



SCIENCE & TECHNOLOGY TO COMMUNITY

Vol 4 No 3

ISSN 2882-1338 (Online) ISSN 2822-132X (Print)

May – June 2026

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน
ปีที่ 4 ฉบับ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน 2569

1	การรวบรวมองค์ความรู้อาหารพื้นถิ่นและพัฒนาสื่อการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของตำบลพิมลราช จังหวัดนนทบุรี สุวิมล วงศ์สิงห์ทอง, นิรัญ งามเกิด, ทรงพล นกเรศเรืองศักดิ์	1
2	ประสิทธิภาพของกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับโครสโพลิเมอ์ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงไก่แบบกึ่งปิด ครรชิต เงินคำคง, ศิริประภา ชัยเนตร, นันทน์ภัส เงินคำคง, ชินานาฏ วิทยาประภากร, รุ่งนภา เขียววิจิตร	21
3	การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกข้อมือด้วยโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน พงษ์ศธร เชิดสม	40
4	การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) สำหรับการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล กรณีศึกษา Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum วรวิสา ดาโด้, ปิยะชาติ เวียงนาค	62
5	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศกับอุบัติการณ์ไข้เลือดออกในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ไพรัช สุนทร, วัฒนา ชยธวัช	74
6	ปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยในมิติการเจ็บป่วยและอุบัติเหตุจากการทำงานของแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มนิรัตน์ สอนม่วง, พัทธนิษฐ์ คำธาร, อารีย์ จอแย	87
7	การออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา สิริพร อินทสนธิ์	104
8	ผลของสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะเชิงกระบวนการของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์ จิรวัดน์ นาคสุวรรณ, มโนรส บริรักษ์ธราวินท์	121

Table of contents

1	Documentation of Traditional Local Culinary Knowledge and Development of Multicultural Gastronomy Tourism Media in Phimonrat Subdistrict, Nonthaburi Province <i>Suwimon Vongsingthong, Nirun Ngamkerd, Songpon Nakharacruangsak</i>	1
2	Efficiency of a Biological Process Combined Using a Co-immobilized Cross-Flow System for Ammonia Gas Removal in a Semi-Closed Chicken Farm <i>Khanchit Ngoenkhamkhong, Siraprapa Chainetr, Nannaphat Ngoenkhamkhong, Chinanat Withayaprapakorn, Rungnapha Khiewwijit</i>	21
3	A Comparative Study of Performance in Bone Fracture Classification from Extremity X-ray Images using Convolutional Neural Networks (CNN) <i>Pongsathorn Chedsom</i>	40
4	A Study on Optimal Parameters of Long Short-Term Memory (LSTM) Networks for Cryptocurrency Price Forecasting: A Case Study of Bitcoin, Dogecoin, and Ethereum <i>Warisa Datho, Piyachart Wiangnak</i>	62
5	Climatic factors associated with dengue incidence in Chiang Mai Province, Thailand <i>Priracha Suthon, Vadhana Jayathavaj</i>	74
6	Predictors of Occupational Health Problems: Work-Related Illnesses and Injuries among Older Adult Agricultural Workers in Mueang District, Chiang Rai Province <i>Maneerat Suanmuang, Phatanit Khamthan, Aree Choyae</i>	87
7	The Design and Development of a Website to Promote Tourism of Historical Sites in Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University <i>Siriporn Inthason</i>	104
8	Effects of Interactive Computer Assembly Simulations on Academic Achievement and Process Skills of University Students in Computer-related Fields <i>Jirawat Naksuwan, Manorot Borirakarawin</i>	121

Documentation of Traditional Local Culinary Knowledge and Development of Multicultural Gastronomy Tourism Media in Phimonrat Subdistrict, Nonthaburi Province

Suwimon Vongsingthong*

Faculty of Management Science, Pacific Institute of Management Science

Nirun Ngamkerd

Faculty of Business Administration, Krirk University

Songpon Nakharacruangsak

Faculty of Digital Technology and Innovation, Southeast Bangkok University

E-mail: suwimonv@yahoo.com*, ngamkerd@gmail.com and songpon@southeast.ac.th

*Corresponding author

(Received: 9 February 2026, Revised: 16 May 2026, Accepted: 18 May 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1544>

Abstract

Phimonrat Subdistrict, Bang Bua Thong District, Nonthaburi Province, is a multicultural canal-side community whose local cuisine reflects the integration of Thai, Chinese, and Muslim cultural traditions. This research aimed to 1) investigate the cultural foundations and multicultural influences on local culinary practices in Phimonrat, develop a digital repository of local culinary knowledge, and 2) create a community-based gastronomy tourism system using digital technologies for tourism communication and promotion. The study employed Participatory Action Research integrated with qualitative and quantitative methods. The target group consisted of 26 community members from Villages 3–7 and 50 tourists/community participants. Research instruments included in-depth interviews, focus group discussions, participatory workshops, questionnaires, and field observations. Digital tools developed included an electronic cookbook through FlipHTML5, digital tourism maps using Google My Maps, and the Facebook fan page “Saneh Withi Phimonrat.” The findings revealed that the community documented 31 traditional recipes and identified seven signature dishes representing its multicultural gastronomic identity. Multicultural gastronomy tourism routes integrating local food, cultural landmarks, religious sites, orchards, and community learning activities were also developed. The digital platforms enhanced public access to local culinary

knowledge, increased online visibility, strengthened community participation and digital literacy, and supported tourism communication and promotion. Overall, the study contributed to preserving local culinary heritage and promoting sustainable community-based gastronomy tourism in Phimonrat.

Keywords: Phimonrat subdistrict, Local culinary knowledge, Tourism media, Multiculturalism

Introduction

Tourism is a major driver of Thailand's economy and plays an important role in cultural preservation, employment generation, social development, and environmental sustainability. In recent years, community-based tourism (CBT) has been increasingly promoted as a mechanism for strengthening local economies and reducing inequality through participatory development and local resource utilization. This direction is consistent with the ASEAN Tourism Strategic Plan (2016–2025), which emphasizes innovation, digital integration, and community participation in tourism management and destination development (Office of Strategy and Planning, Ministry of Tourism and Sports, 2021).

In Thailand, gastronomic tourism has emerged as a meaningful form of cultural tourism because local cuisine reflects local identity, traditional knowledge, and multicultural heritage while simultaneously creating economic opportunities for communities. Previous studies in Nonthaburi Province highlighted the importance of community food tourism, traditional cooking preservation, local entrepreneur development, and digital communication in enhancing gastronomic tourism competitiveness (Chunkajorn et al., 2025). Similarly, studies on gastronomic tourism products classified Thai food tourism experiences into ingredient-based learning, participatory cooking activities, sensory food experiences, and food-related cultural experiences that strengthen sustainable tourism development (Mongkolrojsakul et al., 2025). However, most previous studies focused primarily on tourism promotion and cultural interpretation at a broader provincial level, while limited attention has been given to the systematic documentation and digital dissemination of local culinary knowledge within specific multicultural communities.

Phimonrat Subdistrict, Bang Bua Thong District, Nonthaburi Province, represents a historic canal-side multicultural community where Thai Buddhist, Chinese, and Muslim populations have coexisted for generations. Located along the fertile Phra Phimon Racha

Canal, the community benefits from abundant agricultural and aquatic resources that have shaped its distinctive culinary identity. Local cuisine reflects the integration of Thai flavors, Chinese cooking techniques, and Islamic food practices emphasizing halal ingredients, aromatic spices, and communal food preparation traditions. Traditional dishes such as Muslim-style Kaeng Bon, Roti Mataba, Khao Mok, and Massaman curry adapted with locally grown bananas demonstrate the community's cultural adaptation and long-standing relationship with local resources. Food preparation remains closely associated with religious festivals, social gatherings, and communal activities where residents collectively prepare and share food using ingredients sourced from household gardens and nearby farms. These practices not only strengthen social cohesion among different ethnic groups but also preserve local wisdom related to seasonal ingredients, herbal usage, and traditional cooking techniques.

Despite its rich cultural heritage, local culinary knowledge in Phimonrat is increasingly threatened by social and generational change. Most traditional recipes and cooking techniques continue to be transmitted orally through elderly community members and practical experience rather than systematic documentation. Some local ingredients have become scarce, while younger generations show declining interest in inheriting traditional culinary practices due to changing lifestyles and modern consumption patterns. Furthermore, local food products are commonly prepared only for festivals or occasional community events rather than developed into sustainable economic products. Product presentation, packaging, branding, pricing strategies, and digital marketing remain restricted despite the use of high-quality local ingredients. Though several local dishes possess strong cultural and tourism value, including foods associated with the GI-certified “Yai Klam mango,” there has been no comprehensive study focusing on the integration of multicultural culinary heritage, digital media, and participatory tourism development in Phimonrat. This research gap highlights the need for systematic collection, preservation, and dissemination of local culinary knowledge to prevent cultural loss and support sustainable community development.

In this context, a significant role in supporting the preservation and dissemination of local culinary knowledge is digital technology. The integration of Information and Communication Technology (ICT) with local knowledge documentation enables communities to transform traditional culinary heritage into accessible digital resources that support learning, tourism communication, and cultural continuity. Previous studies demonstrated that digital platforms can enhance visitor engagement, destination visibility, and tourist satisfaction

through real-time access to cultural and spatial information. Digital media such as electronic cookbooks, digital tourism maps, and social media platforms also provide opportunities for younger generations and external audiences to access local knowledge more conveniently while strengthening community visibility in online tourism markets. The integration of digital tools offers a pathway to strengthen gastronomic tourism by creating value from local food heritage (Suriyankietkaew, 2025). However, weak KM systems can result in communication delays, declining credibility, and economic vulnerability, especially during crises (Dolgui et al., 2017; Smolčić Jurdana, & Agbaba, 2025). Nevertheless, research specifically examining the use of digital media for preserving and promoting multicultural local food knowledge through participatory processes at the community level remains narrow.

Therefore, this study adopts a Participatory Action Research (PAR) approach to investigate the cultural foundations and multicultural influences on local culinary practices in Phimonrat and to develop digital media for preserving and communicating local food knowledge. The study further aims to design and develop a community-based gastronomic tourism support system through the development of digital tourism routes, electronic culinary media, and online tourism communication platforms. Unlike previous studies that mainly focused on tourism promotion, this research integrates multicultural culinary knowledge, participatory community processes, and digital technology to create practical tools for cultural preservation and sustainable tourism development. The findings are expected to benefit both the community and visitors by improving access to local culinary knowledge, enhancing cultural tourism experiences, strengthening community participation, and increasing economic opportunities through sustainable gastronomic tourism grounded in local identity.

Research Objectives

1. To explore the cultural foundations and multicultural influences shaping local culinary practices in Phimonrat and to develop a digital culinary knowledge repository in the form of an electronic cookbook (e-book) for cultural preservation and public dissemination.
2. To develop a community-based gastronomy tourism support system in Phimonrat Subdistrict through the creation of a digital tourism route map (Google Mymaps) and the application of digital communication platforms (Facebook) for tourism promotion and community-based destination management.

Methodology

Population and Target Groups

Phimonrat Subdistrict, Bang Bua Thong District, Nonthaburi Province, comprises eight villages with a total population of 47,847 residents. This study purposively selected communities located along the Phra Phimon Racha Canal, particularly Moo 3–7 as the study area due to their strong multicultural culinary identity, active community participation, and potential for gastronomic tourism development. The target groups were categorized as follows:

1. Co-researchers: The co-researchers consisted of 26 purposively selected participants included community leaders, local food entrepreneurs, community cooks, folk scholars, teachers, and representatives from government sectors. The selection criteria based on their involvement in local culinary activities, cultural practices, and tourism-related development, as well as their willingness to participate in collaborative research activities.
2. Key Informants: In-depth interviews on culinary heritage, tourism potential, local identity, and community development challenges were conducted with 14 key informants, including community cooks, community leaders with expertise in local history and culture, representatives from the subdistrict administrative organization.
3. Focus Group Participants: Two focus group discussions; community perspectives on local culinary identity, tourism management, and development needs, involving 16 community members and tourism stakeholders were conducted.
4. Quantitative Sample Group: Questionnaire surveys were administered to 50 tourists visiting the community and community participants to assess perceptions toward digital tools supporting gastronomic community tourism such as e-cookbook, digital route map, and communication platform.

Research Instruments, Data Validation and Analysis

The research instruments consisted of both qualitative and quantitative tools developed in accordance with the research objectives and the participatory research framework. These tools were categorized as follows:

1. Qualitative Instruments: In-depth interviews, focus group discussions, participant observation, field notes, community mapping.

2. Quantitative Instruments: Questionnaire surveys for tourists and community participants on digital tools and communication platforms, including: e-cookbook, Digital tourism maps, tourism communication and promotion channel.

3. Digital Research Instruments: 3 integrated digital tools were employed as data repositories and interactive knowledge-sharing platforms: (1) Google My Maps for co-creating geo-referenced cultural and culinary tourism routes; (2) FlipHTML5 for developing an interactive electronic cookbook of local recipes; and (3) Facebook (community page) for disseminating content, enabling two-way communication, and supporting real-time engagement.

All research instruments were reviewed by experts in tourism, community development, and information technology to ensure content validity and appropriateness. Qualitative data were analyzed using content analysis to identify key themes related to local culinary heritage, multicultural influences, and community-based tourism development. Quantitative data were analyzed using descriptive statistics, including frequency, percentage, and mean. Data credibility and trustworthiness were ensured through triangulation of multiple data sources, member checking with community participants, and verification of findings through participatory workshops and stakeholder discussions.

Research Process

The research emphasized collaborative participation among researchers, community members, local entrepreneurs, tourists, and relevant government agencies throughout the processes of multicultural gastronomy tourism media development. The series of systematic stages was conducted as demonstrated in Figure 1.

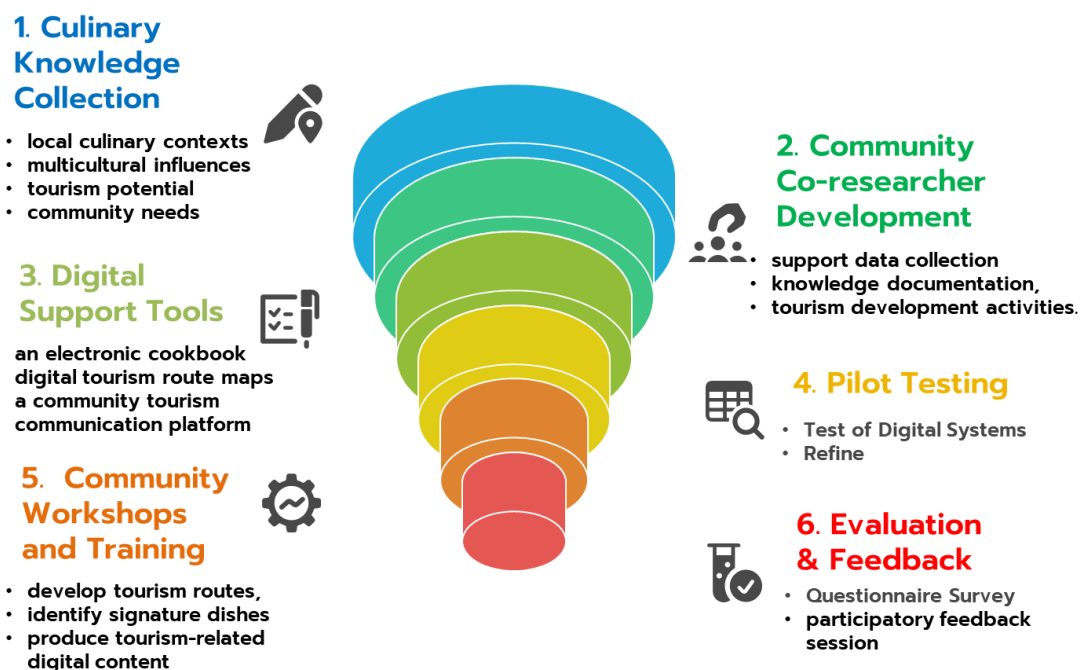


Figure 1 Research Process Funnel

1. Culinary Knowledge Collection: Data collection began with participatory community assessment activities to investigate local culinary contexts, multicultural influences, tourism potential, and community needs. Data were collected collaboratively with community members using mixed methods, including: in-depth interviews, focus group discussions, participatory workshops, field observations, and community narratives and stakeholder records. Traditional recipes, local ingredients, cooking techniques, and cultural narratives were systematically documented and verified through community participation.

2. Community Co-researcher Development: A total of 26 local representatives were appointed as community co-researchers to support data collection, knowledge documentation, and tourism development activities. This process strengthened collaboration between the research team and community members while enhancing local research capacity and participatory learning.

3. Development of Digital Tourism Communication Tools: Digital technologies were designed and applied to preserve, organize, and disseminate local culinary and tourism knowledge. These included: an electronic cookbook developed through fliphtml5, digital tourism route maps using google my maps, and a community tourism communication platform via Facebook page.

4. Technology Pilot Testing and Improvement: The digital systems were tested with community members, tourists, and local businesses. Feedback was used to refine the tools to enhance usability and effectiveness.

5. Community Workshops Training: Participatory workshops were organized to develop tourism routes, identify signature dishes, and produce tourism-related digital content. In addition, the training workshops on digital tools related to the research were organized for community participants, including Facebook, Google My Maps and FlipHTML5. These activities aimed to enhance community capacity in digital communication, knowledge management, and gastronomy tourism promotion.

6. Evaluation & Feedback: Questionnaire survey was conducted to evaluate the effectiveness of digital communication tools. The collected information was categorized, interpreted, and synthesized to identify tourist satisfaction on e-cookbook, digital maps and social communication channel using descriptive statistics. The research findings were then returned to the community through a participatory feedback session, enabling local residents, knowledge holders, and community leaders in Phimonrat Subdistrict to review, validate, and take ownership of the results. This data restitution process ensured that the community could directly apply the knowledge to sustain and further develop their local culinary heritage and gastronomy tourism initiatives.

Results

Phimonrat Subdistrict is a historic multicultural canal-side community located along the Phra Phimon Racha Canal, shaped by the long-term coexistence of Thai Buddhist, Chinese, and Muslim populations. Although urbanization and socio-economic transformation have gradually altered settlement patterns, Muslim cultural traditions and culinary practices remain strongly preserved through religious institutions and community networks, continuing to influence the local identity of the area. The fertile lowland ecosystems and interconnected waterways support agriculture, local fisheries, and household livelihoods in the community.

The abundance of locally sourced fruits, vegetables, herbs, and freshwater resources has contributed to the development of a distinctive culinary culture rooted in seasonal ingredients and community-based food practices. Traditional food preparation is closely associated with religious festivals, merit-making ceremonies, mosque activities, and communal celebrations, during which residents collectively prepare and share food using ingredients from household gardens and nearby farms. These practices have facilitated the intergenerational transmission of culinary knowledge and strengthened social cohesion among different cultural groups.

The findings further indicate that local cuisine in Phimonrat reflects the integration of Thai flavors, Chinese cooking techniques, and Islamic food traditions emphasizing halal ingredients and aromatic spices. However, much of this culinary knowledge remains undocumented and is primarily preserved through oral transmission and practical experience among elderly residents, placing several traditional recipes and techniques at risk of disappearance due to social and generational change.

The historical and cultural assets of Phimonrat provided an important foundation for collecting and documenting indigenous culinary knowledge from local experts. Through community-based tourism activities, local food experiences were linked with cultural landmarks, mosques, orchards, canal-side lifestyles, and community learning spaces, allowing visitors to engage with the multicultural culinary heritage and local wisdom of the community. Building on this foundation, the research systematically gathered and preserved this knowledge through direct engagement with local culinary experts, as detailed below.

1. Collect and document indigenous knowledge from local culinary experts

1.1 Cultural Foundations of Local Cuisine

As Phimonrat is a multicultural community, the traditional cultural practices coexist with modern development. Its local cuisine represents an important cultural heritage reflecting the community's collective wisdom and long-standing way of life. Food preparation primarily relies on fresh, seasonal, and locally sourced ingredients from household gardens and nearby farms. Local cuisine can be classified into three categories: traditional home-style foods transmitted across generations, heritage foods preserved mainly by elders, and ritual-related foods associated with religious and cultural ceremonies.

1.2 Multicultural Influences on Local Culinary Practices

Local culinary practices in Phimonrat reflect the integration of Thai, Chinese, and Muslim food cultures. Thai culinary foundations are evident in the use of aromatic curry pastes and balanced flavors, while Chinese influences appear through cooking techniques such as stir-frying, steaming, and deep-frying, as well as the use of noodles, tofu, and sauces. Muslim culinary traditions strongly shape ingredient selection and seasoning practices, particularly through the use of halal meat and spices such as cumin and cardamom. This multicultural fusion has created a distinctive gastronomic identity that represents both the cultural heritage and tourism potential of the community.

1.3 Development of the Digital Local Culinary Knowledge Repository

After the documentation of traditional culinary knowledge, all recipes were validated by key informants and verified through hands-on cooking sessions to ensure authenticity and cultural accuracy. Traditional recipes, cooking techniques, ingredient information, and cultural narratives were collected and verified through interviews, participatory workshops, and cooking demonstrations with local experts. The FlipHTML5 platform was selected because it supports multimedia integration, online accessibility, QR code sharing, and user-friendly management suitable for community-based knowledge dissemination as demonstrated in Figure 2.



Figure 2 Multicultural Phimonrat Digital Cookbook

Community leaders, including subdistrict administrators and local cultural representatives of Phimonrat were trained to independently manage and update digital content, including videos, photographs and graphics while increasing public access. The dissemination of e-book through QR codes at Phimonrat Subdistrict Municipality, local schools, and local restaurants as well as the community Facebook page supporting intergenerational

knowledge transfer, and enhancing the visibility of Phimonrat’s culinary heritage. The platform strengthens cultural capital while simultaneously reducing production costs and increasing accessibility. Ultimately, this digital repository enables the community to transmit culinary heritage in a modern, sustainable, and scalable form for future generations.

2. Multimedia Presentation Tools for Multicultural Gastronomic Tourism

2.1 Participatory Development of Community-Based Gastronomy Tourism Routes

The study began with a participatory assessment of local potential, involving multi-sector stakeholders to identify appropriate tourism routes and key attractions as demonstrated in Figure 3. The selected routes were then pilot tested, and activity formats were refined to enhance tourist engagement and experiential learning. Subsequently, coordination was undertaken with local communities and relevant agencies to support tourism management and logistics. Tourism activities and food menus were carefully designed to align with travel duration, visitor capacity, and the local socio-cultural context. In parallel, promotional materials, digital maps, and multimedia content were produced to communicate the community’s identity and culinary heritage effectively.

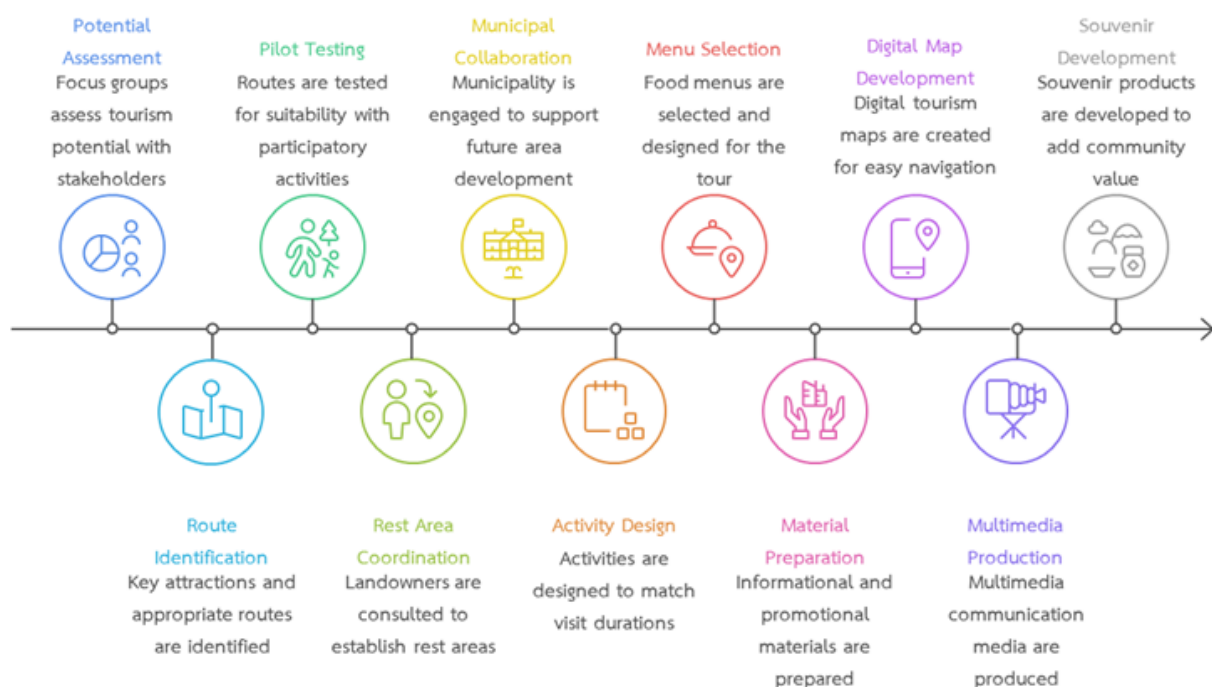


Figure 3 Community-Based Tourism Route Development Process

2.2 Community-Based Selection of Multicultural Signature Dishes

In collaboration with relevant government agencies: Nonthaburi Tourism Organization and Phimonrat Subdistrict Municipality, the community identified seven signature dishes to represent Phimonrat as part of its multicultural gastronomic tourism initiative. The selection process was carried out through participatory community meetings based on the criteria presented in Figure 4.



Figure 4 Criteria for the Selection of Signature Dishes

The selection process was conducted through participatory meetings involving community members, local culinary experts, and stakeholders using criteria related to cultural significance, local uniqueness, multicultural representation, continuity of community consumption, tourism potential, and feasibility for commercial development. The seven signature dishes are distinctive because they reflect the multicultural integration of Thai, Chinese, and Muslim culinary traditions unique to the canal-side communities of Phimonrat. The selected seven symbolic dishes include Traditional Khao Yam, Curry Noodle Soup (Kuay Tiew Kaeng), Muslim-style Kaeng Bon, Pun Klib, Roti Mataba, Sali Pao, and Sticky Rice with Yai Klam Mango as shown in Figure 5.



Figure 5 Symbolic culinary identities Dishes

Several dishes are closely associated with religious ceremonies, local festivals, agricultural resources, and traditional family practices, representing both the historical background and cultural identity of the community. For example, Roti Mataba demonstrates Muslim culinary influence through the use of halal ingredients and aromatic spices, while *Sticky Rice with Yai Klam Mango* highlights the GI-certified “Yai Klam mango,” a distinctive agricultural product of the province. The continued oral transmission of many recipes across generations further enhances their cultural significance and uniqueness as local culinary heritage.

2.3 Community-Based Tourism Governance and Digital Route Management

Community members played a central role in the planning and management of gastronomy tourism activities in Phimonrat through participatory discussions reflecting local needs and community capacity. During the tourism route development process, the community identified target visitors as tourists interested in local culture, traditional food, agriculture, and experiential learning. Tourism activities were therefore designed for small groups (2-8 people). Visitors were planned to participate in activities such as harvesting local ingredients, learning traditional cooking methods, visiting orchards, and exploring cultural and religious sites, allowing them to better understand the local way of life and multicultural identity of the community.

2.4 Digital Mapping for Cultural Interpretation and Sustainable Tourism Management

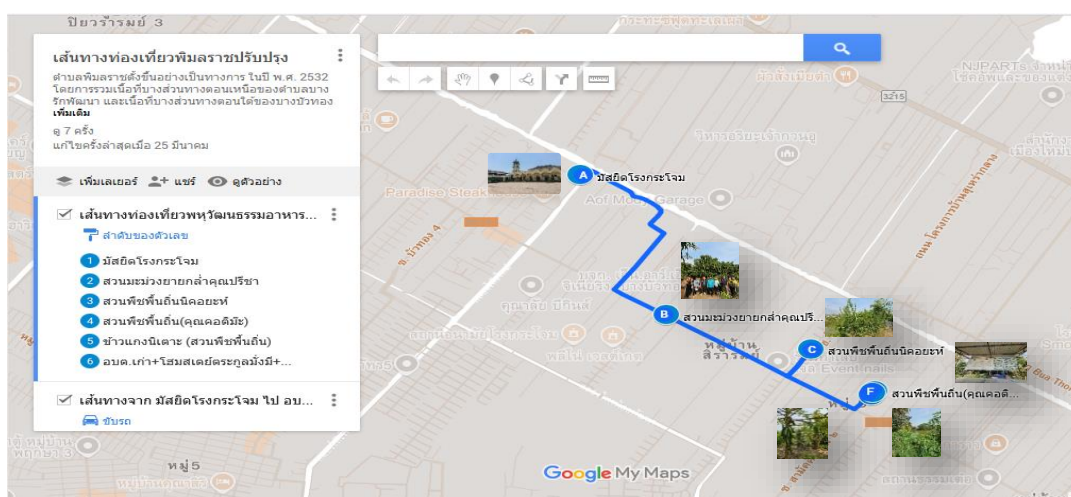


Figure 6 Digital Map of Culinary Tourism

To support tourism management and improve visitor accessibility, a digital mapping system was developed using Google My Maps to integrate tourism routes, local restaurants, cultural attractions, religious landmarks, and activity locations into a single geo-referenced platform, as illustrated in Figure 6. The platform enabled tourists to access travel information, navigate tourism routes, and plan visits more conveniently through online links and QR codes. The participatory development process also enhanced digital literacy among community members, who were trained to create map markers, upload tourism content, and manage route information independently. In addition to improving tourism communication and destination visibility, the digital map supported community-based tourism management by facilitating coordination of tourism activities and promoting local products and services through accessible digital technology.

2.5 Development of a Digital Community Platform for Gastronomy Tourism Promotion

The study developed integrated digital platforms to support community-based gastronomic tourism management and promotion. A digital tourism map using Google My Maps integrated local restaurants, cultural attractions, religious landmarks, orchards, and tourism activity points into an interactive route-planning system for tourists and community members. In addition, the Facebook fan page (Figure 7) “The Charm of Phimonrat Way of Life” was created to disseminate tourism information, culinary content, and community activities. Community members were trained to develop digital storytelling content and communicate with visitors through social media. The electronic cookbook and digital culinary repository were also utilized as learning resources during tourism activities and workshops. Collectively, these digital tools enhanced public access to local culinary knowledge, increased online visibility, supported intergenerational knowledge transfer, and strengthened Phimonrat’s identity as a multicultural gastronomic tourism destination.



Figure 7 Facebook The Charm of Phimonrat Way of Life

2.6 User Satisfaction with the Digital Community Support Systems

The satisfaction assessment of the community digital products as illustrated in Figure 8 revealed a high overall level of user satisfaction across all developed platforms. The assessment was conducted among 50 participants, comprising community participants (32%) and tourists visiting the community (68%). Among the three digital tools, the Facebook Fan Page received the highest satisfaction score ($\bar{x} = 4.31$, S.D. = 0.62), indicating that users perceived the platform as highly effective for tourism communication, public engagement, and dissemination of local culinary and cultural information. The Electronic Cookbook ($\bar{x} = 4.18$, S.D. = 0.31) also demonstrated a high level of satisfaction. The platform was considered particularly useful for transferring local culinary knowledge to younger generations and external audiences. Lastly, the Digital Tourism Map developed through Google My Maps received a slightly lower but still high satisfaction score ($\bar{x} = 3.89$, S.D. = 0.74). Respondents appreciated its usefulness in presenting tourism routes, cultural landmarks, and local food destinations in an integrated manner. However, some users indicated limitations related to digital literacy and familiarity with map-based navigation technologies, especially among elderly community members.

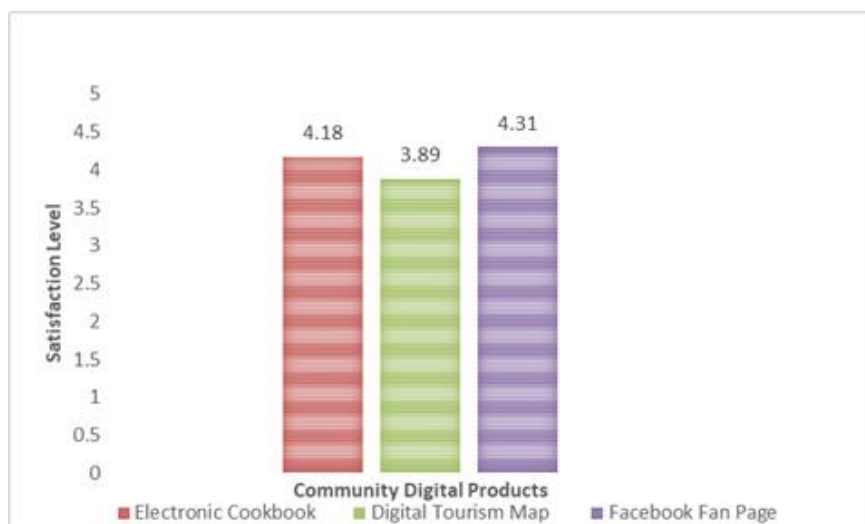


Figure 8 Satisfaction Assessment

Discussions

This study highlights the importance of community participation in preserving local culinary heritage and strengthening community-based gastronomic tourism. In relation to the first objective, the findings demonstrate that the multicultural food traditions of Phimonrat represent significant cultural capital shaped by the long-standing coexistence of Thai, Chinese, and Muslim communities. Through participatory processes, local culinary knowledge that had previously been transmitted mainly through oral traditions was systematically documented and transformed into a digital culinary knowledge repository. The development of the electronic cookbook and digital database supports previous studies indicating that digital technologies can enhance cultural preservation, knowledge accessibility, and public dissemination of local heritage (Mongkolrojsakul et al., 2025; Silva, 2025).

In relation to the second objective, the study found that the integration of digital technologies with community-based tourism management contributed to the development of gastronomy tourism in Phimonrat. The digital tourism map, Facebook fan page, and multimedia communication tools improved tourism information accessibility, destination visibility, and visitor engagement. These findings are consistent with studies emphasizing the role of ICT and digital storytelling in enhancing tourism experiences and destination competitiveness (Zielinski et al., 2020). The participatory development process also strengthened digital literacy, community collaboration, and local capacity for tourism management.

The study further found that the developed digital tools were practically applied during tourism activities, community workshops, and public relations campaigns. Community members, tourists, and stakeholders were able to access tourism information, culinary knowledge, and tourism routes through smartphones, QR codes, and online platforms. Feedback obtained from users during pilot implementation was used to improve the digital platforms, particularly in terms of interface design, accessibility, content organization, and navigation functions. Community members were also trained to independently update tourism information and digital content, allowing the tools to remain dynamic and continuously adaptable to community needs. These processes contributed to the long-term usability and sustainability of the developed digital systems.

The findings further confirm that community participation is a key foundation for sustainable community-based tourism, as communities become active co-creators of tourism value rather than passive service providers. Consistent with previous studies (Scheyvens, 2002; Ginanjar & Sri, 2023), the study demonstrates that participatory tourism development can generate cultural, social, and economic benefits for local communities. However, challenges related to infrastructure, marketing capacity, and financial support remain important constraints requiring continuous collaboration among community members, government agencies, and relevant stakeholders (Hall & Richards, 2000; Andjanie et al., 2023), while strong community networks and cross-sector integration can strengthen resilience and income diversification (Goodwin & Santilli, 2009; Tseng et al, 2023; Scheyvens, 2007). Overall, the study indicates that the integration of local culinary knowledge, participatory processes, and digital technologies can support sustainable gastronomic tourism development while strengthening cultural identity and community resilience (Chunkajorn et al., 2025).

Conclusion and Suggestions

This study demonstrates that the application of information technology, combined with participatory community-based research, is an effective approach for preserving local culinary knowledge and enhancing community-based food tourism. The digital documentation of traditional recipes and the development of a multicultural food tourism route in Phimolrat not only prevented the loss of intangible cultural heritage, but also strengthened community engagement and created new economic opportunities. The integration of digital platforms, including interactive e-books and online tourism maps, significantly improved accessibility to

cultural knowledge and increased the visibility of the community as a culinary tourism destination.

To ensure the long-term sustainability of these outcomes, continuous system maintenance and content updating should be institutionalized through local administrative organizations and community networks. Capacity-building initiatives focused on digital literacy, content management, and online marketing are strongly recommended to enable community members to independently manage and expand the digital tourism system. Furthermore, the digital tourism route should be integrated into regional and national tourism networks to enhance market reach and strengthen linkages with the broader tourism economy.

Future development should focus on transforming documented recipes into standardized cultural products and experiential tourism packages that add value to local resources. Policy support and targeted funding from relevant government agencies are also essential to strengthen infrastructure, ensure equitable benefit distribution, and promote inclusive participation. Finally, further research is recommended to evaluate the long-term socio-economic and cultural impacts of digital community-based food tourism, particularly in terms of income generation, cultural continuity, and community resilience.

Acknowledgements

This research is part of the project entitled “The Formation of Multicultural Values with Local Food to develop Phimonrat Subdistrict, Nonthaburi as a Tourist Location”. The study was financially supported by the National Research Council of Thailand (NRCT). The authors gratefully acknowledge the NRCT for its financial support and valuable guidance, which made the successful completion of this research possible. Sincere appreciation is extended to the Phimonrat Subdistrict Administrative Organization, research team, community leaders, local food entrepreneurs, and residents of Phimonrat for their cooperation.

References

- Andjanie, I. F., Asyifa, N., Pratama, R. K., & Asyifa, A. F. (2023). Strengthening community involvement: An in-depth exploration of the community-based tourism (CBT) approach in Lamajang Tourism Village, Bandung Regency. *Jurnal Kepariwisata Indonesia*, 17(2), 182–205. <https://doi.org/10.47608/jki.v17i22023.182-205>
- Chunkajorn, P. ., Thanyacharoen-anukul, P., Chomchuenjitsin, T. ., Prakenpattr, N. ., & Leelhasuwan, P. (2025). Promoting gastronomic tourism in Nonthaburi Province. *Journal of Sustainable Home Economics and Culture*, 7(1), 88-99. <https://so09.tci-thaijo.org/index.php/hecrmutp/article/view/5985>
- Dolgui, A., Ivanov, D., & Sokolov, B. (2018). Ripple effect in supply chains: An analysis. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 414–430. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1387680>
- Ginanjari, R., & Sri, R. H. (2023). Community empowerment in tourism development: Concepts and implications. *The Eastasouth Management and Business*, 1(3), 111–119. <https://doi.org/10.58812/esmb.v1i03.82>
- Goodwin, H., & Santilli, R. (2009). *Community-based tourism: A success?*. <https://www.andamandiscoveries.com/press/press-harold-goodwin.pdf>
- Hall, D., & Richards, G. (2000). *Tourism and sustainable community development*. London, England: Routledge.
- Mongkolrojsakul, R., Songserm, N., Wongphan, C., Artharn, D., & Janvanichyanont, P. (2025). A Study on the Categorization of Gastronomy Tourism Products for Enhancing Sustainable Community-Based Gastronomy Tourism in Thailand. *Journal of Social Science and Cultural*, 9(6), 382–397. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/JSC/article/view/285140>
- Office of Strategy and Planning, Ministry of Tourism and Sports. (2021). *Tourism statistics and policy framework*. Bangkok, Thailand: Ministry of Tourism and Sports.
- Scheyvens, R. (2002). *Tourism for development: Empowering communities*. Harlow, England: Prentice Hall.
- Scheyvens, R. (2007). Exploring the tourism–poverty nexus. *Current Issues in Tourism*, 10(2–3), 231–254. <https://doi.org/10.2167/cit318.0>
- Silva, M. J. (2025). *Crisis: Challenges and impacts on tourism value chain*. University of Aveiro. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33151.32161>

- Smolčić Jurdana, D., & Agbaba, R. (2025). Management of crisis situations towards tourism destination sustainability: Key factors and measures. *Sustainability*, 17(23), 10871. <https://doi.org/10.3390/su172310871>
- Suriyankietkaew, S., Krittayarungroj, K., Thinthan, S., & Lumlongrut, S. (2025). Creative tourism as a driver for sustainable development: A model for advancing SDGs through community-based tourism and environmental stewardship. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27, 100622. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100828>
- Tseng, S.-C., Wang, D., Shen, C.-C., & Chung, H.-P. (2023). A study on the relationship between tourists' experience value and satisfaction in Taiwan's farmer's markets. *Sustainability*, 15(10), 8347. <https://doi.org/10.3390/su15108347>
- Zielinski, S., Jeong, Y., Kim, S.-i., & B. Milanés, C. (2020). Why Community-Based Tourism and Rural Tourism in Developing and Developed Nations are Treated Differently? A Review. *Sustainability*, 12(15), 5938. <https://doi.org/10.3390/su12155938>

ประสิทธิภาพของกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับครอสโฟมีเดียในการกำจัด ก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงไก่แบบกึ่งปิด

Efficiency of a Biological Process Combined Using a Co-immobilized Cross-
Flow System for Ammonia Gas Removal in a Semi-Closed Chicken Farm

ครรชิต เงินคำคง* และ ศิรประภา ชัยเนตร

Khanchit Ngoenkhamkhong* and Siraprapa Chainetr

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Faculty of Engineering, Rajamagala University of Technology Lanna

นันทน์ภัส เงินคำคง

Nannaphat Ngoenkhamkhong

คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University

ชินานาฏ วิทยาประภากร

Chinanat Withayaprapakorn

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamagala University of Technology Lanna

รุ่งนภา เขียววิจิตร

Rungnapha Khiewwijit

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

Faculty of Engineering, Rajamagala University of Technology Lanna

E-mail: kunchit2516@rmutl.ac.th*, Siraprapa@rmutl.ac.th, nsr_manonun@hotmail.com,

chinanat@rmutl.ac.th and Rungnapha@rmutl.ac.th

*Corresponding author

(Received: 17 March 2025, Revised: 28 May 2026, Accepted: 2 June 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1124>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียด้วยระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในฟาร์มไก่ไข่ โดยพิจารณาความเหมาะสมด้านพื้นที่ติดตั้ง การออกแบบระบบ และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานในฟาร์ม ผลการศึกษาพบว่า หลังการติดตั้งระบบ อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมภายในโรงเรือนยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของไก่ ส่วนคุณภาพน้ำเสียในระบบสเปรย์ตัวกลางพบว่าปริมาณสารอินทรีย์มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยน้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้หมุนเวียนได้ และมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง $6.99 \pm 0.03 - 7.10 \pm 0.00$ ขณะที่จำนวนจุลินทรีย์ในระบบอยู่ในช่วง $0.95 \times 10^7 - 3.68 \times 10^7$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่น พบว่า ระบบสามารถลดก๊าซแอมโมเนียได้สูงสุดร้อยละ 86.16 ± 0.02 แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในฟาร์มไก่ไข่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: กระบวนการทางชีวภาพ ก๊าซแอมโมเนีย ฟาร์มไก่ ครอสโฟมีเดีย

Abstract

This research aimed to investigate the removal efficiency of ammonia gas using a biological odor treatment system in layer chicken farms. The study considered the suitability of installation area, system design, and operational factors related to the farm application. The results indicated that after the system installation, the temperature, humidity, and airflow velocity inside the poultry house remained within the standard ranges and did not adversely affect the performance of chicken production. Regarding to the wastewater quality in the spray media system, the organic matter showed a continuous decreasing trend, indicating the effective biodegradation of organic compounds by aerobic microorganisms. The treated effluent could be recirculated for reuse, with the pH values ranging from $6.99 \pm 0.03 - 7.10 \pm 0.00$. Besides, the microbial population in the system ranged from $0.95 \times 10^7 - 3.68 \times 10^7$ CFU/mL. In addition to the efficiency of odor removal, the system achieved a maximum ammonia gas removal efficiency of $86.16 \pm 0.02\%$. These findings demonstrate that the biological odor treatment system has strong potential for efficient application in layer chicken farms.

