ผู้ประกอบการที่ขาดความรู้และความเสี่ยงต่อการเกิดโรค MSD จากงานวิจัยของ Chen (2022) ในประเทศไต้หวัน พบว่า MSD ในคนขับรถโดยสาร มีการสำรวจคนขับรถโดยสารจำนวน 145 คน โดยพบว่าผู้มีอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (MSD) จำนวน 92 คน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 63.8 ของกลุ่ม การประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บกล้ามเนื้อและกระดูก เป็นเครื่องมือที่สำคัญ ที่ใช้บ่งชี้สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยจากการทำงานและหาแนวทางในการกำจัดสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัยดังกล่าว (Jongkol et al., 2024) เพื่อลดความเสี่ยงดังกล่าว วิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (Human Factors Engineering: HFE) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการออกแบบงานและสภาพแวดล้อมการทำงาน โดยคำนึงถึงข้อจำกัดและคุณลักษณะของมนุษย์ เพื่อให้เกิดความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน (Taylor, 2013) ตามแนวคิดของ OGP (2011) ได้เสนอว่า ระบบการทำงานควรประกอบด้วยองค์ประกอบ 5 ด้าน ได้แก่ มนุษย์ งาน องค์กร สิ่งแวดล้อม และอุปกรณ์ ซึ่งการออกแบบที่ยึดมนุษย์เป็นศูนย์กลางจะสามารถลดความเสี่ยงในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้ HFE ยังเห็นได้จากการออกแบบผลิตภัณฑ์ในชีวิตประจำวัน เช่น การออกแบบที่นั่งซึ่งเข้าสำหรับเด็กโดยอิงจากขนาดและสัดส่วนร่างกายตามหลักการของวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์ (Jongkol et al., 2024) ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานว่าด้วยการปรับปรุงท่าทางการทำงาน เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงคือ RULA ดังนั้น การนำหลักการของวิศวกรรมปัจจัยมนุษย์มาใช้ในการออกแบบสภาพแวดล้อมการทำงานของพนักงานขับรถโดยสาร จึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการส่งเสริมสุขภาพ ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรค MSD และเพื่อหาความชุกและประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงาน รวมถึงแนวทางในการปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในพนักงานขับรถโดยสาร ซึ่งต่อไปยังการนำเสนอกรอบแนวคิดการวิจัยที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยส่วนบุคคล ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับงาน และผลกระทบต่อความเสี่ยงของโรคกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ รวมทั้งการประเมินด้วยวิธีการ Rapid Upper Limb Assessment (RULA) เพื่อใช้ในการวางแผนแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมโดยงานวิจัยนี้มีกรอบแนวคิดดัง Figure 1.

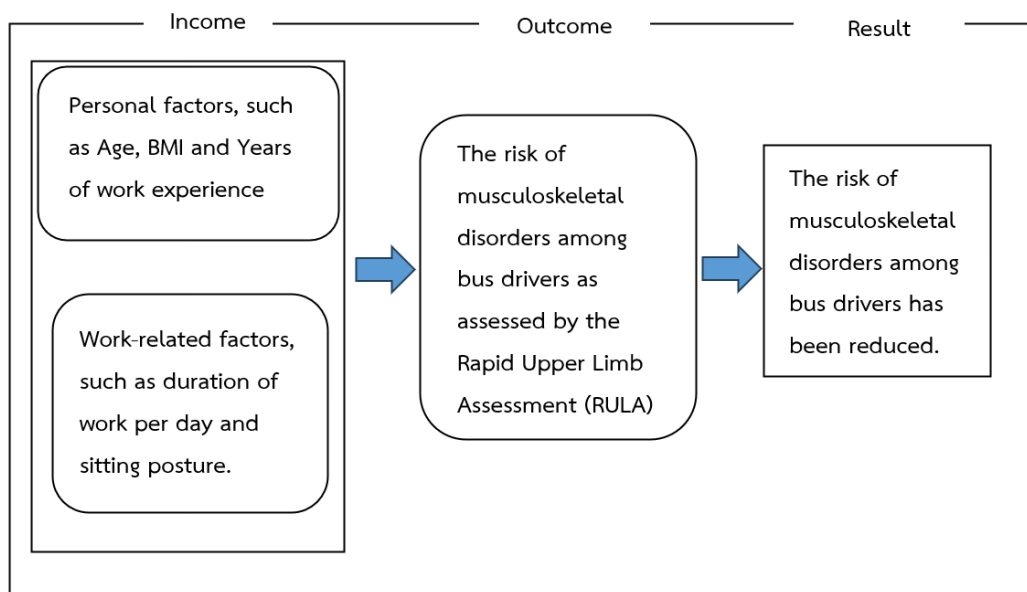


Figure 1. Research Conceptual Framework

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาภาคตัดขวาง (Cross-Sectional Study) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความชุกและประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงาน รวมถึงแนวทางปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในพนักงานขับรถโดยสาร จังหวัดนครราชสีมา

2.1 ประชากร

ประชากรในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ประกอบอาชีพขับรถโดยสารในจังหวัดนครราชสีมา ทั้งรถโดยสารประจำทางและรถโดยสารไม่ประจำทาง รวมทั้งหมด 765 คน

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้คือ กลุ่มผู้ประกอบอาชีพขับรถโดยสารในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้การพิจารณาจากตารางสำเร็จรูปของ Krejcie & Morgan (1970) ทำให้ได้จำนวนเท่ากับ 254 คน เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องระยะเวลาในการทำงานวิจัยทำให้จำนวนตัวอย่างที่เก็บมาได้เพียง 72 คน

2.2.1 เกณฑ์การคัดเลือกของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ที่มีอายุ 22 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป ทำใบขับขี่สำหรับขับรถขนส่งโดยรถขนาดเล็กทั้งแบบประจำทาง และรถขนส่งผู้โดยสารเกินกว่า 20 คน ทำงานขับรถโดยสารอย่างน้อย 4 ชั่วโมง/วัน ขึ้นไป

2.2.2 เกณฑ์การคัดออกของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ที่มีอายุต่ำกว่า 22 ปีบริบูรณ์ ไม่มีใบขับขี่สำหรับขับรถขนส่งโดยรถขนาดเล็กทั้งแบบประจำทาง และรถขนส่งผู้โดยสารน้อยกว่า 20 คน ทำงานขับรถโดยสารต่ำกว่า 4 ชั่วโมง/วัน

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.3.1 แบบสอบถามเกี่ยวกับการเกิดความผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก

ประกอบไปด้วย 1) ข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ระยะเวลาการทำงาน (ปี) และชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมง/วัน และ วัน/สัปดาห์) 2) ความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก โดยอ้างอิงจาก



Standardized Nordic Questionnaire (Kuorinka et al., 1987) ในช่วง 7 วัน และ 12 เดือนที่ผ่านมา โดยผู้สอบถามสามารถเลือกตอบความไม่สบายที่เกิดขึ้นกับบริเวณร่างกายได้มากกว่า 1 แห่ง

2.3.2 แบบประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment RULA

งานวิจัยนี้ใช้แบบประเมินความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บกล้ามเนื้อและโครงกระดูกด้วย RULA ซึ่งเป็นแบบประเมินโดยทำการประเมินทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนคอ 2) ส่วนลำตัว 3) ส่วนขา 4) ส่วนแขน และ 5) ส่วนมือ ซึ่งแบ่งการประเมินแต่ละส่วนเป็น 2 ส่วน คือ ส่วน A ประกอบด้วยการประเมินแขนส่วนบน แขนส่วนล่างและข้อมือ และส่วน B ประกอบด้วยการประเมินในส่วนคอ ลำตัว และขา (ค่าคะแนนจากส่วน A + ระดับการใช้แรง + ภาระงาน) และคะแนนรวม (ค่าคะแนนจากส่วน B + ลักษณะการใช้แรง + ภาระงาน)

2.3.3 การประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

(McAtamney & Corlett, 1993)

ประกอบด้วยการประเมินท่าทางในส่วนของแขนส่วนบน แขนส่วนล่าง และข้อมือ และการประเมินในส่วนคอ ลำตัว และขา สำหรับการประเมินผลลัพธ์ระดับความเสี่ยงสามารถได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2

2.3.4 คุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ เช่น การตรวจสอบข้อคำถามโดยกรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ และแบบสอบถาม RULA เป็นแบบสอบถามที่มี RULA เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินการรับน้ำหนักทางชีวกลศาสตร์และท่าทางของร่างกายโดยรวม ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือได้เท่ากับ 0.96 (Dockrell et al., 2012)

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

งานวิจัยนี้ใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้ ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย ร้อยละ ข้อมูลความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย การประเมินความเสี่ยงวิเคราะห์ด้วย ค่าร้อยละ นอกจากนี้ความแตกต่างของคะแนน RULA ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงวิเคราะห์โดยสถิติความถี่ สัดส่วน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ANOVA) ในโปรแกรม Minitab 17 และประมวลผลด้วย Microsoft Excel

3. ผลการวิจัย

3.1 ข้อมูลส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการวิจัยพบว่า พนักงานขับรถโดยสารเป็นเพศชายทั้งหมด อายุเฉลี่ย 48.47 ปี น้ำหนักมากที่สุดคือ 120.00 กิโลกรัม น้อยที่สุดคือ 45.00 กิโลกรัม และน้ำหนักเฉลี่ย 72.82 กิโลกรัม ส่วนสูงมากที่สุดคือ 185.00 เซนติเมตร น้อยที่สุดคือ 150.00 เซนติเมตร และส่วนสูงเฉลี่ย 169.06 เซนติเมตร ระยะเวลาการทำงานมากที่สุดคือ 47 ปี น้อยที่สุดคือ 4 เดือน และระยะเวลาการทำงานเฉลี่ย 16.76 ปี มีชั่วโมงการทำงานต่อวันมากที่สุดคือ 10 ชั่วโมง น้อยที่สุดคือ 4 ชั่วโมง และชั่วโมงการทำงานต่อวันเฉลี่ย 7.36 ชั่วโมง จำนวนวันทำงานต่อสัปดาห์มากที่สุดคือ 7 วัน น้อยที่สุดคือ 4 วัน และจำนวนวันทำงานต่อสัปดาห์เฉลี่ย 5.20 วัน ดังแสดงใน Table 1.



Table 1. General characteristics of the bus driver sample in Nakhon Ratchasima Province (n = 72)

Data	Number (n)	Percentage (%)
Age	72	100.00
≤ 37	12	16.67
38-47	23	31.94
48-57	22	30.56
58-67	13	18.06
≥ 68	2	2.78
(Mean = 48.5, S.D. = 10.3, Min = 28.00, Max = 73.00)		
BMI	72	100.00
≤ 18.50	3	4.17
18.50-22.90	17	23.61
23.00-24.90	31	43.10
25.00-29.90	11	15.28
≥ 30.00	10	13.89
(Mean = 24.76, S.D. = 4.40, Min = 16.37, Max = 38.74)		
Work Experience (Years)	72	100.00
≤ 10	16	22.22
≥ 20	56	77.78
(Mean = 16.80, S.D. = 10.60, Min = 0.33, Max = 47.00)		
Working Hours per Day	72	100.00
≤ 8	69	95.83
≥ 8	3	4.17
(Mean = 7.40, S.D. = 1.30, Min = 4.00, Max = 10.00)		
Working Days per Week (Days)	72	100.00
≤ 5	50	69.44
≥ 6	22	30.56
(Mean = 5.20, S.D. = 1.00, Min = 4.00, Max = 7.00)		

3.2 ความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในช่วง 7 วันและ 12 เดือนที่ผ่านมา
ผลการวิจัยพบว่า ความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ ในช่วง 7 วันและ 12 เดือนที่ผ่านมา คิดเป็นร้อยละ 88.89 และ 91.67 ตามลำดับ สำหรับบริเวณส่วนของร่างกายที่พบมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ บริเวณหลังส่วนล่าง บริเวณสะโพก/ต้นขาและบริเวณหลังส่วนบนตามลำดับ แสดงดัง Figure 2.