Keywords: Biological process, Ammonia gas, Chicken farm, Cross flow media

บทนำ

การเลี้ยงไก่ในประเทศไทยแม้จะเป็นการเลี้ยงเพื่อการบริโภคในประเทศเป็นหลัก ปัจจุบันผลผลิตไข่ไก่ในประเทศไทยมีประมาณวันละ 45 ล้านฟอง มีการให้อาหารที่มีประสิทธิภาพสูงครบตามความต้องการของไก่ไข่ การเลี้ยงไก่ไข่ในโรงเรือนควบคุมอุณหภูมิ ทำให้ไก่ไข่อยู่อย่างสบาย และให้ผลผลิตสูงตามศักยภาพของพันธุ์กรรม และมีการควบคุมป้องกันโรคอย่างเต็มประสิทธิภาพ อีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือการจัดการด้านสุขาภิบาลเพื่อลดปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคระบาด เช่น โรคไข้หวัดนกที่พบในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เคยได้รับผลกระทบอย่างกว้างขวางในต้นปี พ.ศ. 2547 ฟาร์มไก่ไข่ที่สร้างใหม่จะต้องได้รับรองมาตรฐานฟาร์มซึ่งต้องมีระบบควบคุมป้องกันโรคเชิงชีวภาพ (Bio-security) ดังนั้นฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่นาตาลและขนาดใหญ่ทุกระดับจึงเป็นฟาร์มที่มีระบบการจัดการ เป็นระบบปิดซึ่งส่วนใหญ่เลี้ยงไก่ไข่ในโรงเรือนปิด มีการควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบระเหยน้ำ (Evaporative cooling housing) หรือโรงเรือนอีแวป เพราะทำให้การจัดการด้านสุขาภิบาลของฟาร์มไก่ไข่เป็นไปด้วยดี ไม่ทำให้ไก่ไข่มีปัญหาด้านสุขภาพและไม่มีโรคระบาด ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง (กองแผนงาน กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2566) โรงเรือนไก่ไข่ต้องมีการระบายอากาศภายในโรงเรือนให้หมุนเวียนออกโดยใช้พัดลมระบายอากาศออกทางท้ายเล้า ซึ่งนำพาเอากลิ่นที่เกิดจากมูลไก่ไข่ทั้งก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของไก่ไข่รวมทั้งสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในโรงเรือนนั้นด้วย การระบายอากาศออกช่วยให้ก๊าซต่าง ๆ ภายในโรงเรือนลดลง แต่มวลอากาศดังกล่าวหากปล่อยออกโดยไม่ได้รับการบำบัดตกกลิ่นเหม็นลงจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางอากาศทั้งภายในฟาร์มเองและชุมชนล้อมข้าง หากไม่ได้รับการแก้ไขอย่างถูกต้องปัญหาอาจทวีความรุนแรงจนส่งผลให้ฟาร์มไม่สามารถประกอบกิจการในพื้นที่ปัจจุบันต่อไปได้

ระบบบำบัดกลิ่นที่ใช้ในปัจจุบันมีหลายวิธี ได้แก่ วิธีทางเคมี เช่น การสครับด้วยเคมี (Chemical scrubbers) การใช้ความร้อนทำปฏิกิริยา (Thermal oxidation) การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic oxidation) เป็นต้น วิธีทางกายภาพ เช่น การควบแน่น (Condensation) การดูดซับ (Adsorption) เป็นต้น วิธีทางชีวภาพ เช่น การกรองชีวภาพ (Biofilter) การสครับด้วยชีวภาพ (Bio scrubber) เป็นต้น (Shareefdeen & Singh, 2008; Sirianuntapiboon & Chuamkaew, 2007) ซึ่งการบำบัดกลิ่นด้วยวิธีทางชีวภาพนั้นได้รับการยอมรับและสนใจศึกษามากขึ้น เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำและที่สำคัญคือไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง วิธีการบำบัดกลิ่นที่ดีที่สุดวิธีหนึ่ง คือ การบำบัดทางชีวภาพ มีประสิทธิภาพการกำจัด (Removal efficiency) ของระบบนี้อยู่ระหว่างร้อยละ 85-99 (Potivichayanon, 2005) ดังนั้นในการศึกษาวิจัยจึงเลือกที่จะพัฒนาระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ

ในกระบวนการเลี้ยงทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากหลายปัจจัย อาทิเช่น น้ำที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ภายในเล้า สิ่งขับถ่ายทั้งปัสสาวะ มูลไก่และน้ำเสียที่เกิดจากการฉีดล้างทำความสะอาด นอกจากนั้นแล้วกลิ่นอีกส่วนหนึ่งจะออกมาจากพัดลมท้ายเล้าซึ่งเป็นพัดลมระบายอากาศในระบบโรงเรือนแบบปิด ลมเหล่านั้นจะพัดพากลิ่นเหม็นและสิ่งขับถ่ายที่กล่าวไปแล้ว โดยทางฟาร์มจะมีมาตรการในการทำความ

สะอาดภายในโรงเรือนและใช้ลมระบายอากาศออกจากท้ายโรงเรือนไม่ให้เกิดการหมักหมมอยู่ภายในเล้าซึ่งมีมีเทนเป็นองค์ประกอบจะมีผลต่อสุขภาพไก่และผลผลิตไข่โดยรวมได้ อากาศที่ออกมาจากโรงเรือนนำสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดกลิ่นออกมาด้วย ในส่วนของน้ำเสียและของเสียที่เกิดขึ้น จะถูกรวบรวมและลำเลียงเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศหรือระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ในการบำบัดและเพิ่มมูลค่าทางพลังงานต่อไป ทำให้ปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดขึ้นจากของเสียลดลงส่งผลให้สภาพอากาศโดยรอบของฟาร์มดีขึ้น แต่บริเวณในส่วนของท้ายเล้าซึ่งเป็นทิศทางลมที่เกิดจากการระบายจะนำกลิ่นที่หลงเหลือภายในโรงเรือนออกมาด้วย ทำให้บ้านเรือนที่อยู่ท้ายโรงเรือนได้รับผลกระทบจากปัญหากลิ่นเหม็นดังกล่าว โดยเฉพาะก๊าซแอมโมเนียจะเป็นพิษต่อสัตว์ แอมโมเนียในระดับสูงอาจทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงอย่างเด่นชัดหลายประการ เช่น อาการหายใจติดขัด มีผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของไก่ไข่ จากรายงานวิจัยของ Alltech (2566) รายงานว่าการได้รับแอมโมเนียตั้งแต่ระยะแรกอาจทำให้เกิดผลกระทบอย่างยาวนาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลผลิตของไก่รุ่นเพศเมียเมื่อเป็นแม่ไก่ไข่ในภายหลัง ส่วนผลกระทบจากแอมโมเนียต่อสัตว์ปีกทำให้ผลผลิตสัตว์ตกต่ำลงเมื่อมีปริมาณก๊าซแอมโมเนียเกิน 11 ppm และในปัจจุบันฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่เกือบทุกรายถูกรบกวนด้วยปัญหากลิ่นเหม็นรบกวน เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเรื่องกลิ่นให้ฟาร์มสามารถดำเนินกิจการต่อไป ซึ่งนอกจากจะสามารถบำบัดลดกลิ่นดังกล่าวลงได้ด้วยระบบชีวภาพสามารถทำงานได้ต่อเนื่องลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบเมื่อเทียบกับระบบอื่นแล้ว และยังคงคำนึงถึงการออกแบบระบบและพัฒนาระบบในส่วนของแรงลมระบายออกจากรอบเล้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการเลี้ยงในเล้าปิดตามรูปแบบเดิมที่ฟาร์มดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

จากข้อมูลข้างต้น จึงได้ศึกษาแนวทางการจัดการปัญหากลิ่นเหม็นที่ระบายออกจากท้ายโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่แบบปิด โดยมุ่งเน้นการเลือกใช้เทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง มีความไม่ซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบำบัดก๊าซแอมโมเนียจากโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งปิดโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ รวมถึงประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียระบบที่เลือกใช้คือระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ ซึ่งติดตั้งบริเวณท้ายพัดลมระบายอากาศด้านข้างของโรงเรือนในลักษณะสแลน ภายในระบบประกอบด้วยชุดสเปรย์ละอองน้ำที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า เพื่อควบคุมรอบการพ่นละอองน้ำให้เหมาะสมต่อการดักจับก๊าซแอมโมเนียและรักษาความชื้นของตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (Cross flow media) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางยึดเกาะของจุลินทรีย์โครสโฟรีเดียช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ในอากาศ โดยเฉพาะก๊าซแอมโมเนียส่งผลให้ความเข้มข้นของกลิ่นลดลงอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ระบบถูกออกแบบให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ไม่ชื้นหรือแห้งจนเกินไป เพื่อให้เกิดเสถียรภาพในการบำบัดกลิ่นในระยะยาว แนวทางดังกล่าวสอดคล้องกับนโยบายการพัฒนาประเทศด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม เพื่อส่งเสริมการพัฒนาอย่างยั่งยืน รวมถึงสนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในภาคการเกษตรและชุมชน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบบำบัดก๊าซแอมโมเนียจากโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่แบบกึ่งปิดโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดในการลดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

ระเบียบวิธีวิจัย

สารเคมี สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกชนิดเป็น Analytical reagent (AR)

ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่วิจัย บริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด 32/2 หมู่ที่ 5 ตำบลสันกลาง อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่
2. จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา ในกระบวนการเริ่มต้นการเดินระบบโดยใช้จุลินทรีย์จากน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งหรือบ่อเติมอากาศ (Activated sludge) (เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร, 2551) จุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นหัวเชื้อเบื้องต้น โดยเริ่มจากการขยายเชื้อเพื่อเพิ่มปริมาณ หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้มีปริมาตร 800 ลิตร พร้อมกับเติมกากน้ำตาลผสมน้ำในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 200 ลิตร ลงในบ่อสเปรย์จุลินทรีย์ จากนั้นจะมีการเติมอากาศโดยใช้ปั๊มเติมอากาศ และใช้เวลาประมาณ 30 วันเพื่อให้เชื้อจุลินทรีย์เติบโตเต็มที่ หลังจากนั้นสามารถเริ่มต้นเดินระบบได้ โดยปั๊มที่ใช้ในการสเปรย์จุลินทรีย์มีอัตราการไหลอยู่ที่ 25 ลิตรต่อนาที เมื่อเดินระบบแล้ว ทุก ๆ 4 เดือน จะต้องมีการเติมน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศลงบ่อสเปรย์จุลินทรีย์เพื่อให้ได้ปริมาตรรวม 800 ลิตร (ศิริภรณ์ ชื่นบาล, 2560)
3. ปริมาณการใช้น้ำเสีย มีการใช้น้ำเสียปริมาณ 1,000 ลิตร สำหรับบ่อจุลินทรีย์ โดยการสเปรย์น้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์มีอัตราการสเปรย์ที่ 330 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งใช้หัวสเปรย์ จำนวน 3 หัว แต่ละหัวมีอัตราการไหล 110 ลิตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการสูญเสียน้ำจากการฉีดพ่นหรือการตกค้างในระบบท่อประมาณ 100 ลิตร
4. น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงจุลินทรีย์เริ่มต้น ในการเริ่มต้นระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียด้วยกระบวนการชีวภาพ การเตรียมน้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงจุลินทรีย์มีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ใช้ในโครอสโฟรีเดียแสดงค่าในรูปของ BOD (Biochemical oxygen demand) ประมาณ 300 ppm, COD (Chemical oxygen demand) ประมาณ 700 ppm และ TKN (Total kjeldahl nitrogen) ประมาณ 150 ppm
5. รอบการเลี้ยงไก่ ฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่มีรอบการเลี้ยงประมาณ 80 สัปดาห์ โดยจะมีการเพาะเลี้ยงไก่ไข่ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 18 เป็นต้นไป จำนวนไก่ไข่ที่เลี้ยงอยู่ที่ 7,000 ตัว การให้อาหารจะทำวันละ 2 รอบ ได้แก่ รอบเช้าเวลา 05.00 น. และรอบบ่ายเวลา 13.00 การให้น้ำจะมีการติดตั้งท่อให้น้ำที่ไก่สามารถกินได้ตลอดทั้งวัน และในส่วนของการทำงานสะอาด จะมีการล้างมูลไก่ทุกวันในช่วงเช้าระหว่างเวลา 08.00-09.00 น. (โดยมีการใช้น้ำปริมาณ 2,000 ลิตรต่อวัน โดยน้ำที่ล้างจะไหลลงระบบผลิตก๊าซชีวภาพ)

6. คุณลักษณะเฉพาะของตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัย ตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (Cross flow media) ประกอบจากพลาสติกประเภท RPVC (Rigid polyvinyl chloride) มีลักษณะเป็นลอนไขว้สลับกันไปมา เพื่อช่วยในการยึดเกาะของสารอินทรีย์และแบคทีเรียออกแบบให้มีรอยหยักเพิ่มขึ้น เพื่อให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้นเป็นพิเศษ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดเกาะของสารอินทรีย์และแบคทีเรีย ต่าง ๆ ได้ดีขึ้น ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และมีความแข็งแรง ทนทาน โดยทุกจุดสัมผัสของชั้น Media จะถูกเชื่อมด้วยกาว PVC BOND ชนิดพิเศษ ทำให้ทนแรงดันน้ำ แรงกระแทกและคลื่นตัวได้ดี สามารถติดตั้งได้ง่ายและประยุกต์ใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อมได้ดี

7. แนวทางการออกแบบและพัฒนาระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ การออกแบบระบบบำบัดกลั่นให้เหมาะสมกับกลิ่นเหม็นที่เกิดจากการเลี้ยงไก่ไข่ ควรพิจารณาองค์ประกอบ ดังนี้

7.1 ศึกษาสำรวจพื้นที่ติดตั้ง โดยการประเมินพื้นที่เพื่อให้แน่ใจว่าระบบที่ติดตั้งสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับข้อจำกัดของสถานที่

7.2 วิเคราะห์ขนาดโรงเรือนและพื้นที่หลังโรงเรือน การกำหนดขนาดและตำแหน่งของระบบบำบัดให้สอดคล้องกับขนาดของโรงเรือนและลักษณะของพื้นที่โดยรอบ

7.3 ออกแบบส่วนประกอบของอุปกรณ์ในระบบ การกำหนดชนิดและการจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น บ่อสเปรย์จุลินทรีย์ ตัวกลาง ปัม และระบบการไหลของอากาศ เป็นต้น

7.4 ประเมินปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าความเร็วลม ค่าความชื้นสัมพัทธ์ และค่าอุณหภูมิในโรงเรือน โดยการวัดค่าทั้งก่อนและหลังติดตั้งระบบ ช่วยให้สามารถปรับปรุงระบบเพื่อให้บรรลุผลลัพธ์ที่ต้องการและลดผลกระทบต่อสัตว์เลี้ยงในโรงเรือน

7.5 การออกแบบที่ดีและการใช้น้ำเสียจากระบบก๊าซผลิตชีวภาพให้เป็นประโยชน์สามารถช่วยลดต้นทุนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พร้อมเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลั่นแบบชีวภาพในระยะยาว

8. ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบระบบบำบัดกลั่นที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มไก่

8.1 ลักษณะของปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์ในฟาร์มไก่เกิดจากมูล ปัสสาวะ หรือของเสียที่สะสมและหมักหมม โดยเฉพาะในโรงเรือนที่มีการระบายอากาศไม่เพียงพอ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและคุณภาพชีวิตของชุมชนโดยรอบ

8.2 องค์ประกอบภายในโรงเรือน การออกแบบระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ควรคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศภายในโรงเรือน อุณหภูมิภายในโรงเรือน และ ความชื้นสัมพัทธ์ การประเมินปัจจัยเหล่านี้ช่วยให้เลือกและออกแบบระบบบำบัดที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเฉพาะของฟาร์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8.3 ลักษณะของระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ระบบบำบัดกลั่นควรลดปัญหากลิ่นโดยไม่กระทบต่อปัจจัยสำคัญภายในโรงเรือน เช่น ความเร็วลม อุณหภูมิ และระดับความชื้น อีกทั้งยังต้องปลอดภัยต่อสุขภาพของสัตว์และสภาพแวดล้อมในโรงเรือน

9. ระยะเวลาในการศึกษา ตั้งแต่วันที่ 10 มีนาคม 2567 – วันที่ 10 มีนาคม 2568

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาคุณภาพน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากการฉีดพ่นให้มีความชื้น แก้วสตูว์กลางยัดเกาะของจุลินทรีย์ (บ่อจุลินทรีย์) นำไปวิเคราะห์ ได้แก่ pH, TSS, COD, BOD, TKN, และ NO_3^- โดยวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ (APHA, AWWA & WEF, 2007) และทำการตรวจวัดทุก ๆ 5 วัน เป็นเวลา 150 วัน เพื่อให้ทราบถึงความเข้มข้นของความสกปรกที่อยู่ในน้ำ ใช้เป็นแนวทางในการป้องกันหรือบำบัด น้ำเสียดังกล่าวไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. ศึกษาตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ โดยทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิและความชื้น และเป็น Location specific ต้องใช้เครื่องตรวจวัดแบบพกพา ได้แก่ การวัดความเร็วลม (Tasto 410i; Germany) อุณหภูมิ (Testo 925; Germany) และความชื้น (4IN1 Multi-function environment meter; Standard ST-8820 Environment meter USA) ภายในโรงเรือนก่อนและหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ โดยนำค่าที่ได้ไปเทียบกับมาตรฐานฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ของกรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (ณัฐมานี พรหมใบเงิน, 2566)

3. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ โดยทำการวัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนีย ก่อนเข้าระบบและหลังออกจากระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia gas detector; AR8500 China) และทำการตรวจวัดทุก ๆ 5 วัน เป็นเวลา 150 วัน แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพการลดแอมโมเนียของระบบบำบัด จากสมการที่ (1) (David & Dawson, 2021)

$$\text{ประสิทธิภาพการลดกลิ่นในรูปแอมโมเนีย (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณก๊าซแอมโมเนียก่อนเข้าระบบ} - \text{ปริมาณก๊าซแอมโมเนียออกจากระบบ}}{\text{ปริมาณก๊าซแอมโมเนียก่อนเข้าระบบ}} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

ปริมาณก๊าซแอมโมเนียก่อนเข้าระบบ = หน่วย (ppm)

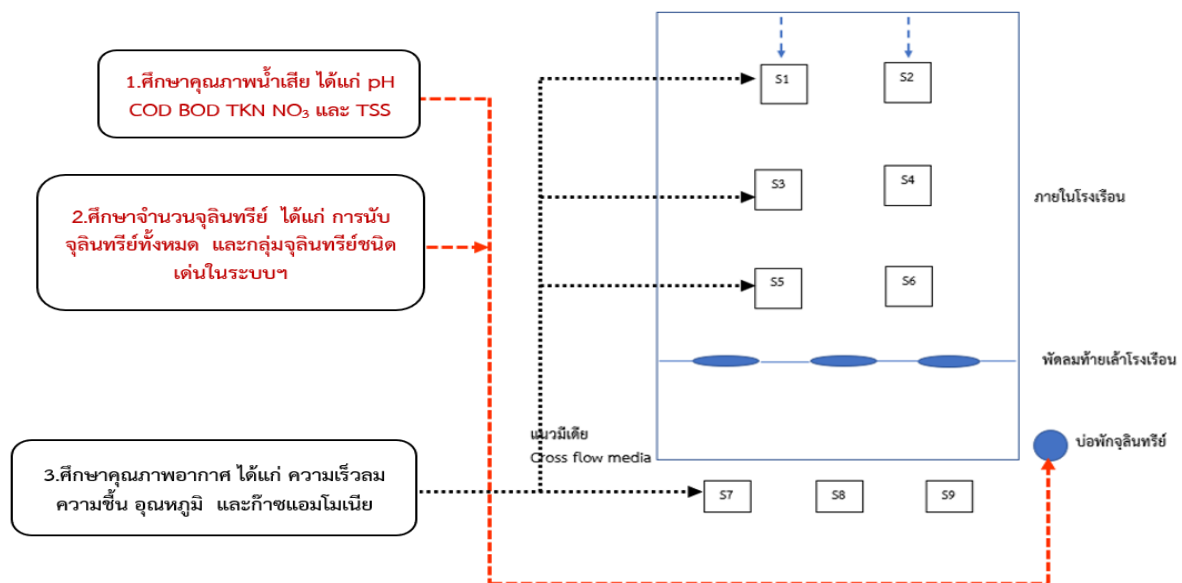
ปริมาณก๊าซแอมโมเนียออกจากระบบ = หน่วย (ppm)

4. ศึกษาการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ (ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ, 2558)

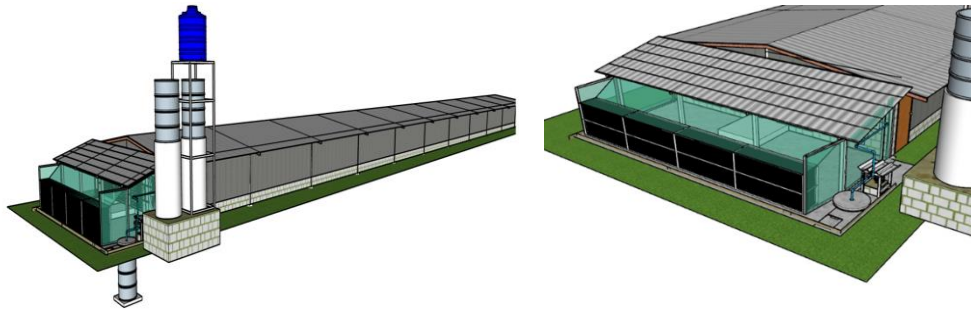
โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์ ได้แก่ วิธีตรวจนับจุลินทรีย์มาตรฐาน (Standard plate count method) โดยวิเคราะห์ตัวอย่าง 3 ซ้ำ และทำการตรวจวัดทุก ๆ 5 วัน เป็นเวลา 150 วัน ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายถึงสภาวะการทำงานของระบบบำบัด รวมทั้งศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ชนิดเด่นในระบบบำบัด (FISH)

5. หลักการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ โดยระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนีย โดยระบบบำบัดกลิ่นที่ทำการศึกษามีหลักการทำงานโดยจะมีระบบสเปรย์ละอองน้ำ (บ่อจุลินทรีย์) ควบคุมรอบการทำงานผ่านระบบควบคุมไฟฟ้าเพื่อสั่งการทำงานให้พ่นละอองน้ำตามรอบเวลา เพื่อให้ความชื้นกับมีเดียสร้างสภาพที่เหมาะสมไม่ชื้นแฉะหรือแห้งจนเกินไปเอื้อต่อการเจริญเติบโตและเหมาะสม

แก่การทำงานของจุลินทรีย์ กลิ่นที่ถูกระบายออกจากภายในโรงเรือนจะจุลินทรีย์ที่มาพร้อมละอองน้ำจับส่วนมีเดียทำหน้าที่เป็นพื้นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์เลือกใช้ตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (Cross flow media) เพื่อเพิ่มพื้นที่ต่อปริมาตรส่งผลให้ช่วยเพิ่มระยะเวลาและปริมาณจุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์ทำปฏิกิริยาในการย่อยสลายกลิ่นในรูปแบบก๊าซแอมโมเนีย นอกจากนี้จุลินทรีย์บางส่วนที่หลุดออกจากตัวกลางจะไหลเวียนในระบบทำให้เกิดการย่อยสลายและบำบัดกลิ่นที่เคลื่อนย้ายจากสถานะของของเหลวทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซแอมโมเนียมีค่าลดลงส่งผลให้กลิ่นบรรเทาลงหรือหายไปในที่สุด



ภาพที่ 1 แผนภาพอธิบายสัญลักษณ์การตรวจวัดคุณภาพน้ำ จุลินทรีย์ และคุณภาพอากาศ
 S1-S6 คือ จุดตรวจวัดภายในโรงเรือน
 S7-S9 คือ จุดตรวจวัดท้ายโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นห่างจากระบบ 1 เมตร



ภาพที่ 2 แสดงระบบบำบัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพเมื่อดำเนินการติดตั้งเข้ากับโรงเรือนเลี้ยงไก่

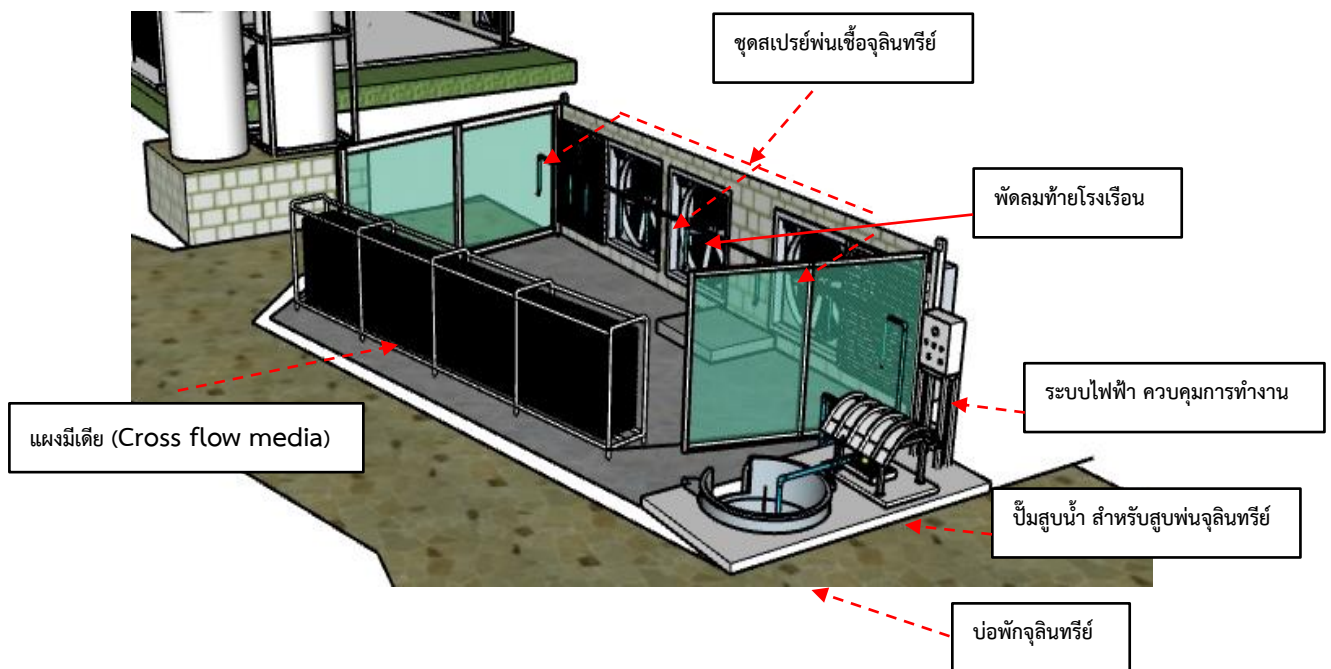
ก) โรงเรือน กว้าง 8.20 เมตร ยาว 67.30 เมตร

ข) มีความยาวของ Cross flow media 8.65 เมตร สูง 1.80 เมตร (13.33 ตารางเมตร) ติดตั้งห่างจากพัดลมท้ายโรงเรือน 4 เมตร ด้านข้างล้อมรอบด้วยสแลม สูง 2.00 เมตร

ค) บ่อสเปรย์จุลินทรีย์ มีขนาด 1,000 ลิตร และบ่อตกตะกอน มีขนาด 80 ลิตร

ง) ระบบปั๊มน้ำ ระบบกรอง และระบบไฟฟ้า

จ) ตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (ประเภท RPVC) เชื่อมกาวด้วย PVC BOND ชนิดพิเศษ มีขนาด 500 mm. x 1,000 mm. x 530 mm. มีพื้นที่ผิว 120 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร จำนวน media ที่ใช้ 2.5 ลูกบาศก์เมตร (4 ก้อน/ลบ.ม. ใช้ 10 ก้อน) และมีพื้นที่ผิวที่ใช้ = $120 \times 2.5 = 300$ ตร.ม.

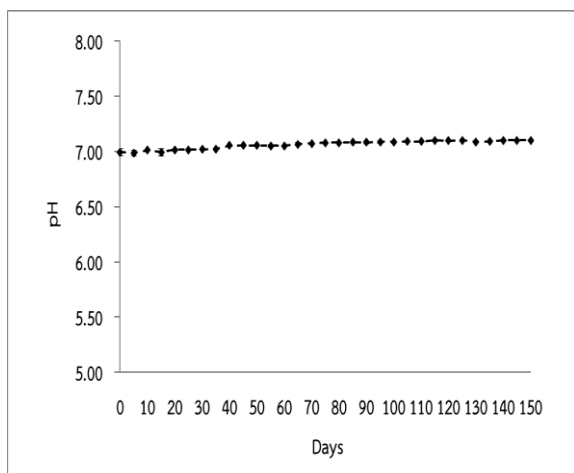


ภาพที่ 3 แผนภาพอธิบายส่วนประกอบของระบบบำบัดกลิ่นในรูปแบบของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

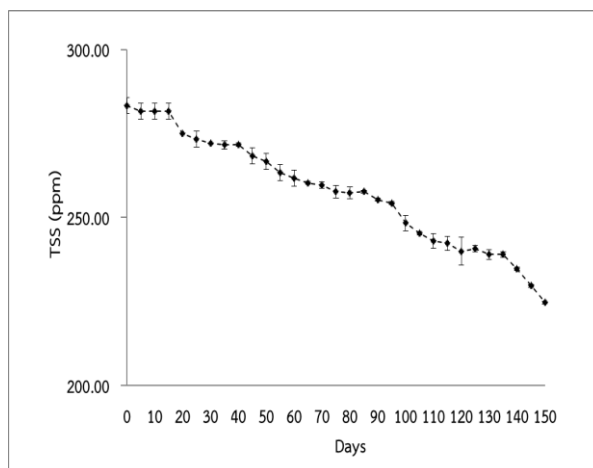
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาคุณภาพน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์

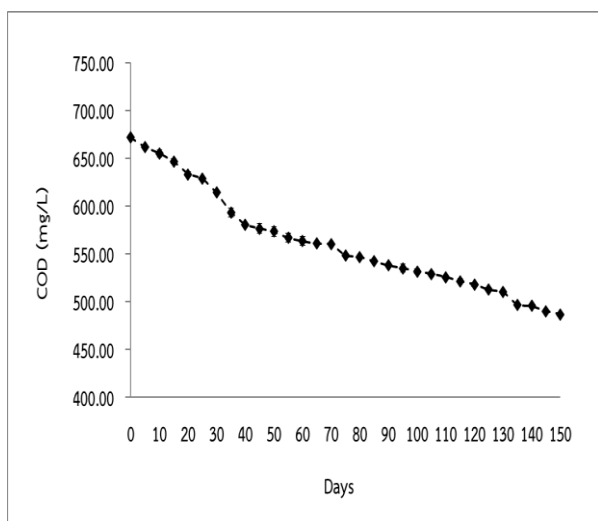
จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบ่อที่ใช้สเปรย์ตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (Cross flow media) (ภาพที่ 4-9) ผลการศึกษา พบว่า น้ำเสียในรูปค่า TSS, BOD, COD, TKN และ NO_3^- มีค่าอยู่ในช่วง 224.67 ± 0.47 - 283.33 ± 2.36 , 169.67 ± 0.47 - 251.67 ± 2.36 , 487.00 ± 1.41 - 671.67 ± 2.36 , 107.67 ± 0.47 - 151.00 ± 0.82 และ 4.45 ± 0.01 - 5.01 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6.99 ± 0.03 - 7.10 ± 0.00 และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 224.67 ± 0.47 , 169.67 ± 0.47 , 487.00 ± 1.41 , 107.67 ± 0.47 และ 4.45 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 150



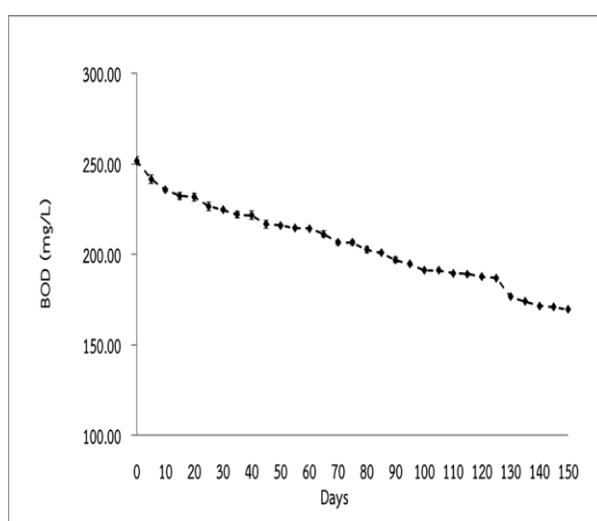
ภาพที่ 4 ค่าความเป็นกรดต่าง
ของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์



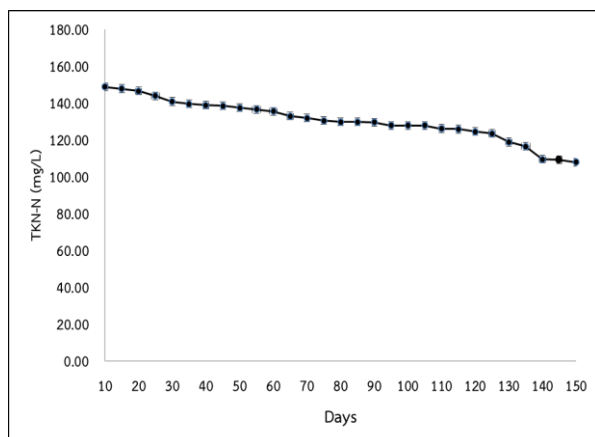
ภาพที่ 5 ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด
ของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์



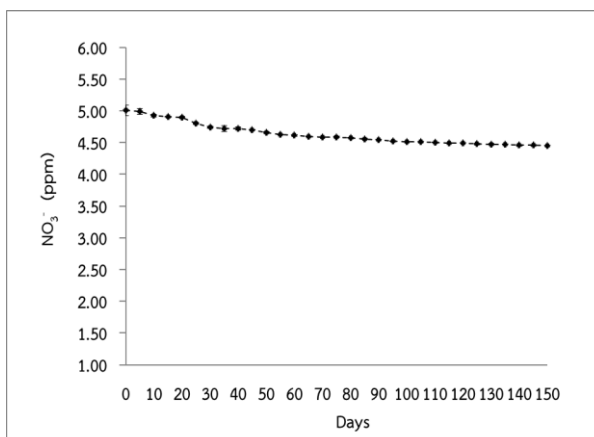
ภาพที่ 6 ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปซีโอดี
ของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์



ภาพที่ 7 ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปบีโอดี
ของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์



ภาพที่ 8 ปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปที่เคเอ็นของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์



ภาพที่ 9 ปริมาณไนเตรตของบ่อจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์

2. ผลการศึกษาตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพ

จากการศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนภายหลังการติดตั้งระบบบำบัดก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ณ จุดตรวจวัด S1-S6 พบว่า ความเร็วลมเฉลี่ย อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 2.48 ± 0.04 เมตรต่อวินาที, 28.40 ± 0.17 องศาเซลเซียส และร้อยละ 68.45 ± 0.24 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงมาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับฟาร์มไก่ไข่ โดยค่าความเร็วลมมาตรฐานอยู่ในช่วง 2.23–2.63 เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 27–30 องศาเซลเซียส (มนัสนันท์ และคณะ, 2556) ขณะที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 50–70 (มานิตย์, 2536) ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพไม่ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนและยังคงเหมาะสมต่อการเลี้ยงไก่ไข่ (ณัฐธามณี พรหมใบเงิน, 2566)

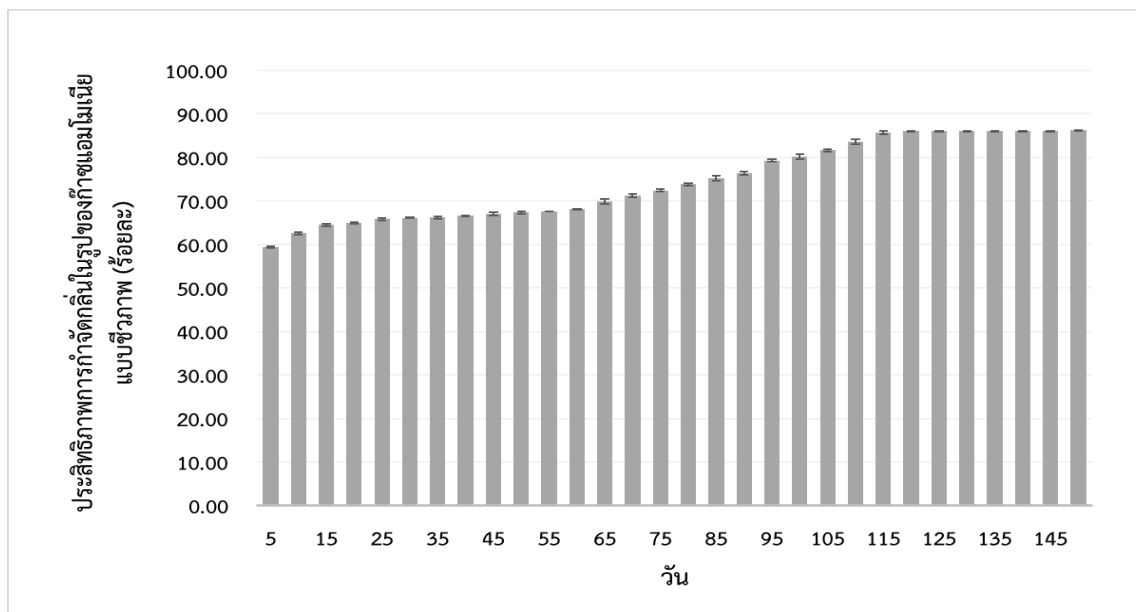
3. ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

จากตารางที่ 1 (ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด S1-S6) การศึกษาประสิทธิภาพการลดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงไก่ พบว่า ปริมาณก๊าซแอมโมเนียจากส่วนหัวโรงเรือนถึงท้ายโรงเรือนค่าก๊าซแอมโมเนียจะค่อย ๆ สูงขึ้น เนื่องจากการสะสมของมูลไก่ที่มีการล้างจากหัวโรงเรือนน้ำล้างจะค่อย ๆ ไหลมาส่วนท้ายโรงเรือนและออกไปบ่อบำบัด จึงทำให้มีค่าเพิ่มขึ้น ยังพบว่า ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีประสิทธิภาพในการลดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนีย อยู่ในช่วงร้อยละ 59.31 ± 0.18 – 86.16 ± 0.02 จากภาพที่ 10 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียของระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป มากที่สุดถึงร้อยละ 86.16 ± 0.02

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

วัน	ค่าเฉลี่ย		
	*ก๊าซแอมโมเนียท้ายเล้า (มิลลิกรัมต่อลิตร)	**ก๊าซแอมโมเนียหลังระบบบำบัด กลิ่นแอมโมเนีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการลด ก๊าซแอมโมเนีย (ร้อยละ)
0	-	-	-
5	20.23±0.23	8.23±0.06	59.31±0.18
10	20.10±0.00	7.53±0.06	62.52±0.29
15	20.10±0.00	7.13±0.06	64.51±0.29
20	20.13±0.06	7.07±0.06	64.90±0.25
25	20.10±0.00	6.87±0.06	65.84±0.29
30	20.03±0.06	6.80±0.00	66.06±0.10
35	20.20±0.00	6.83±0.06	66.17±0.29
40	20.03±0.06	6.70±0.00	66.56±0.10
45	20.10±0.00	6.63±0.06	67.00±0.29
50	20.10±0.00	6.57±0.06	67.33±0.29
55	20.10±0.00	6.50±0.00	67.66±0.00
60	20.03±0.06	6.40±0.00	68.05±0.09
65	20.00±0.00	6.03±0.12	69.83±0.58
70	20.03±0.06	5.77±0.06	71.21±0.37
75	20.07±0.06	5.53±0.06	72.43±0.26
80	20.00±0.00	5.23±0.06	73.83±0.29
85	20.03±0.06	4.97±0.12	75.21±0.62
90	20.02±0.03	4.73±0.06	76.35±0.31
95	20.05±0.05	4.17±0.06	79.22±0.29
100	20.00±0.00	3.97±0.12	80.17±0.58
105	20.00±0.00	3.67±0.06	81.67±0.29
110	20.03±0.06	3.30±0.10	83.53±0.54
115	20.03±0.06	2.87±0.06	85.69±0.33
120	20.02±0.03	2.80±0.00	86.01±0.02
125	20.02±0.03	2.80±0.01	86.03±0.03
130	20.00±0.05	2.79±0.01	86.03±0.02
135	20.02±0.00	2.78±0.00	86.11±0.02
140	20.00±0.00	2.78±0.01	86.12±0.03
145	20.00±0.00	2.78±0.01	86.12±0.03
150	20.02±0.03	2.77±0.00	86.16±0.02

- หมายเหตุ 1. การล้างมูลไก่ภายในโรงเรือนจะทำการล้างทุกวันช่วงเช้าเวลา 08.00-09.00 น. และทำการวัดตัวอย่าง เวลา 18.00 น.
 2. *ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด S1-S6 ในแต่ละวันภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลิ่น
 3. **ค่าเฉลี่ยจุดตรวจวัด S7-S9 ในแต่ละวันหลังผ่านระบบบำบัดกลิ่น



ภาพที่ 10 ประสิทธิภาพการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

4. ศึกษาการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

การศึกษาถึงจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ หลังการติดตั้งระบบ ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์อยู่ในช่วง $0.95 \times 10^7 - 3.68 \times 10^7$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และในวันที่ 150 มีมวลจุลินทรีย์รวมในระบบอยู่ที่ 3,680 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำไปคิดอัตราส่วนที่ถูกบำบัดต่อจำนวนจุลินทรีย์ในวันที่ 150 อยู่ที่ 0.000605 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อโคโลนี ถือว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Deviny et al., (1999) กล่าวว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่อยู่ในระบบควรอยู่ในช่วง $10^7 - 10^9$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายถึงสภาวะการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

ผลการศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ชนิดเด่นในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ พบว่าโคโลนีที่พบมีรูปร่างเล็กบาง สีขาวใส ขอบเรียบลักษณะโคโลนีดังกล่าวสามารถสันนิษฐานได้ว่าเป็นจุลินทรีย์ชนิดเด่นกลุ่ม *Nitrosomonas* spp. ที่พบในบ่อบำบัดน้ำเสียชั้นหลัง บริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด (ชนเดช อีรสุทรกุล และ ครรชิต เงินคำคง, 2562) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่วนใหญ่พบจุลินทรีย์ *Nitrosomonas* spp. ในดิน น้ำเสีย และแหล่งน้ำทั่วไป (Henze et al., 2002) และยังพบจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ในระบบบำบัด โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีหน้าที่สำคัญในการเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) ให้เป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญในวงจรไนโตรเจน (Madigan et al., 2019; Prosser, 1986) จากภาพที่ 9 พบว่า ค่าไนเตรตในระบบบำบัดอยู่ที่ 5.01 ± 0.08 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ได้ทำการย่อยสลายไนไตรท์ให้เป็นไนเตรต ทำให้ค่าไนเตรตลดลงเหลือ 4.45 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 150 ซึ่งบ่งชี้ถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ จุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. มักพบในแหล่งธรรมชาติที่มีไนไตรท์เป็น

ส่วนประกอบ เช่น ดินที่มีความชื้นสูง ระบบบำบัดน้ำเสีย และแหล่งน้ำต่าง ๆ โดยเฉพาะในระบบบำบัดที่เน้นการควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อการกำจัดแอมโมเนียและไนไตรท์ (Henze et al., 2002 และ Ward et al., 2011) ดังนั้นกระบวนการไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ปริมาณแอมโมเนียที่ถูกบำบัดในระบบทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrosomonas* spp. และต่อมาถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. โดยตะกอนของไนเตรต (บ่อตกตะกอน) จะถูกนำไปเป็นวัสดุปรับปรุงดิน เพื่อใส่ต้นไม้ภายในฟาร์ม เพื่อลดปัญหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

การอภิปรายผล

1. การศึกษาคุณภาพน้ำเสียในบ่อจุลินทรีย์

จากการศึกษาคุณภาพน้ำเสียจากบ่อที่ใช้สเปรย์ พบว่า น้ำเสียในรูปค่า TSS, BOD, COD, TKN และ NO_3^- มีค่าต่ำสุดในวันที่ 150 เท่ากับ 224.67 ± 0.47 , 169.67 ± 0.47 , 487.00 ± 1.41 , 107.67 ± 0.47 และ 4.45 ± 0.01 ppm ตามลำดับ และมีความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.99 ± 0.03 – 7.10 ± 0.00 ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมให้จุลินทรีย์ทำงานได้ดี สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Lang (2011) พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการทำงานจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 7.50–8.00 และยังพบว่าค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้ง ส่วนปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD, TKN และ NO_3^- มีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ และ ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา, 2554) ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าว ปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ BOD, COD และ TKN ที่อยู่ในน้ำเสียเหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่ใช้สเปรย์ ตัวกลางชีวภาพแบบขวาง (Cross flow media) น้ำเสียที่ใช้ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ในระบบตลอดเวลา

2. การศึกษาตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในโรงเรือนหลังการติดตั้งระบบบำบัดกลั่นแบบชีวภาพ

การออกแบบระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ต้องคำนึงถึงปัจจัยองค์ประกอบต่าง ๆ ก่อนการติดตั้งระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ โดยจากการศึกษาความเร็วลมภายในโรงเรือนและท้ายโรงเรือน ก่อนการติดตั้งระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ พบว่าภายในโรงเรือนค่าความเร็วลมมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก ส่วนหลังโรงเรือน มีค่าความเร็วลมค่อนข้างมาก เกิดจากจุดตรวจวัดอยู่ใกล้พัดลม ส่วนอุณหภูมิภายในโรงเรือนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออยู่ห่างจาก Evaporator รวมไปถึงค่าความเร็วลมภายในโรงเรือนมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก และจากข้อมูลผลการตรวจวัดการทำงานของระบบโรงเรือนแบบ Evaporation ซึ่งประกอบไปด้วยการค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ซึ่งใช้เป็นปัจจัยควบคุมบรรยากาศโรงเรือนแบบปิด จะเห็นได้ว่าหลังจากออกแบบระบบบำบัดกลั่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ พบว่า ค่าปัจจัยต่าง ๆ ยังคงมีค่าใกล้เคียงกับก่อนการติดตั้งระบบบำบัด ดังนั้นแล้วการออกแบบระบบบำบัดดังกล่าว ยังช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมให้กับฟาร์มได้อีกด้วย

3. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการลดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงไก่ไข่ พบว่า ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียมากที่สุดถึงร้อยละ 86.16 ± 0.02 สอดคล้องกับผลการศึกษาของประพันธ์ พงษ์เกียรติกุล และ สาณท ทองสุจริตพันธ์ (2558) พบว่า การกำจัดก๊าซแอมโมเนียในอากาศแบบต่อเนื่องในภาวะคงที่ (Steady state) ด้วยกระบวนการกรองทางชีวภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดถึงร้อยละ 90.40 ส่วนงานวิจัยของ McGahan (2002) พบว่า การใช้ windbreak วางไว้หลังพัตลมระบบอากาศ ช่วยเพิ่มการกระจายตัวของกลิ่น ทำให้ความเข้มข้นของกลิ่นไม่พึงประสงค์ลดลง โดยผนังกันลมที่สร้างขึ้นจากผ้าใบกันลื่นสามารถลดความเข้มข้นของกลิ่นที่ผู้ที่มีความรู้สึกได้ระหว่างร้อยละ 30-90 และงานวิจัยของ Conti et al., (2021) ได้ศึกษาถึงการลดก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ในฟาร์มสุกร โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการบำบัดอากาศ โดยใช้เครื่องฟอกกรดแบบเปียก พบว่า เครื่องฟอกกรดแบบเปียกมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซแอมโมเนียในโรงเรือนสุกรที่มีการระบายอากาศตามธรรมชาติถึงร้อยละ 80 ส่วนรายงานวิจัยของ เสาวลักษณ์ ภูณภาพพร (2551) พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพในการบำบัดถึงร้อยละ 99, ร้อยละ 100 (Hong & Park, 2005), ร้อยละ 99 (Chen et al., 2005) และร้อยละ 99 (Taghipour et al., 2008) เห็นได้ว่าการใช้ระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพในการลดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียมีประสิทธิภาพ โดยมีการใช้ตัวกลางยึดเกาะของจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและมีประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียในขบวนการไนตริฟิเคชัน โดยการออกซิเดชันแอมโมเนีย (NH_3) ให้เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) และเกิดการออกซิเดชันไนไตรท์ (NO_2^-) ให้เป็นไนเตรต (NO_3^-) ถือว่าระบบบำบัดกลิ่นแบบชีวภาพมีประสิทธิภาพ

4. การศึกษาการเจริญเติบโตของจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ

การศึกษาถึงจำนวนจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ หลังการติดตั้งระบบ พบว่า จุลินทรีย์อยู่ในช่วง $0.95 \times 10^7 - 3.68 \times 10^7$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร และในวันที่ 150 มีมวลจุลินทรีย์รวมในระบบอยู่ที่ 3,680 ppm เมื่อนำไปคิดอัตราส่วนที่ถูกบำบัดต่อจำนวนจุลินทรีย์ในวันที่ 150 อยู่ที่ 0.000605 มิลลิกรัมแอมโมเนียต่อโคโลนี ถือว่ามีปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Deviny et al., (1999) กล่าวว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมที่อยู่ในระบบควรอยู่ในช่วง $10^7 - 10^9$ โคโลนีต่อมิลลิลิตร ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายถึงสภาวะการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ และยังพบความสัมพันธ์ระหว่างการลดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียกับจุลินทรีย์ พบว่า ในช่วงแรก ๆ จุลินทรีย์จะเข้าสู่ช่วงปรับตัว (Log phase) หลังจากนั้นจุลินทรีย์ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นและเข้าสู่ช่วงเจริญเติบโต (Exponential phase) ทำให้ประสิทธิภาพในการลดแอมโมเนียดีขึ้นตลอดระยะเวลาในการเดินระบบ เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ซึ่งแสดงถึงการคงที่ของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในระบบ ผลจากการเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียที่ป้อนเข้าสู่ระบบบำบัดกลิ่นในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ทำให้ประสิทธิภาพในการลดความเข้มข้นของ

กลืนในรูปของก๊าซแอมโมเนียมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป (Smith et al., 2020; Zhang et al., 2021) ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสอดคล้องกับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดชีวภาพที่เน้นการใช้งาน จุลินทรีย์เป็นปัจจัยหลักในการย่อยสลายสารปนเปื้อน (David & Dawson, 2021)

ส่วนการศึกษากลุ่มจุลินทรีย์ชนิดเด่นในระบบบำบัดกลืนในรูปของก๊าซแอมโมเนียแบบชีวภาพ ผลการศึกษา พบว่า จุลินทรีย์ที่พบส่วนใหญ่มีลักษณะโคโลนีขนาดเล็กบาง สีขาวใส และชอบเรียบ ซึ่งสามารถระบุได้ว่าเป็นจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrosomonas* spp. ซึ่งพบในระบบบำบัดน้ำเสียชั้นหลังของบริษัท ฟาร์มครูแดง จำกัด จุลินทรีย์กลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนีย (NH_3^+) เป็นไนไตรท์ (NO_2^-) นอกจากนี้ ยังพบจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ในระบบบำบัดซึ่งมีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนไนไตรท์ (NO_2^-) ให้เป็นไนเตรต (NO_3^-) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญในวงจรไนโตรเจน กระบวนการนี้ช่วยให้ปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ระบบถูกเปลี่ยนเป็นไนไตรท์โดย *Nitrosomonas* spp. และต่อมาถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรตโดย *Nitrobacter* spp. ไนเตรตที่เกิดขึ้นจะถูกกำจัดออกจากระบบผ่านกระบวนการตกตะกอน และตะกอนดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูกภายในฟาร์ม เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษาดังกล่าวบ่งชี้ว่า Mass Balance ของระบบบำบัดกลืนชีวภาพอยู่ในเกณฑ์ที่บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนรูปสารในระบบบำบัดที่สมบูรณ์และมีประสิทธิภาพ ส่วนปริมาณน้ำเสียจากบ่อบำบัดชั้นหลังที่นำมาใช้ในบ่อจุลินทรีย์ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากการหมุนเวียนกลับมาใช้ภายในระบบอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดและถูกใช้ในระบบสเปรย์จะไหลกลับสู่บ่อจุลินทรีย์ ทำให้สามารถควบคุมการแพร่กระจายของจุลินทรีย์ก่อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับตัวกลางชีวภาพแบบขวางในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียในฟาร์มเลี้ยงไก่แบบกึ่งปิด พบว่า การศึกษาการใช้กระบวนการทางชีวภาพในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียจากฟาร์มเลี้ยงไก่ พบว่า ระบบบำบัดกลืนแบบชีวภาพร่วมกับตัวกลางชีวภาพแบบขวาง สามารถลดก๊าซแอมโมเนียได้ร้อยละ $59.31 \pm 0.18 - 86.16 \pm 0.02$ โดยอาศัยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrosomonas* spp. และ *Nitrobacter* spp. ในกระบวนการไนตริฟิเคชัน ส่งผลให้สารอินทรีย์และสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง และสามารถนำน้ำกลับมาใช้หมุนเวียนในระบบได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ ระบบไม่รบกวนการระบายอากาศภายในโรงเรือนและยังช่วยลดผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ สะท้อนถึงศักยภาพของระบบบำบัดกลืนชีวภาพในการส่งเสริมการผลิตปศุสัตว์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ได้แก่ เป้าหมายที่ 6 การจัดการน้ำอย่างยั่งยืน เป้าหมายที่ 12 การผลิตและการบริโภคที่รับผิดชอบ และเป้าหมายที่ 13 การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

จากผลการวิจัยมีข้อเสนอแนะที่สำคัญดังนี้

1. ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในระดับฟาร์มขนาดใหญ่และภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินเสถียรภาพและความเหมาะสมในการใช้งานจริงในระยะยาว
2. ควรศึกษาชนิดและคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง (Media) ที่เหมาะสมต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ รวมถึงการควบคุมปัจจัยสำคัญ เช่น ความชื้น อัตราการไหลของอากาศ และคุณภาพน้ำหมุนเวียน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการไนตริฟิเคชันและยืดอายุการใช้งานของระบบ
3. ควรมีการติดตามปริมาณจุลินทรีย์และคุณภาพน้ำในระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อป้องกันการสะสมของสารอินทรีย์และรักษาเสถียรภาพของระบบบำบัด ตลอดจนศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการใช้พลังงาน เพื่อสนับสนุนการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน รวมถึงสามารถต่อยอดสู่ฟาร์มปศุสัตว์ประเภทอื่นที่ประสบปัญหากลิ่นจากก๊าซแอมโมเนียได้ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2567 คณะวิจัยขอขอบพระคุณที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินงานในครั้งนี้ และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีสะอาดและเทคโนโลยีอัจฉริยะเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green and smart technology for environmental; GASTE) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

เอกสารอ้างอิง

- กองแผนงาน กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2566). *ร่างยุทธศาสตร์ไก่ไข่ พ.ศ. 2562-2566*.
<https://planning.dld.go.th/index.php/th/yuththsastr-ray-chnid-satw/yuththsastr-ki-phun-meuxng-3>
- ณัฐมานี พรหมใบเงิน. (2566). *การจัดการกลิ่นเหม็นในฟาร์มปศุสัตว์*. กลุ่มมาตรฐานสิ่งแวดล้อมด้านการปศุสัตว์ สำนักพัฒนาระบบและรับรองมาตรฐานสินค้าปศุสัตว์ กรมปศุสัตว์.
<https://certify.dld.go.th/images/training%20documents/2566/data-b/651206b1.pdf>
- ธนเดช ชีระสุนทรกุล และครรชิต เงินคำคง. (2562). *การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์ระบบก๊าซชีวภาพ โดยการปรับปรุงคุณภาพก๊าซด้วยวิธีทางชีวภาพและปรับปรุงระบบบำบัดขั้นหลังเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม*. โปรแกรมสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช).
- ประพันธ์ พงษ์เกียรติกุล และ สาณท ทองสุจริตพันธ์. (2558). *การกำจัดกลิ่นแอมโมเนียในอากาศด้วยกระบวนการกรองชีวภาพ*. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 1(1), 9-14.
<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/featkku/article/view/175987>

- พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ และ ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา. (2554). จุลินทรีย์ทางการค้าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานปลาป่น. *วิศวกรรมสาร มก*, 24 (77), 24-33.
<https://kukr.lib.ku.ac.th/BKN/Detail/info/203049>
- มนัสนันท์ นพรัตน์ไผ่ตรี, อดิณญา ปานทอง และ วรางคณา กิจพิพิธ. (2556). ผลของการจัดการสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนแบบปิดต่อสมรรถนะการผลิตของไก่ไข่รุ่น. *การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล*.
- มานิตย์ เทวรักษ์พิทักษ์. (2536). *การจัดการฟาร์มสัตว์ปีก*. พิมพ์ครั้งที่ 4. ดาวคอมพิวกราฟฟิค เชียงใหม่.
- ลดาวลัย วัฒนะจิระ. (2558). *คู่มือปฏิบัติการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาสำหรับสิ่งแวดล้อม : น้ำและของเสีย*. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่.
- ศิราภรณ์ ชื่นบาล. (2560). จุลินทรีย์ช่วยย่อยลดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มสัตว์ (สวทช. ภาคเหนือ). คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร. (2551). *ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ*. (วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- Alltech. (2566). *วิธีควบคุมระดับแอมโมเนียในเล้าสัตว์ปีก*.
<https://www.alltech.com/th/featureslog/withiikhwbkhumradabaexmomeniyyinelasatwpiik>
- American Public Health Association (APHA), The American Water works Association (AWWA), The Water Environment Federation (WEF). (2007). *Standard Methods for extermination of water and wastewater*. (21st ed.). USA: Washington, DC.
- Chen, Y. X., Yin, J., & Wang, K. W. (2005). Logn-term operation of biofilters for biological removal of ammonia. *Journal of chemosphere*, 58(8), 1023-1030.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.052>
- Cont,i A., Costantine, M., Fusi, A., Manzando, A., Guarino, M., & Bacenetti, J. (2021). Environmental Impact of pig production affected by wet acid scrubber as mitigation technology. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 580-890.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.024>
- David, S. P., & Dawson, C. J. (2021). Use of ammonium sulphate as a Sulphur fertilizer: Implications for ammonia volatilization. *Soil use and Management*, 38(1), 662-534.
<https://doi.org/10.1111/sum.12733>
- Deviny, J., Deshusses, M., & Webster, T. (1999). *Biofiltration for Air Pollution Control*. USA: CRC Press.

- Henze, M., Harrenoes, P., Jansen, J., & Arvin, E. (2002). *Wastewater Treatment Biological and Chemical Processes*. (3rd ed.). Germany Berlin: Springer-Verlag.
- Hong, J. H., & Park, K. J. (2005). Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. *Journal of bioresource technology*, 96(6), 741-745.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.10.008>
- Lang, W. (2011). *Environmental microbiology*. (2nd ed.). Bangkok: Kasetsart University Press.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Bender, K. S., Buckley, D. H., & Stahl, D. A. (2019). *Brock Biology of Microorganisms*. (15th ed.). UK: Pearson.
- McGahan, E., Kolominskas, C., Bawden, K., & Ormerod, R. (2002). Strategies to reduce odor emissions from meat chicken farm, *Proceeding 2002 Poultry Information Exchange*, Pacifi Air & Environmental, p27-39.
- Potivichayanon, S. (2005). *Removal of hydrogen sulfide by fixed-film bio scrubber*. (Ph.D. Thesis Faculty of Science Mahidol University Bangkok).
- Prosser, J. I. (1986). *Nitrification*. UK: IRL Press. Oxford.
- Shareefdeen, Z., & Singh, A. (2008). *Biotechnology for odor and air pollution control*. Canada: Biorem Technol Inc.
- Sirianuntapiboon, S., & Chuamkaew, C. (2007). Packed cage rotating biological contactor system for treatment of cyanide wastewater. *Bioresource Technol*, 98(2), 266-272.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.01.014>
- Smith, A. P., Johnson, I. R., Schwenke, G., Lam, S. K., Suter, H. C., & Eckard, R. J. (2020). Predicting ammonia volatilization from fertilized used for grazing. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287, 107952. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107952>
- Taghipour, H., Shahmansoury, M. R., Bina, B., & Movahdian, H. (2008). Operational parameters in biofiltration of ammonia-contaminated air streams using compost-pieces of hard Plastics filter media. *Chemical Engineering Journal*, 137(2), 198-204.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.04.015>
- Ward, B. B., Arp D. J., & Klotz, M. G. (2011). *Nitrification*. New York: ASM Press. Princeton University, Princeton, USA.
- Zhang, L., Dong, H., Zeng, S., Hu, Z., Hussain, S., & Zhang, X. (2021). An Overview of Ammonia Separation by Ionic Liquids. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 60(19), 6908-6924. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.1c00780>

การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์ กระดูกข้อมือด้วยโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน

A Comparative Study of Performance in Bone Fracture Classification from
Extremity X-ray Images using Convolutional Neural Networks (CNN)

พงษ์ศธร เชิดสม

Pongsathorn Chedsom

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Faculty of Architecture, Khon Kaen University

E-mail: pongche@kku.ac.th

(Received: 13 August 2025, Revised: 29 May 2026, Accepted: 6 June 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1100>

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกข้อมือโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันจากชุดข้อมูล Bone Fracture Multi-Region X-ray จำนวนทั้งหมด 10,432 ภาพ แบ่งเป็นภาพกระดูกหักและไม่หักอย่างละจำนวน 5,216 ภาพ แบ่งสัดส่วนข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ การตรวจสอบ และการทดสอบแบบจำลองเป็นร้อยละ 70, 20 และ 10 ตามลำดับ กระบวนการทดลองแบ่งเป็น 2 ระยะ ได้แก่การประเมินแบบจำลองพื้นฐาน 6 ชนิดเพื่อสกัดคุณลักษณะเด่น และการปรับปรุงประสิทธิภาพขั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ รวม 60 รูปแบบ ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง VGG16 และ MobileNet ให้ประสิทธิภาพสูงสุดในกลุ่มแบบจำลองพื้นฐาน มีค่าความถูกต้องร้อยละ 99.450 ค่าความสูญเสีย 0.030 และเมื่อนำมารวมกับขั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ในรูปแบบที่เหมาะสม (Group 4 + Pattern 3) สามารถเพิ่มค่าความถูกต้องเป็นร้อยละ 100 และลดค่าความสูญเสียลงได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองพื้นฐาน โดยค่าความถูกต้องนี้เป็นผลลัพธ์เฉพาะชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยรังสีแพทย์เพื่อสนับสนุนการวินิจฉัยเบื้องต้น ซึ่งจะช่วยลดภาระงานและเพิ่มความรวดเร็วในการคัดกรองเบื้องต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การจำแนกภาวะกระดูกหัก ภาพเอกซเรย์กระดูกข้อมือ โครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน การจำแนก
ภาพถ่ายทางการแพทย์ การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

Abstract

This research aims to compare the performance of bone fracture classification from extremity X-ray images using Convolutional Neural Networks (CNN). A total of 10,432 images from the Bone Fracture Multi-Region X-ray dataset were utilized, partitioned into training (70%), validation (20%), and test sets (10%). The methodology consisted of two phases: evaluating six baseline models for feature extraction and optimizing the Fully Connected Layer through 60 variations. The results indicated that the VGG16 and MobileNet model achieved the highest performance among the baselines. By integrating it with an optimized Fully Connected structure (Group 4 + Pattern 3), the model reached an accuracy of 100% with a significant reduction in loss compared to the baseline models. While this perfect accuracy is specific to the characteristics of the current dataset, the findings demonstrate the potential of the developed model as a diagnostic aid for radiologists. This research demonstrates the potential for development into a tool that assists radiologists in preliminary diagnosis, thereby effectively reducing workload and accelerating initial screening.

Keywords: Bone fracture classification, Extremity X-ray, Convolutional neural network, Medical image classification, Comparative performance analysis

บทนำ

การวินิจฉัยภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์ (X-ray) โดยเฉพาะบริเวณกระดูกซี่โครงหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกปลาย (Extremity X-ray images) เช่น แขน ขา ข้อมือ และข้อเท้า เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการดูแลผู้ป่วย เพราะกระดูกซี่โครงหักอาจบ่งชี้ถึงการบาดเจ็บรุนแรงต่ออวัยวะภายในช่องอก เช่น ปอดฉีกขาด เลือดออกในช่องอก หรือการบาดเจ็บต่อหัวใจและหลอดเลือดใหญ่ การวินิจฉัยที่รวดเร็วและแม่นยำจะช่วยให้แพทย์สามารถวางแผนการรักษาได้อย่างเหมาะสมและรวดเร็ว หากตรวจพบรอยแตกหักล่าช้าหรือผิดพลาดอาจนำไปสู่ภาวะแทรกซ้อนเรื้อรัง การผิดรูปของกระดูก หรือความพิการที่ส่งผลต่อการใช้ชีวิตของผู้ป่วย ซึ่งช่วยลดภาวะแทรกซ้อนและอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยได้ การตรวจวินิจฉัยภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกปลายนั้นมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ความยากในการมองกระดูกซี่โครงมีลักษณะโค้งและซับซ้อน ทับซ้อนกับเงาของอวัยวะอื่น ๆ เช่น ปอด หัวใจ และกระบังลม ส่งผลต่อการมองเห็นรอยร้าวหรือการเคลื่อนที่ของกระดูกเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของกระดูกหักที่ไม่สมบูรณ์หรือมีขนาดเล็ก ความเชี่ยวชาญในการวิเคราะห์และการวินิจฉัยกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์ต้องอาศัยประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของผู้ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงจำนวนของภาพเอกซเรย์ที่ต้องอ่านและวินิจฉัยส่งผลต่อระยะเวลาในการวินิจฉัยและความแม่นยำในการวินิจฉัย

การวินิจฉัยความผิดปกติของกระดูก (Bone abnormalities) จากภาพเอกซเรย์ชุดข้อมูล Mura-v1.1 ของ (Navale. S., 2023) จำนวน 42,000 ภาพ แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นร้อยละ 80 สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลองและร้อยละ 20 สำหรับการทดสอบแบบจำลองและใช้แบบจำลอง VGG16 ที่ผ่านการเรียนรู้ล่วงหน้า (Pre-training) ในการเรียนรู้ของแบบจำลองพบว่าให้ความถูกต้องร้อยละ 85.82

การวินิจฉัยภาวะกระดูกหักของ (Sahin, 2023) โดยการตรวจจับและการจำแนกโดยจากภาพเอกซเรย์ทรวงอกแบ่งภาพออกเป็นภาวะกระดูกหักจำนวน 71 ภาพ และไม่เป็นภาวะกระดูกหักจำนวน 105 ภาพ แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นร้อยละ 70 สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลองและร้อยละ 30 สำหรับการทดสอบแบบจำลอง และใช้เทคนิคการแบ่งข้อมูล K-fold 10 ชุดข้อมูล จำนวน 12 รูปแบบ/เทคนิค ได้แก่ Gaussian NB, Multinomial NB, Extra trees classifier, LGBM classifier, Ada boost classifier, Gradient boosting classifier, MLP classifier, XGB classifier, Quadratic discriminant analysis, Random forest classifier, Logistic regression, Linear discriminant analysis และใช้เทคนิค Grid search ในการทดลองพบว่า Linear discriminant analysis ให้ความถูกต้องมากที่สุดร้อยละ 88.67 และ AUC 0.89

การตรวจจับและจำแนกกระดูกต้นแขนหักของ (Barua et al., 2023) โดยใช้ชุดข้อมูล MURA (Musculoskeletal radiographs) จำนวน 40,561 ภาพ ใช้แบบจำลองเดี่ยวในการทดลองได้แก่ CNN, VGG16, VGG19, DenseNet121, DenseNet169 พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 80.00, 79.00, 80.00, 80.00, 82.00 ตามลำดับและแบบจำลองโดยใช้เทคนิคการรวมกลุ่ม (Ensemble) ได้แก่ Ensemble-1 (VGG16 และ VGG19), Ensemble-2 (DenseNet121 และ DenseNet169) พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 83.00, 85.00 ตามลำดับ

การจำแนกกระดูกหักของข้อมือของ (Senapati et al., 2024) จากภาพเอกซเรย์จำนวน 200 ภาพ ขนาด 150x150 แบ่งภาพออกเป็นภาวะกระดูกหักจำนวน 120 ภาพ และไม่เป็นภาวะกระดูกหักจำนวน 80 ภาพ ด้วยแบบจำลอง 5 แบบจำลองได้แก่ VGG16, VGG19, InceptionV3, ResNet50, Proposed Model พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 84.00, 78.00, 69.00, 84.00, 98.00 ตามลำดับ

การจำแนกและการตรวจจับกระดูกหักของ (Thota et al., 2024) จากภาพเอกซเรย์รังสีจำนวน 5,000 ภาพ ขนาด 256x256 แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นร้อยละ 70 สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลองและร้อยละ 30 สำหรับการทดสอบแบบจำลอง แบ่งภาพออกเป็นภาวะกระดูกหักและไม่เป็นภาวะกระดูกหัก โดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาเองจาก CNN และ MobileNet พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 86.00 และ 98.00 ตามลำดับ

การจำแนกกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์รังสีของกล้ามเนื้อและกระดูกของ (Islam et al., 2025) จากชุดข้อมูล MURA (Musculoskeletal radiographs) จำนวน 40,019 ภาพ แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นร้อยละ 80 จำนวน 22,418 ภาพ สำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลองและร้อยละ 20 จำนวน 5,600 ภาพ สำหรับการทดสอบแบบจำลอง โดยผ่านการปรับขนาด (Scaling) การครอบตัด (Cropping) และการเพิ่มข้อมูล (Augmentation) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ "ปกติ" (ไม่มีกระดูกหัก) และ "ผิดปกติ" (มีกระดูกหัก) ด้วย

แบบจำลอง 4 แบบจำลอง ได้แก่ ViT-16, CNN, ResNet50 (Residual Networks), ResNet-34 พบว่ามีค่าความถูกต้องร้อยละ 88.00, 87.00, 86.00, 80.00 ตามลำดับ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) โดยเฉพาะโครงข่ายประสาทคอนโวลูชัน (Convolutional neural networks: CNN) ได้กลายเป็นเครื่องมือหลักที่มีประสิทธิภาพโดดเด่นในการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เนื่องจากมีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะที่ซับซ้อนจากภาพได้โดยตรง และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่หลากหลายรูปแบบเพื่อจำแนกภาวะผิดปกติของกระดูก จากการศึกษาวิจัยในช่วงปี 2022 - 2025 พบว่า การจำแนกความผิดปกติและภาวะกระดูกหักมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยในกลุ่มงานที่ใช้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่และโมเดลพื้นฐาน เช่น งานของ (Navale, 2023) และ (Barua et al., 2023) ที่ใช้ชุดข้อมูล MURA พบค่าความถูกต้องอยู่ในช่วงร้อยละ 79.00 - 85.82 ขณะที่งานวิจัยล่าสุดของ (Islam et al., 2025) ที่ใช้เทคนิค Visual transformers (ViT) สามารถเพิ่มระดับความถูกต้องขึ้นที่ร้อยละ 88.00 สำหรับกลุ่มงานวิจัยที่มุ่งเน้นพื้นที่เฉพาะส่วนหรือใช้แบบจำลองปรับปรุงใหม่ เช่น การจำแนกกระดูกข้อมือของ (Senapati et al., 2024) และการใช้ MobileNet ของ (Thota et al., 2024) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้น โดยสามารถให้ค่าความถูกต้องได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.00 ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและแบบจำลองหลากหลายรูปแบบทั้งการใช้แบบจำลองมาตรฐาน (Baseline models) เทคนิคการรวมกลุ่ม (Ensemble) หรือเทคนิค Transformers เพื่อเพิ่มความถูกต้องเป็นหลัก จากการทบทวนวรรณกรรมพบข้อจำกัดสำคัญคือการขาดการออกแบบเชิงลึกเกี่ยวกับการปรับแต่งโครงสร้างชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (Fully connected layer) เพื่อให้มีความเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของภาพเอกซเรย์กระดูกปลาย (Extremity x-ray) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยการปรับแต่งโครงสร้างชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ 60 รูปแบบ โดยใช้รูปแบบการปรับแต่งจำนวนโนดของชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์จาก (Chedsom & Kanarkard, 2023) เพื่อหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดในการจำแนก (Classification) สำหรับชุดข้อมูล Bone fracture multi-region x-ray ร่วมกับการใช้งานแบบจำลองแบบพื้นฐานที่ใช้ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล (Feature extraction) ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักให้สูงกว่ามาตรฐานของแบบจำลองพื้นฐานทั่วไป อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนาเป็นเครื่องมือสนับสนุนการวินิจฉัยเบื้องต้น (Preliminary diagnosis) เพื่อช่วยรังสีแพทย์ในการลดภาระงานและเพิ่มความรวดเร็วในการคัดกรองผู้ป่วยในสถานพยาบาลได้อย่างแม่นยำและน่าเชื่อถือในทางคลินิก

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกปลายระหว่างแบบจำลองพื้นฐาน (Baseline models) 6 สถาปัตยกรรม ร่วมกับการปรับแต่งโครงสร้างชั้นเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (Fully connected layer) 60 รูปแบบ

ระเบียบวิธีวิจัย

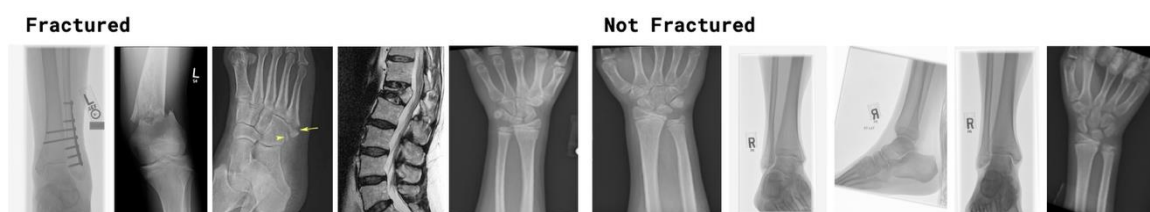
เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้ใช้เครื่องมือและซอฟต์แวร์ในการทดลองและพัฒนาแบบจำลองได้แก่

- GPU: Nvidia RTX 4070 SUPER (12GB)
- CPU: Intel Core i9-13900KS
- RAM: 32GB
- OS: Ubuntu 22.04 LTS
- Deep learning framework: keras (Tensor flow)
- Programming language: Python

ชุดข้อมูลในการทดลอง

ชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองจากเว็บไซต์ kaggle.com ของ (Rodrigo, 2025) เป็นชุดข้อมูลที่ได้รับคามนิยมในบทความต่าง ๆ มีผู้ดาวน์โหลดนำไปใช้งานโดยเฉลี่ยเดือนละ 8,856 ครั้ง ชุดข้อมูลประกอบไปด้วยภาพเอกซเรย์กระดูกกรายงค์ที่มีกระดูกหักและไม่หักครอบคลุมทุกส่วนของร่างกายทางกายวิภาค รวมถึงแขนขา ขาส้นบน เอว สะโพก เข่า เป็นต้น (Bone fracture multi-region) ทั้งหมด 10,581 ภาพ แบ่งเป็นกระดูกหัก (Fractured) จำนวน 5,181 ภาพ และไม่หัก (Not fractured) จำนวน 5,400 ภาพ ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพจากชุดข้อมูล (Rodrigo, M., 2025)

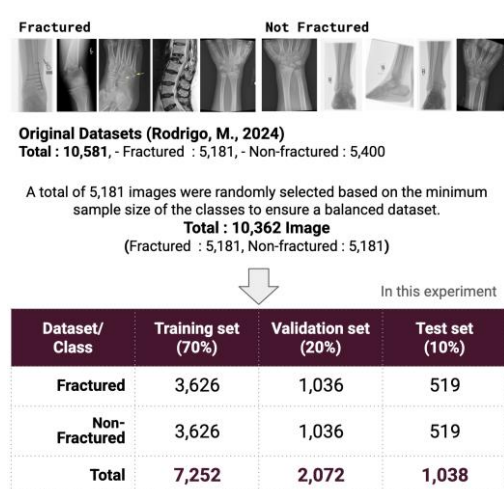
การเตรียมชุดข้อมูล

จากชุดข้อมูลต้นฉบับได้เลือกสุ่มภาพประเภทละ 5,181 ภาพ จากจำนวนภาพที่น้อยที่สุดในแต่ละประเภทเพื่อให้ชุดข้อมูลทั้งสองประเภทมีความสมดุล (Balanced dataset) รวมจำนวน 10,362 ภาพ การจัดเตรียมชุดข้อมูลสำหรับการทดลองได้แบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดข้อมูลสำหรับการสร้างการเรียนรู้ของแบบจำลอง Training set ร้อยละ 70 จำนวน 7,252 ภาพ ชุดข้อมูล Validation set ร้อยละ 20 จำนวน 2,072 ภาพ ชุดข้อมูล Test set ร้อยละ 10 จำนวน 1,038 ภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2 (a) และใช้เทคนิคการแบ่งข้อมูลด้วย K-Fold cross validation (K=5) มาใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองและเพื่อให้ข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง เช่น ค่าความถูกต้องหรือค่าความผิดพลาดของแบบจำลองความสอดคล้องกับข้อมูลทั้งหมดโดยใช้การจัดกลุ่มข้อมูลจากการสุ่มให้

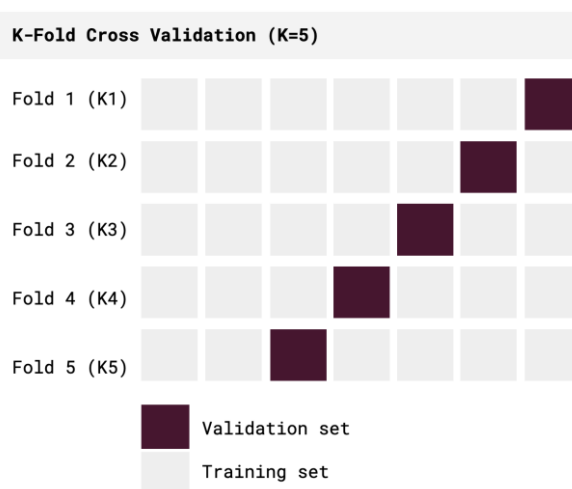
เป็นชุดข้อมูลใหม่ทั้ง 5 กลุ่มดังแสดงในภาพที่ 2 (b) การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการเรียนรู้ของแบบจำลองหลังจากการเตรียมชุดข้อมูลแล้วดังนี้

- ใช้ฟังก์ชัน Image data generator และ Flow_from_directory ของ Keras เพื่อจัดเตรียมโครงสร้างของโพลเดอร์ชุดข้อมูล แบ่งออกเป็นโพลเดอร์หลักได้แก่ Fractured สำหรับภาพกระดูกหัก และ Not fractured สำหรับภาพกระดูกไม่หัก ภายในโพลเดอร์หลักประกอบไปด้วยโพลเดอร์ย่อยได้แก่ Training_Set, Validation_Set, Test_Set เพื่อจัดเก็บภาพสำหรับแต่ละประเภทเพื่อใช้ในการทดลอง
- ปรับขนาดภาพเป็น 224 X 224 พิกเซล (Pixel) ให้สอดคล้องกับแบบจำลองที่นำมาใช้ในการทดลอง
- ปรับค่ามาตรฐาน (Min-max normalization) โดยการสเกลค่าพิกเซลของภาพจากเดิมที่มีค่า 0 ถึง 255 ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 เพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียม
- ส่วนป้ายกำกับคลาส (Labels) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบ One-hot encoding เช่น [1, 0] สำหรับ Fractured และ [0, 1] สำหรับ Not fractured เพื่อใช้ในการคำนวณ Loss Function แบบ Categorical crossentropy
- การเรียนรู้ของแบบจำลองได้กำหนดพารามิเตอร์พื้นฐานในหัวข้อพารามิเตอร์พื้นฐานในการทดลอง (Hyper-parameters) ในทุกการทดลองและกำหนดรอบการเรียนรู้ 15 รอบ (Epoch)



(a)



(b)

ภาพที่ 2 (a) การแบ่งชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของแบบจำลอง

(b) การแบ่งข้อมูล K-Fold Cross Validation (K=5)

การประเมินประสิทธิภาพแบบจำลอง

การวัดค่าความถูกต้อง (Accuracy) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้สำหรับประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองจำแนกประเภท (Classification) โดยคิดเป็นสัดส่วนระหว่างจำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองพยากรณ์ถูกต้องกับจำนวนตัวอย่างทั้งหมดในชุดข้อมูล (Chedsom, 2025) โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

โดยที่

TP (True Positive) = คำตอบที่พยากรณ์ถูกและเป็นจริง

TN (True Negative) = คำตอบที่พยากรณ์ผิดแต่เป็นจริง

FP (False Positive) = พยากรณ์ผิดว่าเป็นจริง

FN (False Negative) = พยากรณ์ผิดว่าไม่เป็นจริง

การวัดค่าความแม่นยำ (Precision) ประเมินความถูกต้องและน่าเชื่อถือของการทำนายผล เป็นการวัดสัดส่วนของจำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายได้ถูกต้อง (TP) ต่อจำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายว่าเป็นจริงทั้งหมดทั้งที่ถูกและผิด (TP + FP) โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

การวัดค่าความครบถ้วน (Recall) ประเมินความสามารถของแบบจำลองในการวัดสัดส่วนของจำนวนตัวอย่างที่แบบจำลองทำนายได้ถูกต้อง (TP) ต่อจำนวนตัวอย่างที่ทำนายว่าเป็นจริงทั้งหมดในชุดข้อมูลทั้งที่ทายถูกและทายผิดว่าปกติ (TP + FN) โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

การวัดค่าความจำเพาะ (Specificity) ประเมินความสามารถของแบบจำลองในการระบุข้อมูลในคลาสที่ไม่ใช่เป้าหมายหลัก (Negative Class) ได้อย่างถูกต้อง คำนวณจากสัดส่วนของข้อมูลที่ทำนายว่าเป็นลบและถูกต้อง (TN) เปรียบเทียบกับจำนวนข้อมูลที่เป็นลบจริงทั้งหมดในชุดข้อมูล (TN + FP) โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{Specificity} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

การวัดค่าเอฟวันสกอร์ (F1-Score) ประเมินประสิทธิภาพรวมของแบบจำลองโดยพิจารณาความสมดุลระหว่างค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความครบถ้วน (Recall) เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างการลดจำนวนผลบวกปลอม (FP) และผลลบปลอม (FN) โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{F1-Score} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (5)$$

การวัดความสูญเสีย (Loss Function) หรือฟังก์ชันความสูญเสีย ใช้วัด “ปริมาณความผิดพลาด” ของแบบจำลองในการพยากรณ์ผล ด้วยการคำนวณผลรวมความแตกต่างระหว่างค่าความน่าจะเป็นที่แบบจำลองทำนายได้กับผลเฉลยจริง (Actual Label) แบบจำลองที่มีประสิทธิภาพดีจะมีค่า Loss ลดลงและเข้าใกล้ค่าศูนย์ โดยใช้การคำนวณดังนี้

$$\text{Loss} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i \log(\hat{y}_i) + (1 - y_i) \log(1 - \hat{y}_i)] \quad (6)$$

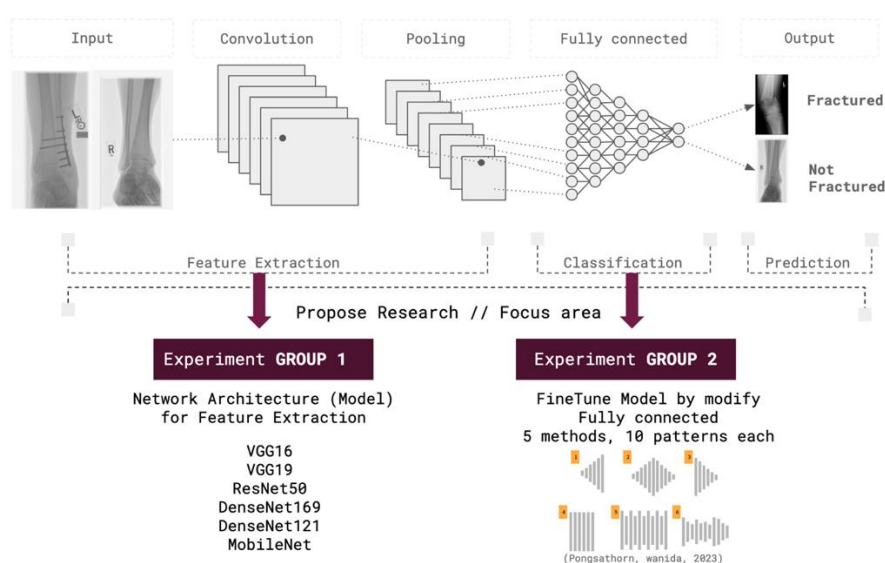
พารามิเตอร์พื้นฐานในการทดลอง (Hyper-Parameters)

ในการทดลองได้กำหนดพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับทุกๆ การทดลองเพื่อให้สภาวะแวดล้อมในการทดลองที่เหมือนกัน

- Batch size: 32
- Optimizer: Adam
- Learning rate: 0.001 (ค่าพื้นฐานของ Adam)
- Epoch: 15

การออกแบบการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มโดยกลุ่มที่ 1 ใช้แบบจำลองพื้นฐานจำนวน 6 แบบจำลองเพื่อนำมาใช้ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูล (Feature extraction) ร่วมกับกลุ่มการทดลองที่ 2 ในการจำแนก (Classification) ข้อมูลในชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully-Connected layer) จากรูปแบบการปรับแต่งของ (Chedsom & Kanarkard, 2023) ดังการแสดงในภาพที่ 3 และแสดงขั้นตอนการทดลองกลุ่มที่ 1 และ กลุ่มที่ 2 ในภาพที่ 5 และแสดงภาพรวมการพัฒนาแบบจำลองในภาพที่ 6



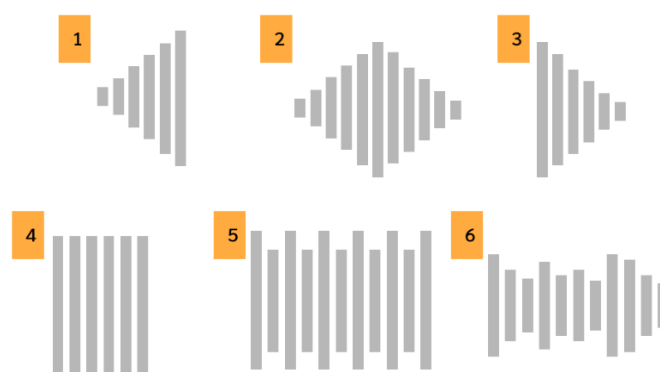
ภาพที่ 3 ภาพรวมการทดลอง

กลุ่มการทดลองที่ 1 แบบจำลองพื้นฐานจำนวน 6 แบบจำลอง

- VGG16 (Navale, S., 2023; Barua et al., 2023; Senapati et al., 2024)
- VGG19 (Barua et al., 2023; Senapati et al., 2024)
- ResNet50 (Senapati et al., 2024; Islam et al., 2025)
- DenseNet169 (Barua et al., 2023)
- DenseNet121 (Barua et al., 2023)
- MobileNet (Thota et al., 2024)

กลุ่มการทดลองที่ 2 ปรับแต่งชั้น Fully connected (ชั้นการเชื่อมโยงข้อมูลอย่างสมบูรณ์) จากรูปแบบการปรับแต่งของ (Chedsom & Kanarkard, 2023) 6 รูปแบบ รูปแบบละ จำนวน 10 ตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 4 ได้แก่

- รูปแบบที่ 1 การเพิ่มขึ้นของจำนวน NN (Neuron Network) สม่่าเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 1
- รูปแบบที่ 2 การเพิ่มขึ้นของจำนวน NN (Neuron Network) และลดลงอย่างสม่่าเสมอเท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 1
- รูปแบบที่ 3 การลดจำนวนของ NN (Neuron Network) สม่่าเสมอ ดังแสดงในตารางที่ 2
- รูปแบบที่ 4 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) เท่าเดิม (คงที่) ดังแสดงในตารางที่ 2
- รูปแบบที่ 5 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) สลับกัน (สองค่า) ดังแสดงในตารางที่ 3
- รูปแบบที่ 6 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) เพิ่มและลดไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 4 วิธีการปรับแต่ง Neuron Network ใน Fully connected Layer 6 รูปแบบ
(Chedsom & Kanarkard, 2023)

ตารางที่ 1 จำนวนโหนดของ Neuron Network ในรูปแบบที่ 1 – 2

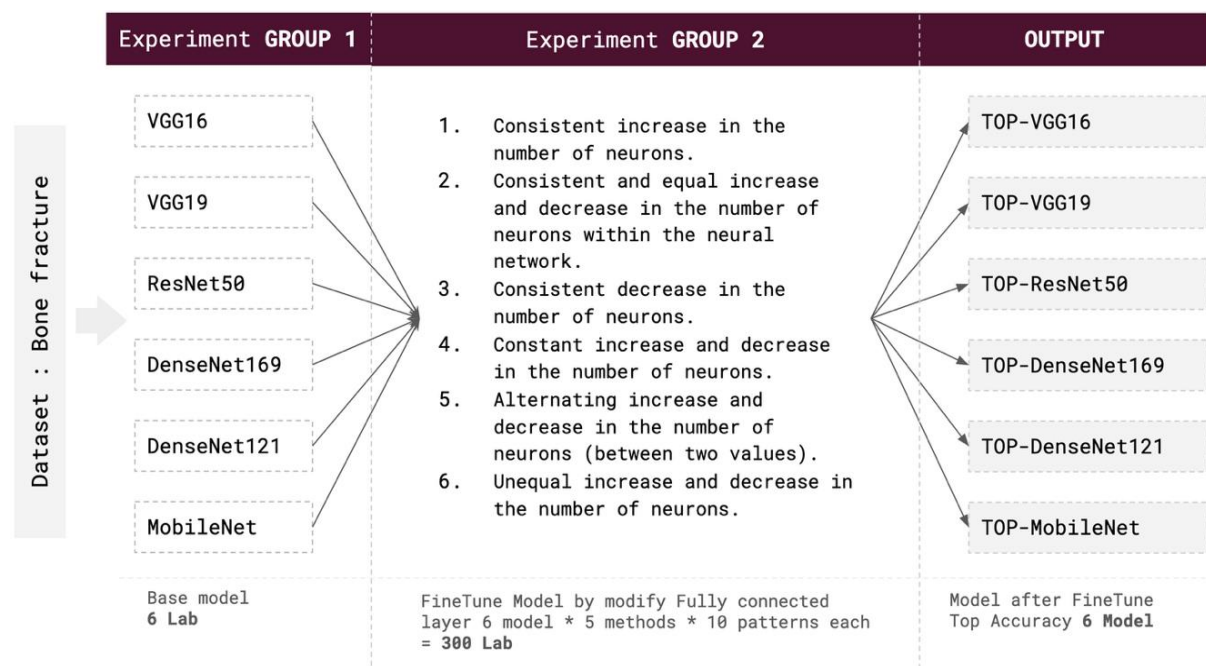
รูปแบบ	รูปแบบที่ 1 การเพิ่มขึ้นของจำนวน NN (Neuron Network) สม่่าเสมอ	รูปแบบ	รูปแบบที่ 2 การเพิ่มขึ้นของจำนวน NN (Neuron Network) และลดลงอย่าง สม่่าเสมอเท่ากัน
1-1	4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024	2-1	4, 8, 16, 32, 64, 32, 16, 8, 4
1-2	8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024	2-2	8, 16, 32, 64, 128, 64, 32, 16, 8
1-3	16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024	2-3	16, 32, 64, 128, 256, 128, 64, 32, 16
1-4	32, 64, 128, 256, 512, 1024	2-4	32, 64, 128, 256, 512, 256, 128, 64, 32
1-5	4, 16, 64, 256, 1024	2-5	4, 16, 64, 256, 1024, 256, 64, 16, 4
1-6	8, 32, 128, 512, 1024	2-6	8, 32, 128, 512, 1024, 512, 128, 32, 8
1-7	4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024	2-7	4, 8, 16, 32, 64, 128, 64, 32, 16, 8
1-8	16, 64, 256, 1024	2-8	16, 64, 256, 1024, 256, 64, 16
1-9	4, 16, 64, 256, 1024	2-9	4, 16, 64, 256, 1024, 256, 64, 16, 4
1-10	8, 32, 128, 512, 1024	2-10	8, 32, 128, 512, 1024, 512, 128, 32, 8

ตารางที่ 2 จำนวนโหนดของ Neuron Network ในรูปแบบที่ 3 – 4

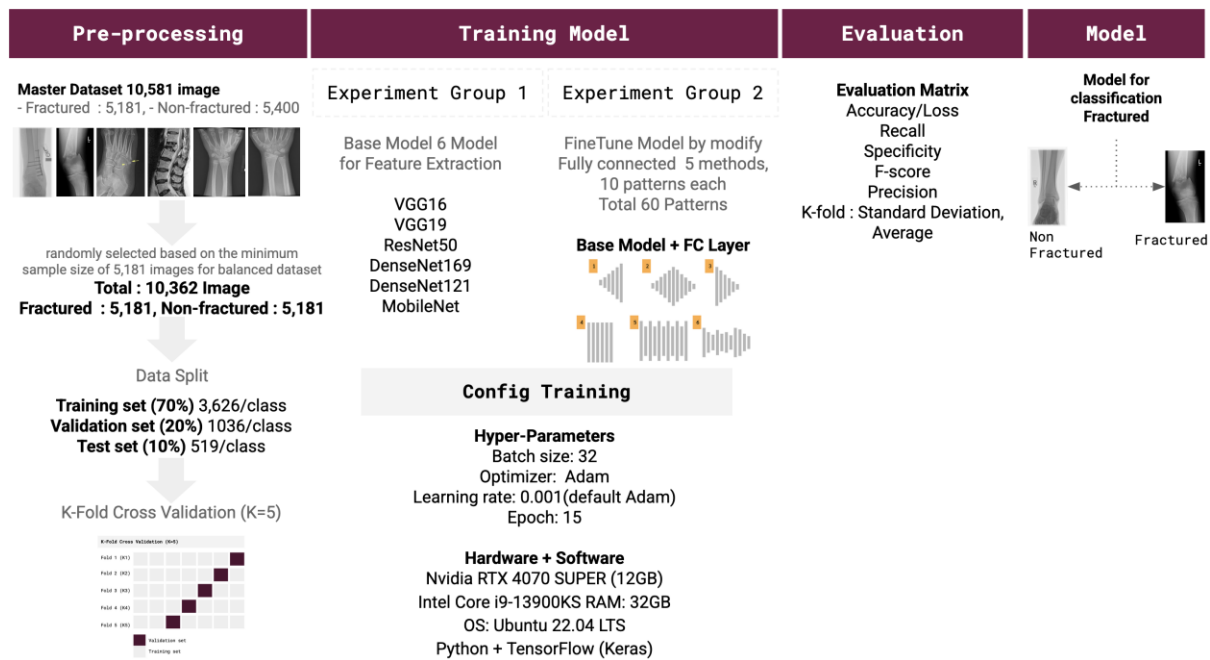
รูปแบบ	รูปแบบที่ 3 การลดจำนวนของ NN (Neuron Network) สม่่าเสมอ	รูปแบบ	รูปแบบที่ 4 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) เท่าเดิม (คงที่)
3-1	1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4	4-1	64, 64, 64, 64, 64, 64, 64, 64, 64
3-2	1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8	4-2	128, 128, 128, 128, 128, 128, 128, 128, 128
3-3	512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4	4-3	256, 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256
3-4	256, 128, 64, 32, 16, 8, 4	4-4	512, 512, 512, 512, 512, 512, 512, 512, 512
3-5	1024, 256, 64, 16, 4	4-5	1024, 1024, 1024, 1024, 1024, 1024, 1024, 1024, 1024
3-6	1024, 512, 128, 32, 8	4-6	4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4
3-7	1024, 512, 256, 128, 64, 32, 16, 8, 4	4-7	8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8, 8
3-8	1024, 256, 64, 16	4-8	16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16, 16
3-9	1024, 256, 64, 16, 4	4-9	32, 32, 32, 32, 32, 32, 32, 32, 32
3-10	1024, 512, 128, 32, 8	4-10	64, 64, 64, 64, 64, 64, 64, 64, 64

ตารางที่ 3 จำนวนโหนดของ Neuron Network ในรูปแบบที่ 5 – 6

รูปแบบ	รูปแบบที่ 5 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) สลับกัน (สองค่า)	รูปแบบ	รูปแบบที่ 6 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ NN (Neuron Network) เพิ่มและลดไม่เท่ากัน
5-1	4, 8, 4, 8, 4, 8, 4, 8, 4, 8	6-1	4, 16, 64, 32, 128, 8, 256, 4, 512, 16
5-2	16, 32, 16, 32, 16, 32, 16, 32, 16, 32	6-2	8, 32, 128, 64, 256, 16, 512, 8, 1024, 32
5-3	64, 128, 64, 128, 64, 128, 64, 128, 64, 128	6-3	16, 64, 256, 128, 512, 32, 1024, 16, 4, 64
5-4	256, 512, 256, 512, 256, 512, 256, 512, 256, 512	6-4	32, 128, 512, 256, 1024, 64, 4, 32, 8, 128
5-5	1024, 4, 1024, 4, 1024, 4, 1024, 4, 1024, 4	6-5	64, 256, 1024, 512, 4, 128, 8, 64, 16, 256
5-6	8, 16, 8, 16, 8, 16, 8, 16, 8, 16	6-6	128, 512, 4, 256, 16, 32, 64, 1024, 8, 32
5-7	32, 64, 32, 64, 32, 64, 32, 64, 32, 64	6-7	256, 1024, 8, 128, 32, 64, 16, 512, 4, 128
5-8	128, 256, 128, 256, 128, 256, 128, 256, 128, 256	6-8	512, 4, 16, 64, 128, 32, 256, 8, 1024, 64
5-9	512, 1024, 512, 1024, 512, 1024, 512, 1024, 512, 1024	6-9	1024, 8, 32, 128, 256, 64, 512, 16, 4, 256
5-10	4, 1024, 4, 1024, 4, 1024, 4, 1024, 4, 1024	6-10	4, 32, 64, 256, 512, 128, 1024, 32, 8, 512



ภาพที่ 5 ภาพรวมขั้นตอนการทดลองกลุ่มที่ 1 -2



ภาพที่ 6 ภาพรวมขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลอง

ผลการวิจัย

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มการทดลอง

กลุ่มการทดลองที่ 1 แบบจำลองพื้นฐานจำนวน 6 แบบจำลอง พบว่า แบบจำลองที่ได้ผลดีที่สุดคือ VGG16 และ MobileNet ที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ร้อยละ 99.450 และมีค่าความสูญเสีย (Loss) 0.030 ทั้ง 6 แบบจำลองได้ผลค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดลองกลุ่มที่ 1 แบบจำลองพื้นฐานจำนวน 6 แบบจำลอง

No.	Network Architecture	Accuracy (Acc.)			Loss		
		Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	99.450	0.0004	99.69	0.030	0.002	0.020
2	VGG19	99.410	0.0005	99.29	0.014	0.003	0.010
3	ResNet50	93.280	0.0006	92.03	0.191	0.005	0.110
4	DenseNet169	98.620	0.0004	97.20	0.054	0.002	0.012
5	DenseNet121	99.210	0.001	98.40	0.031	0.004	0.040
6	MobileNet	99.450	0.0004	97.50	0.030	0.005	0.050

กลุ่มการทดลองที่ 2 ปรับแต่งชั้น Fully connected (ชั้นการเชื่อมโยงของข้อมูล) 6 รูปแบบ
 รูปแบบที่ 1 การเพิ่มขึ้นของจำนวน Neuron Network (NN) สมำเสมอ พบว่า แบบจำลองที่ได้ผลดีที่สุดคือแบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 4 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.0000074) และ MobileNet ร่วมกับ Fully connected layer (FC) Patten 10 Fully connected layer (FC) Patten 3 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.000202) สูงที่สุดในรูปแบบที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 1 การเพิ่มขึ้นของจำนวน Neuron Network (NN) สมำเสมอ

No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	4	100.00	0.008	99.59	0.000 (0.0000074)	0.01	0.01
2	VGG19	8	99.60	0.01	90.05	0.021	0.06	0.09
3	ResNet50	10	52.96	0.04	91.65	0.693	0.07	0.29
4	DenseNet169	8	99.41	0.12	88.86	0.026	0.21	0.24
5	DenseNet121	7	99.21	0.08	93.78	0.046	0.14	0.13
6	MobileNet	10	100.00	0.04	97.66	0.000 (0.000202)	0.04	0.04

รูปแบบที่ 2 การเพิ่มขึ้นของจำนวน Neuron Network (NN) และลดลงอย่างสมำเสมอเท่ากัน พบว่า แบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected layer (FC) Patten 8 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.0000200) และ MobileNet ร่วมกับ Fully connected layer (FC) Patten 10 Fully connected layer (FC) Patten 3 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.002 สูงที่สุดในรูปแบบที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 2 การเพิ่มขึ้นของจำนวน Neuron Network (NN) และลดลงอย่างสม่ำเสมอเท่ากัน

No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	3	100.00	0.004	99.92	0.000 (0.0000200)	0.01	0.01
2	VGG19	1	99.60	0.08	93.87	0.029	0.21	0.16
3	ResNet50	3	92.88	0.19	84.71	0.211	0.25	0.23
4	DenseNet169	9	99.40	0.04	92.07	0.036	0.17	0.20
5	DenseNet121	6	99.20	0.04	96.12	0.078	0.11	0.12
6	MobileNet	10	100.00	0.00	99.45	0.002	0.03	0.03

รูปแบบที่ 3 การลดจำนวนของ Neuron Network (NN) สม่ำเสมอ พบว่า แบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 7 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.00000131) สูงที่สุดในรูปแบบที่ 3 ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 3 การลดจำนวนของ Neuron Network (NN) สม่ำเสมอ

No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	7	100.00	0.22	90.03	0.000 (0.00000131)	0.30	0.14
2	VGG19	2	99.41	0.06	95.32	0.006	0.21	0.11
3	ResNet50	2	93.67	0.01	96.93	0.169	0.03	0.10
4	DenseNet169	4	99.20	0.27	80.07	0.068	0.37	0.27
5	DenseNet121	8	99.20	0.02	99.97	0.038	0.00	0.00
6	MobileNet	8	99.40	0.02	99.97	0.018	0.00	0.00

รูปแบบที่ 4 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) เท่าเดิม (คงที่) พบว่า แบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 3 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.000000172) ดังแสดงโครงสร้างในภาพที่ 8 ที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุดและแบบจำลอง MobileNet ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 1 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.008 สูงที่สุดในรูปแบบที่ 4 ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 4 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) เท่าเดิม (คงที่)

No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	3	100.00	0.01	99.95	0.000 (0.000000172)	0.04	0.04
2	VGG19	1	99.40	0.01	99.92	0.005	0.04	0.04
3	ResNet50	1	93.47	0.01	96.37	0.172	0.04	0.04
4	DenseNet169	1	99.40	0.00	99.95	0.030	0.00	0.02
5	DenseNet121	2	99.20	0.04	99.97	0.028	0.11	0.07
6	MobileNet	1	100.00	0.04	99.97	0.008	0.07	0.07

รูปแบบที่ 5 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) สลับกัน (สองค่า) พบว่าแบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 8 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.00000216) และแบบจำลอง DenseNet169 ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 6 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.000629) และแบบจำลอง MobileNet ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) Patten 4 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.0000111) สูงที่สุดในรูปแบบที่ 5 ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 5 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) สลับกัน (สองค่า)

No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	8	100.00	0.04	97.94	0.000 (0.00000216)	0.11	0.08
2	VGG19	2	99.40	0.04	97.95	0.029	0.12	0.07
3	ResNet50	2	93.87	0.08	94.02	0.169	0.14	0.13
4	DenseNet169	6	100.00	0.08	95.83	0.000 (0.000629)	0.12	0.08
5	DenseNet121	2	99.20	0.08	93.69	0.044	0.20	0.17
6	MobileNet	4	100.00	0.08	93.56	0.000 (0.0000111)	0.17	0.17

รูปแบบที่ 6 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) เพิ่มและลดไม่เท่ากัน พบว่าแบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected layer (FC) Patten 5 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.00 (0.00000217) และแบบจำลอง DenseNet169 ร่วมกับ Fully connected layer (FC) Patten 4 ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 และให้ค่าความสูญเสีย 0.000 (0.00000434) สูงที่สุดในรูปแบบที่ 6 ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการทดลองกลุ่มที่ 2 รูปแบบที่ 6 การเพิ่ม-ลด จำนวนของ Neuron Network (NN) เพิ่มและลดไม่เท่ากัน 17 18

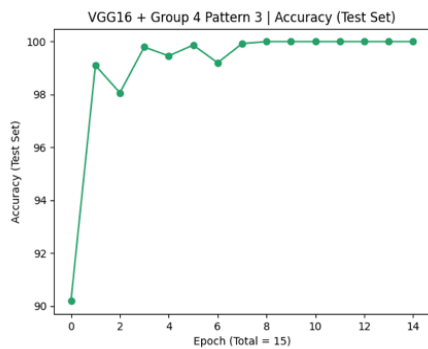
No.	Network Architecture	Patten	Accuracy (Acc.)			Loss		
			Acc.	SD.	Average	Loss	SD.	Average
1	VGG16	5	100.00	0.07	98.63	0.000	0.18	0.21
						(0.00000217)		
2	VGG19	2	99.40	0.05	95.55	0.027	0.19	0.16
3	ResNet50	10	52.96	0.20	65.70	0.692	0.40	0.45
4	DenseNet169	3	98.61	0.21	87.88	0.100	0.28	0.19
5	DenseNet121	4	100.00	0.21	88.04	0.000	0.29	0.18
						(0.00000434)		
6	MobileNet	8	100.00	0.22	89.98	0.001	0.15	0.15

การเรียนรู้ของแบบจำลอง VGG16 ร่วมกับ Fully connected layer (FC) กลุ่มที่ 4 รูปแบบที่ 3 แสดงในภาพที่ 7 (a) กราฟค่าความถูกต้องของการเรียนรู้กับชุดข้อมูล Test set ได้แสดงให้เห็นถึงความถูกต้องสูงสุดตั้งแต่รอบการเรียนรู้ที่ 7 เป็นต้นไปอย่างคงที่ และภาพที่ 7 (b) เป็นกราฟค่าความสูญเสียของการเรียนรู้ที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่รอบที่ 1 และคงที่ในรอบที่ 8 เป็นต้นไป อีกทั้งการแสดงตาราง Confusion matrix ในภาพที่ 7 (c) ได้แสดงจำนวนการจำแนกภาวะกระดูกหัก (Fractured) ถูกต้องทั้งหมดจาก 519 ภาพ และสภาวะปกติกระดูกไม่หัก (Non-Fractured) ถูกต้องทั้งหมด 519 ภาพ และในการวัดค่าประสิทธิภาพได้แก่การวัดค่าความแม่นยำ (Precision) มีค่าร้อยละ 100.00 และการวัดค่าความจำเพาะ (Specificity) มีค่าร้อยละ 100.00 และในการวัดค่าความครบถ้วน (Recall / Sensitivity) มีค่าร้อยละ 100.00 และมีค่า F1-Score ร้อยละ 100.00

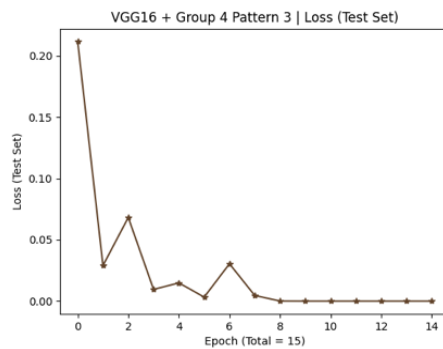
จากตารางเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่างานวิจัยนี้มีระดับความแม่นยำที่สูงที่สุดซึ่งเกิดจากการปรับแต่งโครงสร้างชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully connected layer) อย่างเป็นระบบถึง 60 รูปแบบ ขณะที่งานวิจัยของ (Navale, 2023) หรือ (Barua et al., 2023) มักใช้แบบจำลองมาตรฐานโดยไม่มีการปรับแต่งโครงสร้างส่วนปลายอย่างละเอียดทำให้ได้ค่าความถูกต้องในช่วงร้อยละ 79 - 88 อีกทั้งงานวิจัยอื่นอาจใช้ชุดข้อมูลที่มีความท้าทายหรือมีความซับซ้อนของรอยโรคที่ต่างออกไป ในงานวิจัยนี้ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 สะท้อนถึงความเข้ากันได้ (Optimal fit) ระหว่างแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นกับชุดข้อมูลกระดูกหักที่เลือกมาใช้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกภาวะกระดูกหักกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	แบบจำลอง	ชุดข้อมูล	ค่าความถูกต้อง
(Navale, 2023)	VGG16	MURA-v1.1	85.82%
(Barua et al., 2023)	Ensemble (VGG16+VGG19)	MURA	83.00%
(Senapati et al., 2024)	VGG16	ภาพเอกซเรย์ข้อมือ	84.00%
(Islam et al., 2025)	Visual Transformers (ViT)	MURA	88.00%
(Thota et al., 2024)	MobileNet	ภาพเอกซเรย์ทั่วไป	98.00%
งานวิจัยนี้	VGG16 + Optimized FC Layer	Bone Fracture Multi-Region	100%



(a) กราฟค่าความถูกต้องของการเรียนรู้

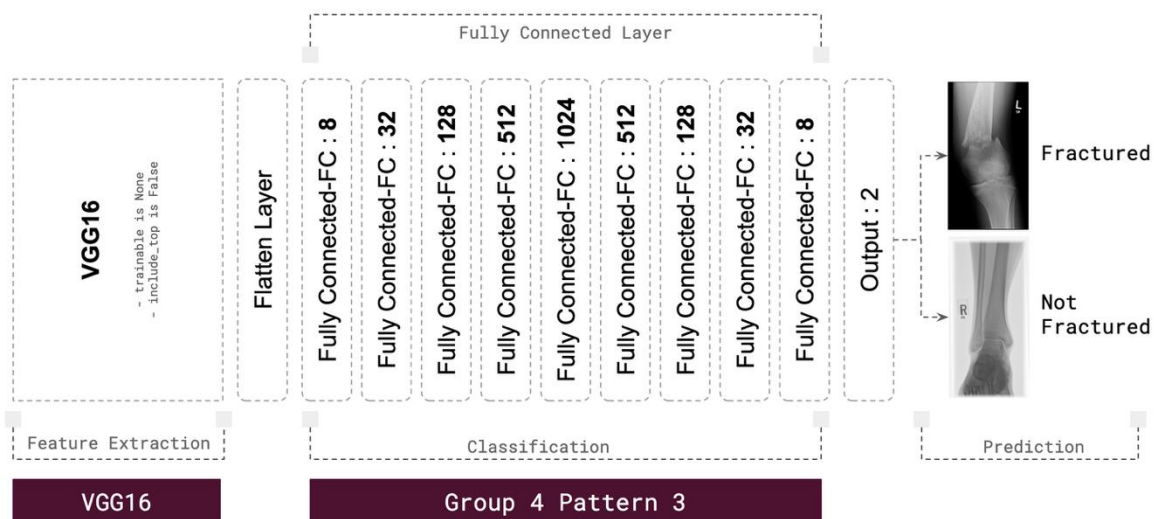


(b) กราฟค่าความสูญเสียของการเรียนรู้

	Fractured	Non Fractured		
	Fractured	Non Fractured	Recall	Precision
			100	100
Non Fractured	0	519	Specificity	F1-score
	0	519	100	100

(c) ตาราง Confusion Matrix และการวัดประสิทธิภาพ

ภาพที่ 7 ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง



ภาพที่ 8 โครงสร้างแบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุด (VGG16 + กลุ่มที่ 4 รูปแบบที่ 3)

การอภิปรายผล

แบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดในการทดลองคือแบบจำลอง VGG16 (Simonyan & Zisserman, 2016) ร่วมกับ Fully connected Layer (FC) กลุ่มที่ 4 รูปแบบที่ 3 (Neurons : 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256) ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ร้อยละ 100 ค่าความสูญเสีย (Loss) ร้อยละ 0.000000172 (ค่าความสูญเสียน้อยที่สุด) แสดงโครงสร้างแบบจำลองในภาพที่ 8 การเรียนรู้ของแบบจำลองนี้เพื่อการป้องกันการ Overfitting ในงานวิจัยนี้มีการแบ่งข้อมูลในปริมาณที่เท่ากันในลักษณะ Balanced dataset โดยมีภาพภาวะกระดูกหักจำนวน 5,216 ภาพ และภาพปกติจำนวน 5,216 ภาพ ในสัดส่วนร้อยละ 50:50 ช่วยลดโอกาสที่แบบจำลองจะมีอคติ (Bias) ต่อกลุ่มข้อมูลด้านใดด้านหนึ่งซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) สะท้อนความถูกต้องของแบบจำลองที่แท้จริง และใช้เทคนิค K-Fold cross validation K=5 เพื่อให้แบบจำลองมีผลลัพธ์ที่เสถียรและสม่ำเสมอในทุกส่วนของข้อมูล ซึ่งได้รายงานค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) นี้ด้วย และการวิเคราะห์ค่าความสูญเสียจากกราฟผลการทดลองในภาพที่ 7 (b) พบว่าค่าความสูญเสียลดลงอย่างต่อเนื่องจนเข้าใกล้ศูนย์ (0.000000172) และคงที่ โดยไม่มีการติดกลับของค่า Loss ในชุด Validation/Test ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีการเรียนรู้ที่สมบูรณ์และไม่มีภาวะ Overfitting เกิดขึ้น

จากการทดลองในกลุ่มที่ 1 แบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดคือ VGG16 และ MobileNet ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 กลุ่มการทดลองที่ 2 มีแบบจำลองที่ให้ผลดีที่สุดให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 จำนวน 22 แบบจำลองแบ่งเป็น VGG16 จำนวน 12 แบบจำลอง MobileNet จำนวน 8 แบบจำลอง ส่วน DenseNet169 และ DenseNet121 อย่างละ 1 แบบจำลอง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง VGG16 ร่วมกับการปรับแต่งชั้น Fully connected Layer (FC) แต่ละรูปแบบให้ความสามารถในการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกข้อมือได้ผลดีจำนวนมากที่สุด อีกนัยยะคือแบบจำลองนี้สามารถเข้ากับชุดข้อมูลนี้มากที่สุด

โครงสร้างของแบบจำลองที่นำมาใช้ในการสกัดคุณลักษณะเด่นของข้อมูลทั้งหมด 6 แบบจำลอง VGG16 มีความโดดเด่นคือการใช้ตัวกรองขนาดเล็ก (3×3) ซ้อนกันหลายชั้นทำให้สกัดคุณลักษณะเด่นที่มีความละเอียดสูง (Fine-grained features) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของรอยแตกหักในภาพเอกซเรย์กระดูกรยางค์ที่มีลักษณะเป็นเส้นริ้วขนาดเล็กหรือความผิดปกติของพื้นผิวขอบกระดูกที่มีความซับซ้อนการใช้ตัวกรองขนาดเล็กซ้อนกันช่วยให้แบบจำลองตรวจจับรายละเอียดความต่อเนื่องของรอยโรคได้ดีกว่าตัวกรองที่มีขนาดใหญ่ MobileNet มีข้อได้เปรียบเรื่องความเร็วและขนาดเล็ก (Lightweight) ทำให้เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาหรือ Edge Computing โดยให้ค่าความถูกต้องสูงถึงร้อยละ 100 เมื่อปรับแต่ง Fully connected layer (FC) ส่วน ResNet50 และ DenseNet เป็นสถาปัตยกรรมที่ทันสมัยมากกว่าด้วยเทคนิคการข้ามชั้น (Residual Connection) หรือการรวมคุณลักษณะซ้ำ (Feature reuse) แต่ในการทดลองนี้ค่าความถูกต้องที่น้อยกว่า โดยเฉพาะ ResNet50 ที่มีค่าความถูกต้องต่ำสุดในบางการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากความซับซ้อนของแบบจำลองที่มีมากเกิดความจำเป็น (Over-complexity) สำหรับลักษณะข้อมูลภาพนี้

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองในบทความอื่น ๆ เช่นแบบจำลอง VGG16 ของ (Navale, 2023) ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 85.82 แบบจำลอง Ensemble-1 (VGG16 และ VGG19) ของ (Barua et al., 2023) มีความถูกต้องร้อยละ 83.00 และแบบจำลอง VGG16 มีความถูกต้องร้อยละ 79.00 แบบจำลอง VGG16 ของ (Senapati et al., 2024) มีความถูกต้องร้อยละ 84.00 และเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้ผลดีที่สุด (VGG16 + Group 4 Pattern 3) พบว่าค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.55 และค่าความสูญเสียลดลงร้อยละ 0.0299 จากกลุ่มการทดลองที่ 1 แบบจำลองพื้นฐานและกลุ่มการทดลองที่ 2 ที่ปรับแต่งแบบจำลอง

งานวิจัยส่วนใหญ่ เช่น (Barua et al., 2023) หรือ (Navale, 2023) ที่เน้นการใช้แบบจำลองมาตรฐาน (Baseline) หรือการทำ Ensemble ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองหาโครงสร้างชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ 60 รูปแบบ เพื่อหาองค์ประกอบของ Fully connected Layer (FC) ที่เหมาะสมที่สุด (Optimal architecture) และผลการทดลองที่ให้ค่าความถูกต้องร้อยละ 100 สูงกว่างานของ (Navale, 2023) ที่ได้ร้อยละ 85.82 หรือ (Islam et al., 2025) ที่ใช้ Visual transformers แล้วได้ร้อยละ 88.00 แสดงให้เห็นว่าการปรับแต่ง FC layer มีผลสำคัญต่อความแม่นยำมากกว่าการเปลี่ยนตัวสกัดคุณลักษณะพื้นฐานเพียงอย่างเดียว

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) สำหรับการจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกรยางค์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กลุ่มการทดลองกลุ่มที่ 1 ได้ทดลองโดยใช้แบบจำลองพื้นฐาน 6 แบบจำลองทำหน้าที่ในการสกัดคุณลักษณะเด่นจากภาพ (Feature extraction) และนำไปใช้การทดลองกลุ่มที่ 2 ในการจำแนกข้อมูล

(Classification) ที่แบ่งบอกถึงสถานะกระดูกหักหรือไม่หักในชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully-connected layer) ที่มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างใน 6 กลุ่ม กลุ่มละ 10 รูปแบบ

ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง VGG16 + Group 4 Pattern 3 (Fully connected Layer (Neurons) : 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256, 256) จากกลุ่มการทดลองที่ 2 ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ร้อยละ 100 และค่าความสูญเสีย (Loss) ที่ต่ำมากที่สุดที่ 0.000000172 สามารถจำแนกภาวะกระดูกหักจากภาพเอกซเรย์กระดูกรยางค์ได้อย่างมีประสิทธิภาพกับชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการเรียนรู้และทดลองนี้

ในการทดลองเพื่อการพัฒนาแบบจำลองในอนาคตสามารถนำวิธีการนี้ไปใช้พัฒนาเครื่องมือช่วยวินิจฉัยภาวะกระดูกหักแบบอัตโนมัติจากภาพเอกซเรย์กระดูกรยางค์ได้ โดยเน้นที่การปรับแต่งโครงสร้างชั้นเชื่อมโยงแบบสมบูรณ์ (Fully connected layer) รูปแบบการจัดวาง Neuron network ทั้ง 60 รูปแบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้นำไปใช้ออกแบบสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจำแนกภาพทางการแพทย์ที่มีความซับซ้อนสูงเพื่อให้แบบจำลองสอดคล้องกับชุดข้อมูลมากที่สุด รวมทั้งสนับสนุนการทำงานของรังสีแพทย์หรือลดภาระงานวินิจฉัยลงในการวินิจฉัยเบื้องต้น (Preliminary diagnosis) โดยการพัฒนาเครื่องมือสนับสนุนการวินิจฉัยทางคลินิกจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น และนำไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลทางการแพทย์อื่น ๆ เช่น ภาพเอกซเรย์ของอวัยวะหรือบริเวณอื่น ๆ หรือประเภทโรคภาวะอื่น ๆ อีกทั้งเพื่อให้รองรับการใช้งานในทรัพยากรจำกัดด้วยแบบจำลองที่มีขนาดเล็ก (Lightweight) เช่น MobileNet มีความแม่นยำและใช้ทรัพยากรในการคำนวณที่ต่ำสามารถนำไปพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพาหรืออุปกรณ์ Edge computing ได้ นอกจากนี้เพื่อให้แบบจำลองได้เรียนรู้ข้อมูลที่มีความหลากหลายหลายควรใช้เทคนิคการเพิ่มปริมาณของข้อมูล (Data augmentation) และข้อมูลจากชุดข้อมูลอื่น ๆ มาใช้ในการเรียนรู้และการทดลองแบบจำลองเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ข้อจำกัด (Limitation) ในการใช้งานและการทดลองในงานวิจัยนี้เนื่องจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถทำงานได้ตามผลการทดลองในสภาพแวดล้อมของชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการเรียนรู้และการทดลองเท่านั้นซึ่งหากการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมจริงควรมีการเพิ่มชุดข้อมูลที่มีความหลากหลายและมีปริมาณที่มากเพียงพอเพื่อให้เกิดความมั่นใจมากยิ่งขึ้นในทางการแพทย์ อีกทั้งชุดข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้ถูกนำมาจากฐานข้อมูลสาธารณะ (Kaggle) ซึ่งไม่ใช่ชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมโดยตรงจากโรงพยาบาลในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- Barua, K., Mahmud, T., Barua, A., Sharmen, N., Basnin, N., Islam, D., & Hossain, S. (2023). Explainable AI-based humerus fracture detection and classification from X-ray images. *In 2023 26th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)*, Cox's Bazar, Bangladesh, (pp. 1-6). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICCIT60459.2023.10441124>
- Chedsom, P., & Kanarkard, W. (2023). Analysis of student engagement in online classroom using Convolutional Neural Networks (CNN). *ECTI Transaction on Application Research and Development*, 3(3), 39–52. <https://doi.org/10.37936/ectiard.2023-3-3.250499>
- Chedsom, P. (2025). Pneumonia Detection from Chest X-ray Images using Convolutional Neural Networks and Transfer Learning Techniques. *Journal of Applied Informatics and Technology*, 7(2), 406–431. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jait/article/view/255187>
- Islam, M. U., Fathima, A., & Ghosh, D. (2025). An improved technique for bone fracture classification using visual transformers and convolutional neural networks. *Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communication (ICICC 2024)*. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5191555>
- Navale, S. (2023). Bone abnormalities detection and classification using deep learning-Vgg16 algorithm. *International Journal for Science Technology and Engineering*, 11(7), 122–129. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54582>
- Rodrigo, M. (2025). *Bone fracture multi-region X-ray data*.
<https://www.kaggle.com/datasets/bmadushanirodrigo/fracture-multi-region-x-ray-data>
- Sahin, M. E. (2023). Image processing and machine learning-based bone fracture detection and classification using X-ray images. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 33(3), 853–865. <https://doi.org/10.1002/ima.22849>
- Senapati, B., Naeem, A. B., Ghafoor, M. I., Gulaxi, V., Almeida, F., Anand, M. R., & Jaiswal, C. (2024). Wrist Crack Classification Using Deep Learning and X-Ray Imaging. In: Daimi, K., Al Sadoon, A. (eds). *Proceedings of the Second International Conference on Advances in Computing Research (ACR'24)*. ACR 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 956. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-56950-0_6

- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2015). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015, San Diego, 7-9 May 2015*, 1-14.
<https://arxiv.org/pdf/1409.1556.pdf>
- Thota, S., Kandukuru, P., Sundaram, M., Ali, A., Basha, S. M., & Bindu, N. H. (2024). "Deep Learning based Bone Fracture Detection," *2024 International Conference on Smart Systems for applications in Electrical Sciences (ICSSES)*, Tumakuru, India, (pp. 1-7).
<https://doi.org/10.1109/ICSSES62373.2024.10561360>

การศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) สำหรับการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัลกรณีศึกษา Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum

A Study on Optimal Parameters of Long Short-Term Memory (LSTM) Networks for Cryptocurrency Price Forecasting: A Case Study of Bitcoin, Dogecoin, and Ethereum

วริสา ดาโต้ และ ปิยะชาติ เวียงนาค*

Warisa Datho and Piyachart Wiangnak*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

E-mail: 64143408@g.cmru.ac.th and piyachart@g.cmru.ac.th*

*Corresponding author

(Received: 4 March 2024, Revised: 7 April 2026, Accepted: 15 April 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1110>

บทคัดย่อ

สกุลเงินดิจิทัล เช่น Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH) และ Dogecoin (DOGE) กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ทำให้การคาดการณ์ราคามีความสำคัญ งานวิจัยนี้ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ LSTM เพื่อพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล โดยเก็บข้อมูลราคาย้อนหลังจาก Yahoo Finance ตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2563 ถึงวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2568 ทำการปรับข้อมูลด้วย Min-Max Scaling และใช้ข้อมูลย้อนหลัง 60 วันพยากรณ์ราคาวันถัดไป จากนั้นสร้างโมเดล LSTM โดยทำการทดลองปรับค่าพารามิเตอร์ 3 ค่า ได้แก่ LSTM Units, Dropout Rate และ Dense Layer และเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยใช้ RMSE ผลการทดลองพบว่า สำหรับ BTC โมเดลที่มี LSTM Units = 60, Dropout Rate = 0.1, Dense Layer = 2 ให้ค่า RMSE ต่ำสุดที่ 1967.35 สำหรับ DOGE โมเดลที่มี LSTM Units = 70, Dropout Rate = 0.1, Dense Layer = 1 ให้ค่า RMSE ต่ำสุดที่ 0.01242 และสำหรับ ETH โมเดลที่มี LSTM Units = 70, Dropout Rate = 0.1, Dense Layer = 1 ให้ค่า RMSE ต่ำสุดที่ 116.54 ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า LSTM สามารถใช้ในการพยากรณ์แนวโน้มราคาสกุลเงินดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ความแม่นยำอาจได้รับผลกระทบจากความผันผวนของตลาด

คำสำคัญ: โครงข่ายประสาทเทียม ครีปโตเคอร์เรนซี เงินดิจิทัล โมเดลพยากรณ์

Abstract

Digital currencies such as Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), and Dogecoin (DOGE) are increasingly popular, emphasizing the importance of price forecasting. This study employs a Long Short-Term Memory (LSTM) artificial neural network to predict digital currency prices. Historical price data were collected from Yahoo Finance, spanning from January 7, 2020 to January 5, 2025. The data were preprocessed using Min-Max Scaling, and a 60-day historical window was used to forecast the next day's price. Subsequently, an LSTM model was constructed by tuning three parameters including, the number of LSTM units, the Dropout Rate, and the number of Dense Layer units and its performance was evaluated using the root mean square error (RMSE). The experimental results revealed that for BTC, the model with 60 LSTM units, a Dropout Rate of 0.1, and 2 Dense Layer units achieved the lowest RMSE of 1967.35; for DOGE, the model with 70 LSTM units, a Dropout Rate of 0.1, and 1 Dense Layer unit achieved the lowest RMSE of 0.01242; and for ETH, the model with 70 LSTM units, a Dropout Rate of 0.1, and 1 Dense Layer units achieved the lowest RMSE of 116.54. These findings demonstrate that LSTM networks can effectively forecast digital currency price trends, although forecasting accuracy may be impacted by market volatility.