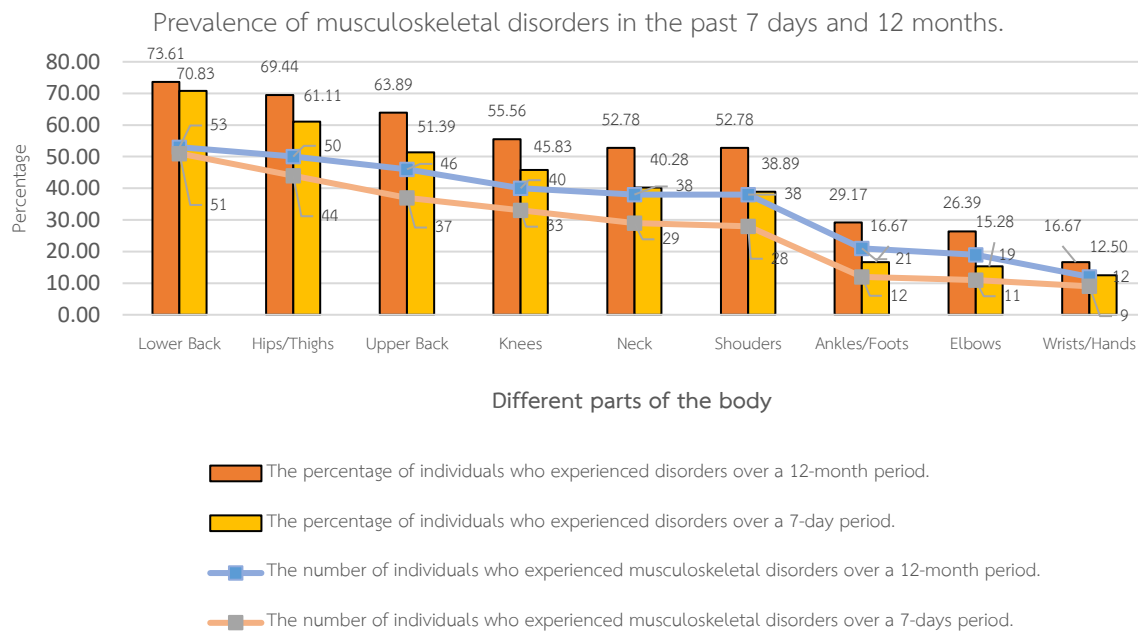


Figure 2. Prevalence of musculoskeletal disorders in the past 7 days and 12 months.

3.3 การประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงาน

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) พบว่า ส่วนใหญ่มีคะแนนเสี่ยงท่าทางการทำงานอยู่ที่ระดับ 2 หรือคะแนน 3-4 คะแนน หมายถึง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่องอาจจะเป็นที่จะต้องมีการออกแบบงานใหม่ คิดเป็นร้อยละ 95.83 ผลแสดงดัง Table 2.

Table 2. Results of the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) for evaluating work posture risk (n = 72)

Risk Score	Result	Number (n)	Percentage (%)
1-2	Acceptable but may cause ergonomic problems if such work is repeated for long periods of time.	0	0.00
3-4	Further study and continuous monitoring are needed, and new job designs may be necessary.	69	95.83
5-6	The work is becoming problematic; further study and prompt improvement are required.	3	4.17
7	The work has ergonomic issues and needs immediate improvement.	0	0.00

3.4 แนวทางการปรับปรุงท่าทางการทำงานพนักงานขับรถโดยสาร

จากผลการวิจัยความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก ในช่วง 7 วันและ 12 เดือนที่ผ่านมา มีบริเวณส่วนของร่างกายที่พบมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ บริเวณหลังส่วนล่าง บริเวณสะโพก/ต้นขา และบริเวณหลังส่วนบนตามลำดับ รวมไปถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) พบว่า ส่วนใหญ่มีคะแนนเสี่ยงท่าทางการทำงานอยู่ที่ระดับ 2 หมายถึง ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่องอาจจะต้องมีการออกแบบงานใหม่ จากข้อมูลดังกล่าวจึงได้ทำการปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานขับรถโดยสาร เพื่อเป็นแนวทางในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูก โครงร่างและกล้ามเนื้อ ดัง Table 3.

Table 3. Methods for improving work posture among bus drivers in Nakhon Ratchasima Province

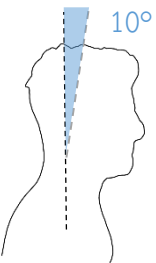
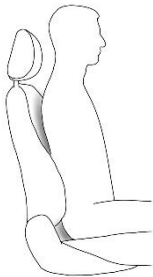
Order	Body part	Posture improvement illustration	Description
1	Neck		Keep the neck upright or slightly bent with the head angled of no more than 10°.
2	Shoulders		Extend the upper arm slightly outward parallel to the body at an angle not exceeding 20°.
3	Upper back		Lean the upper body against the backrest at an angle of no more than 20°.

Table 3. Methods for improving work posture among bus drivers in Nakhon Ratchasima Province (Cont.)

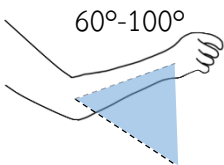
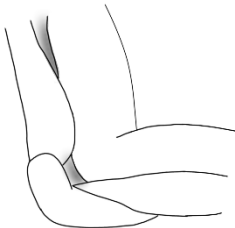
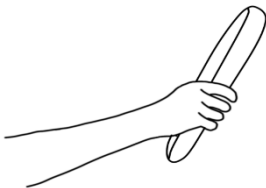
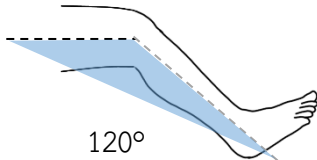
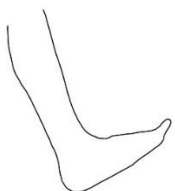
Order	Body part	Posture improvement illustration	Description
4	Elbows		Bend the forearm slightly upwards, forming an angle between 60° and 100° with the upper arm.
5	Lower back		Ensure the lower back is full contact with the backrest, leaving no gap.
6	Wrists/Hands		Hold the steering wheel without bending or twisting the wrist.
7	Hips/Thighs		Ensure the hips and thighs are in full contact with the backrest.
8	Knees		Keep the knees bent at an angle of approximately 120°.



Table 3. Methods for improving work posture among bus drivers in Nakhon Ratchasima Province (Cont.)

Order	Body part	Posture improvement illustration	Description
9	Ankles/Feet		Place the toes at an appropriate angle, not too straight and not too high.

ผลการเปรียบเทียบคะแนนก่อนและหลังการปรับปรุงท่าทางการทำงานโดยการประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) เว้นระยะประมาณ 3 เดือนโดยเลือกปรับปรุงผู้ที่มีคะแนนระดับที่ 3 หมายความว่า งานนั้นเริ่มเป็นปัญหาควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและควรปรับปรุงมากกว่าการปรับปรุงคะแนนระดับที่ 2 พบว่า ก่อนการปรับปรุงท่าทางการทำงานส่วนใหญ่มีคะแนนระดับเสี่ยงที่ระดับ 2 คิดเป็นร้อยละ 95.83 และหลังการปรับปรุงคะแนนพนักงานขับรถโดยสารจำนวน 3 พบว่า หลังการปรับปรุงส่วนใหญ่มีคะแนนความเสี่ยงที่ระดับ 2 คิดเป็นร้อยละ 100.00 ผลแสดงดัง Table 4.

Table 4. Comparison of work posture risk scores before and after posture improvement using the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method.

Score	Interpretation	Before adjusting your working posture		After adjusting your working posture	
		Number (n)	Percentage (%)	Number (n)	Percentage (%)
1-2	Acceptable but may cause ergonomic problems if such work is repeated for long periods of time.	0	0.00	0	0.00
3-4	Further study and continuous monitoring are needed, and new job designs may be necessary.	69	95.83	72	100.00
5-6	The work is becoming problematic; further study and prompt improvement are required.	3	4.17	0	0.00
7	The work has ergonomic issues and needs immediate improvement.	0	0.00	0	0.00



3.5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนน RULA ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธี ANOVA

ผลการวิเคราะห์ความชุกการเกิดความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อและทำการปรับปรุงท่าทางการทำงานของผู้ประกอบอาชีพรถบัสทั้ง 3 คน ซึ่งได้ผลคะแนนการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ลดลง จึงทำการวิเคราะห์ความแตกต่างของคะแนน RULA ก่อนและหลังปรับปรุงด้วยวิธี ANOVA โดยพิจารณาคะแนนความเสี่ยงของส่วนต่างๆของร่างกาย (Body) วิธีการก่อนและหลังปรับปรุงท่าทาง (Method) โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า p -value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงท่าทางการทำงานของคนขับทั้ง 3 คน มีผลแตกต่างจากก่อนปรับปรุงท่าทางการทำงานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดัง Table 5.

Table 5. Analysis of differences in RULA scores before and after improvement

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	p-value
Body	15	98.625	6.57500	47.22	0.000
Method	1	6.000	6.00000	43.09	0.000
Error	79	11.000	0.13924		
Total	95	115.625	0.03125		

4. อภิปรายผลการวิจัย

4.1 ความชุกความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ

ผลการวิจัยพบว่า พนักงานขับรถโดยสารในจังหวัดนครราชสีมามีความชุกของความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อสูงถึงร้อยละ 88.89 และ 91.67 ในช่วง 7 วัน และ 12 เดือนที่ผ่านมา ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cheng et al. (2022) ในประเทศไต้หวัน ที่พบว่า พนักงานขับรถโดยสารจำนวนร้อยละ 63.8 มีอาการผิดปกติทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โดยเฉพาะในบริเวณหลังส่วนล่างและสะโพก ซึ่งเป็นจุดที่มีการใช้งานอย่างต่อเนื่องจากท่านั่งเป็นเวลานาน ผลลัพธ์ข้างต้นยังสอดคล้องกับ Pongpattarapokin (2023) ซึ่งรายงานความชุกของ MSDs สูงถึงร้อยละ 84 ในกลุ่มพยาบาลที่ทำงานในหอผู้ป่วยวิกฤต โดยเฉพาะบริเวณคอ ไหล่ และหลังส่วนล่าง แสดงให้เห็นว่าไม่เฉพาะงานที่ใช้แรงมากเท่านั้น งานที่ใช้ท่าทางซ้ำๆ และอยู่ในท่าเดียวเป็นเวลานานก็เสี่ยงต่อการเกิด MSDs อย่างมีนัยสำคัญ ความสอดคล้องของผลวิจัยนี้กับงานก่อนหน้า แสดงให้เห็นว่า สภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่สอดคล้องกับหลักสรีรศาสตร์ และการขาดการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานอย่างสม่ำเสมอ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้เกิด MSDs (WHO, 2019; Taylor, 2013)

4.2 การประเมินความเสี่ยงท่าทางการทำงานด้วยวิธี RULA

ผลการประเมินด้วย RULA พบว่าร้อยละ 95.83 ของกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนอยู่ในระดับ 2 ซึ่งหมายถึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและติดตามผลอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีลักษณะงานซ้ำ ๆ และอยู่ในท่าเดิมเป็นเวลานาน การใช้ RULA ถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับในการวิเคราะห์ความเสี่ยงทางกายศาสตร์ โดยงานของ McAtamney & Corlett (1993) และ Dockrell et al. (2012) แสดงให้เห็นว่าความน่าเชื่อถือของ RULA อยู่ในระดับสูง (ค่าความเชื่อมั่น 0.96) และสามารถบ่งชี้จุดเสี่ยงจากท่าทางการทำงานที่อาจส่งผลต่อ MSDs ได้อย่างแม่นยำ ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับข้อเสนอของ Jongkol et al. (2024) ที่ระบุถึงความจำเป็นในการนำหลัก Human Factors Engineering (HFE) มาใช้ในการออกแบบงานที่ต้องนั่งต่อเนื่อง เพื่อลดภาระทางชีวกลศาสตร์



4.3 การปรับปรุงท่าทางการทำงานพนักงานขับรถโดยสาร

หลังการปรับปรุงท่าทางการทำงาน โดยยึดตามหลัก HFE เช่น การปรับพวงมาลัยให้เข้าแนวตรง การจัดที่นั่งให้พิงหลังได้สนิท และการรองข้อศอกให้อยู่ในมุมที่เหมาะสม พบว่า พนักงานทั้ง 3 คนที่เดิมอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ 3 ถูกลดลงมาอยู่ที่ระดับ 2 ทั้งหมด แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการปรับท่าทาง การวิเคราะห์เชิงสถิติด้วย ANOVA พบค่า $p\text{-value} = 0.000$ ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงท่าทางมีผลต่อการลดความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Open Government Partnership (2011) และการศึกษาโดย Naghdali et al. (2014) ซึ่งสนับสนุนว่าการออกแบบที่ยึดมนุษย์เป็นศูนย์กลาง (Human-Centered Design) เป็นแนวทางที่ช่วยลดความเสี่ยง MSDs ได้อย่างยั่งยืน

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยพบว่าพนักงานขับรถโดยสารส่วนใหญ่มีกความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะบริเวณหลังส่วนล่าง สะโพก/ต้นขา และหลังส่วนบน ซึ่งเป็นจุดที่รับภาระจากการนั่งขับรถเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง เมื่อประเมินท่าทางการทำงานด้วยวิธี Rapid Upper Limb Assessment (RULA) พบว่าร้อยละ 95.83 ของกลุ่มตัวอย่างมีคะแนนอยู่ในระดับความเสี่ยงที่ 2 ซึ่งแม้จะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แต่หากทำงานซ้ำในลักษณะเดิมเป็นระยะเวลานาน อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว และในบางรายมีคะแนนระดับ 3 ซึ่งควรได้รับการปรับปรุงอย่างเร่งด่วน จากผลการวิเคราะห์ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการปรับปรุงท่าทางการนั่งขับรถให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น การจัดที่นั่งหลังตรง การวางแขนและมืออย่างถูกตำแหน่ง และการปรับอุปกรณ์ภายในรถให้รองรับกับสรีระของผู้ขับขี่ รวมถึงการกำหนดช่วงเวลาหยุดพักหรือเปลี่ยนท่าทางอย่างน้อยทุก 1-2 ชั่วโมง ผลการเปรียบเทียบคะแนน RULA ก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่าคะแนนความเสี่ยงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสะท้อนแนวโน้มที่ดีในการลดปัจจัยเสี่ยงต่อความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อของพนักงานขับรถโดยสาร โดยคณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

งานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงการทำงานของผู้ประกอบการอาชีพขับรถโดยสารเพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้ผลงานวิจัยที่มีความน่าเชื่อถือเพิ่มขึ้น

- 1) การปรับเบาะนั่งและพวงมาลัยให้เข้ากับสรีระของผู้ขับ เพื่อให้สามารถนั่งในท่าที่ถูกสุขลักษณะ ลดการเกร็งตัวและความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อและกระดูกในระยะยาว
- 2) การฝึกอบรมพนักงานให้รู้จักปรับท่าทางและเปลี่ยนท่าทางอย่างถูกวิธี เช่น การจัดท่าทางการนั่ง การพักผ่อนคลายในช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อป้องกันการสะสมของความเมื่อยล้าและอาการบาดเจ็บ
- 3) การออกแบบและติดตั้งอุปกรณ์เสริม เช่น ที่วางเท้าที่ปรับได้ หรือการใช้เบาะรองนั่งเพื่อช่วยลดแรงกดทับและความเครียดต่อกล้ามเนื้อและข้อต่อ
- 4) ส่งเสริมให้มีการเปลี่ยนท่าและหยุดพักเป็นระยะ ๆ อย่างน้อยทุก ๆ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้กล้ามเนื้อและกระดูกได้รับการผ่อนคลายและลดภาระงานซ้ำ
- 5) การนำผลการวิจัยไปใช้ในนโยบายด้านสุขอนามัยการทำงาน เช่น การกำหนดเกณฑ์ท่าทางการนั่งและการปรับอุปกรณ์ในแต่ละรถให้เป็นมาตรฐาน เพื่อป้องกันโรคที่เกิดจากการทำงานในระยะยาว

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

- 1) การศึกษาพื้นฐานในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและกระจายตามพื้นที่หรือประเภทของรถ เพื่อให้ผลการวิจัยมีความครอบคลุมและน่าเชื่อถือมากขึ้น



- 2) การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง เสียงรบกวน รวมถึงลักษณะอุปกรณ์ที่ใช้ในรถ เพื่อหาปัจจัยเสริมที่อาจมีผลต่อความผิดปกติทางระบบกระดูกโครงร่างและกล้ามเนื้อและภาระงาน
- 3) การใช้เทคโนโลยีด้านการติดตามและวัดผล เช่น การบันทึกการเคลื่อนไหวของร่างกายด้วยเครื่องเซ็นเซอร์ (wearable devices) เพื่อให้ข้อมูลที่แม่นยำและละเอียดมากยิ่งขึ้น
- 4) การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาวและผลกระทบจากกิจกรรมเสริม เช่น การออกกำลังกาย การทำกายภาพบำบัด เพื่อพัฒนารูปแบบป้องกันและบรรเทาอาการเจ็บปวดที่เกิดขึ้นจากภาระงาน
- 5) การพัฒนาระบบแนะนำหรือโปรแกรมการปรับเปลี่ยนท่าทางและกิจกรรมประจำวัน เพื่อสนับสนุนให้พนักงานสามารถดูแลสุขภาพตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำไปปฏิบัติในชีวิตจริงได้สะดวกและผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

6. เอกสารอ้างอิง

- Chen, YL., Alexander, H., & Hu, YM. (2022). Self-reported musculoskeletal disorder symptoms among bus drivers in the Taipei metropolitan area. *International journal of environmental research and public health*, 19(17), 10596.
- Cheng, CH., Yang, CH., & Hung, CH. (2022). Musculoskeletal Disorders Among Bus Drivers in Taipei, Taiwan: A Study of Prevalence and Risk Factors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 10596.
- Dockrell, S., O'Grady, E., Bennett, K., Mullarkey, C., McConnell, R., Ruddy, R., Twomey, S., & Flannery, C. (2012). An investigation of the reliability of Rapid Upper Limb Assessment (RULA) as a method of assessment of children's computing posture. *Applied Ergonomics*, 43(4), 632-636.
- Hongchuvech, Y. (2024). Reducing the risk factors and prevention strategies for falls in the elderly. *Journal of Science and Technology*, 18(1), 1-12.
- Jongkol, P., Seemaroeng, T., Attawiriyasuworn, P., Thawonsawat, M., & Polpattapee, R. (2024). Application of Relationship Diagram in Industrial Engineering Principle to Children Playground Design. *Journal of Eastern Asia University Science and Technology*, 18(2), 129-142.
- Krejcie, RV., & Morgan, DW. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement*, 30(3), 607-610.
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, Å., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardized Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233-237.
- McAtamney, MH., & Corlett, EA. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99.
- Naghdali, F., Leva, MC., Balfe, N., & Cromie, S. (2014). Human factors engineering at design stage: Is there a need for more structured guidelines and standards? *Chemical Engineering Transactions*, 36, 289-294.
- Open Government Partnership. (2011). Human factors engineering in projects (Report No. 454). London: International Association of Oil and Gas Producers.
- Pongpattarapokin, R. (2023). Prevalence of Musculoskeletal Disorders and Ergonomics Risk Assessment for Manual Patient Handling Among Adult Critical Care Nurses of Songklanagarind Hospital. Songkla: Prince of Songkla University.
- Soykaew, N & Sirisuwan, P. (2019). Factors contributing to motorcycle accidents: A case study of vocational education students in Saraburi Province. *Journal of Eastern Asia University, Science and Technology Edition*, 14(2), 266-277.
- Taylor, JR. (2013). Incorporating human error analysis into process plant safety analysis. *Chemical Engineering Transactions*, 31, 301-306.



- Tonglim, P. (2012). Research on transport safety measures in small and large transport enterprises. Veridian E-Journal, SU, 5(3), 331-345.
- WHO. (2019). International Classification of Diseases: Diagnostic Codes for Diseases of the Circulatory System (pp. 429–429, 445–446, 448–449, 455, 563, 567, 615). WHO Publications.



รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลต่อความปลอดภัย ของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด โรงพยาบาลศรีสะเกษ

Development of Non-Technical Skills of Nurse Anesthetists to Enhance Patient Safety in the Operating Room at Sisaket Hospital

ธัญมัย ปุรินัย^{1*} เรณูการ์ ทองคำรอด² และ สมปอง พะมูลิลา²

Thanyamai Purinai^{1*} Renukar Thongkhamrod² and Sompong Pamulilar²

¹คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช จังหวัดนนทบุรี

²คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

¹Faculty of Nursing, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi Province

²Faculty of Nursing, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani Province

*Corresponding Author: thanyamai401@gmail.com

Received: March 6, 2025

Revised: April 21, 2025

Accepted: May 8, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการณ์ สร้างรูปแบบ และศึกษาผลของการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล ใช้ระเบียบวิธีวิจัยและพัฒนาโดยมีกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ได้แก่ บุคลากรทีมสหสาขาวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วยในห้องผ่าตัดและผู้รับผิดชอบงานคุณภาพความปลอดภัย จำนวน 17 คน เลือกแบบเจาะจง และวิสัญญีพยาบาลจำนวน 15 คน เลือกโดยการสุ่มอย่างง่าย เก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึกและการสนทนากลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบมีโครงสร้าง รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค แบบประเมินทักษะ และแบบประเมินความพึงพอใจ ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความตรงเชิงเนื้อหาจากผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน มีค่าความเชื่อมั่น 0.86 ผลการวิจัยพบว่า สภาพการณ์ของวิสัญญีพยาบาลมีข้อจำกัดใน 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างความตระหนักรู้สถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสารข้อมูล รูปแบบการพัฒนาที่สร้างขึ้นเป็นการใช้สถานการณ์จำลอง 2 สถานการณ์ คือ การประเมินและเตรียมความพร้อมผู้ป่วยก่อนระงับความรู้สึก และการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุการใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อภายใน 2 ชั่วโมงในห้องผ่าตัดหรือพักฟื้น หลังการใช้รูปแบบพบว่าอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อมและอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อภายใน 2 ชั่วโมงลดลง ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคทั้ง 4 ด้านมีคะแนนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) และวิสัญญีพยาบาลมีความพึงพอใจต่อรูปแบบในระดับสูงสุดทุกด้าน โดยเฉพาะด้านประสิทธิภาพการปฏิบัติงานโดยรวม ซึ่งรูปแบบดังกล่าวช่วยส่งเสริมกระบวนการตัดสินใจในสถานการณ์ฉุกเฉิน พัฒนาการสื่อสารระหว่างทีมวิสัญญีและทีมผ่าตัด เพิ่มความตระหนักรู้ต่อสถานการณ์สำคัญระหว่างการให้ยาระงับความรู้สึก และเสริมสร้างการทำงานเป็นทีมในห้องผ่าตัดอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้ความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดโดยรวมมีมาตรฐานสูงขึ้น