Keywords: Artificial neural network, Cryptocurrency, Digital currency, Prediction modelling

บทนำ

ในปัจจุบัน สกุลเงินดิจิทัลหรือคริปโทเคอร์เรนซี เช่น Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum ได้กลายเป็นสินทรัพย์ทางการเงินที่มีบทบาทสำคัญในตลาดโลก อย่างไรก็ตาม ลักษณะเฉพาะที่โดดเด่นของสกุลเงินดิจิทัลคือความผันผวนของราคาที่สูงมาก การพยากรณ์ราคาของสกุลเงินดิจิทัลจึงเป็นเรื่องท้าทายที่มีผลต่อการตัดสินใจลงทุน (อุทิศ พงศ์จิรวัดนา และคณะ, 2566) ในอดีตการวิเคราะห์แนวโน้มมักพึ่งพาแบบจำลองทางสถิติ แต่ในปัจจุบันเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) และการเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าในการจัดการกับข้อมูลทางการเงินที่มีความซับซ้อน (นิติกร จันทาญ, 2564; Cibikdiken & Karakoyun, 2018)

เครื่องมือที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time series) คือโมเดลหน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (Long short-term memory: LSTM) (ธีรภาพ แสงศรี และคณะ, 2567) ซึ่งการนำ LSTM มาประยุกต์ใช้นั้น ไม่เพียงแต่ช่วยวิเคราะห์ราคาหลักทรัพย์ดั้งเดิม (ณัฐพล จิตะวีระ, 2563) แต่ยังเปิดโอกาสให้นักลงทุนสามารถรับมือกับความผันผวนของตลาดคริปโตเคอร์เรนซี ได้อย่างเป็นระบบมากขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นการปรับปรุงพารามิเตอร์ของ LSTM เพื่อค้นหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล

การนำ LSTM มาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ราคา Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์แนวโน้มราคา แต่ยังช่วยให้นักลงทุนสามารถใช้ข้อมูลที่ได้ในการวางแผนกลยุทธ์การลงทุนได้อย่างชัดเจนและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้โมเดลดังกล่าวยังสามารถนำไปพัฒนาระบบเทรดดิ้งอัตโนมัติ (Automated trading system) ที่ทำงานโดยใช้ข้อมูลพยากรณ์เป็นฐานในการตัดสินใจ ซึ่งช่วยลดข้อผิดพลาดจากการตัดสินใจที่เกิดจากอารมณ์ของมนุษย์ อีกทั้งยังสามารถช่วยให้นักลงทุนตอบสนองต่อความผันผวนของตลาดได้รวดเร็วมากขึ้น

ในเชิงวิชาการ การศึกษาและพัฒนาการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัลด้วย LSTM ยังเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการส่งเสริมความก้าวหน้าในด้าน Machine learning และปัญญาประดิษฐ์ โดยเฉพาะในแง่ของการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา โมเดล LSTM ช่วยสนับสนุนการทำความเข้าใจพฤติกรรมของตลาดในช่วงเวลาต่าง ๆ รวมถึงการเชื่อมโยงปัจจัยทางเศรษฐกิจที่ซับซ้อน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การวิเคราะห์ความเสี่ยง การจัดการพอร์ตโฟลิโอ และการพัฒนาระบบการลงทุนที่อิงข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยมีความสนใจจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล หน่วยความจำระยะสั้นแบบยาว (LSTM) โดยการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยมุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสำคัญสามส่วน ได้แก่ LSTM, Dropout Rate, และ Dense Layer เพื่อตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ใดที่มีผลต่อความแม่นยำของการพยากรณ์มากที่สุด รวมถึงการทดสอบความเสถียรของโมเดลภายใต้สถานการณ์ที่แตกต่างกัน เช่น ความผันผวนของข้อมูลและปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการฝึกอบรม ทั้งนี้ จุดมุ่งหมายของการวิจัยคือการค้นหาโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้โมเดล LSTM มีประสิทธิภาพสูงสุดในการพยากรณ์ราคาของสกุลเงินดิจิทัล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อใช้โมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ราคาของสกุลเงินดิจิทัล ได้แก่ Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum
2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล LSTM เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาโมเดลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการพยากรณ์ราคาของสกุลเงินดิจิทัล ได้แก่ Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum

ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยเป็นทุติยภูมิ (Secondary data) ของราคาสกุลเงินดิจิทัล 3 สกุล ได้แก่ Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series) ราคาปิดในแต่ละวัน จากแหล่งข้อมูล Yahoo Finance (<https://finance.yahoo.com/quote/BTC-USD/history>)

กลุ่มตัวอย่าง ราคาสกุลเงินดิจิทัลรายวัน ที่รวบรวมมาจากข้อมูลราคาปิด (Closing price) ในแต่ละวัน เป็นจำนวน 1,826 วันของแต่ละสกุลเงินดิจิทัล ซึ่งการเก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2563 ถึงวันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2568

เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้การโปรแกรม (Coding) โดยใช้ภาษาไพธอน (Python) ผ่านโปรแกรม Google colab โดยมีไลบรารีสำคัญ ได้แก่ Numpy, Pandas, Matplotlib, และ Scikit-Learn โมดูล TensorFlow และ Keras สำหรับสร้างและฝึกโมเดล LSTM โดยมีแหล่งข้อมูล Yahoo Finance สำหรับดึงข้อมูลราคาสกุลเงินดิจิทัล ผลลัพธ์จากโมเดลประเมินผลด้วยตัวชี้วัดผู้วิจัยเลือกใช้ RMSE เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลเมื่อเผชิญกับความผันผวนสูง (High volatility) ซึ่งเป็นธรรมชาติของตลาดคริปโทเคอร์เรนซีควบคู่กับการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage Error: MAPE) เพื่อประเมินค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative error) ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลข้ามสกุลเงินดิจิทัลที่มีระดับราคาแตกต่างกันได้อย่างเป็นรูปธรรมได้

ขั้นตอนดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง การวิจัยนี้ใช้แนวคิดของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN) ซึ่งมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่การพยากรณ์ในภาคการผลิต (ณัฐชา เพียรดี, 2552) ไปจนถึงการซื้อขายสินทรัพย์ทางการเงิน (วิศรุต เลิศทวีเดช, 2564) โดยเฉพาะสถาปัตยกรรม LSTM ที่ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการลืมข้อมูลระยะยาวของโมเดล RNN (Hochreiter & Schmidhuber, 1997) ด้วยกลไกการใช้ประตูควบคุม (Gates) ที่ทำให้สามารถเลือกลืมหรือจดจำรูปแบบข้อมูลที่ซับซ้อนได้ (Goodfellow et al., 2016; Olah, 2015)

2. ศึกษาวิเคราะห์ปัญหาและเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้มาจาก Yahoo finance ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้และมีข้อมูลราคาสกุลเงินดิจิทัลอย่างละเอียด

2.1 ช่วงเวลาของข้อมูล ข้อมูลราคาปิดรายวัน (Close price) ของ BTC, DOGE, และ ETH ช่วงเวลาที่ศึกษาตั้งแต่วันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2563 ถึง วันที่ 5 มกราคม พ.ศ. 2568

2.2 การจัดการข้อมูล แบ่งออกเป็น

- กำจัดข้อมูลที่ขาดหายหรือมีค่า Null โดยการตัดข้อมูล Record ที่เป็นค่า Null ออก แต่ในการศึกษาครั้งนี้ตรวจสอบไม่พบ ข้อมูลขาดหายหรือมีค่า Null

- การปรับสเกลข้อมูล: ใช้ Min-max scaling เพื่อปรับสเกลข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 สร้างข้อมูลอนุกรมเวลาชุดนี้ผู้วิจัยเลือกใช้หน้าต่างข้อมูล 60 วัน โดยมีเหตุผลหลัก 3 ข้อได้แก่ 1) เพื่อช่วยกรองสัญญาณรบกวน (Noise) จากความผันผวนรายสัปดาห์ เพื่อโฟกัสกับทิศทางราคาหลักในระยะ 1-2 เดือนได้แม่นยำขึ้น 2) เพื่อรักษาสมดุลการเรียนรู้ เป็นจุดสมดุลที่ป้องกันไม่ให้โมเดลแกว่งตามเทรนด์สั้นเกินไป (Overshooting) และไม่ยาวจนตอบสนองเทรนด์ใหม่ช้าเกินไป (Lagging) และ 3) ครอบคลุมวัฏจักรตลาด: ระยะเวลา 60 วันครอบคลุมรอบการประกาศข่าวสารและตัวเลขทางเศรษฐกิจรายเดือน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ขับเคลื่อนตลาด คริปโตเคอเรนซี

- การแบ่งชุดข้อมูล: แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยการใช้การเรียงลำดับตามวันที่ของข้อมูล ชุดฝึก (Training set) 80% (วันที่ 7 มกราคม พ.ศ. 2563 ถึง วันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2567) และชุดทดสอบ (Testing set) 20% (เริ่มตั้งแต่ พ.ศ. 7 มกราคม พ.ศ. 2567 ถึง 5 มกราคม พ.ศ. 2568) เพื่อประเมินความสามารถของโมเดล

3. ในการออกแบบโครงสร้างโมเดล ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับจูนพารามิเตอร์ (Hyperparameter tuning) 3 ส่วนหลัก ได้แก่ จำนวนยูนิต (LSTM units), อัตราการดรอปเอาต์ (Dropout rate) เพื่อลดภาวะเรียนรู้เกินจริง (Overfitting) และจำนวนชั้น (Dense layer) เพื่อสรุปผลเชิงเส้น ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการหาจุดสมดุลของโครงข่ายประสาทเทียม (พชร พงษ์สิทธิศักดิ์, 2563; Mehtab et al., 2020) จากนั้นประเมินประสิทธิภาพการพยากรณ์ด้วย ค่ารากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean Square error: RMSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error: MAPE) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับในการประเมินความแม่นยำของการพยากรณ์อนุกรมเวลา (Hyndman & Koehler, 2006)

4. ตรวจสอบความแม่นยำของโมเดล หลังจากที่ได้พัฒนาและฝึกโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัลแล้วทำการเปรียบเทียบค่าพยากรณ์กับค่าจริงที่เกิดขึ้นในอดีตโดยจะประเมินผลการพยากรณ์โดยใช้รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) และค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean absolute percentage error: MAPE) เพื่อวัดความแม่นยำของโมเดล

ผลการวิจัย

ในการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัลแต่ละชนิดโดยใช้โมเดล LSTM พร้อมการปรับค่าพารามิเตอร์หลัก ได้แก่ จำนวน LSTM Units ทดลองใช้ค่าที่เป็นได้ 4 ค่าได้แก่ 50, 60, 70 และ 80 ค่า Dropout Rate ทดลองใช้ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 และ จำนวน Dense Layers ทดลองใช้ 1 และ 2 ชั้น โดยการใช้การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนด้วย ผู้วิจัยเลือกใช้ RMSE ควบคู่กับการใช้ MAPE ซึ่งทำให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลข้ามสกุลเงินดิจิทัลที่มีระดับราคาแตกต่างกันได้อย่างเป็นรูปธรรมได้ผลการเปรียบเทียบแยกตามชนิดของสกุลเงินดิจิทัล ทั้ง 3 ชนิด ดังนี้

1. การพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล BTC

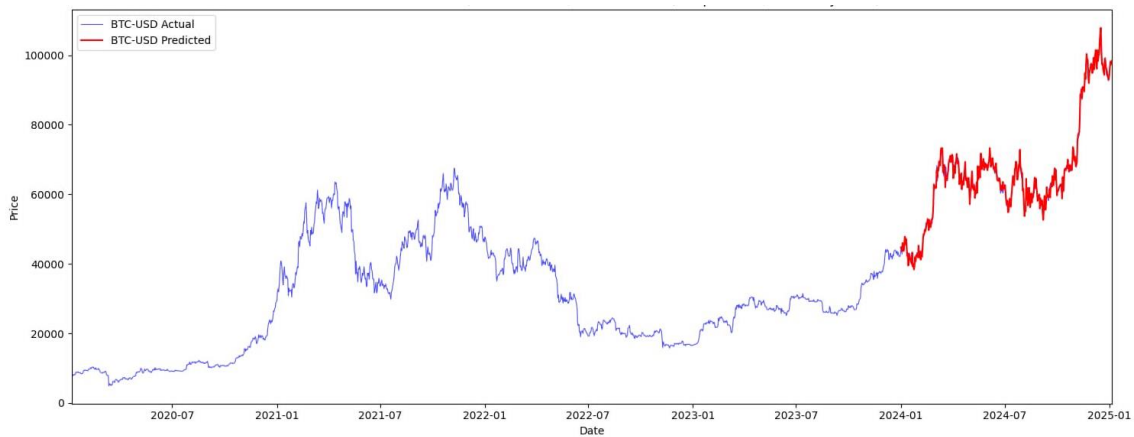
ตารางที่ 1 ค่า RMSE ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ BTC

LSTM	Dropout Rate							
	0.1		0.2		0.3		0.4	
	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
Units								
50	3,781.34	2,447.43	3,273.85	4,404.53	3,607.31	7,984.17	4,554.79	0,451.39
60	2,184.28	3,145.96	2,348.95	3,054.27	3,348.38	7,641.14	2,785.32	6,602.88
70	2,600.27	3,003.01	2,255.38	3,293.39	5,505.36	3,221.25	2,754.71	6,895.55
80	2,898.46	1,996.27	2,084.53	3,704.64	2,328.49	4,989.16	2,589.55	7,376.58

ตารางที่ 2 ค่า MAPE (%) ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ BTC

LSTM	Dropout Rate							
	0.1		0.2		0.3		0.4	
	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
Units								
50	4.19	2.68	3.58	5.06	3.95	9.5	5.18	13.25
60	2.52	3.37	2.5	3.23	3.73	9.35	2.97	7.53
70	2.81	3.41	2.49	3.46	6.71	3.13	3.32	8.25
80	3.26	2.16	2.33	4.08	2.56	5.64	3.18	9.06

จากตารางที่ 1 และ 2 เมื่อพิจารณาค่าของ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error : RMSE) และค่า Mean absolute percentage error เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ BTC มากที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ LSTM = 80, Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 2 ได้ค่า RMSE = 1,996.27 และค่า MAPE = 2.16% ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์อื่น



ภาพที่ 1 ราคาปิดของ BTC และ การพยากรณ์กับข้อมูลทดสอบ (Testing Data 20 %) โดยใช้โมเดล LSTM ที่มีค่าพารามิเตอร์ LSTM = 80, Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 2 ได้ค่า RMSE = 1,996.27 และค่า MAPE = 2.16%

2. การพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล DOGE

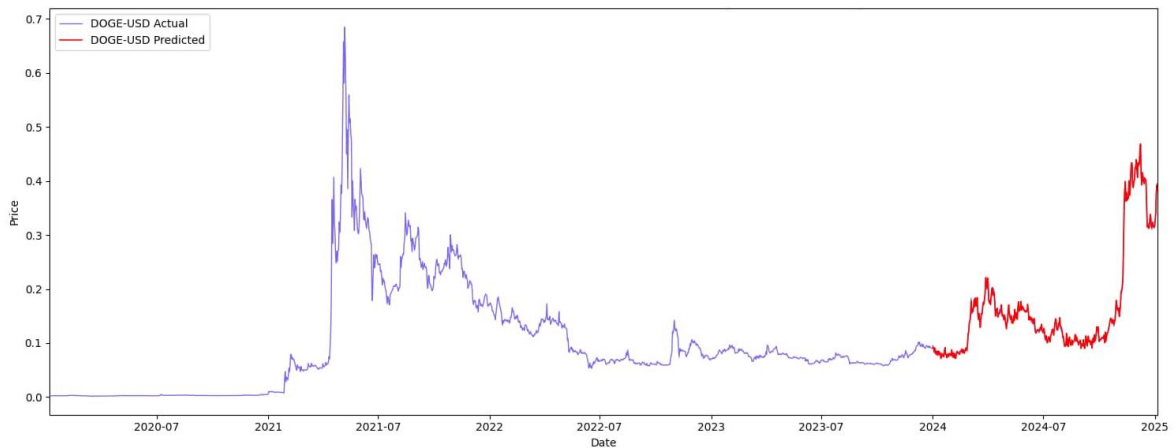
ตารางที่ 3 ค่า RMSE ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ DOGE

Dropout Rate								
LSTM	0.1		0.2		0.3		0.4	
Units	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
50	0.01544	0.01546	0.01349	0.01874	0.01375	0.01415	0.01488	0.02086
60	0.01271	0.01604	0.01338	0.01713	0.01476	0.01477	0.01506	0.01802
70	0.01575	0.01332	0.01524	0.01476	0.01517	0.01449	0.01355	0.01865
80	0.01550	0.01342	0.01482	0.01397	0.01788	0.01538	0.01356	0.01822

ตารางที่ 4 ค่า MAPE (%) ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ DODGE

Dropout Rate								
LSTM	0.1		0.2		0.3		0.4	
Units	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
50	4.79	4.88	4.41	5.4	5.78	5.33	4.71	5.77
60	4.31	5.72	4.98	7.53	4.54	5.4	7.5	5.2
70	4.79	5.71	4.56	6.68	6.23	5.01	4.66	5.2
80	4.99	5.06	4.95	4.92	5.02	7.78	5	6.78

จากตารางที่ 3 และ 4 เมื่อพิจารณาค่าของ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square error : RMSE) และค่า Mean absolute percentage error เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ DOGE มากที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ LSTM = 60, Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 1 ได้ค่า RMSE = 0.01271 และค่า MAPE = 4.31% ซึ่งมีความน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์อื่น



ภาพที่ 2 ราคาปิดของ DOGE และ การพยากรณ์กับข้อมูลทดสอบ(Testing Data 20 %)

โดยใช้โมเดล LSTM ที่มีค่าพารามิเตอร์ LSTM = 60 , Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 1
ได้ค่า RMSE = 0.01271 และค่า MAPE = 4.31%

3. การพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล ETH

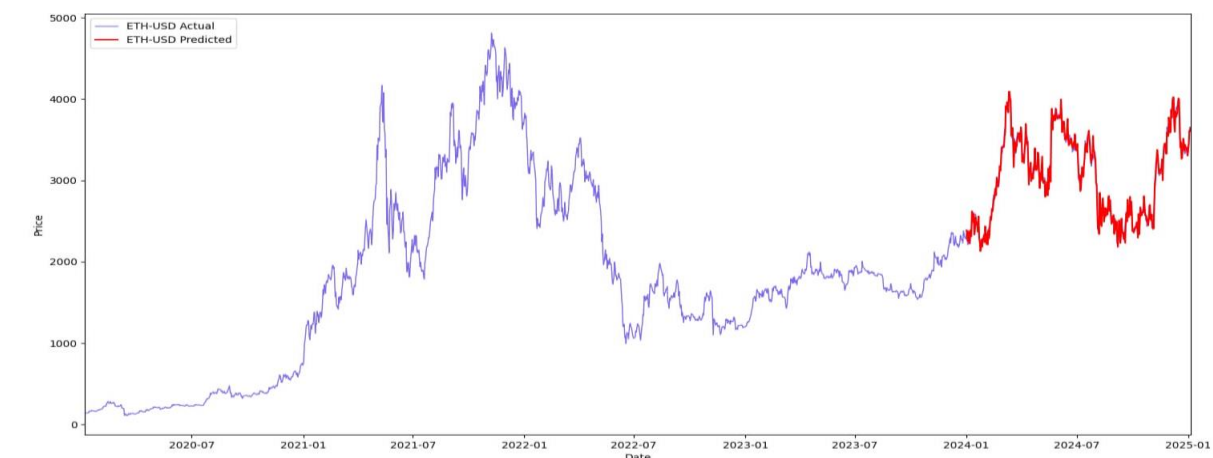
ตารางที่ 5 ค่า RMSE ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ ETH

LSTM	Dropout Rate							
	0.1		0.2		0.3		0.4	
Units	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
50	122.74	234.36	156.26	160.43	137.67	201.97	146.59	180.35
60	134.16	127.75	127.87	172.00	136.73	217.21	148.12	346.98
70	163.37	171.12	132.69	130.70	129.70	185.19	133.60	142.28
80	121.60	119.97	150.69	164.29	135.24	130.85	176.01	212.35

ตารางที่ 6 ค่า MAPE (%) ของโมเดล LSTM สำหรับการพยากรณ์ ETH

Dropout Rate								
LSTM	0.1		0.2		0.3		0.4	
Units	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)	Dense(1)	Dense(2)
50	2.94	6.6	3.92	4.04	3.34	5.1	3.56	4.51
60	3.33	3.05	3.04	4.49	3.37	5.78	3.66	9.81
70	4.43	4.49	3.26	3.22	3.10	4.65	3.20	3.52
80	2.97	2.86	3.82	4.36	3.29	3.15	4.52	5.70

จากตารางที่ 5 และ 6 เมื่อพิจารณาค่าของ รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) และค่า Mean Absolute Percentage Error เป็นผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดล พบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการพยากรณ์ ETH มากที่สุดคือ ค่าพารามิเตอร์ LSTM = 80, Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 2 ได้ค่า RMSE = 119.97 และค่า MAPE = 2.86% ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์อื่น



ภาพที่ 3 ราคาปิดของ ETH และ การพยากรณ์กับข้อมูลทดสอบ (Testing Data 20 %) โดยใช้โมเดล LSTM ที่มีค่าพารามิเตอร์ LSTM = 80, Dropout Rate = 0.1 และ Dense Layer = 2 ได้ค่า RMSE = 119.97 และค่า MAPE = 2.86%

การอภิปรายผล

BTC และ ETH เป็นสกุลเงินหลักที่มีมูลค่าตลาดสูงสุดและมีระบบนิเวศขนาดใหญ่ (Ecosystem) การเคลื่อนไหวของราคาจึงได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านเศรษฐกิจและด้านอื่นๆที่ซับซ้อน การที่โมเดลต้องการ LSTM units สูงถึง 80 หน่วย สะท้อนให้เห็นว่าข้อมูลอนุกรมเวลาของทั้งสองเหรียญนี้มีความสัมพันธ์ระยะยาว (Long-term dependencies) ที่ซับซ้อนและลึกซึ้ง ซึ่งต้องการหน่วยความจำขนาดใหญ่ในการจับรูปแบบ (Pattern) นอกจากนี้ การใช้ Dense layer = 2 ยังช่วยให้ตัวแบบมีความสามารถในการเรียนรู้คุณลักษณะแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non-linear mapping) ได้ดีขึ้น ส่งผลให้โมเดลสามารถรับมือกับช่วงที่ราคามีความผันผวนสูง ดังแสดงจากค่า RMSE ที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับพารามิเตอร์อื่น และรักษาระดับเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยให้อยู่ในระดับต่ำ ได้อย่างสม่ำเสมอ การใช้ Dropout rate = 0.1 แสดงให้เห็นว่าการใช้หน่วยความจำสูงในกรณีนี้ไม่ทำให้เกิดภาวะเรียนรู้เกินจริง (Overfitting)

ในส่วนของ DODGE แตกต่างจากสกุลเงินหลักอย่าง BTC และ ETH พฤติกรรมราคาของเหรียญทางเลือกอย่าง DOGE มักขับเคลื่อนด้วยกระแสข่าวและความเชื่อมั่นเชิงอารมณ์ (Sentiment-driven) ในระยะสั้นมากกว่า โครงสร้างตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดจึงต้องการความซับซ้อนน้อยกว่า ทั้งในแง่ของขนาดหน่วยความจำ (LSTM units = 60) และชั้นประมวลผลปลายทาง (Dense layer = 1) การใช้โมเดลที่เล็กลงช่วยป้องกันไม่ให้เกิดตัวแบบพยายามจดจำสัญญาณรบกวน (Noise) ที่เกิดจากการแก่งกำไรรอยางไรทิศทาง ซึ่งอาจนำไปสู่ภาวะ Overfitting แม้ความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยของ DOGE จะสูงกว่าสกุลเงินหลักเล็กน้อย (MAPE = 4.31%) แต่ก็ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่รับได้สำหรับสินทรัพย์ที่มีราคาและเสถียรภาพต่ำ

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การพิจารณาเลือกรูปแบบพารามิเตอร์โดยอิงจากทั้งค่า RMSE และ MAPE ในการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นถึง "ความทนทาน (Robustness)" ของตัวแบบ การที่พารามิเตอร์ชุดเดียวกันสามารถทำให้เกิดจุดต่ำสุด (Global minimum) ทั้งในตัวของตัววัดที่ไวต่อค่าผิดปกติอย่างรุนแรง (RMSE) และตัววัดที่สะท้อนสัดส่วนความคลาดเคลื่อนเชิงสัมพัทธ์ (MAPE) แสดงให้เห็นว่า ตัวแบบ LSTM ที่ศึกษาในครั้งนี้มีขีดความสามารถในการวางนัยทั่วไป (Generalization) ได้ดีในระดับหนึ่ง โดยไม่เอนเอียงไปจดจำเฉพาะช่วงเวลาที่มีราคาสูงหรือต่ำจนเกินไป

นอกจากนี้พบว่า ในการพยากรณ์สินทรัพย์ดิจิทัล ไม่มีการตั้งค่าตัวแบบใดที่สามารถใช้ได้ครอบจักรวาล (No free lunch theorem) การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์จำเป็นต้องคำนึงถึงพฤติกรรมความผันผวนเฉพาะตัวของแต่ละสินทรัพย์เสมอ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ปิยธิดา รุ่งเรือง (2565) ที่ระบุว่าตัวแบบ LSTM สามารถประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ทิศทางของสกุลเงินดิจิทัลที่มีคุณลักษณะหลากหลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ หากได้รับการปรับแต่งโครงสร้างพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับพลวัตของเหรียญนั้นๆ อย่างเหมาะสม

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองโมเดลอื่นเพื่อเปรียบเทียบควรศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลอื่น ๆ เช่น GRU (Gated recurrent unit) หรือ Transformer ซึ่งอาจมีศักยภาพที่ดีกว่าในบางกรณี เพื่อค้นหาโมเดลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัล
2. การใช้ข้อมูลที่หลากหลายการขยายขอบเขตการศึกษาโดยใช้ข้อมูลจากสกุลเงินดิจิทัลอื่น ๆ นอกเหนือจาก Bitcoin, Dogecoin และ Ethereum อาจช่วยเพิ่มความครอบคลุมของงานวิจัย และสามารถประเมินว่าโมเดลสามารถปรับตัวให้เหมาะสมกับข้อมูลที่หลากหลายได้มากน้อยเพียงใด
3. การปรับปรุงความถี่ของข้อมูลการใช้ข้อมูลที่มีความถี่สูงขึ้น เช่น ราคาทุกชั่วโมงหรือทุกนาที อาจช่วยให้โมเดลสามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในตลาดที่มีการซื้อขายอย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐชา เพียรดี. (2552). *การพัฒนาโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์การผลิต*. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).
- ณัฐพล จิตะวีระ. (2563). *การศึกษารูปแบบการพยากรณ์ราคาหลักทรัพย์โดยใช้แบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึก*. (การค้นคว้าอิสระปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- ธีรภาพ แสงศรี, เทวา พรหมนุชานนท์, และ รุจิพันธุ์ โกษารัตน์. (2567). การวิเคราะห์เปรียบเทียบโมเดล ARIMA และ LSTM สำหรับพยากรณ์ราคาบิตคอยน์: การประยุกต์ใช้เครื่องมือเรียนรู้ของเครื่อง. *Journal of Information Science Research and Practice*, 12(2), 95-107. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/jiskku/article/view/277726>
- นิติกร จันทาญ. (2564). *การพยากรณ์ราคาบิตคอยน์ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง*. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม). <http://202.28.34.124/dspace/bitstream/123456789/2412/1/62011284507.pdf>
- ปิยธิดา รุ่งเรือง. (2565). *การพยากรณ์ราคาสกุลเงินดิจิทัลและการจัดพอร์ตการลงทุนโดยใช้อัลกอริทึมเวลาพีซี นิวโทรโซฟิควแบบลึงเลที่มีค่าเดียวร่วมกับโมเดล LSTM*. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).
- พชร พงษ์สิทธิศักดิ์. (2563). *การศึกษาเปรียบเทียบการพยากรณ์ความผันผวนและราคาหลักทรัพย์ ดัชนี SET50 ระหว่างตัวแบบทางเศรษฐมิติและอัลกอริทึมแอลเอสทีเอ็ม (LSTM)*. (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์).
- วิศรุต เลิศทวีเดช. (2564). *การผสมผสานการวิเคราะห์เชิงเทคนิคและแบบจำลองการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการซื้อขายน้ำมันดิบ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย). <https://digital.car.chula.ac.th/chulaetd/5398/>

- อุทิศ พงศ์จิรวัฒนา, อนุพงศ์ สุขประเสริฐ, นันทิมา แพงทรัพย์ และ มะลิวัลย์ สารภาพ. (2566). การพยากรณ์ราคาคริปโตเคอร์เรนซีล่วงหน้าด้วยแบบจำลอง ARIMA. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 5(4), 1–11. <https://so08.tci-thaijo.org/index.php/MSJournal/article/view/2343>
- Cibikdiken, A. O., & Karakoyun, E. S. (2018). Comparison of ARIMA time series model and LSTM deep learning algorithm for Bitcoin price forecasting. *In Proceedings of the 13th Multidisciplinary Academic Conference*, Prague, Czech Republic.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735–1780. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22(4), 679–688. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001>
- Mehtab, S., Sen, J., & Dutta, A. (2020). *Stock price prediction using machine learning and LSTM-based deep learning models*. <https://arxiv.org/pdf/2009.10819>
- Olah, C. (2015). *Understanding LSTMs Networks*. Colah's Blog. <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>

ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศกับอุบัติการณ์ไข้เลือดออกในจังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย

Climatic factors associated with dengue incidence in Chiang Mai Province, Thailand

ไพรัช สุทนธ์

Priracha Suthon

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

วัฒนา ชยธวัช*

Vadhana Jayathavaj*

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี

Faculty of Allied Health Sciences, Pathumthani University

E-mail: priracha_sut@cmru.ac.th and vadhana.j@ptu.ac.th*

*Corresponding author

(Received: 16 January 2026, Revised: 6 May 2026, Accepted: 7 May 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1452>

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ กับจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ รายเดือนจำนวน 120 เดือน (พ.ศ. 2558–2567) ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป (Generalized linear model, GLM) ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณอัตราส่วนอุบัติการณ์ (Incidence rate ratio: IRR) ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวแบบทวินามลบสองตัวแปรต้น (Negative binomial: NB2) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถจัดการกับปัญหาความแปรปรวนมากกว่าค่าเฉลี่ย (overdispersion) ได้ดี และมีค่าเกณฑ์สารสนเทศของอไคเกะ (AIC) และ เกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (BIC) ต่ำที่สุด ผล IRR แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเป็นตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น 1% สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยประมาณร้อยละ 9–10 และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยประมาณร้อยละ 13–17 ขณะที่ปริมาณฝนไม่พบว่ามีนัยสำคัญ แต่มีบทบาทในการสร้างแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงลาย ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้ข้อมูลภูมิอากาศเป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ความเสี่ยงและการวางแผนมาตรการสาธารณสุขเพื่อป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออกในพื้นที่เสี่ยง

คำสำคัญ: ไข้เลือดออก ปัจจัยภูมิอากาศ อัตราส่วนอุบัติการณ์ ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป เชียงใหม่

Abstract

This study aimed to analyze the relationship between climatic factors, including rainfall, relative humidity, and temperature, and the monthly incidence of dengue fever in Chiang Mai Province. Secondary monthly data covering 120 months (2015–2024) were used. Generalized Linear Model (GLM) were applied to estimate the Incidence Rate Ratio (IRR). The results indicated that the Negative Binomial regression with two independent variables (NB2) model was the most appropriate, as it effectively addressed overdispersion and yielded the lowest Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) values. The IRR analysis revealed that relative humidity and temperature were significant predictors of dengue incidence. A 1% increase in relative humidity was associated with a 9–10% increase in dengue cases, while a 1 °C rise in temperature was associated with a 13–17% increase. While rainfall was not found to be statistically significant, it plays a role in creating breeding sites for *Aedes aegypti* mosquitoes. These findings highlight the importance of incorporating climatic data into risk prediction and public health planning to prevent and control dengue outbreaks in vulnerable regions.

Keywords: Dengue fever, Climatic factors, Incidence rate ratio, Generalized linear models, Chiang Mai

บทนำ

จังหวัดเชียงใหม่มีจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออก พ.ศ. 2558 ถึง 2567 เฉลี่ยปีละ 3,484 ราย คิดเป็นร้อยละ 3.98 ของประเทศ และ ร้อยละ 31.88 ของเขตสุขภาพที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ได้แก่ เชียงใหม่, เชียงราย, ลำพูน, ลำปาง, แพร่, น่าน, พะเยา และแม่ฮ่องสอน ค่ามัธยฐาน 5 ปี (พ.ศ. 2563 – 2567) มีผู้ป่วย 3,293 ราย ขณะที่ปี พ.ศ. 2566 และ ปี พ.ศ. 2567 มีผู้ป่วย 7,680 และ 3,462 ราย ตามลำดับ (กองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค, 2569) ซึ่งมากกว่าค่ามัธยฐาน 5 ปี จัดได้ว่าการระบาดเมื่อพิจารณาจากจำนวนผู้ป่วยเปรียบเทียบกับค่ามัธยฐานย้อนหลัง 5 ปี (กรมควบคุมโรค, 2562) สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงใหม่ เฝ้าระวังโรคติดต่อมาโดยוגาย รายงานว่า ปี พ.ศ. 2568 จังหวัดเชียงใหม่พบผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้น ตั้งแต่เดือนมิถุนายน เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบันพบผู้ป่วยโรคไข้เลือดออก ทั้งหมด 1,363 ราย เสียชีวิต 5 ราย (พิมพ์ลักษณ์ เดชะชัย, 2568)

เนื่องจากข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวมรายเดือนเป็นข้อมูลจำนวนนับ ตัวแบบที่เหมาะสมคือ ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป (Generalized linear model, GLM) เป็นกรอบทางสถิติที่ขยายจาก Linear regression เพื่อรองรับตัวแปรตามที่ไม่จำเป็นต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distribution) ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไปได้ใช้ในการศึกษาจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกในรัฐเซอลังงอร์ ประเทศมาเลเซีย

(Sheng & Rahman, 2025) ประเทศบังกลาเทศกับข้อมูลปริมาณฝน และอุณหภูมิรายเดือน (Panel data) ค.ศ. 2000 – 2021 (22 ปี) ในการกำหนดค่าวิกฤติ (Thresholds) ของอุณหภูมิและปริมาณฝน สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการพยากรณ์ความเสี่ยง และ วางแผนมาตรการสาธารณสุข (Hossain, 2023) การศึกษาที่กรุงนิวเดลี ประเทศอินเดียโดยใช้ตัวแบบเชิงเส้นนี้ทั่วไปด้วยข้อมูลสิ่งแวดล้อมและข้อมูลโรคไข้เลือดออกระหว่างปี พ.ศ. 2558-2561 พบว่า ตัวแบบจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกกับปัจจัยทำนายทางสิ่งแวดล้อม เช่น ผลต่างอุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝนสะสม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิสูงสุด มีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.01) (Singh & Chaturvedi, 2022) ทั้งนี้ผู้กำหนดนโยบายสามารถใช้ผลการศึกษานี้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการดำเนินงานด้านสาธารณสุขในอนาคต เพื่อการป้องกันและควบคุมโรคไข้เลือดออก โดยเริ่มต้นจากการตรวจสอบการพยากรณ์ข้อมูลอุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ แล้วใช้ตัวแบบประเมินอุบัติการณ์เพื่อกำหนดมาตรการเฝ้าระวังที่เหมาะสมต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศกับจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกของจังหวัดเชียงใหม่

ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงสังเกตแบบอนุกรมเวลา (Time-series observational study) เชิงพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary data) รายเดือน ครอบคลุมระยะเวลา 10 ปี (120 เดือน) ตั้งแต่ พ.ศ. 2558 ถึง 2567

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ข้อมูลพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วย จำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวมรายเดือน และปัจจัยภูมิอากาศ

กลุ่มตัวอย่าง คือ ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวมรายเดือน (ราย) ของจังหวัดเชียงใหม่ มกราคม พ.ศ. 2558 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 120 เดือน และปัจจัยภูมิอากาศ ปริมาณฝนสะสม (มิลลิเมตร) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน (ร้อยละ) และ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส) ในช่วงเดือนเดียวกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

รวบรวมข้อมูล ตรวจสอบความครบถ้วน ตรวจสอบความถูกต้องโดยเทียบกับรายงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับจังหวัดเชียงใหม่

กำหนดให้จำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวมรายเดือนเป็นตัวแปรตาม และ ปริมาณฝนสะสม ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน และ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน เป็นตัวแปรอิสระ

เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวมรายเดือนเป็นข้อมูลจำนวนนับ จึงใช้ตัวแบบเชิงเส้นนี้ทั่วไป กรณีที่ตัวแปรตามมีความแปรปรวนใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ย (Equidispersion) วิธีที่เหมาะสม คือ

การถดถอยปัวซอง (Poisson regression, PR) ความแปรปรวนมากกว่าค่าเฉลี่ย (Overdispersion) วิธีที่เหมาะสม คือ การถดถอยแบบกึ่งปัวซอง (Quasi-Poisson regression, QP) และ เมื่อ Overdispersion รุนแรง จะใช้วิธีการถดถอยทวินามลบ (Negative binomial regression, NB) (Zeileis et al., 2008) GLM ใช้ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link function) เป็น Log link ดังนี้

$$\log(\mu) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k$$

เมื่อ μ คือค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (expected count)

$X_1, X_2, \dots, X_k$ คือ เป็นตัวแปรอิสระ

β_0 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของจุดตัด (intercept)

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ

หรือ

$$\mu = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}$$

e^β คือ อัตราส่วนอุบัติการณ์ (Incidence rate ratio, IRR) เมื่อค่าของ IRR > 1 เมื่อตัวแปรอิสระ (X) เพิ่มขึ้น 1 หน่วย อัตราการเกิดโรค (Incidence rate) จะเพิ่มขึ้นเป็น IRR เท่า (หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ $(IRR-1) \times 100$) โดยควบคุมตัวแปรอื่นในโมเดลแล้ว, ถ้า IRR < 1 เมื่อตัวแปรอิสระ (X) เพิ่มขึ้น 1 หน่วย อัตราการเกิดโรคจะลดลง (หรือลดลงร้อยละ $(1-IRR) \times 100$) โดยควบคุมตัวแปรอื่นในโมเดลแล้ว, และ ถ้า IRR = 1: หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ ระหว่างการเพิ่มขึ้นของตัวแปรอิสระกับอัตราการเกิดโรค (Hilbe, 2014)

เครื่องมือวิจัย

ตารางบันทึกข้อมูลอนุกรมเวลา ประกอบด้วย ตัวแปร (สดมภ์) ปี พ.ศ., เดือน, จำนวนผู้ป่วย, ปริมาณฝนสะสม ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และรายการข้อมูลแต่ละเดือน (แถว)

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรวบรวมรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่ มกราคม พ.ศ. 2558 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2567 จำนวน 120 เดือน รวบรวมจาก ระบบรายงานการเฝ้าระวังโรค 506 กองระบาดวิทยา (2569)

ข้อมูลรายเดือนของจังหวัดเชียงใหม่ประกอบด้วย ปริมาณฝนสะสม (มิลลิเมตร) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน (ร้อยละ) และ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน (องศาเซลเซียส) ในช่วงเวลาเดียวกันกับข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออก รวบรวมจาก National Aeronautics and Space Administration (NASA) (2026)

การวิเคราะห์ข้อมูล

โปรแกรมสถิติ Jamovi เวอร์ชัน 2.3.28 (15) (The jamovi project, 2024) และโมดูล GAMLj: General analyses for linear models (Gallucci, 2019) การวิจัยนี้กำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ p -value < 0.05

จริยธรรมการวิจัย

ข้อมูลจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกในจังหวัดเชียงใหม่รวบรวมจากระบบรายงาน 506 ของกระทรวงสาธารณสุข เป็นข้อมูลสาธารณะ ชุดข้อมูลดังกล่าวไม่มีข้อมูลใดที่สามารถเชื่อมโยงกับผู้ป่วยรายบุคคลได้ และนักวิจัยไม่มีช่องทางในการติดต่อหรือมีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับผู้ป่วย ซึ่งได้ประเมินตามแบบตรวจสอบกิจกรรม/งานวิจัยเข้าข่ายการวิจัยในมนุษย์ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)(2569) แล้ว พบว่า “ไม่เข้าข่ายเป็นงานวิจัยในมนุษย์”

ผลการวิจัย

สถิติจำนวนผู้ป่วยรายเดือนโรคไข้เลือดออกและภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่

จากข้อมูลการติดตามจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกและตัวแปรภูมิอากาศรายเดือนในจังหวัดเชียงใหม่ครอบคลุมระยะเวลา 120 เดือน สถิติจำนวนผู้ป่วยรายเดือนโรคไข้เลือดออกและภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า จำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 290 ราย โดยมีค่ามัธยฐาน 116 ราย แสดงให้เห็นว่าการกระจายของข้อมูลมีความเบ้ไปทางขวา (Right-skewed) เนื่องจากมีบางเดือนที่มีจำนวนผู้ป่วยสูงมาก (สูงสุด 2,103 ราย) เมื่อเทียบกับค่าต่ำสุดเพียง 4 รายต่อเดือน พิสัยของจำนวนผู้ป่วยกว้างถึง 2,099 ราย สะท้อนถึงความผันผวนของการระบาดในแต่ละช่วงเวลา

สำหรับ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 99.7 มิลลิเมตร โดยมีค่ามัธยฐาน 80.3 มิลลิเมตร และมีพิสัยตั้งแต่ 0.4 ถึง 350 มิลลิเมตร แสดงถึงความแปรปรวนของปริมาณฝนที่สูงตามฤดูกาล ส่วน ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 68.1 โดยมีค่ามัธยฐาน ร้อยละ 70.8 และมีพิสัยตั้งแต่ร้อยละ 38.5 ถึง 84.5 ซึ่งสะท้อนถึงความแตกต่างของสภาพภูมิอากาศระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง ขณะที่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนอยู่ที่ 26 °C โดยมีค่ามัธยฐาน 26.5 °C และมีพิสัย 20.8–31.8 °C ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการแพร่พันธุ์ของยุงลาย

ผลการทดสอบการแจกแจงปกติด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) พบว่าตัวแปรทั้งหมดมีค่า $p\text{-value} < 0.05$ (จำนวนผู้ป่วย, ปริมาณฝน, ความชื้นสัมพัทธ์, และอุณหภูมิ) แสดงว่าข้อมูลไม่เป็นไปตามการแจกแจงปกติ (Non-normal distribution) ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะข้อมูลเชิงนับและข้อมูลภูมิอากาศที่มักมีการกระจายตัวไม่สมมาตร การใช้ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไปจึงเหมาะสมในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภูมิอากาศกับอัตราการเกิดโรคไข้เลือดออก

ตารางที่ 1 สถิติจำนวนผู้ป่วยรายเดือนโรคไข้เลือดออกและปัจจัยภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่

ค่าสถิติ	จำนวนผู้ป่วย (ราย/เดือน)	ปัจจัยภูมิอากาศ		
		ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
ค่าเฉลี่ย	290	99.7	68.1	26.0
ค่ามัธยฐาน	116	80.3	70.8	26.5
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	381	98.6	12.1	2.6
ความแปรปรวน	145455	9721	146	7
พิสัย	2099	349.6	46.0	11.0
ค่าต่ำสุด	4	0.4	38.5	20.8
ค่าสูงสุด	2103	350.00	84.50	31.80
Shapiro-Wilk W	0.73	0.867	0.92	0.964
Shapiro-Wilk p-value	<0.001	<0.001	<0.001	0.003

สหสัมพันธ์จำนวนผู้ป่วยรายเดือนโรคไข้เลือดออกและภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่

ผลการวิเคราะห์ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ลำดับที่ของสเปียร์แมน (Spearman's rank correlation, rho) ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า จำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฝน ($\rho = 0.599, p < .001$) และ ความชื้นสัมพัทธ์ ($\rho = 0.689, p < 0.001$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่อุณหภูมิไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยอย่างมีนัยสำคัญ ($\rho = 0.101, p = 0.274$) แต่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณฝน ($\rho = 0.46, p < 0.001$) และเชิงลบเล็กน้อยกับความชื้นสัมพัทธ์ ($\rho = -0.099, p = 0.282$) ซึ่งไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 สหสัมพันธ์จำนวนผู้ป่วยรายเดือนโรคไข้เลือดออกและปัจจัยภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่

ปัจจัยภูมิอากาศ	สถิติ	จำนวนผู้ป่วย (ราย/เดือน)	ปัจจัยภูมิอากาศ	
			ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
ปริมาณฝน	Spearman's rho	0.599	—	—
	p-value	<0.001	—	—
ความชื้นสัมพัทธ์	Spearman's rho	0.689	0.791	—
	p-value	<0.001	<0.001	—
อุณหภูมิ	Spearman's rho	0.101	0.460	-0.099
	p-value	0.274	<0.001	0.282

ตารางที่ 3 สถิติความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุของปัจจัยภูมิอากาศ

ปัจจัยภูมิอากาศ	VIF	Tolerance
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	4.96	0.202
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	4.24	0.236
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	2.42	0.413

ผลการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นพหุ (Multicollinearity) โดยใช้ปัจจัยความแปรปรวนเพื่อ (Variance inflation factor, VIF) และ ค่าความทนทาน (Tolerance) (ตารางที่ 3) พบว่า ปริมาณฝน, ความชื้นสัมพัทธ์, และอุณหภูมิ ตัวแปรภูมิอากาศมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางถึงสูง โดยเฉพาะปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีค่า VIF เกิน 4 ซึ่งสะท้อนถึงการมี Multicollinearity อยู่บ้าง (Hair et al., 2010) แต่ยังคงอยู่ในระดับที่สามารถนำไปใช้ในตัวแบบ GLM ได้ โดยต้องตีความผลลัพธ์อย่างระมัดระวัง

การพัฒนาตัวแบบจะได้ตัวแบบที่เหมาะสมที่มีตัวแปรต้นที่เหลือน้อยโดยพิจารณาจากค่าที่ใช้วัดความไม่สอดคล้องกัน (Deviance) ค่าอัตราส่วนไค-สแควร์ต่อองศาอิสระ (Chi-squared/DF) ค่าเกณฑ์สารสนเทศของอโคเกะ (AIC) และ เกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (BIC) ต่ำที่สุด จึงเรียกชื่อตัวแบบตามจำนวนตัวแปรต้นที่เหลือน้อย 2 หรือ 3 ตัวแปร โดยใช้เลข 2 หรือ 3 ต่อท้ายชื่อตัวแบบ ได้แก่ QP2 QP3 NB2 และ NB3 จากการเปรียบเทียบคุณลักษณะของตัวแบบเชิงเส้นน้อยตัวไป (ตารางที่ 4) พบว่า ตัวแบบทวินามลบเป็นตัวแบบที่เหมาะสมในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกกับตัวแปรภูมิอากาศในจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากตัวแบบกึ่งปวซง มีค่า Deviance และ Chi-squared/DF สูงมาก จึงไม่เหมาะสมต่อการใช้ในการตีความผลลัพธ์ ส่วน NB2 มีค่าเกณฑ์สารสนเทศของอโคเกะ (AIC) และ เกณฑ์สารสนเทศเบย์เซียน (BIC) ต่ำที่สุด แสดงถึงความสอดคล้องของตัวแบบกับข้อมูลจริง (Hair et al., 2010)

การวิเคราะห์ IRR (ตารางที่ 5) ยืนยันว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เป็นตัวแปรภูมิอากาศที่มีผลต่อจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญและสอดคล้องกันในทุกตัวแบบ ขณะที่ ปริมาณฝน ไม่พบผลโดยตรงที่มีนัยสำคัญต่อจำนวนผู้ป่วยรายเดือน การตีความร่วมกับผลการเปรียบเทียบตัวแบบในตารางที่ 4 ชื่อว่า ตัวแบบทวินามลบ (NB2) เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการอธิบายความสัมพันธ์ เนื่องจากจัดการกับปัญหา overdispersion ได้ดี และให้ผล IRR ที่มีความสมเหตุสมผลและมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 คุณลักษณะตัวแบบตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไปจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกรายเดือนกับภูมิอากาศ จังหวัดเชียงใหม่

Model	QP3	QP2	NB3	NB2
ตัวแบบ	กิ่งปัวซง		ทวินามลบ	
ตัวแปรต้น				
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)	✓		✓	
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	✓	✓	✓	✓
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	✓	✓	✓	✓
Model Fit				
R ²	0.515	0.513	0.513	0.510
Adj. R ²	0.515	0.513	0.502	0.503
Chi-squared	23991	23883	100	99.3
p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Model Value				
LogLikelihood	n.a.	n.a.	-743.13	-743.49
AIC	n.a.	n.a.	1496.26	1494.98
BIC	n.a.	n.a.	1510.19	1506.13
Deviance	22564	22672	134.2	134.26
Residual DF	116	117	116	117
Chi-squared/DF	215	216	1.03	1.04
Omnibus tests				
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)				
Chi-squared	0.504	-	0.725	-
p-value	0.478	-	0.395	-
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	Rh			
Chi-squared	34.499	105.48	47.36	128.6
p-value	<.001	<.001	<.001	<.001
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
X ²	1	7.34	9.374	14.3
p-value	0.009	0.007	0.002	<0.001