คำสำคัญ: ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค วิสัญญีพยาบาล การจำลองสถานการณ์ ความปลอดภัยผู้ป่วย



Abstract

This research aimed to 1) assess the current situation of non-technical skills among nurse anesthetists, 2) develop a model for improving these skills, and 3) evaluate the effectiveness of the model at Sisaket Hospital. This research and development study involved two sample groups: 17 purposively selected multidisciplinary healthcare professionals involved in operating room patient care and quality assurance, and 15 nurse anesthetists selected through simple random sampling. Data collection methods included in-depth interviews and focus group discussions. Research instruments comprised structured interview forms, the developed non-technical skills improvement model, a non-technical skills assessment form, and a satisfaction questionnaire. Content validity was verified by five experts, with a reliability coefficient of 0.86. The findings revealed limitations in four non-technical skill domains: situation awareness, decision-making, teamwork, and communication. The developed model employed two simulation scenarios: preoperative patient assessment and preparation, and prevention of reintubation within two hours following extubation in the operating room/recovery room. After implementing the model, there was a reduction in incidents of surgery postponement due to inadequate patient preparation and reintubation within two hours after extubation. Average scores in all four non-technical skill domains increased significantly ($p < .001$). Nurse anesthetists expressed the highest level of satisfaction with the model, particularly regarding overall performance efficiency. The model enhanced emergency decision-making processes, improved communication between anesthesia and surgical teams, increased awareness of critical situations during anesthesia administration, and strengthened effective teamwork in the operating room. These outcomes ultimately contributed to higher standards of patient safety in the operating environment.

Keywords: Non-technical skills, Nurse anesthetist, Simulation, Patient safety

1. บทนำ

ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค (Non-technical Skills) เป็นแนวคิดด้านความปลอดภัยที่ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการบินมาอย่างยาวนาน โดยให้ความสำคัญกับการฝึกอบรมพนักงานทุกคนให้ตระหนักว่าตนเองเป็นส่วนสำคัญของระบบ การขาดพินเพื่อใดพินเพื่อหนึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทั้งหมดได้ (Flin et al., 2018) แนวคิดนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในบริการด้านสุขภาพเพื่อเสริมสร้างความปลอดภัยของผู้ป่วยวิกฤติ สถานการณ์ความปลอดภัยของผู้ป่วยในระบบสาธารณสุขระดับโลกเป็นประเด็นสำคัญ ในสหรัฐอเมริกาพบผู้เสียชีวิตจากความผิดพลาดทางการแพทย์ที่สามารถป้องกันได้ 44,000-98,000 รายต่อปี ขณะที่องค์การอนามัยโลกรายงานความเสี่ยงในผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาส่งถึงร้อยละ 4-16 (Kohn et al., 1999) การศึกษาในต่างประเทศพบปัญหาสำคัญในการปฏิบัติงานการให้ยาระงับความรู้สึก โดยพบการสื่อสารผิดพลาดในการให้ยาระงับความรู้สึกสูงถึงร้อยละ 43 (Jones et al., 2018) และจากการทบทวนผู้ป่วยในเยอรมนีพบข้อผิดพลาดด้านการรับรู้ร้อยละ 38 และด้านความเข้าใจร้อยละ 31.5 (Schulz et al., 2017)

วิสัญญีพยาบาลเป็นบุคลากรทางการแพทย์ที่มีบทบาทสำคัญในระบบบริการสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องผ่าตัด หน้าที่หลักของวิสัญญีพยาบาลคือ การให้การดูแลด้านวิสัญญี ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ การประเมินผู้ป่วยก่อนให้ยาระงับความรู้สึก



การให้ยาระงับความรู้สึกในระหว่างผ่าตัด การติดตามสัญญาณชีพของผู้ป่วยตลอดการผ่าตัด จนถึงการดูแลฟื้นฟูลงหลังการให้ยาระงับความรู้สึก เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ป่วยจะได้รับการดูแลที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ ในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2547-2557 มีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุการที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์จำนวน 3,437 ราย ผู้พิการจำนวน 1,016 ราย และผู้บาดเจ็บจำนวน 2,059 ราย โดยมีอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 11.40 และพิการถาวรร้อยละ 3 ของผู้ป่วยที่ประสบอุบัติเหตุการที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ไม่พึงประสงค์ ทำให้ต้องพักรักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 9.74 วัน (Tettanom, 2018) ประเทศไทยจึงพัฒนานโยบาย “SIMPLE” ที่มุ่งเน้นความปลอดภัยในการให้ยาระงับความรู้สึก จากสถิติการผ่าตัดในโรงพยาบาลศรีสะเกษ ซึ่งเป็นโรงพยาบาลศูนย์ระดับ A ที่มีการเรียนการสอนทางการแพทย์ ภายในปี 2564-2566 มีผู้ป่วยผ่าตัด 14,347 ราย, 14,212 ราย และ 14,834 ราย ตามลำดับ มีอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม 11 ราย, 11 ราย และ 15 ราย ตามลำดับ และเกิดอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) จำนวน 4 ราย, 8 ราย และ 9 ราย ตามลำดับ โดยมีการจัดการกับการเกิดอุบัติการณ์ด้วยการเฝ้าระวังด้วยการใช้แบบประเมินความเสี่ยงของผู้ป่วย ตัวอย่างเช่น ASA Classification, Mallampati Score, Cormack-Lehane Classification และการประสานงานกับทีมแพทย์ เป็นต้น ตรวจสอบความพร้อมของผู้ป่วยก่อนผ่าตัดตามมาตรฐานวิชาชีพ

ความปลอดภัยของผู้ป่วย (Patient Safety) เป็นหัวใจสำคัญของระบบบริการสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้บริการผู้ป่วยในห้องผ่าตัด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดข้อผิดพลาดทางการแพทย์ การให้ยาระงับความรู้สึก (Anesthesia) เป็นกระบวนการที่ต้องการความแม่นยำสูง และต้องอาศัยทั้งความรู้ทางเทคนิค (Technical Skills) และทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค (Non-technical Skills) เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ป่วยได้รับการดูแลอย่างปลอดภัยตลอดระยะเวลาของการผ่าตัด ซึ่งความผิดพลาดทางการแพทย์ไม่ได้เกิดจากปัญหาทางเทคนิคเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากปัจจัยด้านมนุษย์ เช่น การสื่อสารที่ผิดพลาด การทำงานเป็นทีมที่ไม่มีประสิทธิภาพ และการขาดการตัดสินใจที่เหมาะสมในสถานการณ์ฉุกเฉิน (Flin & O'Connor, 2017) สาเหตุหลักของการเกิดอุบัติการณ์ไม่พึงประสงค์เกิดจากการขาดการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพระหว่างทีมวิสัญญีพยาบาลและทีมแพทย์ และการประเมินผู้ป่วยไม่ครบถ้วน

ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพการให้บริการด้านวิสัญญี เนื่องจากสามารถช่วยป้องกันความผิดพลาด ลดความคลาดเคลื่อน และเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วย ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคที่สำคัญในงานวิสัญญีประกอบด้วย 84 ด้าน ได้แก่ ทักษะการตระหนักรู้สถานการณ์ ทักษะการสื่อสาร ทักษะการทำงานเป็นทีม และทักษะการตัดสินใจ การพัฒนาทักษะเหล่านี้สามารถช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ 2) สร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ 3) ศึกษาผลของรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษในด้านความปลอดภัยของผู้ป่วย คืออุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมงในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แนวคิดในด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยในการบริการวิสัญญี Safe Anesthesia (Hospital Accreditation Institute, 2018) ประกอบด้วยความปลอดภัยทุกระยะการผ่าตัด ตั้งแต่ก่อนระหว่าง และหลังผ่าตัด มาพัฒนารูปแบบทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคทางวิสัญญีพยาบาลตามกระบวนการมาประยุกต์ใช้ซึ่งมีกรอบแนวคิดในการวิจัยดัง Figure 1.

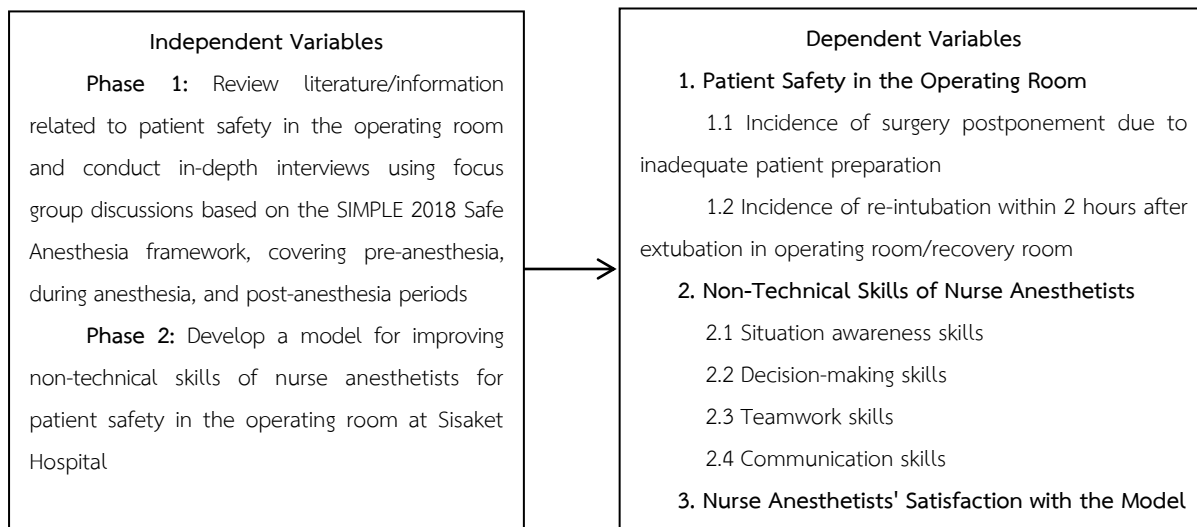


Figure 1. Conceptual framework for research and development of Non-technical skills of nurse anesthetists to enhance patient safety in the operating room at Sisaket Hospital

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and development) ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ หมายเลขโครงการวิจัย 039/2567 ลงวันที่ 26 กันยายน 2567 ประกอบด้วยวิธีดำเนินการวิจัย 4 ขั้นตอนตามแนวคิดของ (Peffer, 2007) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล

ขั้นตอนที่ 2 สร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล

ขั้นตอนที่ 3 นำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 4 ประเมินผลการพัฒนารูปแบบฯ

2.1 ประชากร

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนตามรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 ในขั้นตอนที่ 1-2 คือบุคลากรทีมสหสาขาวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่มีประสบการณ์ในการดูแล และผู้ที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบงานคุณภาพความปลอดภัยของผู้ป่วย โรงพยาบาลศรีสะเกษ

2.1.2 ในขั้นตอนที่ 3-4 คือวิสัญญีพยาบาลที่ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลศรีสะเกษ จำนวน 33 คน

2.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนตามรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 ขั้นตอนที่ 1-2 คือผู้มีส่วนร่วมในการสร้างรูปแบบ คือ บุคลากรทีมสหสาขาวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่มีประสบการณ์ในการดูแล และผู้ที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบงานคุณภาพความปลอดภัยของผู้ป่วย โรงพยาบาลศรีสะเกษ จำนวน 17 คน ประกอบด้วย วิสัญญีแพทย์ 4 คน, ศัลยแพทย์ 3 คน, หัวหน้ากลุ่มงานวิสัญญีวิทยา 1 คน, หัวหน้ากลุ่มงานวิสัญญีวิทยา 1 คน, หัวหน้ากลุ่มการพยาบาล 1 คน, หัวหน้ากลุ่มงานการพยาบาลวิสัญญี 1 คน, หัวหน้างานความเสี่ยงและความปลอดภัย 1 คน, หัวหน้ากลุ่มงานคุณภาพโรงพยาบาล 1 คน, วิสัญญีพยาบาล 3 คน, และพยาบาลห้อง



ผ่าตัด 2 คน โดยเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) มีเกณฑ์รับเข้าศึกษา คือ เป็นบุคลากรทีมสหสาขาวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการดูแลผู้ป่วยในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลศรีสะเกษ มีประสบการณ์ในการดูแลผู้ป่วยในห้องผ่าตัดอย่างน้อย 1 ปี และสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย โดยมีเกณฑ์ไม่รับเข้าศึกษา คือ ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบระยะเวลาที่กำหนด มีแผนลาออก โอนย้าย หรือย้ายกลับภูมิลำเนาในระหว่างการศึกษาวิจัย และมีภาระงานหรือข้อจำกัดส่วนตัวที่อาจส่งผลต่อการเข้าร่วมการวิจัยอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกิดจากประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคและความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดอย่างแท้จริง

2.2.2 ขั้นตอนที่ 3-4 คือ วิสัญญีพยาบาลที่ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลศรีสะเกษ ผู้ที่ใช้ในการประเมินผลการพัฒนารูปแบบฯ ที่ปฏิบัติงานอย่างน้อย 1 ปี และไม่ได้ดำรงตำแหน่งหัวหน้างาน โดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย เข้าร่วมการวิจัยด้วยความสมัครใจ จำนวน 15 คน มีเกณฑ์รับเข้าศึกษา คือ วิสัญญีพยาบาลในโรงพยาบาลศรีสะเกษ มีบทบาทในด้านการพัฒนาคุณภาพและความปลอดภัยของผู้ป่วยวิสัญญี ยินดีเข้าร่วมการวิจัย และสามารถให้ข้อมูลจากประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค โดยมีเกณฑ์ไม่รับเข้าศึกษา คือ ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยได้ครบระยะเวลาที่กำหนด มีแผนลาออก โอนย้าย หรือย้ายกลับภูมิลำเนาในระหว่างการศึกษาวิจัย และมีภาระงานหรือข้อจำกัดส่วนตัวที่อาจส่งผลต่อการเข้าร่วมการวิจัยอย่างต่อเนื่อง

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาสภาพการณ์ ได้แก่ แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบมีโครงสร้างที่ใช้ในการสนทนากลุ่ม (Group discussion) และแบบสัมภาษณ์รายบุคคล โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 คน

2.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ

2.3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย

2.3.3.1 แบบประเมินทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล ครอบคลุมทั้ง 4 ด้าน รวมจำนวน 37 ข้อ

2.3.3.2 แบบประเมินความปลอดภัยของผู้ป่วย โดยประเมินจาก อุบัติการณ์เลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมงในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation)

2.3.3.3 แบบประเมินความพึงพอใจของวิสัญญีพยาบาล ต่อการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนตามรายละเอียด ดังนี้

2.4.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ

เริ่มดำเนินการเดือนกันยายน 2567 เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผู้วิจัยศึกษาจากแหล่งข้อมูลสภาพการณ์ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ ด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1.1 ศึกษาเอกสาร/ข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลศรีสะเกษ ประกอบด้วย 1) นโยบายด้านคุณภาพบริการและความปลอดภัยของโรงพยาบาล 2) รายงานอุบัติการณ์ความเสี่ยงและความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด 3) การให้บริการตามนโยบายของหน่วยบริการ 4) ตัวชี้วัดคุณภาพงานวิสัญญี และ 5) แนวทางปฏิบัติและมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยทางวิสัญญี Pre-anesthetic Evaluation, Intraoperative Care และ Post-anesthetic Care

2.4.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบมีโครงสร้างในการสนทนากลุ่ม และแบบสัมภาษณ์รายบุคคล ส่วนที่ 1 ประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป ส่วนที่ 2 แบบสัมภาษณ์เชิงลึกแบบมีโครงสร้างในการสนทนากลุ่ม ประกอบด้วย สภาพการณ์การปฏิบัติงานของวิสัญญีพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญี



พยาบาลที่จำเป็นต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดของโรงพยาบาลศรีสะเกษเป็นอย่างไรบ้าง และทักษะเหล่านี้มีผลอย่างไรต่อผู้รับบริการด้านความปลอดภัย ท่านคิดว่าสาเหตุที่ทำให้การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลยังต้องได้รับการพัฒนานั้นเกิดจากอะไร ถ้าจะพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของพยาบาลวิสัญญีท่านคิดว่าควรพัฒนาทักษะด้านใดบ้าง และถ้าเราจะพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลในด้านต่าง ๆ ดังกล่าว ควรใช้รูปแบบใด ควรทำในช่วงไหน รูปแบบควรเป็นอย่างไร ผลลัพธ์นี้คาดหวังเป็นอย่างไร โดยการมีส่วนร่วมของทีมสหสาขาวิชาชีพผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ใช้ระยะเวลาในการสนทนากลุ่ม 30 นาที เพื่อรวบรวมข้อมูลสถานการณ์ปัญหา สาเหตุที่เกิดจากทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีโรงพยาบาลศรีสะเกษ (1 ครั้ง)

2.4.2 ขั้นตอนที่ 2 สร้างและพัฒนาารูปแบบทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ

การสร้างและพัฒนาารูปแบบทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ เริ่มดำเนินการเดือนตุลาคม 2567 เป็นระยะเวลา 1 เดือน ผู้วิจัยศึกษาการสร้างและพัฒนาารูปแบบทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ ประกอบด้วย

2.4.2.1 ผู้วิจัยร่วมกับทีมที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในขั้นตอนที่ 1 ได้ประชุมวางแผน (Planning) เพื่อชี้แจงถึงสถานการณ์ปัญหา สาเหตุ อุปสรรค และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัด อันเนื่องมาจากการขาดทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคทางวิสัญญีพยาบาลในโรงพยาบาลศรีสะเกษ

2.4.2.2 ผู้วิจัยได้พัฒนาารูปแบบทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ โดยมีการจัดการประชุมเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจ และวางแผนการพัฒนาารูปแบบดังกล่าว เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ป่วยที่เข้ารับการผ่าตัดในหน่วยบริการห้องผ่าตัดและวิสัญญีพยาบาล โรงพยาบาลศรีสะเกษ

2.4.3 ขั้นตอนที่ 3 นำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้

การนำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้เริ่มดำเนินการเดือนตุลาคม 2567 - มกราคม 2568 เป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยนำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นจากขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริง ซึ่งประกอบด้วยการพัฒนาทักษะ 4 ด้านที่นำมาใช้ในทุกระยะของกระบวนการให้ยาระงับความรู้สึก ได้แก่ ช่วงก่อน ระหว่าง และหลังการผ่าตัด เริ่มต้นด้วยการนำรูปแบบไปใช้กับผู้มีส่วนในการประเมินรูปแบบ ซึ่งเป็นวิสัญญีพยาบาลจำนวน 5 คน จากโรงพยาบาลที่มีลักษณะคล้ายกับโรงพยาบาลศรีสะเกษ การฝึกอบรมจะจัดขึ้นทุกเช้าวันอังคารและวันศุกร์ เวลา 08:10 - 08:30 น. โดยใช้เวลาประมาณ 10-15 นาทีต่อครั้ง ระยะเวลาใช้รูปแบบทั้งหมด 1 เดือน ในระหว่างการศึกษาผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลโดยใช้วิธีการดังนี้ 1) แบบประเมินทักษะที่พัฒนาขึ้นในขั้นตอนที่ 2 2) การสังเกตและบันทึกพฤติกรรมการใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคในระหว่างปฏิบัติงาน และ 3) การบันทึกปัญหาและอุปสรรคที่พบระหว่างการนำรูปแบบเมื่อสิ้นสุดระยะเวลา 1 เดือน มีการประเมินผลการปฏิบัติทักษะอย่างครอบคลุม จากนั้นข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงรูปแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ก่อนที่จะนำรูปแบบที่ปรับปรุงนี้ไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างหลัก ซึ่งประกอบด้วยวิสัญญีพยาบาลจากโรงพยาบาลศรีสะเกษ จำนวน 15 คน

2.4.4 ขั้นตอนที่ 4 ประเมินผลการนำรูปแบบการพัฒนาทักษะ

การประเมินผลการนำรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล ดำเนินการในผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ จำนวน 15 คน จากโรงพยาบาลศรีสะเกษ โดยใช้เครื่องมือในการประเมินดังนี้

2.4.4.1 แบบประเมินทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล ซึ่งครอบคลุมทั้ง 4 ด้าน รวมจำนวน 37 ข้อ ประกอบด้วย ทักษะการสร้างความรู้ความตระหนักรู้สถานการณ์ จำนวน 12 ข้อ, ทักษะการตัดสินใจ จำนวน 9 ข้อ, ทักษะการทำงานเป็นทีม จำนวน 8 ข้อ และ ทักษะการสื่อสาร จำนวน 8 ข้อ ลักษณะของแบบสอบถามที่เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด โดยคำถามเชิงบวกมีระดับคะแนนเป็น 5, 4, 3, 2 และ 1 และคำถามเชิงลบมีระดับคะแนนเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 การแปรผลคะแนนแบบอิงเกณฑ์โดยประยุกต์จากหลักเกณฑ์และวิธีการวัดที่ประเมินตามวิธีของ Best & Kahn (2016) การประเมินรูปแบบ จำนวน 15 คน ด้วยแบบประเมินตนเอง มีเกณฑ์ดังนี้



ได้คะแนนค่าเฉลี่ย 135.70-185.00 ระดับสูง

ได้คะแนนค่าเฉลี่ย 86.40-135.60 ระดับปานกลาง

ได้คะแนนค่าเฉลี่ย 37.00-86.30 ระดับต่ำ

2.4.4.2 แบบประเมินความปลอดภัยของผู้ป่วย โดยมีข้อพิจารณาดังนี้ 1) อุบัติการณ์เลื่อนผ่าตัด เนื่องจากผู้ป่วยไม่พร้อม โดยยึดตามหลักการนิยามอุบัติการณ์เลื่อนผ่าตัดเนื่องจากผู้ป่วยไม่พร้อมของสถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (CPS306) และ 2) อุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมงในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) หลังถอดท่อช่วยหายใจ หลักการนิยามของสถาบันรับรองคุณภาพสถานพยาบาล (CPS203) ทำการบันทึกโดยวิสัญญีพยาบาลที่ปฏิบัติงาน ประจำวัน ลงในระบบรายงานความเสี่ยงของหน่วยงาน ใน HRMS ของโรงพยาบาลศรีสะเกษ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่และร้อยละในการประเมิน

2.4.4.3 แบบประเมินความพึงพอใจของวิสัญญีพยาบาล ต่อการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค ซึ่งมีผลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด จำนวน 7 ข้อ การประเมินผลทั้งหมดดำเนินการภายในระยะเวลา 5 เดือน หลังจากเริ่มต้นการใช้รูปแบบ ระดับความพึงพอใจ มี 5 อันดับ ประกอบด้วย 5 เท่ากับมากที่สุด 4 เท่ากับมาก 3 เท่ากับปานกลาง 2 เท่ากับน้อย และ 1 เท่ากับน้อยที่สุด

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.5.1 การวิจัยข้อมูลเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาพการณ์ การวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลในโรงพยาบาลศรีสะเกษ ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

2.5.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน ถูกต้อง และชัดเจน ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้ 1) ถอดข้อความ (Transcribe) จากการบันทึกเสียงเป็นลายลักษณ์อักษร (Verbatim) หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละครั้ง 2) ตรวจสอบข้อมูลเพื่อความถูกต้อง ครบถ้วน และชัดเจน พร้อมสรุปประเด็นเพิ่มเติมที่จำเป็น และ 3) วิเคราะห์และสรุปประเด็นสำคัญจากข้อมูลของผู้ให้ข้อมูลแต่ละราย

2.5.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเนื้อหา การตรวจสอบและวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของข้อมูลตามดัชนีความสอดคล้องของเนื้อหา การเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพด้วยการสัมภาษณ์เชิงลึก การสนทนากลุ่ม ใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Index of Item Objective Congruence: IOC) ตามแนวทางของ Polit & Hunger (1999) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ อ่านข้อมูลที่ได้จากการสนทนาหลายครั้ง พร้อมกับฟังบันทึกเสียง เพื่อทำความเข้าใจเนื้อหาโดยรวม คัดเลือกข้อความหรือประโยคสำคัญจากข้อมูลให้ความหมายที่ชัดเจนแก่ข้อความหรือประโยคสำคัญดังกล่าว จัดกลุ่มข้อความตามประเด็นที่เกี่ยวข้อง เขียนอธิบายประเด็นต่าง ๆ ในลักษณะข้อความต่อเนื่องและสอดคล้องกัน ตรวจสอบข้อมูลกับผู้ให้ข้อมูล เพื่อยืนยันความถูกต้องและครอบคลุมของเนื้อหา พร้อมเปิดโอกาสให้ผู้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมข้อคิดเห็น และ ปรับปรุงข้อมูลตามข้อเสนอแนะของผู้ให้ข้อมูล และจัดทำเนื้อหาในรูปแบบความเรียงที่มีความหมายชัดเจน

2.5.2 การวิจัยข้อมูลเชิงปริมาณ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการด้วยโปรแกรม SPSS แบบประเมินเครื่องมือวิจัยประกอบด้วย รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคมีรายละเอียดดังนี้

2.5.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไป ใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5.2.2 การประเมินผลรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลก่อนและหลังการใช้รูปแบบ โดยใช้สถิติ Paired t-test กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ 0.01



3. ผลการวิจัย

3.1 ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาสภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ

พบว่า งานวิสัญญีพยาบาลให้ความสำคัญกับการดูแลผู้ป่วยโดยมุ่งเน้นมาตรฐานและความปลอดภัยของผู้รับบริการตามแนวทาง 2P Safety 2018 บุคลากรได้รับการอบรมครบถ้วน และดำเนินงานตามมาตรฐานคุณภาพที่กำหนด อย่างไรก็ตาม ยังมีประเด็นที่ต้องพัฒนาเพิ่มเติม ได้แก่ การลดอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และการลดอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการสื่อสาร การประสานงานระหว่างวิชาชีพ และการตระหนักรู้ถึงสถานการณ์เสี่ยงของผู้ป่วยที่มีโรคร่วม ดังนั้น ควรมีการพัฒนาแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจนขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูแลผู้ป่วยให้ดียิ่งขึ้น ดัง Figure 2. และ Figure 3.

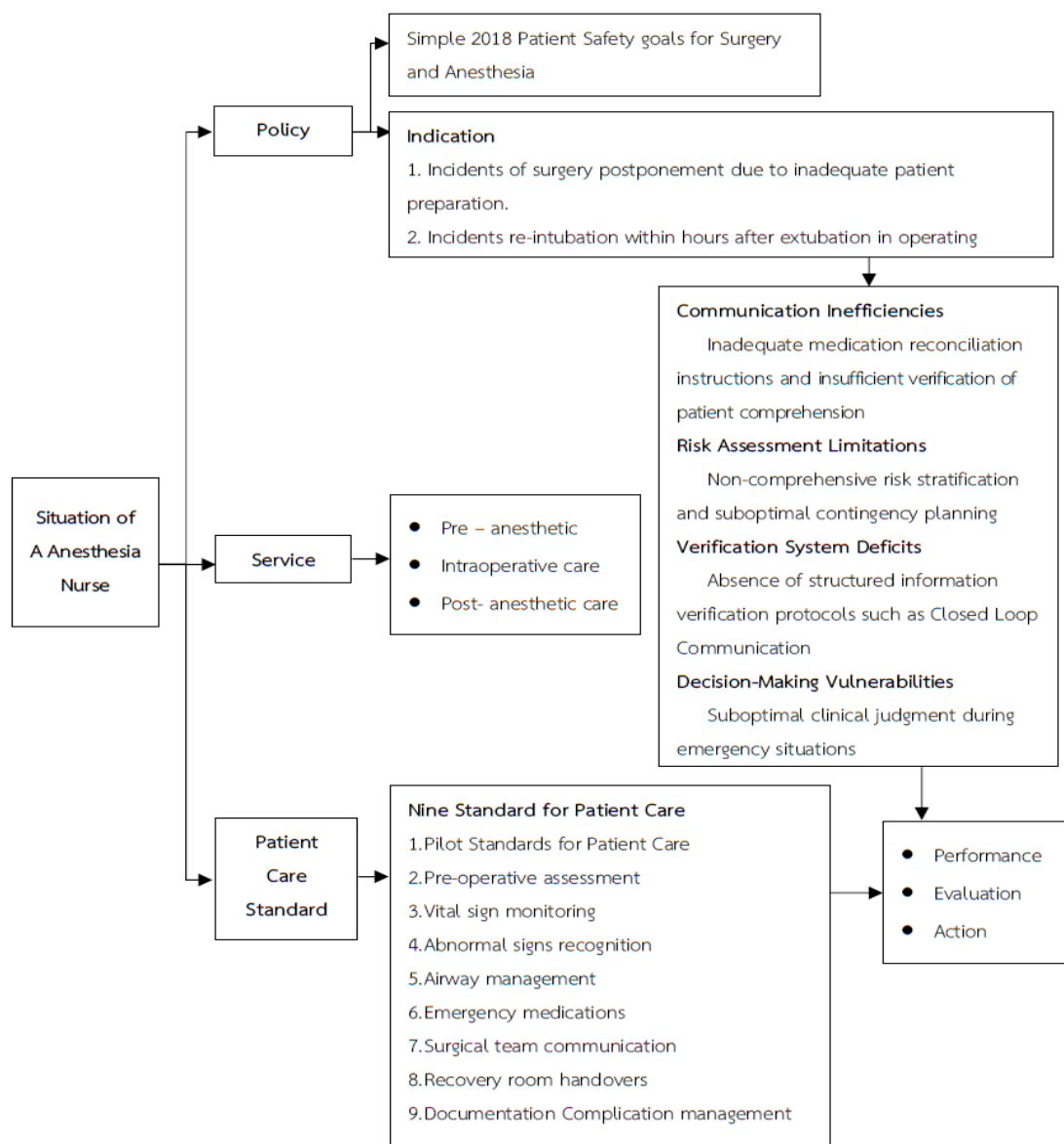


Figure 2. Current Patient Care Process in Nurse Anesthesia Practice

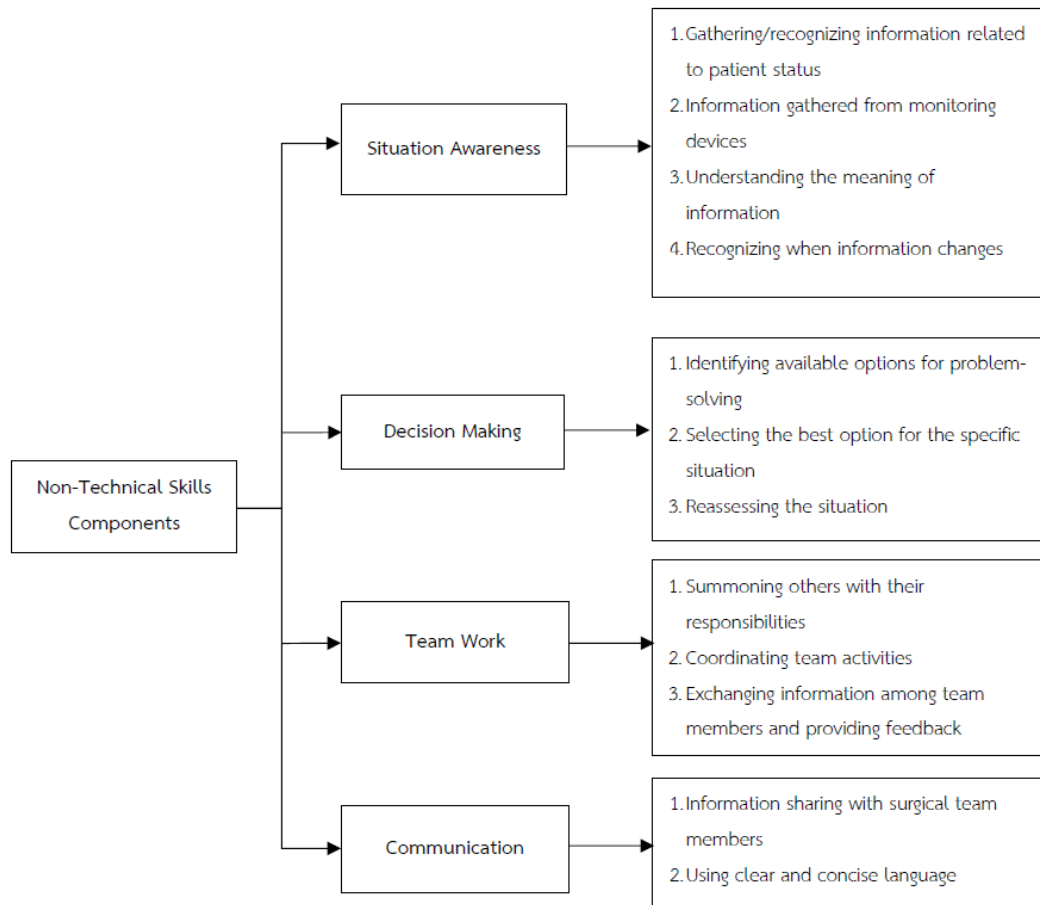


Figure 3. Non-Technical Skills of Nurse Anesthetists

3.2 ขั้นตอนที่ 2 สร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลโรงพยาบาลศรีสะเกษ

จากประเด็นสนทนากลุ่มการสัมภาษณ์รายบุคคล และจากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัดโรงพยาบาลศรีสะเกษขึ้น ดังนี้ จากการวิเคราะห์สถานการณ์ในขั้นตอนที่ 1 พบว่า มีภาวะอุบัติการณ์ที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของผู้ป่วยคือ อุบัติการณ์ การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-Intubation) จากปัญหาที่กล่าวมา การสร้างเครื่องมือเพื่อพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค เช่น การสร้างความตระหนักรู้สถานการณ์ที่สำคัญจำเป็นของผู้ป่วยเพื่อการตัดสินใจที่เหมาะสม การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เครื่องมือนี้นี้ควรช่วยให้บุคลากรสามารถประเมินความเสี่ยงของผู้ป่วยได้อย่างเป็นระบบ เสริมสร้างการประสานงานระหว่างทีม และสนับสนุนการส่งต่อข้อมูลที่ครบถ้วนและแม่นยำ เพื่อยกระดับคุณภาพการดูแลผู้ป่วย ลดความเสี่ยงของเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ และเพิ่มความพึงพอใจของผู้ป่วยและครอบครัวในระบบบริการสุขภาพเพื่อกระตุ้น สร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร ระยะเวลา 12 นาที รายละเอียดเนื้อหา ประกอบด้วย สถานการณ์ที่ 1 การประเมินและการเตรียมความพร้อมผู้ป่วยก่อนการระงับความรู้สึกเป้าหมายเพื่อลด อุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม สถานการณ์ผู้ป่วยหญิง วัยกลางคน แพทย์วินิจฉัยว่าเป็น Severe MR with mild TR นัดผู้ป่วยทำการผ่าตัด MVR และสถานการณ์ที่ 2 การป้องกันอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำ



หลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) คือสถานการณ์ผู้ป่วยชายอายุ 70 ปี มีโรคประจำตัวเป็น DM, HT, Dx, Gut obstruction Operation. Explor lap c hemicolectomy Under GA with ET tube

3.3 ขั้นตอนที่ 3 ผลการนำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ

ผลการนำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ โดยผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ 5 คน จากโรงพยาบาลที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโรงพยาบาลศรีสะเกษ ก่อนนำไปใช้จริง โดยการฝึกอบรมทุกเช้าวันอังคาร และวันศุกร์ เวลา 08.10-08.30 น. ใช้เวลาประมาณ 12 นาทีต่อครั้ง ผลการใช้รูปแบบ โดยใช้สถิติ Paired t-test เปรียบเทียบคะแนน ก่อนและหลังการพัฒนา พบว่าคะแนนเฉลี่ยหลังพัฒนาสูงกว่าก่อนพัฒนามีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$)

3.3.1 ข้อดีของแบบสถานการณ์จำลอง (Simulation) มีดังนี้ 1) ครอบคลุมสถานการณ์สำคัญ 2 สถานการณ์ 2) แสดงการใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคทั้ง 4 ด้าน 3) มีการใช้เครื่องมือประเมินที่เป็นมาตรฐาน เช่น Mallampati Grade, ASA Status 4) แสดงการสื่อสารระหว่างวิสัญญีพยาบาลกับผู้ป่วยและทีมแพทย์อย่างชัดเจน และ 5) มีการใช้เทคนิค ISBAR ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบได้แก่ การแนะนำตัว (Introduction), รายงานสถานการณ์ปัจจุบัน (Situation), ข้อมูลพื้นฐาน (Background), การประเมินอาการ (Assessment) และ ข้อเสนอแนะ/แผนการดูแล (Recommendation) ISBAR เป็นแนวทางสำคัญช่วยให้ถ่ายทอดข้อมูลได้ชัดเจนและครบถ้วน ลดโอกาสการสื่อสารผิดพลาด

3.3.2. ผลการประเมินในผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบนักร้อง ประกอบด้วยทักษะทั้ง 4 ด้าน โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง ดังนี้ 1) การสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53.60 (S.D.=8.29) 2) การตัดสินใจ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.80 (S.D.=2.77) 3) การทำงานเป็นทีม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.20 (S.D.=2.16) และ 4) การสื่อสารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.00 (S.D.=3.39)

3.4 ขั้นตอนที่ 4 ผลการประเมินการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล ในผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบกลุ่มหลัก 15 คน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 93.33) มีอายุเฉลี่ย 32.4 ปี (SD=3.56) ทุกคนมีการศึกษาระดับปริญญาตรี ส่วนใหญ่มีสถานภาพโสด (ร้อยละ 73.33) ไม่มีโรคประจำตัว (ร้อยละ 86.67) และไม่เคยอบรม 2P Safety (ร้อยละ 80)

3.4.2 ผลการประเมินทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลทั้ง 4 ด้าน ในกลุ่มตัวอย่าง 15 คน ผลการประเมินพบว่า หลังการพัฒนาทุกด้านมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าก่อนการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) โดยเรียงลำดับการพัฒนาจากมากไปน้อยได้ดังนี้ 1) การสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ เพิ่มขึ้นจาก 44.86 เป็น 58.73 2) การทำงานเป็นทีม เพิ่มขึ้นจาก 27.53 เป็น 38.33 3) การสื่อสาร เพิ่มขึ้นจาก 29.13 เป็น 38.66 และ 4) การตัดสินใจ เพิ่มขึ้นจาก 34.66 เป็น 43.66 ผลการทดสอบการแจกแจงของข้อมูลเป็นแบบปกติ จึงใช้สถิติ T-Test ตามข้อตกลงเบื้องต้น แสดงดัง Table 1.

Table 1. Comparison of Non-Technical skill Scores Before and After Model Implementation (n=15)

Non-Technical skill	Before	After	df	p-value
1. Situation awareness	44.86	58.73	14	0.00**
2. Decision-Making	34.66	43.66	14	0.00**
3. Teamwork	27.53	38.33	14	0.00**
4. Communication	29.13	38.66	14	0.00**

*p-value < 0.05, **p-value < 0.01



3.4.3 ผลการประเมินความปลอดภัยของผู้ป่วย 2 ด้าน ผลการประเมินพบว่า หลังการพัฒนา อุบัติการณ์ทั้งสองด้านลดลงเป็นศูนย์ซึ่งมีความสำคัญทางคลินิกอย่างมาก แสดงดัง Table 2.

Table 2. Patient Safety Assessment (n=15)

Indicators	Before Implementation (Sep 2024)	After Implementation (Oct 2024 - Jan 2025)
1. Number of surgery postponement incidents due to inadequate patient preparation.	2	0
2. Number of reintubation incidents within hours after extubation in operating room/recovery room	1	0

3.4.4 ผลการประเมินความพึงพอใจของวิสัญญีพยาบาลต่อรูปแบบการพัฒนาทักษะในผู้มีส่วนร่วมในการประเมินรูปแบบ ผลการประเมินความพึงพอใจพบว่า วิสัญญีพยาบาลมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดในทุกหัวข้อ โดยด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ โดยรวมเครื่องมือช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของวิสัญญีพยาบาล (4.80) แสดงดัง Table 3.

Table 3. Nurse Anesthetists' Satisfaction with the Skills Development Model (n=15)

Items	Mean	S.D.	Satisfaction Level
1. Helps increase awareness of critical situations	4.67	0.48	Highest
2. Promotes thinking processes and decision-making	4.73	0.45	Highest
3. Helps develop teamwork skills	4.67	0.48	Highest
4. Helps improve communication between teams	4.73	0.45	Highest
5. Helps increase work performance efficiency	4.80	0.41	Highest
6. Easy to understand and clear	4.73	0.45	Highest
7. Overall satisfaction	4.73	0.45	Highest

4. อภิปรายผลการวิจัย

4.1 สภาพการณ์การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล โรงพยาบาลศรีสะเกษ

การใช้ทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลมีความสำคัญต่อการดูแลผู้ป่วย โดยเฉพาะการเตรียมความพร้อมก่อนผ่าตัดในกลุ่มเสี่ยงสูง การรายงานข้อมูลด้วยเทคนิค ISBAR ช่วยให้การสื่อสารมีโครงสร้างและลดข้อผิดพลาด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jones et al. (2018) และ Radhakrishnan et al. (2022) ทีมสหสาขาวิชาชีพต้องทำงานร่วมกัน เพื่อให้การประเมินและเตรียมผู้ป่วยมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Weiser et al. (2008) และ Flynn et al. (2022) การพัฒนาทักษะการสื่อสารช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและบทบาทที่ชัดเจนในทีมห้องผ่าตัดที่มีการทำงานร่วมกัน ระหว่างศัลยแพทย์ วิสัญญีแพทย์ และพยาบาล สามารถลดภาวะแทรกซ้อนและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย การฝึก



สถานการณ์จำลองโดยใช้ Closed-loop Communication ช่วยให้ข้อมูลถูกต้องและชัดเจน ลดความวิตกกังวลของผู้ป่วย และส่งเสริมการฟื้นตัวที่รวดเร็ว สอดคล้องกับงานวิจัยของ Jones et al. (2018) และ Radhakrishnan et al. (2022)

4.2 การสร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล โรงพยาบาลศรีสะเกษ

การพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล โรงพยาบาลศรีสะเกษ ได้รับการออกแบบโดยใช้สถานการณ์จำลองที่เน้นการประเมินผู้ป่วยก่อนผ่าตัดอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และการป้องกันอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-Intubation) ซึ่งมีขั้นตอนคือ 1) ศึกษาจากเอกสาร นโยบาย ข้อมูลรายงานความเสี่ยง จากการสนทนากลุ่มกับทีมที่เกี่ยวข้อง ผู้ให้ข้อมูลหลัก (17 คน) 2) ทำการสร้างรูปแบบ โดยผ่านความคิดเห็นจากทีมที่เกี่ยวข้อง 3) นำรูปแบบที่ได้ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ซึ่งช่วยเสริมสร้างความเข้าใจและการทำงานเป็นทีมในบริบทที่ซับซ้อน ผลการวิจัยพบว่าหลังการฝึกอบรม ทักษะการตระหนักรู้สถานการณ์และการทำงานเป็นทีมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) (Schulz et al., 2017) การใช้สถานการณ์จำลองช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่ต้องตัดสินใจเร่งด่วน (Radhakrishnan et al., 2022) นอกจากนี้ การพัฒนาทักษะดังกล่าวยังช่วยลดอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) (Gordon et al., 2012) แนวทางนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มคุณภาพการดูแลและความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

4.3 ผลของรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล โรงพยาบาลศรีสะเกษ

ผลของการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคมีความเหมาะสมกับบริบทกับโรงพยาบาลศรีสะเกษพบว่า ในด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยจากการเกิดอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-Intubation) ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่คิดค้นขึ้นใหม่และยังไม่มีงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค ในบริบทของโรงพยาบาลในประเทศไทย โดยมีข้อจำกัดของรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล คือ ต้องใช้เวลาในการฝึกอบรมปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของวิสัญญีพยาบาล และต้องอาศัยการสนับสนุนจากผู้บริหารและบุคลากรทุกระดับ การพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลมีผลสำคัญต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย โดยเฉพาะในเรื่องอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-Intubation) ผลการวิจัยที่โรงพยาบาลศรีสะเกษพบว่า อุบัติการณ์ทั้งสองลดลงอย่างมีนัยสำคัญหลังการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค โดยทักษะหลัก ได้แก่ การสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร (Tettanom, 2018; Boonphatum, 2021) การพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลมีผลอย่างมากต่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วย โดยเฉพาะในด้านการสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าทักษะทั้งสี่ด้านนี้มีการพัฒนาย่างมีนัยสำคัญหลังการฝึกอบรมด้วยสถานการณ์จำลอง โดยเฉพาะด้านการตระหนักรู้ในสถานการณ์ที่เพิ่มขึ้นจาก 44.86 เป็น 58.73 และด้านการทำงานเป็นทีมที่เพิ่มขึ้นจาก 27.53 เป็น 38.33 (Tettanom, 2018; Flynn et al., 2022) ซึ่งการพัฒนาทักษะเหล่านี้ช่วยลดอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) (Kacha, 2023) การฝึกอบรมที่เสมือนจริงช่วยให้วิสัญญีพยาบาลมีความมั่นใจในการตัดสินใจและทำงานร่วมกับทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schulz et al. (2017) และ Phoson et al. (2020) ที่พบว่า การฝึกอบรมในสถานการณ์จำลองช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลผู้ป่วย โดยผลลัพธ์นี้ไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวิสัญญีพยาบาลเท่านั้น แต่ยังส่งผลโดยตรงต่อการลดความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ป่วยในการดูแลภายใต้สภาพแวดล้อมที่ซับซ้อน การฝึกอบรมสถานการณ์จำลองช่วยให้วิสัญญีพยาบาลสามารถประเมินข้อมูล คาดการณ์



ความเสี่ยง และตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น (Schulz et al., 2017) การพัฒนาทักษะการตัดสินใจช่วยลดข้อผิดพลาดในสถานการณ์วิกฤต และเพิ่มความมั่นใจ นอกจากนี้ ทักษะการทำงานเป็นทีมและการสื่อสารยังช่วยลดข้อผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพการดูแล (Salas et al., 2015) การพัฒนาทักษะเหล่านี้จึงเป็นการยกระดับคุณภาพการดูแลผู้ป่วยและเพิ่มความปลอดภัยในห้องผ่าตัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาล เช่น ทักษะการตระหนักรู้สถานการณ์ การทำงานเป็นทีม การสื่อสาร และการตัดสินใจ มีผลอย่างชัดเจนต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในห้องผ่าตัด การใช้เทคนิค ISBAR ช่วยให้การสื่อสารชัดเจนและลดข้อผิดพลาด ขณะที่การกำหนดบทบาทและการใช้สถานการณ์จำลอง Closed-Loop Communication สนับสนุนการทำงานร่วมกันและการแก้ปัญหาในสถานการณ์เร่งด่วน ส่งผลให้ลดภาวะแทรกซ้อนและเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Gordon et al. (2012), Sidi (2020) และ Raksamani (2022) และ นอกจากนี้ การใช้สื่อและเทคโนโลยีที่หลากหลายในการฝึกอบรม ตามที่พบในงานวิจัยของ Phoson et al. (2020) และงานวิจัยของและ Khakhong et al. (2020) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาสภาพการณ์ในการทำงานของวิสัญญีพยาบาลพบปัญหาหลักในหลายด้านที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วย โดยเฉพาะในด้านการสร้างความตระหนักรู้สถานการณ์ ซึ่งมีความยากลำบากในการคาดการณ์และประเมินสถานการณ์ล่วงหน้า ทำให้เกิดความล่าช้าในการตัดสินใจเมื่อเกิดภาวะฉุกเฉิน การประเมินผู้ป่วยไม่ครบถ้วนและขาดระบบการเฝ้าระวังสัญญาณเตือนล่วงหน้า นอกจากนี้ ยังพบปัญหาในการทำงานเป็นทีม เช่น การขาดการส่งต่อข้อมูลที่จำเป็นและไม่มีการกำหนดบทบาทที่ชัดเจนในสถานการณ์ฉุกเฉิน อีกทั้งการสื่อสารระหว่างวิสัญญีพยาบาลและทีมผ่าตัดยังไม่ครบถ้วน ขาดการยืนยันข้อมูลสำคัญและการตรวจสอบความเข้าใจ ข้อบกพร่องเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการดูแลผู้ป่วยได้

5.1.2 ผลการสร้างรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยผ่าตัด โดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ผ่านสถานการณ์จำลอง 2 สถานการณ์หลักได้แก่ การตรวจเย็บประเมินผู้ป่วยก่อนการได้รับการระงับความรู้สึก เพื่อป้องกันอุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) รูปแบบนี้มีเป้าหมายเพื่อกระตุ้นและพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคในด้านการสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร โดยใช้ระยะเวลาในการฝึกซ้อม 12 นาที เพื่อเสริมสร้างประสิทธิภาพในการจัดการสถานการณ์ที่สำคัญในกระบวนการผ่าตัด

5.1.3 ผลการทดลองใช้และประเมินผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการเพิ่มทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ การสร้างความตระหนักรู้ในสถานการณ์ การตัดสินใจ การทำงานเป็นทีม และการสื่อสาร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) นอกจากนี้ยังสามารถลดอุบัติการณ์ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ป่วย ได้แก่ อุบัติการณ์การเลื่อนผ่าตัดเนื่องจากการเตรียมผู้ป่วยไม่พร้อม และอุบัติการณ์การใส่ท่อช่วยหายใจซ้ำหลังถอดท่อช่วยหายใจภายใน 2 ชั่วโมง ในห้องผ่าตัด/พักฟื้น (Re-intubation) ลงเป็นศูนย์ กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่อรูปแบบการพัฒนาในระดับมากที่สุดทุกด้าน ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพและการยอมรับรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลที่พัฒนาขึ้น



5.2 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

5.2.1 ควรนำรูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคไปใช้ในสถานการณ์จริงกับวิสัญญีพยาบาลทั้งหมดในโรงพยาบาล โดยใช้คู่มือที่พัฒนาขึ้นเป็นแนวทางในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาการขาดทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคของวิสัญญีพยาบาลอย่างเป็นรูปธรรม

5.2.2 ควรจัดให้มีการอบรมและฝึกปฏิบัติทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคอย่างต่อเนื่องเป็นประจำทุกปี

5.2.3 ควรขยายการใช้รูปแบบนี้ไปยังบุคลากรทางการแพทย์กลุ่มอื่น ๆ ในโรงพยาบาล โดยใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคในหน่วยงานอื่นในโรงพยาบาลศรีสะเกษ

5.3 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.3.1 ควรมีการศึกษาติดตามผลระยะยาวของการใช้รูปแบบการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค เพื่อประเมินความยั่งยืนของการพัฒนาทักษะและผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ป่วยในระยะยาว

5.3.2 ควรมีการวิจัยเชิงคุณภาพเพื่อศึกษาประสบการณ์และมุมมองของวิสัญญีพยาบาลต่อการพัฒนาทักษะที่ไม่ใช่เทคนิค เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงรูปแบบการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.3.3 ควรมีการพัฒนาแบบการประเมินทักษะที่ไม่ใช่เทคนิคที่เป็นมาตรฐานสำหรับวิสัญญีพยาบาลไทย เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินและพัฒนาทักษะ

6. เอกสารอ้างอิง

- Best, JW., & Kahn, JV. (2016). Research in education. Chennai: Pearson Education India.
- Boonphatum, Y., Daovijit, J., & Chaichomphu, A. (2021). Outcome of Assessment and Preparation for Patients Undergoing Anesthesia at Preoperative Clinic. Journal of Health Science of Thailand, 30(4), 706. (in Thai)
- Flin, R., & O'Connor, P. (2017). Safety at the sharp end: a guide to non-technical skills. CRC Press.
- Flin, R., Martin, L., Goeters, KM., Hörmann, HJ., Amalberti, R., Valot, C., & Nijhuis, H. (2018). Development of the NOTECHS (non-technical skills) system for assessing pilots' CRM skills. In Human factors and aerospace safety (pp. 97-119). Routledge.
- Flynn, FM., Bing-Jonsson, PC., Falk, RS., Tønnessen, S., & Valeberg, BT. (2022). Educating for excellence: A cohort study on assessing student nurse anesthetist non technical skills in clinical practice.
- Gordon, M., Darbyshire, D., & Baker, P. (2012). Non-technical skills training to enhance patient safety: a systematic review. Medical education, 46(11), 1042-1054.
- Hospital Accreditation Institute (Public Organization). (2018). Patient safety goals: SIMPLE Thailand 2018. Bangkok: Femmas and Success Full. (in Thai)
- Jones, CPL., Fawker-Corbett, J., Groom, P., Morton, B., Lister, C., & Mercer, SJ. (2018). Human factors in preventing complications in anaesthesia: A systematic review. Anaesthesia, 73, 12-24.
- Kohn, LT., Corrigan, JM., & Donaldson, MS. (1999). To err is human: Building a safer health system National Academy Press. Washington, DC.
- Kumkong, M. (2020). Non-technical skills: Practical learning management in nursing education. Southern Network Nursing and Public Health Journal, 7(2), 312-323. (in Thai)
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, MA., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. Journal of management information systems, 24(3), 45-77.
- Phoson, P. (2020). The Online Learning Anesthetist's Non-technical Skills (ANTS) in Nurse Anesthetist Students during COVID-19. Thai Journal of Anesthesiology, 46(3), 119-125. (in Thai)



- Polit, DF., & Hungler, BP. (1999). Nursing research: Principles and methods. 6th ed. Pennsylvania: Lippincott Williams & Wilkins.
- Radhakrishnan, K., Roche, JP., & Cunningham, H. (2022). Importance of non-technical skills in anaesthesia education. *Indian Journal of Anaesthesia*, 66(1), 64-69.
- Raksamani, K. (2022). Ready for crisis in anesthesia. Bangkok: Siriraj Books. (in Thai)
- Salas, E., Reyes, DL., & McDaniel, SH. (2015). On teamwork: Theories, methods, and applications. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 2, 275-297.
- Schulz, CM., Burden, A., Posner, KL., Mincer, SL., Steadman, R., Wagner, K., & Domino, K. B. (2017). The frequency and type of situational awareness errors contributing to death and brain damage: A closed claims analysis. *Anesthesiology*, 127(2), 326-337.
- Sidi, A. (2020). Challenges in learning and assessing anesthesia cognitive and non-technical skills of anesthesiologists and residents in anesthesia. *Harefuah*, 159(6), 432-439.
- Tettanom, P. (2018). Patient safety and overcrowding in emergency room. *Public Health & Health Laws Journal*, 4(2), 237-249. (in Thai)
- Weiser, TG., Regenbogen, SE., Thompson, KD., Haynes, AB., Lipsitz, SR., Berry, WR., & Gawande, AA. (2008). An estimation of the global volume of surgery: A modelling strategy based on available data. *The Lancet*, 372(9633), 139-144.



Faculty of Liberal Arts and Sciences Sisaket Rajabhat University

**319 Thai Phantha Road, Pho Sub-district,
Mueang District, Sisaket Province 33000**