หมายเหตุ: n.a. เนื่องจากตัวแบบกิ่งปัวซง ไม่มีการแจกแจงความน่าจะเป็นที่สมบูรณ์ ค่า AIC และ BIC จึงไม่สามารถคำนวณได้สำหรับตัวแบบประเภทนี้ (R Core Team, 2026.; Venables & Ripley, 2002)

ตารางที่ 5 อัตราส่วนอุบัติการณ์ของตัวแบบ

Model	QP3	QP2	NB3	NB2
ตัวแบบ	กิ่งป้าง		ทวินามลบ	
Intercept				
Exp(B)	179.094	182.48	181.965	182.43
Lower	139.064	143.06	155.116	155.45
Upper	230.650	232.77	213.46	214.09
z	40.618	42.37	63.889	63.77
p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)				
Exp(B)	0.999	-	0.998	-
Lower	0.996	-	0.995	-
Upper	1.000	-	1	-
z	-0.709	-	-0.885	-
p-value	0.478	-	0.376	-
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)				
Exp(B)	1.104	1.09	1.104	1.09
Lower	1.065	1.07	1.074	1.08
Upper	1.140	1.12	1.13	1.11
z	5.448	8.19	7.097	12.78
p-value	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
Exp(B)	1.162	1.13	1.168	1.13
Lower	1.032	1.03	1.063	1.06
Upper	1.31	1.24	1.28	1.2
z	2.512	2.63	3.22	3.87
p-value	0.012	0.008	0.001	<0.001

การอภิปรายผล

ผล IRR จากตัวแบบทวินามลบสองตัวแปร (NB2) ชี้ว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เป็นปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปริมาณฝนไม่พบผลโดยตรง การตีความนี้สามารถเชื่อมโยงกับกลไกทางชีววิทยาของยุงลาย และสอดคล้องกับงานวิจัยในบังกลาเทศและประเทศเขตร้อนอื่น ๆ ที่รายงานผลคล้ายกัน

ผลการวิเคราะห์ IRR พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 แล้ว จำนวนผู้ป่วยจะเพิ่มขึ้น ~ร้อยละ 9–10 และ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C แล้ว จำนวนผู้ป่วยจะเพิ่มขึ้น ~ร้อยละ 13–17 ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกลไกทางชีววิทยาของ *Aedes aegypti* ดังนี้

อุณหภูมิสูง (25–30 °C) ทำให้วงจรชีวิตของยุงลายสั้นลงและอัตราการวางไข่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประชากรยุงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Doeurk et al., 2025)

ความชื้นสัมพัทธ์สูง (> ร้อยละ 70) ช่วยให้ยุงมีอัตราการรอดชีวิตสูงขึ้น เนื่องจากลดการสูญเสียน้ำจากร่างกาย และเพิ่มกิจกรรมการดูดเลือด (Abu et al., 2024)

การแพร่เชื้อไวรัสเดงกี (DENV) ภายในยุงลายเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง ทำให้ระยะฟักตัวของไวรัสในยุง (Extrinsic incubation period) สั้นลง และเพิ่มโอกาสในการแพร่เชื้อสู่คน (Carrington et al., 2013)

การวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยในบังกลาเทศที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอุณหภูมิและจำนวนผู้ป่วย โดยช่วงอุณหภูมิ 28–30 °C มีจำนวนผู้ป่วยสูงสุด และความเสี่ยงเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณฝนอยู่ในระดับปานกลาง (90–360 มิลลิเมตร) (Alam et al., 2025) งานวิจัยในมาเลเซีย (Singh et al., 2022) และไทย (Kaewhan et al., 2025) รายงานผลคล้ายกันว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญต่อการแพร่ระบาดของไข้เลือดออก โดยเฉพาะในฤดูฝนที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการแพร่พันธุ์ของยุง ผลการศึกษาของจังหวัดเชียงใหม่จึงสอดคล้องกับหลักฐานสากลว่า ความชื้นและอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลัก ขณะที่ปริมาณฝนมีผลทางอ้อมผ่านการสร้างแหล่งเพาะพันธุ์ แต่ไม่ใช่ตัวแปรที่มีผลโดยตรงในตัวแบบ IRR

ข้อจำกัดของการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ตัวแบบเชิงเส้นนัยทั่วไปในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยภูมิอากาศกับอัตราอุบัติการณ์ไข้เลือดออกในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีข้อจำกัดที่สำคัญประการหนึ่งคือ การพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านภูมิอากาศ (ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ) เท่านั้น เนื่องจากเป็นข้อมูลทุติยภูมิที่สามารถเข้าถึงได้อย่างเป็นระบบและมีมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนผู้ป่วย เช่น ความเข้มข้นและประสิทธิภาพของมาตรการรณรงค์ควบคุมโรคไข้เลือดออกของหน่วยงานสาธารณสุข (เช่น การรณรงค์กำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ลูกน้ำยุงลาย การพ่นหมอกควัน) รวมถึง ปัจจัยด้านพฤติกรรมของประชาชน (เช่น การป้องกันตนเองจากยุงกัด การมีส่วนร่วมในการจัดการสิ่งแวดล้อม) และปัจจัยทางสังคมเศรษฐกิจ (เช่น ความหนาแน่นของประชากร ลักษณะที่อยู่อาศัย) การละเลยปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลให้ตัวแบบไม่สามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนผู้ป่วยได้ทั้งหมด และอาจทำให้

เกิดอคติในการประมาณค่าอิทธิพลของปัจจัยภูมิอากาศได้ ดังนั้น การนำผลการศึกษาไปใช้ควรตระหนักถึงข้อจำกัดนี้ และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมที่รวบรวมข้อมูลด้านพฤติกรรมและการดำเนินงานด้านสาธารณสุขมาวิเคราะห์ร่วมด้วย เพื่อให้ได้ตัวแบบที่สมบูรณ์และแม่นยำยิ่งขึ้นสำหรับการพยากรณ์และการวางแผนมาตรการป้องกันควบคุมโรคในพื้นที่ (Rothman et al., 2008)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลรายเดือนจำนวน 120 เดือน เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกกับตัวแปรภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณฝน ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิ โดยใช้ตัวแบบเชิงเส้นนัยทั่วไป ทั้งตัวแบบกึ่งปัวซองและตัวแบบทวินามลบ ผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวแบบ Negative binomial (NB2) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถจัดการกับปัญหา Overdispersion ได้ดี และมีค่า AIC และ BIC ต่ำที่สุด

ผลการวิเคราะห์อัตราส่วนอุบัติการณ์ (IRR) แสดงให้เห็นว่า ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ เป็นตัวแปรที่มีผลต่อจำนวนผู้ป่วยไข้เลือดออกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นร้อยละ 1 สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยประมาณร้อยละ 9–10 และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้ป่วยประมาณร้อยละ 13–17 ขณะที่ปริมาณฝนไม่พบผลโดยตรงที่มีนัยสำคัญ แต่มีบทบาททางอ้อมผ่านการสร้างแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงลาย ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับหลักฐานสากลที่รายงานในมาเลเซียและไทยว่า ความชื้นและอุณหภูมิเป็นปัจจัยหลักในการแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออก

ข้อเสนอแนะ

ด้านสาธารณสุขและการเฝ้าระวังโรค

ควรจัดทาระบบเฝ้าระวังเชิงพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักในการคาดการณ์ความเสี่ยงการระบาด ควรมีการแจ้งเตือนล่วงหน้าควรเน้นช่วงฤดูฝนที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิอยู่ในช่วงเหมาะสมต่อการแพร่พันธุ์ของยุงลาย

ด้านการควบคุมและป้องกันโรค

ควรดำเนินมาตรการกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ยุงลายอย่างเข้มข้นในช่วงที่มีความชื้นสูง มีการรณรงค์ประชาสัมพันธ์ควรเน้นการป้องกันในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงสูงต่อการแพร่ระบาด

ด้านการวิจัยต่อยอด

ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยทางสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น ความหนาแน่นประชากร และการใช้พื้นที่เมือง เพื่อเสริมความแม่นยำของตัวแบบ มีการใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และตัวแบบเชิงเวลา (Time-series models) จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการพยากรณ์การระบาดในระดับพื้นที่ย่อย

เอกสารอ้างอิง

- กองระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2569). ระบบรายงานการเฝ้าระวังโรค 506.
<http://doe1.moph.go.th/surdata/index.php>
- กรมควบคุมโรค. (2562). รายงานพยากรณ์ โรคไข้เลือดออก ปี 2562.
<https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1026720200625043825.pdf>
- พิมลภักดิ์ เดชะชัย. (2568). สสจ. เชียงใหม่ เตือน ประชาชน ระมัดระวังและป้องกันตนเองจากโรคติดต่อที่มี
ยุ่งกลายเป็นพาหะ ในระยะนี้. สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย จังหวัดเชียงใหม่.
<https://radiochiangmai.prd.go.th/th/content/category/detail/id/57/iid/413283>
- สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2569). แบบตรวจกิจกรรม/งานวิจัยเข้าข่ายการ
วิจัยในมนุษย์. <https://waa.inter.nstda.or.th/stks/pub/ori/docs/20200402-the-scientific-purposes-of-research-and-testing-in-human-inspection-form.pdf>
- Abu, A. E. I, Becker, M., Accoti, A., Sylla, M., & Dickson, L. B. (2024). Low humidity enhances Zika virus infection and dissemination in *Aedes aegypti* mosquitoes. *mSphere*, 9(8), 576075.
<https://doi.org/10.1101/2024.01.17.576075>
- Alam, K. E., Ahmed, M. J., Chalise, R., Rahman, M. A., Mathin, T. T., Bhuiyan, M. I. H., Bhandari, P., & Hossain, D. (2025). Time series analysis of dengue incidence and its association with meteorological risk factors in Bangladesh. *PLOS ONE*, 20(8), 0323238.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323238>
- Carrington, L. B., Armijos, M. V., Lambrechts, L., & Scott, T. W. (2013). Fluctuations at a low mean temperature accelerate dengue virus transmission by *Aedes aegypti*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(4), 2190. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002190>
- Doeurk, B., Leng, S., Long, Z., Maquart, P. O., & Boyer, S. (2025). Impact of temperature on survival, development and longevity of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Phnom Penh, Cambodia. *Parasites & Vectors*, 18(1), 362. <https://doi.org/10.1186/s13071-025-06892-y>
- Gallucci, M. (2019). *GAMLj: General analyses for linear models*. [jamovi module].
<https://gamlj.github.io/>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2010). *Multivariate data analysis*. (7th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Hilbe, J. M. (2014). *Modeling Count Data*. Cambridge University Press.

- Hossain, S. (2023). Generalized Linear Regression Model to Determine the Threshold Effects of Climate Variables on Dengue Fever: A Case Study on Bangladesh. *Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology*, 1, 2131801. <https://doi.org/10.1155/2023/2131801>
- Kaewhan, S., Junpha, J., & Pimpeach, W. (2025). The regional distribution of dengue fever in Thailand and other emerging countries in Southeast Asia: A literature review. *Toxicology and Environmental Health Sciences*, 17, 327–334. <https://doi.org/10.1007/s13530-025-00251-1>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2026). *POWER Data Access Viewer: Monthly climatology for Chiang Mai, Thailand (Lat 18.79, Lon 98.98) from 2015 to 2024* [Data set]. NASA Langley Research Center. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- R Core Team. (2026). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Rothman, K. J., Greenland, S., & Lash, T. L. (2008). *Modern epidemiology*. (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Sheng, L. J., Rahman, H. A. (2025). Generalized Linear Model Approach on Dengue Incidence in Selangor. In: Embong, A.F., Zainuddin, Z.M., Shabri, A., Yussof, F.N.M. (eds) *Mathematics for Sustainable Industry*. ISMI 2024. *Springer Proceedings in Mathematics & Statistics*, vol 496. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-85926-7_16
- Singh, P. S., & Chaturvedi, H. K. (2022). A retrospective study of environmental predictors of dengue in Delhi from 2015 to 2018 using the generalized linear model. *Sci Rep*, 12(1), 8109. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12164-x>
- Singh, S., Lai, C. H., Sulaiman, L. H., Wong, S. F., Jelip, J., Mokhtar, N., Harpham, Q., Tsarouchi, G., & Gill, B. S. (2022). The effects of meteorological factors on dengue cases in Malaysia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6449. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116449>
- The jamovi project. (2024). *jamovi (Version 2.5) [Computer software]*. <https://www.jamovi.org>
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with S*. (4th ed.). Springer.
- Zeileis, A., Kleiber, C., & Jackman, S. (2008). Regression models for count data in R. *Journal of Statistical Software*, 27(8), 1–25. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i08>

ปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยในมิติการเจ็บป่วยและอุบัติเหตุจากการทำงานของแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

Predictors of Occupational Health Problems: Work-Related Illnesses and Injuries among Older Adult Agricultural Workers in Mueang District, Chiang Rai Province

มนีรัตน์ สวนม่วง, พัทธนิชย์ คำธาร และ อารีย์ จอแย*

Maneerat Suanmuang, Phatanit Khamthan and Aree Choyae*

คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Faculty of Public Health, Chiang Rai Rajabhat University

E-mail: maneerat.sua@crru.ac.th, em_phatanit_k@crru.ac.th and choyae@hotmail.com*

*Corresponding author

(Received: 24 February 2026, Revised: 13 May 2026, Accepted: 14 May 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1647>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยและศึกษาปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย การดำเนินการวิจัยเป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง ในกลุ่มตัวอย่างแรงงานเกษตรกรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 360 คน ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความตรงและวิเคราะห์ความเชื่อมั่น วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติอนุมาน ได้แก่ Multiple logistic regression โดยกำหนดนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการวิจัยพบว่า สภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานของแรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม โดยรวมอยู่ในระดับปลอดภัย จำนวน 202 คน (ร้อยละ 56.11) ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม โดยรวมอยู่ในระดับมีปัญหา จำนวน 187 คน (ร้อยละ 51.95) เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยทำนายพบว่ามี 3 ปัจจัยหลักที่สามารถทำนายการเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ 1) ปัจจัยด้านการอบรม โดยแรงงานที่ไม่เคยได้รับการอบรมด้านความปลอดภัยมีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหามากกว่ากลุ่มที่เคยได้รับการอบรมถึง 4.02 เท่า (Adjusted OR = 4.016, 95% CI = 2.525–6.369, $p < 0.001$) 2) ปัจจัยด้านการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช มีความเสี่ยงเป็น 2.00 เท่า (Adjusted OR = 1.998, 95% CI = 1.232–3.240, $p = 0.005$) และ 3) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการทำงานที่ไม่ปลอดภัย มีความเสี่ยงสูงเป็น 2.34 เท่า (Adjusted OR = 2.336, 95% CI = 1.464–3.731, $p < 0.001$) ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการจัดการสภาพแวดล้อมทางกายภาพควบคู่ไปกับการจัด

โปรแกรมอบรมเชิงปฏิบัติการที่สอดคล้องกับวิถีชีวิตและการควบคุมการใช้สารเคมีอย่างปลอดภัย จัดเป็นกลไกสำคัญในการลดความเสี่ยงและส่งเสริมคุณภาพชีวิตการทำงานของเกษตรกรสูงอายุในพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: แรงงานสูงอายุ อาชีวนามัยและความปลอดภัย งานเกษตรกรรม

Abstract

The objectives of this research were to examine occupational health and safety problems and to identify the predictors of these problems among older adult agricultural workers in Mueang District, Chiang Rai Province. A cross-sectional descriptive study was conducted with a sample of 360 farmers aged 60 years and older, selected through a multi-stage random sampling technique. Data were collected using a validated and reliable questionnaire. Statistical analysis included descriptive statistics and inferential statistics, utilizing multiple logistic regression with a significance level of 0.05. The results revealed that the overall work environment and safety behaviors among older adult agricultural workers were at a safe level for 202 participants (56.11%). Regarding occupational health and safety problems, 187 participants (51.95%) reported experiencing problems. Multivariable analysis identified three significant predictors of occupational health problems 1) Safety training: workers who had never received safety training were 4.02 times more likely to experience problems compared to those who had been trained (Adjusted OR = 4.016, 95% CI = 2.525–6.369, $p < 0.001$) 2) Pesticide use: users were 2.00 times more likely to experience problems (Adjusted OR = 1.998, 95% CI = 1.232–3.240, $p = 0.005$); and 3) Unsafe work environment and behaviors: these increased the risk by 2.34 times (Adjusted OR = 2.336, 95% CI = 1.464–3.731, $p < 0.001$). The findings suggest that managing the physical environment in conjunction with implementing workshop-based training programs tailored to their lifestyles and ensuring safe chemical control are crucial mechanisms. These interventions effectively reduce health risks and enhance the quality of work life for older adult farmers in the area.

Keywords: Older adult worker, Occupational health and safety, Agricultural work

บทนำ

รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุชี้ว่า ประเทศไทยมีแนวโน้มเข้าสู่ภาวะสังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ในปี พ.ศ. 2566 และอาจพัฒนาไปเป็นสังคมสูงวัยระดับสุดยอด (Super-Aged society) ภายในเวลา 10 ปีข้างหน้า โดยคาดว่าประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปจะคิดเป็นร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด หรือประมาณหนึ่งในสี่ ของประชากรในประเทศ การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชากรเช่นนี้ส่งผลสำคัญต่อการพัฒนาประเทศใน หลายหลายมิติ โดยเฉพาะด้านเศรษฐกิจและสังคม ซึ่งมีผลให้ผู้สูงอายุจำนวนมากจำเป็นต้องทำงานต่อไป ทั้งในรูปแบบการประกอบอาชีพอิสระหรือการช่วยธุรกิจครัวเรือน (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริม สุขภาพ, 2565) และจากข้อมูลทางสถิติ พบว่า มีผู้สูงอายุที่เป็นแรงงานนอกระบบหรือไม่ได้รับความคุ้มครอง และไม่มีหลักประกันทางสังคมจากการทำงาน มีจำนวนสูงถึง 4.10 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 86.4 ของแรงงาน ผู้สูงอายุทั้งหมด โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2565) ทั้งนี้ ผู้สูงอายุที่ยัง ต้องประกอบอาชีพส่วนใหญ่มักทำงานในภาคการเกษตรและประมง ซึ่งเป็นกลุ่มอาชีพที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพ และความปลอดภัยในการทำงาน เป็นผลให้เกิดผลกระทบทางสุขภาพที่อาจสะสมและรุนแรงขึ้นในระยะยาว

แรงงานผู้สูงอายุต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมการทำงานที่มีความเสี่ยง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงงานนอก ระบบ ซึ่งมักขาดการกำกับดูแลและขาดการคุ้มครองด้านอาชีวอนามัย ส่งผลให้กลุ่มนี้ต้องเผชิญปัญหาสุขภาพ และความปลอดภัยในการทำงานอย่างต่อเนื่อง (International labour organization, 2019) จากการศึกษา เอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า สภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่ปลอดภัยเป็นปัจจัยสำคัญที่คุกคามสุขภาพแรงงาน นอกระบบ โดยปัจจัยเสี่ยงที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ ปัจจัยทางกายภาพ เช่น เสียงดังและความร้อน ปัจจัยทางเคมี เช่น ฝุ่นและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ปัจจัยทางชีวภาพ เช่น เชื้อโรคและสารก่อการระคายเคือง รวมทั้งปัจจัยด้านการยศาสตร์ซึ่งเกิดจากท่าทางในการทำงานที่ไม่เหมาะสม (Occupational safety and health administration, 2019) จากการศึกษาของวิทย์ เพชรเลียบ (2564) พบว่า อุบัติเหตุจากการทำงาน ของเกษตรกรสูงอายุ ตำบลพุดซา อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ส่วนใหญ่เกิดจากสิ่งของตัด บาด ทิ่มแทง ร้อยละ 51.60 รองลงมาคือ ลื่น หกล้ม ร้อยละ 45.20 ระดับความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่ไม่ถึง ขันหยุดงาน นอกจากนี้ พบว่าแรงงานจำนวนมากต้องทำงานในพื้นที่ที่มีแสงจ้าเกินไป ร้อยละ 59.50 จน นำไปสู่อาการทางสายตา เช่น แสบตา น้ำตาไหล ตาแดง และปวดตา ในสัดส่วนร้อยละ 30.0 ข้อมูลเหล่านี้ ชี้ให้เห็นว่าแรงงานผู้สูงอายุยังจำเป็นต้องทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยและบาดเจ็บ จากการงานในระดับสูง (รจธร อินทรตุล และคณะ, 2562)

สำหรับพื้นที่ภาคเหนือ จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2566 พบว่า จำนวนแรงงานผู้สูงอายุในภูมิภาคนี้มี ประมาณ 1.2 ล้านคน ซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 58 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2556 ที่มีแรงงานผู้สูงอายุต่ำกว่า 0.7 ล้านคน ทั้งนี้ การเพิ่มขึ้นของแรงงานผู้สูงอายุสังเกตได้ในทุกจังหวัด โดยสามจังหวัดที่มีจำนวนแรงงานผู้สูงอายุ มากที่สุด ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย และพิษณุโลก ตามลำดับ (ศิริรัตดา ปรีชาและคณะ, 2566) สำหรับจังหวัด เชียงราย มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรผู้สูงอายุอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2565 ผู้สูงอายุคิดเป็นร้อย ละ 21.40 ของประชากรทั้งหมด และเพิ่มขึ้นทุกปี (สำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัด

เชียงราย, 2566) สถานการณ์ดังกล่าวสะท้อนถึงบริบทของสังคมสูงวัยในพื้นที่ ซึ่งแรงงานผู้สูงอายุจำนวนมากยังขาดสวัสดิการและการป้องกันคุ้มครองที่เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ กลุ่มแรงงานสูงวัยจึงควรถูกกำหนดให้เป็นเป้าหมายสำคัญที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรติดตามประเมิน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือผ่านการพัฒนาทักษะการประกอบอาชีพและส่งเสริมสุขภาพอย่างเป็นระบบ (คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการ จังหวัดเชียงราย, 2564)

อย่างไรก็ตาม แม้จะมีหลักฐานเชิงวิชาการยืนยันถึงความเสี่ยงในกลุ่มแรงงานเกษตรกรโดยภาพรวม การศึกษาที่เจาะลึกถึงปัจจัยเชิงลึกในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุในภาคเกษตรกรรมของจังหวัดเชียงรายยังคงมีอยู่อย่างจำกัด ข้อมูลที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นเพียงการสำรวจในระดับกว้าง ซึ่งไม่สามารถสะท้อนบริบทเฉพาะด้านพื้นที่ ภูมิประเทศ และวัฒนธรรมการทำงานของเกษตรกรในเขตพื้นที่สูงได้อย่างชัดเจน และหลักฐานเชิงปริมาณเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสภาพแวดล้อมทางกายภาพ พฤติกรรมการทำงานที่ปลอดภัย และปัญหาด้านอาชีวอนามัยยังขาดแคลน ทำให้การกำหนดมาตรการเชิงรุกเพื่อป้องกันความเสี่ยงทำได้ยาก ดังนั้น คณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความจำเป็นในการศึกษาสภาพแวดล้อมการทำงาน พฤติกรรมการทำงานและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานผู้สูงอายุในภาคเกษตรกรรมจังหวัดเชียงราย ทั้งนี้ เพื่อให้เห็นภาพรวมของผลกระทบที่ชัดเจน คณะผู้วิจัยจึงนิยาม ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ในการศึกษาครั้งนี้ โดยครอบคลุมทั้งในมิติของการเจ็บป่วยจากการทำงาน เช่น โรคระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ หรือความเป็นพิษจากสารเคมี และอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงาน เช่น การถูกของมีคมบาดและอุบัติเหตุจากการใช้เครื่องจักรทางการเกษตร เพื่อให้ตัวแปรตามทั้งสองมิติสะท้อนถึงบริบทความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยคุกคามและการจัดการความเสี่ยงในแรงงานกลุ่มผู้สูงอายุได้อย่างเป็นรูปธรรม การศึกษานี้จึงมีเป้าหมายเพื่อเสนอแนะเชิงนโยบาย รวมถึงการออกแบบกิจกรรมจัดการความเสี่ยงที่สอดคล้องกับข้อจำกัดทางสรีรวิทยาและวิถีชีวิตของกลุ่มเกษตรกรผู้สูงวัย ผลลัพธ์ที่ได้จะมีส่วนช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตของแรงงานกลุ่มเปราะบางให้มีความมั่นคงยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับหน่วยงานสาธารณสุขในพื้นที่ เพื่อวางรากฐานระบบอาชีวอนามัยชุมชนที่ยั่งยืนในอนาคต

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรมอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
2. เพื่อศึกษาปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยในมิติการเจ็บป่วยและอุบัติเหตุจากการทำงานในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ แรงงานผู้สูงอายุที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เนื่องจากข้อมูลสถิติล่าสุดระบุจำนวนผู้สูงอายุในพื้นที่รวมทั้งสิ้น 47,446 คน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2567) แต่ไม่ปรากฏจำนวนผู้ที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมที่แน่ชัด ผู้วิจัยจึงดำเนินการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างจากสูตรไม่ทราบค่าประชากร (Wayne, 1995)

$$n = \frac{P(1 - P) Z^2}{d^2}$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

Z = ค่าที่ใช้แจกแจงความถี่ที่ระดับความเชื่อมั่น (การวิจัยครั้งนี้ใช้ระดับความเชื่อมั่น 95 % = 1.96)

d = ค่าความคลาดเคลื่อน (0.05)

P = สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยต้องการสุ่ม (การวิจัยครั้งนี้ใช้ค่า 0.3 เพื่อให้ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์และชดเชยค่าความคลาดเคลื่อนจากการสุ่มแบบหลายขั้นตอน)

จากการคำนวณขนาดตัวอย่าง ต้องใช้ตัวอย่างไม่น้อยกว่า 322 คน จึงถือว่ามีความเหมาะสมเพียงพอที่จะใช้แทนประชากรได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างเป็น 360 คน

ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน (Multistage sampling) เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของประชากรในเขตพื้นที่จังหวัดเชียงราย ดังนี้

1. การสุ่มพื้นที่ (Area sampling) ผู้วิจัยคัดเลือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเป็นศูนย์กลางเขตเศรษฐกิจและเกษตรกรรมที่มีลักษณะประชากรหลากหลาย

2. การสุ่มจำแนกตามเขตการปกครอง (Stratified stage) แบ่งพื้นที่ตามลักษณะการปกครอง ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เขตเทศบาลตำบล และเขตองค์การบริหารส่วนตำบล เพื่อให้ครอบคลุมบริบทสังคมเมืองและสังคมเกษตรชนบท

3. การสุ่มตำบล (Cluster sampling) ดำเนินการสุ่มอย่างง่าย (Simple random sampling) โดยวิธีการจับฉลากเลือกตำบลจากแต่ละเขตการปกครอง เขตละ 3 ตำบล รวมทั้งสิ้น 6 ตำบล ได้แก่ บ้านดู่, แม่ยาว, ป่าอ้อดอนชัย, แม่ข้าวต้ม, แม่กรณ์และริมกก (เฉพาะนอกเขตเทศบาลนครเชียงราย)

4. การกำหนดขนาดตัวอย่างรายพื้นที่ (Quota sampling) ผู้วิจัยจัดสรรสัดส่วนกลุ่มตัวอย่างให้แต่ละตำบลในจำนวนที่เท่ากัน ตำบลละ 60 คน เพื่อให้เกิดความสมดุลของข้อมูลในการวิเคราะห์สถิติ

ผู้วิจัยลงพื้นที่เพื่อศึกษาข้อมูลการประกอบอาชีพเกษตรกรรมในกลุ่มผู้สูงอายุ จากผู้นำชุมชนในพื้นที่ และใช้การมีส่วนร่วมของตัวแทนผู้นำชุมชน ประธานชมรมผู้สูงอายุ เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เพื่อร่วมกันพิจารณาเลือกกลุ่มตัวอย่าง โดยมีเกณฑ์คัดเลือก ดังนี้

1. เป็นผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป
2. เป็นผู้ประกอบอาชีพเกษตรกรรม
3. สามารถให้ข้อมูลได้และยินดีให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

แบบสอบถามที่ได้จากการศึกษา ทบทวนเอกสาร งานวิจัย วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องและดัดแปลงจาก เครื่องมืองานวิจัยของ จันจิราภรณ์ จันตะ, 2562. เพื่อให้เข้ากับบริบทของพื้นที่จังหวัดเชียงราย ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล จำนวน 8 ข้อ ประกอบด้วย เพศ อายุ การศึกษา สถานภาพ ประสพการณ์ พื้นที่ทำการเกษตร การใช้สารเคมี และการอบรม

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยในการประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 15 ข้อ แบ่งเป็น 2 หมวด ได้แก่ สิ่งแวดล้อมและสภาพการทำงานที่ไม่ปลอดภัย 7 ข้อ และ พฤติกรรมการทำงานที่ไม่ปลอดภัย 8 ข้อ มีตัวเลือกตอบเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ไม่จริง, จริงบางครั้ง, จริงมาก และแปลผลตามเกณฑ์ของ Best (1997) คือ 1.00–1.66 หมายถึงเสี่ยงเล็กน้อย, 1.67–2.33 หมายถึงเสี่ยงปานกลาง, และ 2.34–3.00 หมายถึงเสี่ยงมาก ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดกลุ่มตัวแปรใหม่ (Recode) จากข้อมูลที่มีการวัดระดับเดิม 3 ระดับ ให้เป็นตัวแปรกลุ่ม 2 ระดับ (Binary group) แปลผล คือ คะแนน 24-45 จัดเป็นกลุ่ม “ไม่ปลอดภัย” และคะแนน 15-23 จัดเป็นกลุ่ม “ปลอดภัย”

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ประกอบด้วยข้อคำถามจำนวน 20 ข้อ แบ่งเป็น 2 หมวด ได้แก่ การเจ็บป่วยจากการทำงาน 10 ข้อ และอุบัติเหตุจากการทำงาน 10 ข้อ แปลผลเป็น 3 ระดับ (ไม่เคย, บางครั้ง, เป็นประจำ) และแปลผลตามเกณฑ์ของ Best (1997) คือ 1.00–1.66 หมายถึงเสี่ยงเล็กน้อย, 1.67–2.33 หมายถึงเสี่ยงปานกลาง, และ 2.34–3.00 หมายถึงเสี่ยงมาก จากข้อมูลที่มีการวัดระดับเดิม 3 ระดับ ให้เป็นตัวแปรกลุ่ม 2 ระดับ (Binary group) แปลผล คือ คะแนน 34-60 จัดเป็นกลุ่ม “มีปัญหา” และคะแนน 20-33 จัดเป็นกลุ่ม “ไม่มีปัญหา”

การวิเคราะห์คุณภาพเครื่องมือ

1. ผู้วิจัยนำแบบสอบถามเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความตรงตามเนื้อหา (Content validity) ความครอบคลุม และความชัดเจนของภาษา โดยผลการพิจารณาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามและวัตถุประสงค์ (Item-Objective congruence index: IOC) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.67–1.00 ทุกข้อ

2. การทดสอบความเที่ยง (Reliability) ของแบบสอบถาม ผู้วิจัยนำแบบสอบถามไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่คล้ายคลึงกันในพื้นที่อื่น จำนวน 30 คน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติ (Cronbach's alpha) พบว่า

- ค่า Reliability test ของแบบสอบถามส่วนที่ 2 แบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยในการทำงาน มีค่า = 0.83

- ค่า Reliability test ของแบบสอบถามส่วนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย มีค่า = 0.88

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เริ่มจากการประชุมวางแผน จากนั้นพัฒนาเครื่องมือเก็บข้อมูลให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ หลังจากนั้นดำเนินการขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ พร้อมทั้งประสานงานกับผู้นำชุมชนเพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ ขออนุญาตเข้าพื้นที่ และนัดหมายการเก็บข้อมูล ต่อมาผู้วิจัยจัดประชุมกับตัวแทนชุมชนเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์ที่กำหนด และกำหนดวันเก็บข้อมูลจริง โดยมีตัวแทนชุมชนร่วมทีมดำเนินการเก็บแบบสอบถาม หลังเก็บข้อมูลเสร็จสิ้น ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลสภาพแวดล้อมและความปลอดภัยในการทำงานและปัญหาอาชีพอนามัยและความปลอดภัย วิเคราะห์โดยสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีพอนามัยและความปลอดภัย ในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม จังหวัดเชียงราย วิเคราะห์โดยใช้สถิติถดถอยลอจิสติก (Logistic regression) ในรูปของ Odds ratio

จริยธรรมในการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผ่านการรับรองโครงการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์สำนักงานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเชียงราย กระทรวงสาธารณสุข รหัสโครงการ 104/2567 หมายเลขรับรอง CRPPHO 94/2567 ตั้งแต่วันที่ 9 ตุลาคม 2567 – 8 ตุลาคม 2568

ผลการวิจัย

แรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 59.72 อายุเฉลี่ย 66.67 ± 4.83 ส่วนใหญ่จบการศึกษาไม่เกินระดับประถม ร้อยละ 80.56 มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 75.00 มีประสบการณ์ทำเกษตรกรรมมากกว่า 10 ปีขึ้นไป ร้อยละ 56.67 มีพื้นที่ทำการเกษตร ไม่เกิน 5 ไร่ ร้อยละ 63.61 มีการใช้สารเคมี ในการทำการเกษตร ร้อยละ 55.28 และเคยได้รับการอบรม ร้อยละ 51.11 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 ข้อมูลส่วนบุคคล (n=360คน)

ข้อมูลส่วนบุคคล	ความถี่	ร้อยละ
เพศ		
ชาย	215	59.72
หญิง	145	40.28
อายุ (66.67 ± 4.83 ปี max= 89, min= 60)		
60-65 ปี	156	43.33
65 ปีขึ้นไป	204	56.67
การศึกษา		
ไม่เกินประถม	290	80.56
สูงกว่าประถม	70	19.44
สถานภาพ		
โสด/หม้าย/หย่าร้าง	90	25.00
สมรส	270	75.00
ประสบการณ์		
1-10 ปี	156	43.33
มากกว่า 10 ปีขึ้นไป	204	56.67
พื้นที่ทำเกษตร		
1-5 ไร่	229	63.61
มากกว่า 5 ไร่ขึ้นไป	131	36.39
การใช้สารเคมี		
ใช้	199	55.28
ไม่ใช้	161	44.72
การอบรม		
เคย	184	51.11
ไม่เคย	176	48.89

แรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่ มีระดับสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานอยู่ในระดับปลอดภัย จำนวน 202 คน (ร้อยละ 56.11) ในขณะที่ 158 คน (ร้อยละ 43.89) อยู่ในระดับไม่ปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 ระดับสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน (n=360คน)

ระดับ	จำนวน (%)
ไม่ปลอดภัย (24-45 คะแนน)	158 (43.89)
ปลอดภัย (15-23 คะแนน)	202 (56.11)
Mean= 24, S.D= 4.59, Max= 39, Min=16	

แรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่มีปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย จำนวน 187คน (ร้อยละ 51.95) ในขณะที่ 173 คน (ร้อยละ 48.05) พบว่าไม่มีปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 3 ระดับปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (n=360คน)

ระดับ	จำนวน (%)
มีปัญหา (34-60 คะแนน)	187 (51.95)
ไม่มีปัญหา (20-33 คะแนน)	173 (48.05)
Mean= 34.46, S.D= 4.72, Max= 53, Min=24	

จากการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงเบื้องต้น (Crude analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์รายปัจจัยต่อปัญหาอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม พบว่า มีปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ปัจจัยด้านการอบรม มีความสัมพันธ์กับปัญหาอาชีวอนามัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยเกษตรกรที่ไม่เคยได้รับการอบรม มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 4.27 เท่า (COR = 4.269, 95% CI = 2.748–6.632) เมื่อเทียบกับเกษตรกรที่เคยได้รับการอบรม ปัจจัยด้านการใช้สารเคมี พบว่ามีความสัมพันธ์กับปัญหาอาชีวอนามัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยเกษตรกรที่มีการใช้สารเคมี มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 2.40 เท่า (COR = 2.404, 95% CI = 1.542–3.749) เมื่อเทียบกับเกษตรกรที่ไม่มีการใช้สารเคมี และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน พบว่ามีความสัมพันธ์กับปัญหาอาชีวอนามัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยเกษตรกรที่มีสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงานที่ไม่ปลอดภัย มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 3.17 เท่า (COR = 3.167, 95% CI = 2.040–4.916) เมื่อเทียบกับเกษตรกรที่มีสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมในการทำงานที่ปลอดภัย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตาราง 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (n=360คน)

ปัจจัย	ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย		Crude odds ratio	95% CI	p-value
	มีปัญหา	ไม่มีปัญหา			
เพศ					
ชาย	90 (41.90)	125 (58.10)	1.609	0.979-2.645	0.061
หญิง	83 (57.20)	62 (42.80)			
อายุ					
60-65 ปี	75 (48.10)	81 (51.90)	0.745	0.461 – 1.193	0.218
มากกว่า 65 ปี	98 (48.00)	106 (52.00)			
สถานภาพ					
โสด/หย่าร้าง	46 (51.10)	44 (48.90)	1.086	0.617 – 1.910	0.775
สมรส	127 (47.00)	143 (53.00)			
การศึกษา					
ไม่เกินประถม	135 (46.60)	155 (53.40)	1.398	0.774-2.524	0.267
สูงกว่าประถม	38 (54.40)	32 (45.60)			
ประสบการณ์					
1-10 ปี	91 (58.30)	65 (41.70)	0.597	0.355– 1.002	0.051
มากกว่า 10 ปี	82 (40.20)	122 (59.80)			
พื้นที่เกษตร					
1-5 ไร่	108 (47.20)	121 (52.80)	1.527	0.860-2.713	0.149
มากกว่า 5 ไร่	65 (49.60)	66 (50.40)			
การอบรม					
เคย	61 (33.20)	123 (66.80)	0.295	0.180-0.481	0.001*
ไม่เคย	112 (63.60)	64 (36.40)			
การใช้สารเคมี					
ใช้	99 (49.70)	100 (50.30)	1.895	1.100-3.265	0.021*
ไม่ใช้	74 (46.00)	87 (54.00)			
สภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน					
ปลอดภัย	47 (37.60)	78 (62.40)	0.390	0.240-0.636	0.001*
ไม่ปลอดภัย	126 (53.60)	109 (46.40)			

การทดสอบปัจจัยที่หลาย ๆ ตัวแปรพร้อมกัน โดยคัดเลือกปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องแต่ละตัวที่มีค่า $p < 0.05$ ซึ่งมีจำนวน 3 ตัวแปร ได้แก่ การอบรม การใช้สารเคมี และสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน พบว่า เกษตรกรผู้สูงอายุที่ไม่เคยได้รับการอบรม มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 4.02 เท่า ของเกษตรกรที่เคยได้รับการอบรม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 (AOR = 4.016, 95% CI = 2.525–6.369) เกษตรกรที่มีการใช้สารเคมี มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 2.00 เท่า ของเกษตรกรที่

ไม่มีการใช้สารเคมี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.005 (AOR = 1.998, 95% CI = 1.232–3.240) และเกษตรกรที่มีสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการทำงานที่ไม่ปลอดภัย มีโอกาสเกิดปัญหาอาชีวอนามัยเป็น 2.34 เท่าของเกษตรกรที่มีสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการทำงานที่ปลอดภัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 (AOR = 2.336, 95% CI = 1.464–3.731) ดังแสดงในตารางที่ 5

ตาราง 5 การทดสอบปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย

ปัจจัย	B (สัมประสิทธิ์)	Adjusted odds ratio	95% CI	p-value
- การเคຍอบรม	-1.389	0.249	0.157-0.396	0.001*
- การใช้สารเคมี	0.692	1.998	1.232-3.240	0.005*
- สภาพแวดล้อมและพฤติกรรมที่ไม่ปลอดภัย	-0.849	0.428	0.268-0.683	0.001*

การอภิปรายผล

ปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานสูงอายุในภาคเกษตรกรรม ส่วนใหญ่มีปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ในมิติการเจ็บป่วยและอุบัติเหตุ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Preston & Biddell (2021) ที่กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาในผู้สูงอายุเป็นผลมาจากกระบวนการตามธรรมชาติร่วมกับการเจ็บป่วยด้วยโรคเรื้อรังหลายชนิดหรือภาวะเปราะบาง เมื่อร่างกายเข้าสู่ภาวะสูงวัย ความเสื่อมของมวลกล้ามเนื้อและความหนาแน่นของกระดูกจะลดลง ส่งผลให้ขีดความสามารถในการทนทานต่อการทำงานที่ต้องใช้ร่างกายซ้ำซากหรือการอยู่ในท่าทางที่ไม่เหมาะสมลดน้อยลง ซึ่งในการทำการเกษตรส่วนใหญ่ผู้สูงอายุต้องใช้แรงในการทำงาน ตั้งแต่กระบวนการปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว หรือแม้แต่การเดินในพื้นที่ทำการเกษตรที่มีสภาพแวดล้อมไม่เอื้ออำนวย อาจทำให้ความสามารถในการรับมือกับปัจจัยคุกคามหรือประสิทธิภาพการทำงานลดลงได้ จนอาจนำไปสู่การเจ็บป่วยและการเกิดอุบัติเหตุในการทำงานเกษตรกรรมได้ และสอดคล้องกับการศึกษาของ สาลี อินทร์เจริญ และคณะ (2566) ที่ทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการทำงานของแรงงานสูงอายุนอกระบบในภาคใต้ของประเทศไทย พบว่า ความเสี่ยงทางสุขภาพจากการประกอบอาชีพของแรงงานนอกระบบกลุ่มผู้สูงอายุภาคใต้ อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง โดยมีสิ่งคุกคามทางด้านการยศาสตร์มากที่สุด ใน 3 กลุ่มอาชีพ ซึ่ง 1 ใน 3 อาชีพที่พบนั้น เป็นอาชีพชาวสวน จะเห็นได้ว่าการทำเกษตร ยังคงมีปัญหาด้านอาชีวอนามัยเช่นกัน ปัญหาด้านอาชีวอนามัยที่พบในกลุ่มเกษตรกรผู้สูงอายุ สามารถอธิบายได้ด้วย ทฤษฎีโดมิโนของ Heinrich ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอุบัติเหตุและการบาดเจ็บไม่ได้เกิดขึ้นโดยลำพัง แต่เป็นผลมาจากลำดับเหตุการณ์ที่ต่อเนื่องกันเหมือนโดมิโน โดยเฉพาะในโดมิโน ตัวที่ 3 คือ การกระทำหรือสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe act or condition) สอดคล้องกับบริบทการทำงานของเกษตรกรในจังหวัดเชียงราย ที่ต้องเผชิญกับสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัย เช่น พื้นที่ลาดชันหรือลื่น ประกอบกับพฤติกรรม

ความเคยชินในการทำงานที่ขาดการป้องกัน ซึ่ง Whitney DeCamp & Herskovitz (2015) ระบุว่าระยะนี้สัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด

ปัจจัยทำนายปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย ในกลุ่มแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอมือง จังหวัดเชียงราย มีดังนี้ ปัจจัยด้านการอบรม เป็นปัจจัยทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Adjusted OR = 4.016, 95% CI = 2.525–6.369, $p < 0.001$) โดยแรงงานเกษตรกรผู้สูงอายุที่ไม่เคยได้รับการอบรมมีโอกาสเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยมากกว่ากลุ่มที่เคยได้รับการอบรมสูงถึง 4.02 เท่า ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า การไม่เคยได้รับการอบรมจัดเป็นปัจจัยเสี่ยง (Risk factor) ที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการเกิดอุบัติเหตุทางสุขภาพในแรงงานเกษตรกรผู้สูงอายุ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษานี้ขัดแย้งกับการศึกษาของ วิทชัย เพชรليب (2564) ที่พบว่า การอบรมด้านความปลอดภัยในเกษตรกรสูงอายุ ตำบลพุดซา อำเภอมือง จังหวัดนครราชสีมา ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงาน ทั้งนี้อาจอธิบายได้จากความแตกต่างของรูปแบบ เนื้อหา หรือประสิทธิภาพของการจัดอบรมในแต่ละพื้นที่ รวมถึงความแตกต่างด้านบริบทการทำงานของกลุ่มตัวอย่าง ในเชิงทฤษฎี ผลการศึกษานี้สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองความเชื่อด้านสุขภาพ (Health belief model) ของ Rosenstock (1974) โดยการอบรมทำหน้าที่เป็นสิ่งที่กระตุ้นให้เกิดการปฏิบัติ (Cues to action) ที่ช่วยให้แรงงานสูงอายุเกิดการรับรู้ความเสี่ยง (Perceived susceptibility) และความรุนแรงของอันตราย (Perceived severity) จากการทำงาน เกษตรกรรม เมื่อบุคคลตระหนักถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในวัยสูงอายุ ย่อมนำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานให้ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ในทางตรงกันข้าม ผู้ที่ไม่เคยได้รับการอบรมอาจขาดการรับรู้ดังกล่าว จึงยังคงใช้วิธีการทำงานแบบเดิมส่งผลให้เกิดการสะสมความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานจนนำไปสู่ปัญหาอาชีวอนามัยที่เป็นรูปธรรม ทั้งในมิติของการเจ็บป่วยจากการทำงาน เช่น อาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ หรืออุบัติเหตุเฉียบพลันจากการทำงาน เช่น การพลัดตกหกล้มและการถูกของมีคมบาด ดังนั้น การได้รับความรู้จึงมิใช่เพียงการรับข้อมูล แต่คือการลดโอกาสในการสัมผัสปัจจัยคุกคามทางสุขภาพ (Exposure reduction) เพื่อป้องกันผลลัพธ์ทางสุขภาพเชิงลบที่จะเกิดขึ้นตามมา ในบริบทของภาคการเกษตรไทย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการทำงานแบบอิสระและขาดระบบการจัดการความปลอดภัยอย่างเป็นทางการ การอบรมจึงถือเป็นกลไกสำคัญในการทดแทนระบบบริหารจัดการด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย นอกจากนี้การศึกษาของจุฑามาศ ศรีमानนท์และคณะ (2564) ยังพบว่า หลังจากเกษตรกรได้รับโปรแกรมปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการทำงานป้องกันตนเองจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช กลุ่มตัวอย่างมีคะแนนพฤติกรรมในการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นมากกว่าก่อนได้รับโปรแกรมฯ อย่างชัดเจน ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่เหมาะสมกับบริบทของแรงงานเกษตร สามารถกระตุ้นให้เกิดความตระหนักและนำไปสู่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมความปลอดภัยที่ยั่งยืนได้

ปัจจัยด้านการใช้สารเคมี เป็นปัจจัยทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Adjusted OR = 1.998, 95%CI = 1.232–3.240, $p = 0.005$) โดยแรงงานเกษตรกรผู้สูงอายุที่มีการใช้สารเคมี มีโอกาสเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยมากกว่ากลุ่มที่ไม่ใช้สารเคมี

ถึง 2.00 เท่า ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการสัมผัสสารเคมีกำจัดศัตรูพืชถือเป็นปัจจัยเสี่ยง (Risk factor) สำคัญที่เพิ่มโอกาสการเกิดความผิดปกติหรือปัญหาสุขภาพในกลุ่มเกษตรกรผู้สูงอายุอย่างชัดเจน สอดคล้องกับการศึกษาของวรลักษณ์ สมบูรณ์นาดี และคณะ (2568) ซึ่งพบว่า การสัมผัสสิ่งคุกคามด้านเคมีมีความสัมพันธ์กับการเกิดปัญหาสุขภาพที่เพิ่มขึ้น โดยความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับความถี่ในการใช้สารเคมี ระยะเวลาในการสัมผัส และคุณสมบัติของสารเคมีแต่ละชนิด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนมีบทบาทสำคัญต่อการแสดงอาการทางสุขภาพของเกษตรกร นอกจากนี้การศึกษาของวันปิติ ธรรมศรี (2564) ยังระบุว่า พฤติกรรมในการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรไทย ส่วนใหญ่มีความไม่เหมาะสมและขาดความรู้ มาตรการระวังในการใช้งานที่ถูกต้อง รวมถึงมีใช้สารเคมีเกินปริมาณที่กำหนด และโดยสารเคมีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางผิวหนัง ทางหายใจและทางการกลืนกินโดยไม่ตั้งใจขณะปฏิบัติงาน ส่งผลให้เกิดการสะสมสารพิษในร่างกาย โดยเฉพาะในผู้สูงอายุซึ่งมีความสามารถในการกำจัดสารพิษลดลงตามวัย จนนำไปสู่ปัญหาด้านอาชีวอนามัยที่พบได้บ่อยอย่างเป็นรูปธรรม เช่น อาการเวียนศีรษะ หน้ามืด คลื่นไส้ และผื่นคันตามผิวหนัง อีกทั้ง การศึกษาของปิยนุช ยอดสมสวย และคณะ (2568) พบว่า เกษตรกรทำนาตำบลพระอาจารย์ อำเภองครักษ์ จังหวัดนครนายก มีการตกค้างของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชในเลือดอยู่ในระดับมีความเสี่ยงถึงร้อยละ 44.14 และระดับไม่ปลอดภัยถึงร้อยละ 36.55 นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมหลังการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชมีความสัมพันธ์ทางบวกกับระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสในเลือดเกษตรกรอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการศึกษาอาจแสดงให้เห็นว่า หากแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรมในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีพฤติกรรมการใช้สารเคมีที่ไม่เหมาะสมหรือขาดความรู้ มาตรการระวัง อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและเพิ่มความเสี่ยงต่อปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยได้ในระยะยาว

ปัจจัยสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน เป็นปัจจัยทำนายที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อการเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Adjusted OR = 2.336, 95% CI: 1.464–3.731, $p < 0.001$) โดยเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงในกลุ่มที่ทำงานในสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมที่ไม่ปลอดภัย พบว่ามีโอกาสเกิดปัญหาด้านอาชีวอนามัยมากกว่ากลุ่มที่ปลอดภัยถึง 2.34 เท่า แสดงให้เห็นว่าความไม่ปลอดภัยของพื้นที่ทำงาน การใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือทางการเกษตรที่ไม่เหมาะสม การขาดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และพฤติกรรมการทำงานที่อาศัยความเคยชิน ล้วนเพิ่มโอกาสการสัมผัสอันตรายและนำไปสู่ผลกระทบด้านสุขภาพการทำงานโดยตรง พฤติกรรมและสภาพการณดังกล่าวจึงจัดเป็นปัจจัยเสี่ยงหลัก (Risk factor) ที่ทำให้เกิดการสะสมของสิ่งคุกคามทางสุขภาพจนนำไปสู่การเจ็บป่วยและอุบัติเหตุจากการทำงานในระดับสูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ จันจิราภรณ์ จันดี (2564) ที่พบว่า พฤติกรรมการแต่งกายที่ไม่เหมาะสม การทำงานลดขั้นตอนและการไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของแรงงานนอกระบบอายุ 45 ปีขึ้นไป นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของวรลักษณ์ สมบูรณ์นาดี และคณะ (2566) ที่ระบุว่า การสัมผัสสิ่งคุกคามด้านการเกษตรและสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมของเกษตรกรนาข้าว ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา เป็นปัจจัยสำคัญที่สัมพันธ์กับภาวะสุขภาพที่ผิดปกติของเกษตรกร นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายความสัมพันธ์เชิงระบบได้ด้วย ทฤษฎีโดมิโน (Domino theory) ของ

Heinrich (1950) ซึ่งชี้ให้เห็นว่า “สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย” (Unsafe conditions) และ “การกระทำที่ไม่ปลอดภัย” (Unsafe acts) เปรียบเสมือนโดมิโนตัวสำคัญที่นำไปสู่ความผิดพลาดและการบาดเจ็บ ในบริบทของเกษตรกรสูงอายุ สภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย เช่น พื้นที่ทำงานที่ลื่นหรือลาดชัน จะถูกกระตุ้นด้วยการกระทำที่ไม่ปลอดภัย เช่น การแบกหามของหนักเกินกำลัง จนกลายเป็นความเสี่ยงที่นำไปสู่การบาดเจ็บ ซึ่งการได้รับสัมผัสสิ่งคุกคามเหล่านี้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากการจัดการเชิงระบบ จะส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน ประกอบกับแรงงานสูงอายุมีความเสื่อมถอยทางสรีรวิทยาตามธรรมชาติ เช่น ความแข็งแรงของมวลกล้ามเนื้อที่ลดลง การมองเห็นที่พร่ามัว และระบบการทรงตัวที่เสื่อมประสิทธิภาพลง ปัจจัยนี้จึงกลายเป็นปัจจัยเร่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุหรือปัญหาด้านอาชีวอนามัยที่รุนแรงกว่าแรงงานในกลุ่มวัยอื่นได้

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษาปัญหาด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัยของแรงงานผู้สูงอายุภาคเกษตรกรรม อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย แม้ภาพรวมกลุ่มตัวอย่างร้อยละ 51.95 จะประสบปัญหาด้านอาชีวอนามัยฯ แต่ยังมีกลุ่มเกือบครึ่งหนึ่งที่อยู่ในระดับปลอดภัยและไม่มีปัญหา ซึ่งข้อค้นพบนี้อาจสะท้อนถึงความเคยชินต่อความเสี่ยงของแรงงานสูงอายุที่ทำงานภาคเกษตรมาอย่างยาวนาน จนมองว่าความเหนื่อยล้าจากการทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสม หรือการสัมผัสสารเคมีในปริมาณน้อยเป็นเรื่องปกติของวิถีเกษตรกรรม อย่างไรก็ตาม เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยทำนายถึงปัญหา พบว่า ปัจจัยด้านการอบรม เป็นตัวพยากรณ์ที่สำคัญที่สุด โดยกลุ่มที่ไม่เคยอบรมมีความเสี่ยงสูงถึง 4.02 เท่า สะท้อนว่าความรู้ที่ถูกต้องสำคัญกว่าประสบการณ์หรือความเคยชิน เช่นเดียวกับ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน (OR = 2.34) และการใช้สารเคมี (OR = 2.00) ที่ยังคงเป็นปัจจัยคุกคามหลักร่วมด้วย ดังนั้น กลุ่มตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ไม่มีปัญหา อาจมีความรู้หรือการรับรู้ในระดับพื้นฐาน ซึ่งในการทำนายปัจจัยที่นำไปสู่การบาดเจ็บและเจ็บป่วยสะสมในระดับสูง หากสภาพการณ์ที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe conditions) และการกระทำที่ไม่ปลอดภัย (Unsafe acts) ยังไม่ได้รับการแก้ไขผ่านการอบรมเชิงปฏิบัติการและการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรจัดโปรแกรมการอบรมด้านอาชีวอนามัยที่มีเนื้อหาเฉพาะเจาะจงสำหรับกลุ่มที่ไม่เคยได้รับการอบรม โดยรูปแบบการอบรมควรเน้นกระบวนการเรียนรู้สำหรับผู้ใหญ่ที่เชื่อมโยงกับประสบการณ์จริง เพื่อกระตุ้นการรับรู้ความเสี่ยงและความรุนแรงของอันตราย
2. หน่วยงานท้องถิ่นควรส่งเสริมการปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมกับสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ เช่น การจัดพื้นที่การทำงานให้เป็นระเบียบเพื่อลดการพลัดตกหกล้ม และการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสมกับบริบทการทำงานในพื้นที่
3. ควรมีการรณรงค์เรื่องการลดโอกาสสัมผัส ผ่านการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่ถูกต้อง และส่งเสริมแนวทางการทำเกษตรกรรมที่ลดการใช้สารเคมีเพื่อป้องกันการสะสมความเป็นพิษในร่างกายแรงงานสูงอายุ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเชิงคุณภาพโดยการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อทำความเข้าใจถึงอุปสรรคในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมความปลอดภัยของแรงงานเกษตรกรรมสูงอายุ
2. ควรขยายผลการศึกษาไปยังปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบ เช่น ความเครียดจากการทำงาน หรือปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้ออุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยของเกษตรกร

กิตติกรรมประกาศหรือคำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่พิจารณาให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยและขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญตรวจเครื่องมือวิจัยซึ่งให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาเครื่องมือวิจัย

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายกเทศมนตรีตำบลแม่ยาว ตำบลบ้านคู้ และตำบลป่าอ้อดอนชัย นายกองค์การบริหารส่วนตำบลแม่ข้าวต้ม แม่กรณ์และริมกก รวมถึงตัวแทนผู้นำชุมชน ตัวแทนอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ผู้ประสานงานตลอดการวิจัย รวมถึงกลุ่มแรงงานสูงอายุ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถามการวิจัย จนก่อให้เกิดงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมสุขภาพต่อไป

เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการบริหารงานจังหวัดแบบบูรณาการจังหวัดเชียงราย. (2564). *แผนพัฒนาจังหวัดเชียงราย พ.ศ.*

2566-2570. <https://bunrueng.go.th/filesAttach/download/type-26/main-242/1763451026.pdf>

จันจิราภรณ์ จันดี. (2564). สภาพแวดล้อมในการทำงาน พฤติกรรมความปลอดภัยในการทำงาน และอุบัติเหตุจากการทำงานของแรงงานนอกระบบอายุ 45 ปีขึ้นไป ในอำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารควบคุมโรค*, 47(4), 1026-1037. <https://doi.org/10.14456/dcj.2021.89>

จุฬามาศ ศรีมานนท์, จิรานันท์ ทองมาก, ชัญญานุช ปรีชา, ธนาธิป ประสมบุญ, น้ำทอง พิมพ์บุญ และ สุชนาถ ครองปุงคล้า. (2564). ผลของโปรแกรมปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการป้องกันตนเองจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชของเกษตรกรที่มีผลเลือดอยู่ในระดับเสี่ยงและไม่ปลอดภัยโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ. *วารสารสหวิทยาการเพื่อสุขภาพ*, 3(2), 32-48. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/MDHJ/article/view/257470>

ปิยนุช ยอดสมสวย, มณฑนา ชื่นบุญชู, เกศสุภา จิระการณ, ปกัสสร อุ่นเจริญ และ ปะการัง ศรีมี. (2568).

ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและระดับเอนไซม์โคลีนเอสเตอเรสของเกษตรกรทำนา: กรณีศึกษาตำบลพระอาจารย์ อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, 18(2), 157-174. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JSJ/article/view/280535>

- รุจาธร อินทรตุล, วรรณธณ์ จงรุ่งโรจน์สกุล, ขวพรพรรณ จันทร์ประสิทธิ์, ธาณี แก้วธรรมานุกุล และ นพมาศ ศรีเพชร วรรณดี. (2562). ปัจจัยคุกคามสุขภาพ พฤติกรรมการทำงาน การเจ็บป่วยและบาดเจ็บที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแรงงานนอกระบบ: กรณีกลุ่มแกะลำไย. *พยาบาลสาร*, 46(ฉบับพิเศษ), 23-35. <https://he02.tci-thaijo.org/index.php/cmunursing/article/view/232480>
- วันปิติ ธรรมศรี. (2564). ผลกระทบทางสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรของเกษตรกรไทย. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 39(4), 329-336. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/agritechjournal/article/view/249179>
- วิหขย เพชรเลียบ. (2564). ความชุกและปัจจัยที่สัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานของเกษตรกรสูงอายุ ตำบลพุดซา อำเภอมือเมือง จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, 14(2), 114-127. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JSH/article/view/246541>
- วรลักษณ์ สมบูรณ์นาดี, พิชรี ศรีฤๅตา และ พุฒิพงศ์ สัตยวงศ์ทิพย์. (2568). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับปัญหาสุขภาพจากการทำนาของเกษตรกรนาข้าวในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพแห่งประเทศไทย*, 7(1), 40-49. <https://doi.org/10.55164/hsjt.v7i1.269871>
- ศิรินิตดา ปรีชา, อีรพัฒน์ เชื้อนปัญญา และ ปราณี จิระกิตติเจริญ. (2566). แร้งงานสูงวัยปรับตัวอย่างไรให้ทันเทรนด์. <https://www.bot.or.th/th/research-and-publications/articles-and-publications/articles/regional-articles/reg-article-2024-01.html>
- สาตี อินทร์เจริญ, กมลรัตน์ นุ่นคง, วิลาวรรณ ศรีพล, สุพัตรา ใจเหมาะ และ สิริมา วังพะยอม. (2566). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการทำงานของแรงงานสูงอายุนอกระบบในภาคใต้ของประเทศไทย. *วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ*, 16(1), 150-165. <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/JSH/article/view/262502>
- สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ. (2565). *จับตาทิศทางสุขภาพคนไทย ปี 2566*. <https://resourcecenter.thaihealth.or.th/content-detail/-2023>
- สำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัดเชียงราย. (2566). *รายงานสถานการณ์ทางสังคมจังหวัดเชียงราย ประจำปี 2566*. <https://chiangrai.m-society.go.th/รายงานประจำปีงบประมาณ-2566/>
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2565). *สรุปผลที่สำคัญการทำงานของผู้สูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2565*. https://www.dop.go.th/download/knowledge/th1688714910-2409_0.pdf
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2567). *ประเภทผู้สูงอายุ*. <https://gdcatalog.go.th/dataset/gdpublish-0704-01-0010#:~:text=ประเภทผู้สูงอายุ%20แบ่งกลุ่ม,ผู้สูงอายุที่พึ่งตนเองได้>
- Best, J. W. (1997). *Research in Education*. (3rd ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.

- DeCamp, W., & Herskovitz, K. (2015). *The Theories of Accident Causation*. In: Security Supervision and Management, Butterworth-Heinemann, Oxford, 71-78.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800113-4.00005-5>
- Heinrich, H. W. (1959). *Industrial accident prevention: A scientific approach*. (4th ed.). McGraw-Hill.
- International Labour Organization. (2019). *Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work*. Geneva: ILO.
https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_711919.pdf
- Occupational Safety and Health Administration. (2019). *Occupational noise exposure*.
<https://www.osha.gov/SLTC/noisehearingconservation/healtheffects.html>
- Preston, J., & Biddell, B. (2021). The physiology of ageing and how these changes affect older people. *Medicine in older adults*, 49(1), 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2020.10.011>
- Rosenstock, I. M. (1974). Historical origins of the health belief model. *Health Education Monographs*, 2(4), 328-335. <https://doi.org/10.1177/109019817400200403>
- Wayne, W. D. (1995). *Biostatistics: a foundation of analysis in the health sciences*. (6th ed.). New York: John Wiley & Sons.

การออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

The Design and Development of a Website to Promote Tourism of Historical Sites in Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

สิริพร อินทสนธิ์

Siriporn Inthason

คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Faculty of Management Science, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

E-mail: siriporn@aru.ac.th

(Received: 5 January 2026, Revised: 2 June 2026, Accepted: 9 June 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1433>

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 2) ประเมินประสิทธิภาพการออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 3) ประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงประยุกต์ (Applied research) เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ เว็บไซต์ แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย คือ สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ที่พัฒนาด้วยขั้นตอนของ ADDIE model และใช้ภาษา PHP ร่วมกับ Bootstrap ส่งผลให้การพัฒนาเว็บนั้นสำเร็จตามเป้าหมายและนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง และสามารถรองรับการทำงานบนอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ด้วยรูปแบบ Responsive Web และรองรับการใช้งานได้ทุกทุกระบบปฏิบัติการ ซึ่งงานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม รวมทั้งสนับสนุนการอนุรักษ์และเผยแพร่คุณค่าของโบราณสถานในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์ต่อชุมชน นักท่องเที่ยว และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างยั่งยืน 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์จากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศผู้วิจัยเลือกแบบเจาะจงจำนวน 3 ท่าน มีผลโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.47) และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์ จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน เลือกโดยวิธีการสุ่มแบบตามสะดวก อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ =4.33)

คำสำคัญ: โบราณสถาน มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ การท่องเที่ยว

Abstract

This research aimed to 1) design and develop a website to promote archaeological tourism sites in the area of Rajabhat Phranakhon Si Ayutthaya University, 2) evaluate the efficiency of the website design and development, and 3) assess user satisfaction with the website. This study was applied research. The research instruments consisted of the website, an efficiency evaluation form, and a satisfaction questionnaire. The statistics used in this study were descriptive statistics, including percentage, mean, and standard deviation. The research findings revealed that 1) the website was designed and developed by using the ADDIE Model together with PHP and Bootstrap, which enabled the development to meet its objectives and be practically usable. The website also supported responsive web design, allowing it to function properly on various devices and operating systems. This research contributed to the promotion of historical and cultural tourism, as well as the conservation and dissemination of the value of local archaeological sites for the benefit of the community, tourists, and relevant organizations in a sustainable manner. 2) The efficiency of the website, as evaluated by three purposively selected information technology experts, was rated at a high level ($\bar{X}$ = 4.47). 3) User satisfaction with the website, as assessed by a sample of 400 participants selected through convenience sampling, was also rated at a high level ($\bar{X}$ = 4.33).

Keywords: Historic site, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Website design and development, Tourism

บทนำ

ในช่วงกลางปี 2565 สถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัส COVID-19 มีแนวโน้มลดลง และมีการเตรียมประกาศให้ COVID-19 กลายเป็นโรคประจำถิ่น ประเทศไทยได้ผ่อนคลายมาตรการต่างๆ พร้อมเปิดรับนักท่องเที่ยว ผู้คนต่างวางแผนออกเดินทางท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก ทำให้บรรยากาศการเดินทางท่องเที่ยวเริ่มกลับมาคึกคักอีกครั้ง การท่องเที่ยวในประเทศเพิ่มขึ้น ทำให้เห็นถึงสัญญาณการฟื้นตัวด้านท่องเที่ยวปี พ.ศ. 2565 ชัดเจน การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย (2566) โดยสถิติการเข้ามาท่องเที่ยวประเทศไทยของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติในช่วงเดือน มกราคม - กรกฎาคม พ.ศ.2565 มีจำนวน 3,204,177 คน ส่วนในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในปี พ.ศ.2565 มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทย และชาวต่างชาติ จำนวน 1,252,594 คน โดยการท่องเที่ยวถือเป็นรายได้หลักของประเทศไทยมีสถานที่ท่องเที่ยวที่หลากหลาย รวมถึงมีวัฒนธรรมที่มีความเป็นเอกลักษณ์ รัฐบาลมีนโยบายและให้ความสำคัญกับการท่องเที่ยวเพื่อสร้างรายได้ให้กับประเทศ และกระจายรายได้สู่ท้องถิ่นและชุมชน โดยในปี พ.ศ.2567 รัฐบาลได้แถลงนโยบายด้านการท่องเที่ยวให้เป็นนโยบายที่เร่งด่วนที่จะส่งเสริมอุตสาหกรรมท่องเที่ยว เพื่อดึงดูดนักท่องเที่ยวให้เดินทางเข้ามายังประเทศไทย

โดยในปี พ.ศ.2568 รัฐบาลตั้งเป้าที่จะสร้างรายได้จากการท่องเที่ยวให้เพิ่มขึ้น 7.5% และคาดการณ์ว่าจะมีนักท่องเที่ยวต่างชาติกว่า 40 ล้านคน เดินทางเข้าประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ (2567) จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นดินแดนที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ที่มีเอกลักษณ์ทั้งด้านกายภาพ ประวัติศาสตร์ และอารยธรรม มีโบราณสถานที่ยังเหลืออยู่เป็นเครื่องบ่งชี้ความรุ่งเรืองในอดีต ซึ่งองค์การศึกษาวิทยาศาสตร์ และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (UNESCO) ได้รับอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยาไว้เป็นมรดกโลกทางวัฒนธรรมเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม พ.ศ.2534 ทำให้มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทย และต่างประเทศ สนใจเข้ามาเยี่ยมชมตลอดทั้งปีโดยโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยานั้นเป็นส่วนหนึ่งของ อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยาที่ได้ประกาศให้เป็นแหล่งมรดกโลกทางวัฒนธรรมในชื่อ “นครประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา” และทางกรมศิลปากรได้มีประกาศให้ทั้งเกาะเมืองอยุธยา ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 4,800 ไร่ ขึ้นทะเบียนเป็นโบราณสถาน กองโบราณคดี (2563) รวมถึงพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยานั้น ภายในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยนั้นมีภูมิสถานทางประวัติศาสตร์ที่สำคัญหลายแห่ง มีทั้งคูคลอง ถนนอิฐ ร่องรอยของสะพานอิฐโบราณ ตลาด ย่านชุมชน บ้านพักของผู้มีบทบาททางการเมืองในสมัยกรุงศรีอยุธยา และวัดวาอาราม ที่ได้รับการอนุรักษ์ไว้เป็นมรดกของชาติ อันประกอบด้วย วัดบรมพุทธาราม วัดสิงหาราม และวัดสวนหลวงคางควา สะพานป่าดินสอ รวมถึงวัด อื่น ๆ ซึ่งไม่ปรากฏร่องรอยทางโบราณคดี กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ ภายในรั้วมหาวิทยาลัยอีกหลายแห่ง รวมถึงสะพานป่าดินสอ สะพานเทพมี สถาบันอยุธยาศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา (2562) ปัจจุบันนี้จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นสถานที่ท่องเที่ยวด้านประวัติศาสตร์อย่างเต็มตัว อีกทั้งอยู่ห่างจากกรุงเทพฯ เพียง 76 กิโลเมตรนักท่องเที่ยวสามารถเดินทางมาเที่ยวแบบเช้าไปเย็นกลับได้

นักท่องเที่ยวส่วนใหญ่นิยมวางแผนการท่องเที่ยวโดยการสืบค้นข้อมูลผ่านทางระบบออนไลน์หรือสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งเป็นแหล่งสื่อที่กระจายข่าวสารหรือข้อมูลที่ต้องการค้นหาได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว ได้แก่ Facebook Instagram Google YouTube Line Twitter และเว็บไซต์การรีวิวสถานที่ท่องเที่ยวต่างๆ ซึ่งส่งผลให้มีผู้ที่ได้รับรู้ข้อมูลจากสื่อเกิดความสนใจและกระตุ้นให้มีความอยากไปสถานที่ท่องเที่ยว โดยสามารถศึกษาข้อมูลก่อนการเดินทางเพื่อสร้างความมั่นใจที่จะเลือกสถานที่ท่องเที่ยวได้แน่นอนมากยิ่งขึ้น ซึ่งผู้วิจัยนอกจากเผยแพร่ผ่านเว็บไซต์โบราณสถานแล้วยังได้มีการประชาสัมพันธ์ผ่าน Facebook และ YouTube เพื่อเป็นอีกช่องทางในการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว ระพีพร แซ่ม้อย และคณะ (2565) พัฒนาการรับรู้ข่าวสาร แหล่งท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวไทยผ่านสื่อออนไลน์ กรณีศึกษา ชุมชนบ้านน้ำทรัพย์ จังหวัดเพชรบุรี เป็นแนวทางหนึ่งในการประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารของแหล่งท่องเที่ยวให้เป็นที่ยอมรับมากขึ้น ซึ่งช่วยให้เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้มากขึ้น อีกทั้ง สื่อสังคมออนไลน์เป็นสื่อสารการตลาดที่มีต้นทุนต่ำ เข้าถึงได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง

การพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการอนุรักษ์และเผยแพร่มรดกทางวัฒนธรรม โดยใช้เทคโนโลยีเป็นเครื่องมือหลักในการนำเสนอข้อมูลที่น่าสนใจและเข้าถึงง่าย เว็บไซต์นี้ช่วยเพิ่มช่องทางการสื่อสารกับ

นักท่องเที่ยวทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้เกิดความตระหนักรู้และความสนใจในโบราณสถานมากขึ้น นอกจากนี้ ระบบยังสนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจท้องถิ่นผ่านการส่งเสริมการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน การออกแบบระบบที่ใช้งานง่ายและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้ และทำให้เกิดการดึงดูดความสนใจแก่ผู้เข้าชม ยังตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ทำให้การจัดการข้อมูลและกิจกรรมส่งเสริมโบราณสถานมีความเป็นระบบและครบถ้วนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งการพัฒนาเว็บดังกล่าวเป็นการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีและวัฒนธรรมเพื่อสร้างคุณค่าใหม่ให้กับพื้นที่และชุมชนอย่างยั่งยืนในอนาคต ดังนั้นจากความสำเร็จโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ควรค่าแก่การส่งเสริม และเผยแพร่การท่องเที่ยวให้เป็นที่รู้จัก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อดึงดูดความสนใจของนักท่องเที่ยว หรือผู้ที่สนใจผ่านการนำเสนอเรื่องราว และเพิ่มช่องทางในการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยาให้เป็นที่รู้จัก และอยากมาเที่ยวสถานที่แห่งนี้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดการกระตุ้นเศรษฐกิจโดยรวมของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาให้มีรายได้จากแหล่งท่องเที่ยวต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ระเบียบวิธีวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักท่องเที่ยว บุคคลทั่วไป เจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐ ผู้ประกอบการ อาจารย์ บุคลากร นักศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวหรือพักอาศัยในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยจำนวนประชากรในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาในปี พ.ศ.2567 มีประมาณ 822,720 (รายงานสถิติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา, 2569)

กลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจผู้ใช้งานเว็บไซต์ กลุ่มตัวอย่างคือ นักท่องเที่ยวที่เข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และนักท่องเที่ยวที่ยังไม่เคยเข้ามาเยี่ยมชม บุคคลทั่วไป ชาวบ้านในชุมชน อาจารย์ บุคลากร นักศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โดยวิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นวิธีการสุ่มแบบตามสะดวก (Convenience sampling) จำนวน 400 คน ตามสูตรคำนวณหาขนาดกลุ่มตัวอย่างของ Taro yamane

ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยผู้วิจัยได้ใช้หลักการของ ADDIE model (Handrianto et al., 2021) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis) ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการวางแผนการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์ โดยกำหนดขอบเขตด้านเนื้อหา คือประวัติโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และออกแบบแบบสอบถามด้านเนื้อหาประวัติโบราณสถาน และด้านประสิทธิภาพการทำงาน และด้านความพึงพอใจที่มีต่อเว็บไซต์ จากนั้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านประเมินความสอดคล้องของข้อคำถาม (IOC) จากนั้นทำการออกแบบเว็บไซต์ และเลือกใช้ซอฟต์แวร์ที่เหมาะสม และวางแผนในการเก็บข้อมูลประวัติโบราณสถานแต่ละแห่ง อันประกอบด้วย วัดสวนหลวงคางคาว วัดบรมพุทธาราม วัดสิงหาราม สะพานดินสอ และอนุสรณ์สถานเจ้าพระยาบวรราชนายก สะพานเทพหมี โดยเก็บข้อมูลจากเอกสารของสถาบันอยุธยาศึกษา และนักโบราณคดีชำนาญการ อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยาที่สอนด้านประวัติศาสตร์ (รายวิชาอยุธยาศึกษา) จำนวน 1 ท่าน และนักวิชาการชำนาญการสถาบันอยุธยาศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ท่าน และนำข้อมูลที่ได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของเนื้อหาโบราณสถานผ่านแบบสอบถามอีกครั้ง จากนั้นเก็บภาพนิ่ง และภาพวิดีโอ ภาพมุมสูง เพื่อใช้ในการจัดทำสื่อมัลติมีเดีย โดยในการถ่ายภาพมุมสูงจากการบินโดรนผู้วิจัยได้ทำการขออนุญาตจากอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา และจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบ (Design) ผู้วิจัยออกแบบเค้าโครงหน้าเว็บไซต์ ออกแบบเว็บไซต์โดยใช้หลักการออกแบบที่เหมาะสม เช่น การใช้สีสันทันทีสอดคล้องกับธีมโบราณสถาน รวมทั้งสื่อมัลติมีเดียและเสียง ประกอบในแต่ละคลิปวิดีโอ การวางเนื้อหาในแต่ละองค์ประกอบ และรูปภาพ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนา (Development) ผู้วิจัยทำการการพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา html, Bootstrap, PHP, Adobe photoshop และ Adobe premiere pro และทำการตรวจสอบนวัตกรรมสื่อมัลติมีเดียที่ได้พัฒนาตรงตามวัตถุประสงค์ มีประสิทธิภาพ การเผยแพร่และส่งเสริมการใช้นวัตกรรม เป็นการประชาสัมพันธ์ และประเมินผลสื่อมัลติมีเดีย

ขั้นตอนที่ 4 การนำไปใช้ (Implementation) ผู้วิจัยได้นำเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขเรียบร้อยแล้วให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 ท่าน เลือกแบบเจาะจงเป็นผู้ประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ และให้นักท่องเที่ยวที่เดินทางเข้ามาท่องเที่ยวในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ครู อาจารย์ นักศึกษาในมหาวิทยาลัยราชภัฏ ผู้ประกอบการ เจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน ประชาชนทั่วไปเป็นกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน โดยเลือกแบบตามสะดวก เพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินผล (Evaluation) ขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้นำผลที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญ และกลุ่มตัวอย่างมาทำการปรับแก้ไขให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพ

โดยหลักการทำงานของ ADDIE model เป็นกระบวนการออกแบบและพัฒนาที่มีความเป็นระบบ และเหมาะสมกับการพัฒนาเว็บไซต์หรือสื่อดิจิทัลที่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้เป็นสำคัญ โดย ADDIE Model ประกอบด้วยขั้นตอนการวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผล ซึ่งช่วยให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานได้เป็นลำดับขั้นตอน ลดความคลาดเคลื่อนในการพัฒนา และสามารถปรับปรุงแก้ไขงานในแต่ละขั้นตอนได้

เครื่องมือวิจัย

ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามทั้ง 3 ชุด ได้ผ่านการประเมินความสอดคล้องของข้อความจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยแบบสอบถามทั้ง 3 ชุด คือ

1. แบบสอบถามเพื่อประเมินเนื้อหาสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา โดยประเมินความถูกต้องของเนื้อหาประวัติความเป็นมาของโบราณสถานที่ได้รวบรวม
2. แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้น
3. แบบสอบถามสำหรับผู้ใช้งานเว็บไซต์ จำนวน 400 คน เพื่อแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเว็บไซต์
4. เว็บไซต์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

แนวทางการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา มีรายละเอียดดังนี้

1. ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีอยู่แล้ว ได้แก่ วารสารทางวิชาการ หนังสือ และเอกสารเผยแพร่จากศูนย์อยุธยาศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ข้อมูลจากเว็บไซต์และฐานข้อมูลออนไลน์ที่เกี่ยวข้องกับโบราณสถานในพื้นที่ศึกษา ทำการวิเคราะห์เนื้อหาและสรุป และนำข้อมูลจากทั้งสองแหล่งมาสรุป และสอบถามข้อมูลประวัติความเป็นมากับผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม ซึ่งได้แก่นักโบราณคดีชำนาญการจากอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ท่าน อาจารย์ผู้สอนรายวิชาอยุธยาศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ท่าน นักวิชาการชำนาญการจากสถาบันอยุธยาศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จำนวน 1 ท่าน และจัดทำแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่านตรวจสอบและประเมินความถูกต้องของเนื้อหาอีกครั้ง รวมถึงความครบถ้วนของข้อมูลเกี่ยวกับโบราณสถาน เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของข้อมูล

2. เมื่อพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เสร็จสิ้น ได้ประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีจำนวน 3 ท่าน

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งานที่มีต่อเว็บไซต์สื่อมัลติมีเดีย จำนวน 400 คน ซึ่งเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenient sampling)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) คือ ค่าความถี่ (Frequency) และ ค่าร้อยละ (Percentage) และ ค่าเฉลี่ย (Mean) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ในการวิเคราะห์แบบประเมินประสิทธิภาพเว็บไซต์ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

วิธีการสร้างเครื่องมือ

การวิจัยครั้งนี้มีการสร้างเครื่องมือวิจัย 3 ประเภท ได้แก่ 1) เว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวแหล่งโบราณสถาน 2) แบบประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ และ 3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยดำเนินการสร้างตามขั้นตอนของแบบจำลอง ADDIE ได้แก่ การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การสร้างเว็บไซต์ ผู้วิจัยศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ การออกแบบเว็บไซต์ และการนำเสนอข้อมูลด้วยเว็บไซต์ จากนั้นกำหนดโครงสร้างเนื้อหาและรูปแบบการนำเสนอให้เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายต่อมาจึงออกแบบหน้าจอเว็บเพจ แผนผังเว็บไซต์ และองค์ประกอบของระบบให้รองรับการใช้งานแบบตอบสนองต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ โดยใช้ภาษา PHP ร่วมกับ Bootstrap และสื่อมัลติมีเดีย เช่น ภาพถ่าย 360 องศา วิดีโอ และกราฟิกประกอบ หลังจากพัฒนาเว็บไซต์แล้ว ผู้วิจัยนำต้นแบบให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศตรวจสอบความเหมาะสมและปรับปรุงแก้ไขก่อนนำไปใช้จริง

2. การสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ แบบประเมินประสิทธิภาพสร้างขึ้นจากแนวคิดการประเมินคุณภาพเว็บไซต์ ครอบคลุมด้านเนื้อหา การออกแบบ การใช้งาน และการแสดงผลของระบบ ผู้วิจัยกำหนดข้อคำถามเป็นมาตรประมาณค่า 5 ระดับ และส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบด้านเนื้อหา ก่อนนำไปปรับปรุงให้เหมาะสม และประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 3 คน ซึ่งการสร้างเครื่องมือมีการตรวจสอบคุณภาพก่อนใช้งานจริง

3. การสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ แบบประเมินความพึงพอใจจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความคิดเห็นของผู้ใช้ที่มีต่อเว็บไซต์ในด้านเนื้อหา การออกแบบ ความสะดวกในการใช้งาน และประโยชน์ที่ได้รับ ลักษณะแบบสอบถามใช้มาตรประมาณค่า 5 ระดับเช่นเดียวกัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจได้อย่างเหมาะสม หลังจากสร้างข้อคำถามแล้ว ผู้วิจัยนำไปตรวจสอบความตรงและปรับปรุงถ้อยคำให้ชัดเจน ก่อนนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน

4. การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ เครื่องมือที่สร้างขึ้นผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญก่อนนำไปใช้จริง เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย โดยงานวิจัยมีการใช้ผลประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริงร่วมกัน ซึ่งจะช่วยยืนยันคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้นได้

ผลการวิจัย

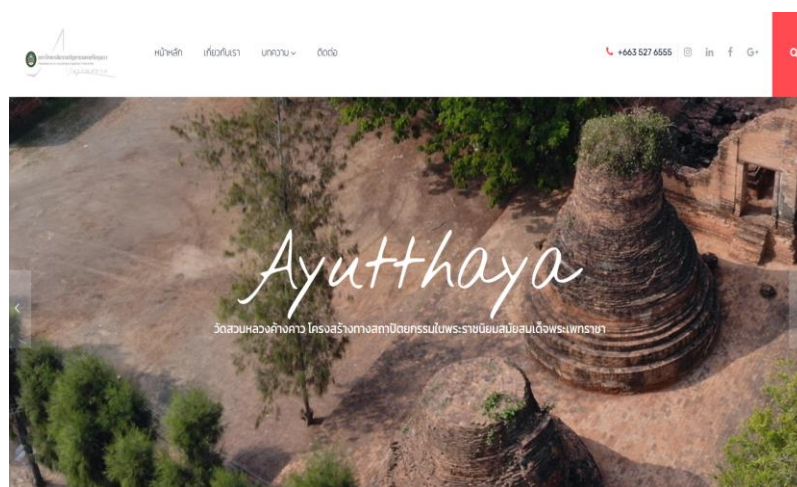
การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา สรุปผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

1. ผลการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัย ราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ซึ่งมีผลการวิจัยคือ

1.1 ด้านการออกแบบเว็บไซต์ เลือกพื้นหลังเป็นสีขาว เพื่อให้ตัวอักษรที่อ่านง่าย และใช้ลักษณะเดียวกันทั้งเว็บไซต์

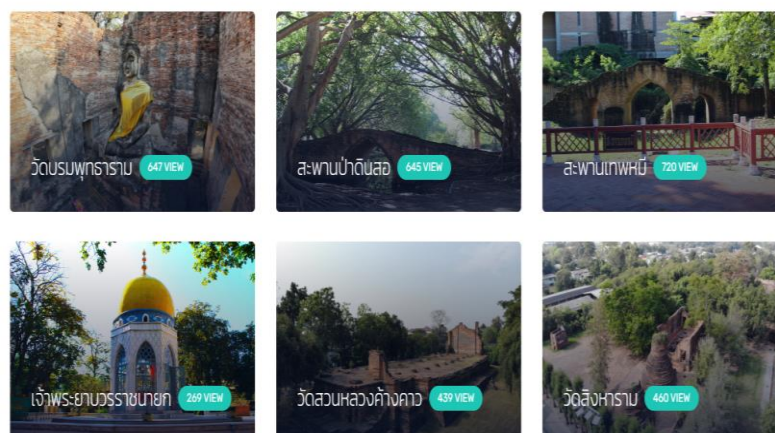
1.2 ด้านการนำเสนอเนื้อหา มีทั้งข้อความ และสื่อมัลติมีเดียเล่าเรื่องราว เพื่อช่วยกระตุ้นความสนใจ

1.3 ด้านการรองรับกับอุปกรณ์อื่น สามารถรองรับการใช้งานในรูปแบบของอุปกรณ์อื่นทั้งในระบบปฏิบัติการ IOS และ Android ซึ่งเว็บไซต์ที่พัฒนาดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เว็บไซต์มัลติมีเดีย

จาก ภาพที่ 1 แสดงหน้าหลักเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถาน ซึ่งเป็นแบนเนอร์ของหน้าเว็บไซต์ และถัดลงไปในส่วนเนื้อหา จะมีคลิปวิดีโอแนะนำโบราณ ภาพที่ 2



ภาพที่ 2 คลิปวิดีโอแนะนำโบราณสถาน

ภาพที่ 2 เป็นคลิปวิดีโอแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จำนวน 6 สถานที่ ได้แก่ วัดบรมพุทธาราม วัดสิงหาราม วัดสวนหลวงคางคาว สะพานเทพหมี อนุสรณ์สถานเจ้าพระยาบวรราชนายก สะพานป่าดินสอ และเมื่อคลิกเข้าไปยังแต่ละสถานที่จะมีการเล่าเรื่องราวของแต่ละสถานที่



ภาพที่ 3 ภาพมุมสูงวัดสวนหลวงคางคาว

ภาพที่ 3 ภาพมุมสูงวัดสวนหลวงคางคาว เป็นภาพนำเสนอในรูปแบบภาพนิ่ง ซึ่งภายในเว็บไซต์จะมีทั้งภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว และเรื่องราวให้ผู้สนใจและท่องเที่ยวได้ทำการศึกษาประวัติในแต่ละสถานที่

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ในการประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์ผู้วิจัยได้เลือกกลุ่มตัวอย่างจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 3 ท่านโดยกลุ่มตัวอย่างที่เลือกใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง จากนั้นนำความคิดเห็นที่ได้จากแบบประเมินมาแปลความหมาย ซึ่งการแปลความหมาย แบ่งออกเป็น 5 ระดับ โดยเกณฑ์ประมาณค่าของ บุญชม ศรีสะอาด (2554) ดังนี้

- 4.51 – 5.00 หมายถึง ระดับความเห็นด้วยมากที่สุด
- 3.51 – 4.50 หมายถึง ระดับความเห็นด้วยมาก
- 2.51 – 3.50 หมายถึง ระดับความเห็นด้วยปานกลาง
- 1.51 – 2.50 หมายถึง ระดับความเห็นด้วยน้อย
- 1.00 – 1.50 หมายถึง ระดับความเห็นด้วยน้อยที่สุด

ซึ่งมีผลการประเมินดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว
โบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
ด้านเนื้อหา			
1. ความถูกต้อง ครบถ้วนสมบูรณ์ของเนื้อหา	4.33	0.57	มาก
2. การอธิบายเนื้อหาชัดเจน ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย	4.33	0.57	มาก
3. สื่อมัลติมีเดียมีความสอดคล้องกับเนื้อหา	4.33	0.57	มาก
4. ปริมาณเนื้อหาเหมาะสม กระชับ	4.33	0.57	มาก
5. ข้อมูลที่นำมาสร้างสื่อมัลติมีเดียสามารถตรวจสอบแหล่งที่มาได้	4.00	0	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมด้านเนื้อหา	4.33	0.46	มาก
ด้านการออกแบบ			
1. รูปแบบ สี ขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม อ่านง่าย	4.00	0	มาก
2. เว็บไซต์สื่อมัลติมีเดียที่แสดงผ่านจอภาพมีขนาดเหมาะสมกับหน้าจอ	4.66	0.57	มากที่สุด
3. ความถูกต้องของภาพกับเนื้อหา	4.66	0.57	มากที่สุด
4. รูปภาพ วิดีโอ เสียงบรรยาย เสียงดนตรี มีความเหมาะสม	4.33	0.57	มาก
5. การจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ มีความเหมาะสม	4.33	0.57	มาก
6. สื่อมัลติมีเดียมีความน่าสนใจ	4.33	0.57	มาก
7. ระยะเวลาในการนำเสนอมีความเหมาะสม	4.66	0.57	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมด้านการออกแบบ	4.43	0.49	มาก
ความสามารถด้านการใช้งาน			
1. สามารถใช้งานเว็บไซต์สื่อมัลติมีเดียได้สะดวก และใช้งานง่าย	4.66	0.57	มากที่สุด
2. การแสดงผลมีความรวดเร็ว	5.00	0	มากที่สุด
3. ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ	4.33	0.57	มาก
4. มีคำอธิบายที่ชัดเจน เข้าใจง่าย	4.66	0.57	มากที่สุด
5. การผสมผสานระหว่างภาพ เสียงและข้อความมีความสมดุล	4.66	0.57	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมความสามารถด้านการใช้งาน	4.66	0.46	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.47	0.47	มาก

จากตารางที่ 1 สรุปได้ว่า ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยามีความพึงพอใจในประสิทธิภาพการทำงานของเว็บไซต์โดยเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ ด้านความสามารถด้านการใช้งาน ($\bar{X}$ = 4.66, S.D. = 0.46) สะท้อนว่าเว็บไซต์ใช้งานได้ง่าย มีความชัดเจนในการนำทาง และให้ประสบการณ์ผู้ใช้ที่ดีตามมาตรฐานสากล เป็นจุดแข็งเด่นของระบบ ด้านการออกแบบ ($\bar{X}$ = 4.43, S.D. = 0.49) แสดงว่าการออกแบบภาพลักษณ์และการจัดวางเป็นที่ยอมรับ มีความสวยงามและเหมาะสมกับธีมโบราณสถาน แต่ยังมีพื้นที่ปรับปรุงเพื่อยกระดับความน่าสนใจและสอดคล้องกับแนวทาง UX/UI ที่ทันสมัยยิ่งขึ้น ด้านเนื้อหาอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.33, S.D. = 0.46) ได้รับการประเมินว่าอยู่

ในระดับดี น่าเชื่อถือและได้ประโยชน์ต่อผู้ใช้ แต่ควรเสริมความลึกหรือความหลากหลายของข้อมูลเชิงประวัติศาสตร์ สื่อมัลติมีเดียเสริม และการอ้างอิงแหล่งที่มาเพื่อเพิ่มความครบถ้วนโดยมีค่าเฉลี่ยรวมทุกด้านอยู่ที่ ($\bar{X}$ = 4.47, S.D. = 0.47) แสดงว่าเว็บไซต์ได้รับการประเมินว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง เนื้อหา

3. ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิง

โบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา มีผลการวิจัยคือ

มีผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย 133 คน คิดเป็นร้อยละ 33.25 เพศหญิง จำนวน 267 คน คิดเป็นร้อยละ 66.75 และพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามมีอายุ 15 – 25 ปี จำนวน 274 คน คิดเป็นร้อยละ 68.50 คน อายุ 26 – 35 ปี จำนวน 40 คน คิดเป็นร้อยละ 10 อายุ 36-45 ปี จำนวน 37 คน คิดเป็นร้อยละ 9.25 อายุ 46-60 ปี จำนวน 31 คน คิดเป็นร้อยละ 7.75 และอายุ 61 ปี ขึ้นไป จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ 4.50 และมีผลการประเมินความพึงพอใจ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยว

โบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
ด้านเนื้อหา			
1. การดำเนินเรื่องมีความน่าสนใจ	4.30	0.62	มาก
2. ภาษาที่ใช้เข้าใจง่าย	4.28	0.65	มาก
3. ปริมาณเนื้อหาเหมาะสม กระชับ	4.29	0.66	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.29	0.64	มาก
ด้านการออกแบบ			
1. รูปแบบ สี ขนาดตัวอักษร สีพื้นหลัง มีความเหมาะสม อ่านง่าย	4.28	0.64	มาก
2. เว็บไซต์สื่อมัลติมีเดียที่แสดงผ่านจอภาพมีขนาดเหมาะสมกับหน้าจอ	4.27	0.66	มาก
3. รูปภาพ วิดีโอ เสียงบรรยาย เสียงดนตรีประกอบ มีความเหมาะสม	4.30	0.64	มาก
4. การจัดวางองค์ประกอบต่าง ๆ อ่านง่าย เหมาะสมกับหน้าจอ	4.28	0.63	มาก
5. สื่อมัลติมีเดียมีความน่าสนใจ	4.28	0.63	มาก
6. ระยะเวลาในการนำเสนอมีความเหมาะสม	4.29	0.64	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.28	0.64	มาก
ด้านประโยชน์ที่ได้รับ			
1. เว็บไซต์ สื่อมัลติมีเดีย มีประโยชน์กับการศึกษา	4.40	0.64	มาก
2. ได้รับความรู้สถานที่ท่องเที่ยวจากเว็บไซต์สื่อมัลติมีเดีย	4.41	0.63	มาก
3. เว็บไซต์สื่อมัลติมีเดียสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงสืบสาน และส่งเสริมการท่องเที่ยวได้	4.41	0.63	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	4.41	0.63	มาก
เฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน	4.33	0.64	มาก

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่า ผลการประเมินของผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจต่อการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา มีค่าเฉลี่ยรวมความพึงพอใจทุกด้านอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.33, S.D. = 0.64) หากรวมค่าเฉลี่ยรวมรายข้อจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ด้านประโยชน์ที่ได้รับ ($\bar{X}$ = 4.41, S.D. = 0.63) แสดงว่า ผู้ใช้มองว่าเว็บไซต์ให้คุณค่าหรือประโยชน์ชัดเจน เช่น เพิ่มความรู้ ทำให้เข้าใจข้อมูลโบราณสถาน หรือส่งเสริมการตัดสินใจมาเยี่ยมชม ด้านเนื้อหา ($\bar{X}$ = 4.29, S.D. = 0.64) บ่งชี้ว่าเนื้อหาถือว่าน่าสนใจและมีความถูกต้องและครอบคลุมในระดับดี และด้านการออกแบบ ($\bar{X}$ = 4.28, S.D. = 0.64) แสดงว่าการจัดวาง รูปลักษณ์ และความสามารถในการใช้งานได้รับความพึงพอใจในระดับค่อนข้างดี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการผู้ใช้ได้ในระดับสูง

การอภิปรายผล

การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ได้อาศัยหลักการออกแบบเว็บไซต์ (วงศ์ประชา จันทรสมวงศ์ และคณะ, 2554) โดยมีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ

1. การออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์ (Site structure design)

โครงสร้างเว็บไซต์ (Site structure) เป็นแผนผังของการลำดับเนื้อหาหรือการจัดวางตำแหน่งเว็บเพจทั้งหมด ซึ่งจะทำให้รู้ว่าทั้งเว็บไซต์ประกอบไปด้วยเนื้อหาอะไรบ้าง และมีเว็บเพจหน้าไหนที่เกี่ยวข้องเชื่อมโยงกัน ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์จึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะทำให้มองเห็นหน้าตาของเว็บไซต์เป็นรูปธรรมมากขึ้น วิธีจัดโครงสร้างเว็บไซต์สามารถทำได้หลายแบบที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 แบบคือ จัดตามกลุ่มเนื้อหา และจัดตามกลุ่มผู้ชม

2. การออกแบบระบบเนวิเกชัน (Site navigation design) คือเครื่องมือช่วยให้ผู้ชมสามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการได้อย่างรวดเร็วและไม่หลงทาง โดยระบบเนวิเกชันที่ดี (วงศ์ประชา จันทรสมวงศ์ และคณะ, 2554) ได้จำแนกไว้ ดังนี้

- 2.1 อยู่ในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเข้าถึงง่าย ซึ่งมักอยู่ด้านบนหรือด้านซ้ายของเพจ
- 2.2 เข้าใจง่ายหรือมีข้อความกำกับชัดเจน ผู้ชมใช้ได้ทันทีโดยไม่เสียเวลาศึกษา
- 2.3 มีความสม่ำเสมอ และเป็นระบบ เช่นเมนูอยู่ด้านบนก็ควรอยู่ด้านบนตลอดทั้งไซต์ ซึ่งจะทำให้ไม่สับสนหรือกลับไปกลับมา
- 2.4 มีการตอบสนองเมื่อใช้งาน เช่น มีการเปลี่ยนสีลิงก์เมื่อผู้ชมชี้เมาส์หรือคลิก
- 2.5 มีจำนวนรายการที่พอเหมาะ ไม่มากเกินไป
- 2.6 มีหลายทางเลือกให้ใช้ เช่น เมนูกราฟิก เมนูข้อความ ช่องค้นหาข้อมูล (Search box) เมนูแบบดรอปดาวน์ (Drop-down menu) และแผนผังเว็บไซต์ (Site map)
- 2.7 มีลิงก์ให้คลิกกลับไปยังโฮมเพจได้เสมอ เพื่อให้ผู้ชมกลับไปเริ่มต้นใหม่ได้ในกรณีที่หลงทางไม่รู้ว่าตัวเองอยู่ที่ตำแหน่งใด

ส่วนติดต่อผู้ใช้ (User interface) เป็นการปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ โดยในอดีตส่วนติดต่อผู้ใช้ยุคแรก ๆ จะให้ผู้ใช้ต้องพิมพ์คำสั่งที่ซับซ้อนบน ต่อมาจึงมีการพัฒนาเป็นส่วนติดต่อแบบกราฟิก (GUI) มีการใช้ไอคอน วัตถุกราฟิก และอุปกรณ์ชี้ตำแหน่ง นักออกแบบพยายามแปลพฤติกรรม ความต้องการ และความปรารถนาของผู้ใช้ให้ออกมาเป็นส่วนติดต่อที่ผู้ใช้แทบไม่สังเกตเห็น นักวิเคราะห์ระบบจะออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้สำหรับซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นเองภายในองค์กร และปรับแต่งส่วนติดต่อสำหรับซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์หรือแอปพลิเคชันที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ การทำงานของผู้ใช้ เป้าหมายหลักคือการสร้างการออกแบบที่ใช้งานง่าย เป็นมิตรกับผู้ใช้ และเรียนรู้ได้ไม่ยาก ส่วนการใช้สีในการออกแบบ จะช่วยให้หน้าจอดูน่าสนใจ และทำให้ผู้ใช้ทำงานกับคอมพิวเตอร์ได้ง่ายขึ้น (Kendall & Kendall, 2014) ซึ่งสีที่เลือกใช้ควรช่วยให้แยกแยะระหว่างสิ่งสำคัญ เช่น ข้อผิดพลาดในฟอร์ม หรือข้อมูลที่ต้องการเน้น ควรใช้คู่สีที่ตัดกันชัดเจนสำหรับตัวหนังสือ (Foreground) และพื้นหลัง (Background) เพื่อให้อ่านง่ายและเข้าใจเร็ว ตัวอย่างคู่สีที่อ่านง่ายที่สุด 5 อันดับแรก คือ 1) ตัวหนังสือสีดำบนพื้นเหลือง 2) ตัวหนังสือสีเขียวบนพื้นขาว 3) ตัวหนังสือสีน้ำเงินบนพื้นขาว 4) ตัวหนังสือสีขาวบนพื้นน้ำเงิน 5) ตัวหนังสือสีเหลืองบนพื้นดำ ส่วนหลักการออกแบบหน้าจอและฟอร์มที่ดี (Kendall & Kendall, 2014) คือ

- 1) ทำให้หน้าจอและฟอร์มดูเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน โดยแสดงเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นต่อการใช้งาน ไม่ต้องใส่ข้อมูลหรือฟีเจอร์ที่ไม่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ผู้ใช้ไม่สับสนและใช้งานได้เร็วขึ้น
- 2) รักษาความสม่ำเสมอของการนำเสนอหน้าจอและฟอร์ม หน้าจอและฟอร์มแต่ละหน้าควรมีรูปแบบและโทนสีที่เหมือนกัน เพื่อให้ผู้ใช้ไม่ต้องปรับตัวใหม่ทุกครั้งที่ย้ายหน้า
- 3) อำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนไปมาระหว่างหน้าจอหรือหน้าต่างต่าง ๆ ได้ง่าย ผู้ใช้ควรสามารถเปลี่ยนไปยังหน้าต่างหรือหน้าจออื่น ๆ ได้โดยไม่ต้องคลิก
- 4) ออกแบบให้ดูน่าใช้และน่าดึงดูด ออกแบบให้ดูสะอาดตา มีพื้นที่ว่างรอบ ๆ ช่องกรอกข้อมูล ไม่อัดแน่นจนเกินไป และใช้สีหรือองค์ประกอบที่ทำให้ดูน่าใช้ ใช้รูปแบบเดียวกันทุกหน้า และออกแบบให้ผู้ใช้เข้าใจง่ายและรู้สึกดีขณะใช้งาน

หลักการออกแบบหน้าจอที่ดีควรทำให้หน้าจอเรียบง่ายและแสดงเฉพาะข้อมูลที่จำเป็น เพื่อช่วยให้ผู้ใช้เข้าใจและใช้งานได้สะดวกขึ้น อีกทั้งควรรักษาความสม่ำเสมอของรูปแบบและสีในทุกหน้าจอ และควรจัดวางองค์ประกอบให้ดูสะอาดตา น่าใช้ ไม่อัดแน่นจนเกินไป เพื่อช่วยให้ผู้ใช้รู้สึกดีและใช้งานระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนงานวิจัยมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ เจนจิรา หวังหลี่ และคณะ (2563) พัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ แบบประเมินคุณภาพของเว็บไซต์และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยเว็บไซต์พัฒนาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Word press ผลการวิจัยพบว่า 1) ได้เว็บไซต์แสดงรายละเอียดของสถานที่ท่องเที่ยวในระบบ 2 ภาษา คือภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และสามารถแสดงพิกัดแหล่งท่องเที่ยวรวมทั้งนำทางไปยังแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้ โดยเว็บไซต์ทั้งสองงานช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวท้องถิ่น และเป็นเครื่องมือประชาสัมพันธ์วัฒนธรรมและธรรมชาติที่ยั่งยืน

ส่วนมินทร์ตรา ฉัตรแก้ว และคณะ (2564) พัฒนาเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม กรณีศึกษาวัดของอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน เครื่องมือที่ใช้คือแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถามความพึงพอใจ ระบบที่พัฒนาประกอบด้วย 2 ส่วน คือ 1) ผู้ดูแลระบบ 2) ผู้ใช้ทั่วไป ระบบสามารถจัดการข้อมูลวัด จัดการข้อมูลการประชาสัมพันธ์ จัดการปฏิทินกิจกรรมและการแสดงผลรายงาน และส่วนของผู้ใช้ทั่วไปสามารถดูข้อมูลเกี่ยวกับการประชาสัมพันธ์ และปฏิทินกิจกรรม ซึ่งมีความสอดคล้องกันในการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและโบราณสถาน ทั้งสองงานเน้นใช้เทคโนโลยีเว็บไซต์ และสื่อมัลติมีเดียในการประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์และท้องถิ่น ผู้สนใจสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่าย สะดวก เกิดการรับรู้ข้อมูล ข่าวสาร ช่วยประชาสัมพันธ์สถานที่ท่องเที่ยวให้เป็นที่รู้จัก และให้ความรู้เป็นอย่างดี รวมทั้งเมื่อสถานที่เป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้นแล้ว จะทำให้เกิดการเดินทางมายังพื้นที่ และสร้างรายได้ให้กับชุมชนโดยรอบ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ฟา วิไลขำ และ นงพาง สุขโอสถ (2566) พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวในชุมชนราวต้นจันทน์และชุมชนบ้านวังหาด จังหวัดสุโขทัย ซึ่งทั้งสองงานวิจัยมีความสอดคล้องกันโดยแสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ และเว็บแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการ และสร้างประสบการณ์ที่น่าพึงพอใจแก่ผู้ใช้ได้ดีในภาพรวม และเนื้อหาข้อมูลท่องเที่ยวมีความน่าสนใจ เชื่อถือได้ และครอบคลุมในระดับที่ผู้ใช้อยอมรับได้ดี และความพึงพอใจด้านประโยชน์อยู่ในระดับสูง สะท้อนว่าเว็บไซต์ และแอปพลิเคชันทั้งสองนี้สร้างคุณค่าและประโยชน์ที่ชัดเจนแก่ผู้ใช้ ทั้งในแง่ข้อมูลความสะดวก และการส่งเสริมความสนใจในการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อนุมาศ แสงสว่าง และคณะ (2568) ซึ่งพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร โดยมัลติมีเดียที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถเพิ่มประสบการณ์ การท่องเที่ยวและส่งเสริมคุณค่าทางวัฒนธรรม ในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร ได้เป็นอย่างดีและสามารถนำไปเป็นตัวอย่างเพื่อปรับใช้ในการพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวในด้านอื่นๆ ต่อไป ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาสื่อมัลติมีเดีย โดยทั้งสองเน้นการรวบรวมข้อมูลทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมที่ถูกต้อง นำเสนอเนื้อหาที่น่าสนใจและเข้าถึงง่าย ซึ่งช่วยส่งเสริมความรู้และคุณค่าเชิงวัฒนธรรมแก่นักท่องเที่ยวและผู้ใช้งาน ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น ช่วยส่งเสริมการรับรู้และการเข้าถึงข้อมูลข่าวสารของสถานที่ท่องเที่ยว วัด และชุมชน ส่งผลให้เพิ่มจำนวนผู้เยี่ยมชมและสร้างรายได้แก่ชุมชนโดยรอบ รวมทั้ง เป็นต้นแบบของการพัฒนาสื่อประชาสัมพันธ์ที่สามารถขยายไปใช้กับชุมชนอื่นๆ ได้ และงานวิจัยของ ธนเดช บุชบา และพิมพ์ชนก สุวรรณศรี (2568) ได้พัฒนาการเว็บไซต์แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยคือทั้งคู่ใช้เว็บไซต์เป็นเครื่องมือหลัก รองรับสื่อมัลติมีเดีย เช่น รูปภาพ วิดีโอ แผนที่ เพื่อเพิ่มความน่าสนใจและอำนวยความสะดวกผู้ใช้ ช่วยให้ผู้ใช้วางแผนการเดินทางได้ดีขึ้น โดยเว็บไซต์ท่องเที่ยวญี่ปุ่นเน้นสถานที่ทั่วไป ส่วนเว็บไซต์สื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวโบราณสถานจะโฟกัสโบราณสถานท้องถิ่น

สรุปผลการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ผลการวิจัย พบว่า การออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์สามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากผู้วิจัยประยุกต์ใช้แนวคิดของ

แบบจำลอง ADDIE ซึ่งเป็นกระบวนการพัฒนาสื่อที่มีความเป็นระบบ เริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบโครงสร้างเนื้อหา การพัฒนาเว็บไซต์ การนำไปใช้ และการประเมินผล ส่งผลให้เว็บไซต์ที่สร้างขึ้น มีความสอดคล้องกับบริบทของแหล่งท่องเที่ยวและกลุ่มเป้าหมายอย่างเหมาะสม นอกจากนี้ การออกแบบเว็บไซต์ยังยึดหลักการออกแบบที่คำนึงถึงผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง โดยเน้นความเรียบง่าย ความชัดเจนของโครงสร้าง การเลือกใช้สีและตัวอักษรที่อ่านง่าย ตลอดจนการจัดวางองค์ประกอบอย่างเป็นระเบียบ อีกทั้งการประยุกต์ใช้สื่อมัลติมีเดีย เช่น ภาพถ่าย วิดีโอ และภาพ 360 องศา ช่วยเสริมประสบการณ์การรับรู้และเพิ่มความน่าสนใจของเนื้อหาได้ จึงสะท้อนว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมทั้งในเชิงโครงสร้าง เนื้อหา และการนำเสนอ ซึ่งจะช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและโบราณสถานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการศึกษาประสิทธิภาพของการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บไซต์จากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศพบว่าอยู่ในระดับมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพเหมาะสมต่อการใช้งานจริง ทั้งในด้านเนื้อหา การออกแบบ และความสามารถในการใช้งาน โดยเฉพาะด้านความสามารถในการใช้งานที่ได้รับความนิยมสูงสุด แสดงถึงความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล การนำทางภายในเว็บไซต์ที่ชัดเจน และการตอบสนองของระบบที่เหมาะสมกับพฤติกรรมผู้ใช้ในยุคดิจิทัล ซึ่งเป็นผลจากการออกแบบเว็บไซต์ตามหลักการพัฒนาสื่อดิจิทัลที่มุ่งลดความซับซ้อน เพิ่มความชัดเจน และสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ การใช้รูปแบบ Responsive web design ยังช่วยให้เว็บไซต์สามารถแสดงผลได้อย่างเหมาะสมบนอุปกรณ์ที่หลากหลาย อันสอดคล้องกับแนวคิดการออกแบบเว็บไซต์สมัยใหม่ที่ต้องคำนึงถึงความยืดหยุ่นในการใช้งานและประสบการณ์ของผู้ใช้เป็นสำคัญ ส่วนด้านเนื้อหาและด้านการออกแบบที่อยู่ในระดับมากเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ และมีความสอดคล้องกับบริบทของแหล่งท่องเที่ยวเชิงประวัติศาสตร์ ถือได้ว่าเว็บไซต์ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการเป็นสื่อประชาสัมพันธ์ที่มีคุณภาพและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

ผลการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อการออกแบบและพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานพบว่าอยู่ในระดับมากทุกด้าน โดยด้านประโยชน์ที่ได้รับมีค่าเฉลี่ยสูงสุด สะท้อนว่าเว็บไซต์สามารถสร้างคุณค่าเชิงข้อมูลและเชิงการเรียนรู้แก่ผู้ใช้ได้อย่างชัดเจน ผู้ใช้เห็นว่าเว็บไซต์ช่วยเพิ่มความรู้เกี่ยวกับโบราณสถาน เข้าใจเรื่องราวทางประวัติศาสตร์ได้ง่ายขึ้น และสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งข้อมูลประกอบการท่องเที่ยวหรือการศึกษาได้จริง ส่วนด้านเนื้อหาและด้านการออกแบบที่อยู่ในระดับมากเช่นกัน แสดงว่าเนื้อหามีความกระชับ เข้าใจง่าย และการนำเสนอมีความเหมาะสมทั้งด้านสี สัน รูปแบบตัวอักษร และองค์ประกอบภาพรวมของหน้าเว็บไซต์ ผลดังกล่าวสรุปได้ว่า เว็บไซต์สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ในด้านสารสนเทศและด้านประสบการณ์การใช้งาน ทั้งนี้ ความพึงพอใจของผู้ใช้ที่อยู่ในระดับสูงยังสะท้อนให้เห็นว่า การใช้สื่อมัลติมีเดียร่วมกับการนำเสนอข้อมูลเชิงประวัติศาสตร์สามารถเพิ่มแรงจูงใจในการเข้าถึงข้อมูลและกระตุ้นความสนใจต่อแหล่งท่องเที่ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ อันเป็นเงื่อนไขสำคัญของการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานอย่างยั่งยืน

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การออกแบบ และพัฒนาเว็บไซต์เพื่อส่งเสริมสถานที่ท่องเที่ยวเชิงโบราณสถานในมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ได้พัฒนาด้วยภาษา PHP ร่วมกับ Bootstrap ตัดต่อวิดีโอด้วย Adobe premiere pro และตัดต่อเสียงด้วย Adobe audition และใช้แนวคิดการพัฒนาเว็บไซต์ ADDIE model และมีการออกแบบเว็บไซต์โดยคำนึงถึงการใช้งานได้ง่าย มีการจัดหมวดหมู่ของเว็บไซต์ มีการใช้แบนเนอร์เพื่อสร้างความน่าสนใจของเว็บไซต์ ใช้หลักการของการพัฒนาเว็บไซต์ในรูปแบบ Responsive web รองรับการใช้งานบนอุปกรณ์หลากหลายและสร้างประสบการณ์ผู้ใช้ที่ดี นำไปใช้ประโยชน์ในการส่งเสริมการท่องเที่ยวและการประชาสัมพันธ์แหล่งโบราณสถานอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยส่งเสริมการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อมัลติมีเดียเพื่อการเรียนรู้และการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเชิงสังคมจะกระตุ้นการเดินทางท่องเที่ยว สร้างรายได้และส่งเสริมชุมชนท้องถิ่น และในอนาคตการวิจัยควรขยายกลุ่มตัวอย่างและรวมเทคโนโลยีใหม่ ๆ เช่น AR/VR เพื่อสร้างประสบการณ์ท่องเที่ยวที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นในอนาคต

กิตติกรรมประกาศหรือคำขอบคุณ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยฉบับนี้เป็นอย่างสูง และอุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา ที่ทำให้การดำเนินงานตั้งแต่การเก็บข้อมูล การพัฒนาเว็บไซต์ และการประเมินผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์และผู้เชี่ยวชาญที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการ และขอบพระคุณผู้ตอบแบบสอบถามทุกท่านที่ให้ข้อมูลอันมีค่าต่อการพัฒนาเว็บไซต์นี้

เอกสารอ้างอิง

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2566). *สถานการณ์การท่องเที่ยวตลาดในประเทศปี 2565*.

<https://tatreviewmagazine.com/article/situation2022-domestic/>

กรมประชาสัมพันธ์. (2567). *ผลงานรัฐบาลกระตุ้นการท่องเที่ยวไทยทุกมิติฟื้นเศรษฐกิจ*.

<https://www.prd.go.th/th/content/category/detail/id/39/iid/346512>

กองโบราณคดี. (2563). *อุทยานประวัติศาสตร์พระนครศรีอยุธยา*. <https://www.finearts.go.th/archae/view/9660>

เจนจิรา หวังหลี่, ชاکริต โคจรนา, ธรรมาภรณ์ ยวนใจ และ ธนกฤต รัตนสีมานนท์. (2563). การพัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดตรัง. *วารสารเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี*, 1(1), 84–93. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/atj/article/view/239798>

ธนเดช บุษบา และ พิมพ์ชนก สุวรรณศรี. (2568). การพัฒนาเว็บไซต์แนะนำสถานที่ท่องเที่ยวในประเทศญี่ปุ่น. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน*, 3(4), 94–108.

<https://doi.org/10.57260/stc.2025.1049>

- บุญชม ศรีสะอาด. (2554). *การวิจัยเบื้องต้น*. (พิมพ์ครั้งที่ 9 ปรับปรุง). สุวีริยาการพิมพ์.
- ฟ้า วิไลขำ และ นางพาง สุโขสถ. (2566). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันประชาสัมพันธ์แหล่งท่องเที่ยวในชุมชน
ราวต้นจันทน์และชุมชนบ้านวังหาด จังหวัดสุโขทัย. *Journal of Information and Learning*,
34(2), 99–107. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/jil/article/view/261094>
- มินทร์ตรา ฉัตรแก้ว, วนิดา บุตรโชติ, พิมาย วงศ์ทา และ อารยา อริยา. (2564). การพัฒนาเว็บไซต์
ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม กรณีศึกษาวัดของอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน. *วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, 1(1), 39–47. <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/STJS/article/view/250984>
- ระพีพร แซ่ม้อย, กุลปาลี หนูนักดี, วีรยุทธ์ จันทร์สิงห์, นิภาดา อุณหเลขกะ และ อรรณพ เขียวถาวร.
(2565). การรับรู้ข่าวสารแหล่งท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวไทยผ่านสื่อออนไลน์: กรณีศึกษาชุมชน
บ้านน้ำทรัพย์ จังหวัดเพชรบุรี. *วารสารมนุษยสังคมปริทัศน์*, 25(2), 116–130. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/hspbruacthjournal/article/view/269650>
- วงศ์ประชา จันทรสมวงศ์, พรรณธิพา บ่มกลาง และ พรพรรณ แพฝักฝน. (2554). *Insight DREAMWEAVER
CS5 ฉบับสมบูรณ์*. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.
- สถาบันอยุธยาศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. (2562). *คู่มือนำชมโบราณสถานในมหาวิทยาลัย
ราชภัฏพระนครศรีอยุธยา*. <https://www.aru.ac.th/asi/images/pdf/คู่มือ-KM-2562.pdf>
- สำนักงานสถิติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา. (2569). *รายงานสถิติจังหวัดพระนครศรีอยุธยา พ.ศ. 2568*.
สำนักงานสถิติแห่งชาติ.
https://ayuttaya.nso.go.th/images/2026/1/Provincial_Statistics_Report_2025.pdf
- อนุมาศ แสงสว่าง, ศราวุธ แดงมาก และ วิรลพัชร อสัมภินพงศ์. (2568). การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อส่งเสริม
การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในเขตพระนคร กรุงเทพมหานคร. *วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์*, 3(2), 56–71. <https://doi.org/10.14456/jeit.2025.10>
- Handrianto, C., Jusoh, A. J., Goh, P., & Abdul, R. N. (2021). Using ADDIE model for designing
instructional strategies to improve teaching competency of secondary school
teachers. *Proceeding Webinar Konvensyen Kaunseling Kebangsaan Kali Ke*, 22, 361–
371.
- Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (2014). *Systems analysis and design*. (9th ed.). Pearson.

ผลของสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และทักษะเชิงกระบวนการของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์

Effects of Interactive Computer Assembly Simulations on Academic Achievement and Process Skills of University Students in Computer-related Fields

จิรวรรณ นาคสุวรรณ และ มโนรส บริรักษ์อรารินทร์*

Jirawat Naksuwan and Manorot Borirakarawin*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

Faculty of Science and Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

E-mail: jirawat_nak@nstru.ac.th and manorot_bor@nstru.ac.th*

*Corresponding author

(Received: 1 January 2026, Revised: 19 May 2026, Accepted: 23 May 2026)

<https://doi.org/10.57260/stc.2026.1425>

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะเชิงกระบวนการของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์ โดยใช้รูปแบบการวิจัยกึ่งทดลอง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 82 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบ เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินทักษะเชิงกระบวนการ แบบบูรณาการ และแบบสอบถามความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยใช้คะแนนก่อนเรียนเป็นตัวแปรร่วม

ผลการวิจัยพบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F(1,79) = 5.84, p = .018$) และมีขนาดอิทธิพลระดับปานกลาง ($\text{partial } \eta^2 = 0.07$) นอกจากนี้ ผู้เรียนมีทักษะเชิงกระบวนการโดยรวมอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะด้านการวิเคราะห์ปัญหา การวางแผนขั้นตอน และความปลอดภัยในการปฏิบัติ รวมทั้งมีความพึงพอใจต่อการใช้อุปกรณ์ในระดับสูง ผลการวิจัยสะท้อนว่าสื่อจำลองแบบปฏิสัมพันธ์สามารถใช้เป็นเครื่องมือเสริมเพื่อสนับสนุนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติและพัฒนาทักษะด้านฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ในระดับอุดมศึกษาได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: สื่อปฏิสัมพันธ์ การเรียนรู้ด้วยการจำลอง ทักษะการคิดและการปฏิบัติ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การศึกษาระดับอุดมศึกษา

Abstract

This study aimed to investigate the effects of interactive computer assembly simulation media on learning achievement and procedural skills among undergraduate students in computer-related fields. A quasi-experimental research design was employed with a sample of 82 students divided into an experimental group and a comparison group. The research instruments included a learning achievement test, a rubric-based procedural skills assessment, and a learner satisfaction questionnaire. Data were analyzed using analysis of covariance (ANCOVA), with pretest scores treated as a covariate.

The findings revealed that the experimental group achieved significantly higher posttest scores than the comparison group ($F(1,79) = 5.84, p = .018$), with a moderate effect size (partial $\eta^2 = 0.07$). In addition, students demonstrated a high overall level of procedural skills, particularly in problem analysis, procedural planning, and safety awareness. Learners also reported a high level of satisfaction with the interactive simulation media. The results suggest that interactive simulation-based learning can serve as an effective supplementary instructional tool for supporting practical learning and enhancing computer hardware skills in higher education.

Keywords: Interactive learning media, Simulation-based learning, Procedural skills, Learning achievement, Higher education

บทนำ

การพัฒนาทักษะด้านฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะการประกอบและการแก้ไขปัญหาระบบคอมพิวเตอร์ เป็นสมรรถนะพื้นฐานที่สำคัญต่อการผลิตบัณฑิตในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์ เนื่องจากทักษะดังกล่าวเกี่ยวข้องทั้งกับการทำงานเชิงวิชาชีพและการประยุกต์ใช้ความรู้เพื่อสนับสนุนการซ่อมบำรุงและแก้ไขปัญหาด้านเทคโนโลยีในชุมชน สอดคล้องกับทิศทางการพัฒนาการอุดมศึกษาไทยในยุคดิจิทัลที่มุ่งบูรณาการการเรียนการสอน งานวิจัย และการบริการวิชาการเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Radianti et al., 2020; Meesuwan, 2018)

อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนการสอนรายวิชาที่เน้นทักษะปฏิบัติด้านฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ในระดับอุดมศึกษายังคงเผชิญข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ งบประมาณ และระยะเวลาเรียน ส่งผลให้ผู้เรียนมีโอกาสดำเนินการปฏิบัติจริงไม่เพียงพอ และกระทบต่อความเข้าใจเชิงกระบวนการและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน งานวิจัยร่วมสมัยชี้ว่าสื่อการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์และการเรียนรู้ด้วยการจำลองสามารถช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ทดลองซ้ำ เรียนรู้จากข้อผิดพลาด และพัฒนาทักษะเชิงขั้นตอนในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ส่งผลเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะการปฏิบัติ (Radianti et al., 2020)

ในเชิงเทคโนโลยีการศึกษา การออกแบบและพัฒนาสื่อการเรียนรู้ควรสอดคล้องกับลักษณะของผู้เรียน เนื้อหา และบริบทการใช้งาน เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Meesuwan, 2018) งานวิจัยในประเทศไทยยังชี้ว่าสื่อภาพเคลื่อนไหวและสื่ออินโฟกราฟิกช่วยลดความซับซ้อนของเนื้อหา และส่งเสริมความเข้าใจเชิงกระบวนการผ่านการนำเสนอที่เป็นลำดับขั้น (Klinhom et al., 2022) โดยเฉพาะในบริบทการเรียนการสอนออนไลน์ สื่ออินโฟกราฟิกสามารถช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม (Wongjinda & Mekpayom, 2022)

นอกจากนี้ แนวคิดการถ่ายโอนการเรียนรู้ (Transfer of learning) เน้นให้ผู้เรียนสามารถนำความรู้และทักษะไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้อย่างยั่งยืน (Pholsalee, 2018) ขณะเดียวกัน งานวิจัยด้านการเรียนรู้ด้วยการจำลองพบว่าสื่อจำลองและห้องปฏิบัติการเสมือนช่วยสนับสนุนการพัฒนาความรู้เชิงกระบวนการ (Procedural knowledge) โดยช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจลำดับขั้นตอนและเชื่อมโยงความรู้เชิงแนวคิดกับการปฏิบัติได้ดียิ่งขึ้น (De Jong et al., 2013) รวมถึงช่วยลดภาระทางปัญญาที่ไม่จำเป็น และส่งเสริมการเรียนรู้เชิงลึกในรายวิชาด้าน STEM และเทคโนโลยี

แม้ว่างานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าสื่อการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์และการเรียนรู้ด้วยการจำลองสามารถส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการมีส่วนร่วมของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การศึกษาส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นบริบทการเรียนรู้ทั่วไปหรือวิทยาศาสตร์ในภาพกว้าง ขณะที่งานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะเชิงกระบวนการด้านการประกอบและการแก้ไขปัญหาฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์ในระดับอุดมศึกษายังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติด้วยเกณฑ์บูรณาการร่วมกับการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนั้น การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งศึกษาผลของสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและทักษะเชิงกระบวนการของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและประเมินความเหมาะสมของสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์สำหรับนักศึกษาระดับอุดมศึกษา
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาการประกอบคอมพิวเตอร์ ระหว่างกลุ่มที่เรียนโดยใช้สื่อจำลองกับกลุ่มที่เรียนด้วยรูปแบบปกติ
3. เพื่อประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ ของผู้เรียนภายหลังการจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์

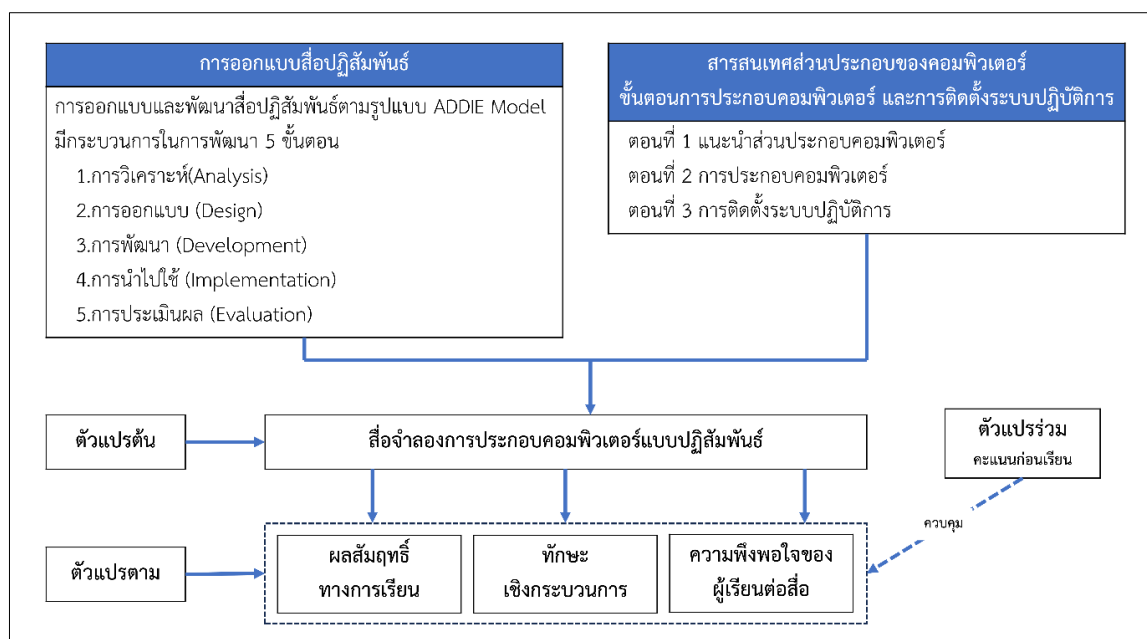
สมมติฐานการวิจัย

1. นักศึกษาที่เรียนด้วยสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่านักศึกษาที่เรียนด้วยรูปแบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. นักศึกษาที่เรียนด้วยสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ มีคะแนนทักษะเชิงกระบวนการเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก
3. ความพึงพอใจของนักศึกษาต่อสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ อยู่ในระดับมาก

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งประเมินผลการเรียนรู้เชิงกระบวนการของผู้เรียน ซึ่งไม่สามารถสะท้อนได้อย่างเพียงพอผ่านการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยข้อสอบเพียงอย่างเดียว จึงใช้การประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติของผู้เรียนควบคู่กับการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน การประเมินทักษะเชิงกระบวนการใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายระดับทักษะรายด้านในรูปแบบรูบริก (Rubric-based assessment) ที่วัดพฤติกรรมการเรียนรู้ซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้สื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์ โดยครอบคลุมทักษะสำคัญ ได้แก่ การวางแผนขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Procedural planning) การแก้ไขข้อผิดพลาด (Error correction) และการดำเนินงานตามลำดับขั้นอย่างเป็นระบบ ซึ่งสะท้อนสมรรถนะด้านการคิด วิเคราะห์ และการปฏิบัติของผู้เรียนในบริบทที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริงสำหรับการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างกลุ่ม ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยกำหนดคะแนนก่อนเรียนเป็นตัวแปรร่วม เนื่องจากวิธีดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการวิจัยแบบ Pretest–posttest ช่วยควบคุมความแตกต่างของความรู้พื้นฐานก่อนเรียน และเพิ่มความแม่นยำในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกลุ่ม

ในส่วนของการพัฒนาสื่อการเรียนรู้ งานวิจัยนี้อาศัยกรอบการออกแบบเชิงระบบ โดยใช้แนวคิด ADDIE เป็นโครงสร้างหลักในการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา ทดลองใช้ และประเมินสื่อ ทั้งนี้ กระบวนการพัฒนาสื่อได้ปรับให้มีความยืดหยุ่นและสอดคล้องกับบริบทการเรียนรู้ดิจิทัลและสื่อปฏิสัมพันธ์ในระดับอุดมศึกษา เพื่อให้สื่อสามารถตอบสนองต่อการเรียนรู้เชิงกระบวนการและการฝึกทักษะปฏิบัติได้อย่างเหมาะสม การดำเนินการวิจัยทั้งหมดเป็นไปตามหลักจริยธรรมการวิจัยด้านการศึกษา โดยผู้เข้าร่วมวิจัยได้รับการชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัย การเข้าร่วมเป็นไปโดยสมัครใจ ข้อมูลที่เก็บรวบรวมไม่ระบุตัวตน และนำเสนอผลการวิจัยในภาพรวมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อผู้เข้าร่วมวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

จากภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนำเข้า กระบวนการเรียนรู้ผ่านสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์ และผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับทักษะเชิงกระบวนการของผู้เรียน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การทดลองดำเนินเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ รวม 12 ชั่วโมง (สัปดาห์ละ 3 ชั่วโมง) โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้เชิงรุกผ่านสื่อจำลอง (Simulation-Based learning) ประกอบด้วยกิจกรรม ได้แก่ การศึกษาส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ การฝึกประกอบอุปกรณ์เสมือน การตรวจสอบข้อผิดพลาด และการติดตั้งระบบปฏิบัติการผ่านสื่อปฏิสัมพันธ์ ดำเนินการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาจำนวน 82 คน แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง 41 คน และกลุ่มเปรียบเทียบ 41 คน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมการทดลอง

สัปดาห์	กิจกรรม	เครื่องมือ
1	ทดสอบก่อนเรียน	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
2	ฝึกประกอบคอมพิวเตอร์ผ่านสื่อจำลอง	สื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์
3	ฝึกแก้ไขข้อผิดพลาดผ่านสื่อจำลอง	สื่อปฏิสัมพันธ์และกิจกรรมฝึกปฏิบัติ
4	ทดสอบหลังเรียนและประเมินทักษะด้วยรูบริก	แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์และแบบประเมินรูบริก

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยคือ นักศึกษาระดับปริญญาตรีในกลุ่มสาขาคอมพิวเตอร์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาจำนวน 82 คน จากสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ และเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ได้มาจากการสุ่มแบบแบ่งชั้นตามสาขาวิชา (Stratified sampling) จากนั้นจัดผู้เรียนเป็นกลุ่มที่ใช้สื่อปฏิสัมพันธ์และกลุ่มที่ไม่ใช้สื่อภายใต้บริบทของห้องเรียนจริง ทั้งนี้ การจัดกลุ่มผู้เรียนดำเนินการภายใต้บริบทของห้องเรียนจริง โดยคงสัดส่วนของผู้เรียนในแต่ละสาขาวิชาให้มีความสมดุลระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบ

ตารางที่ 2 แสดงการกระจายกลุ่มตัวอย่างตามสาขาวิชาและกลุ่มทดลอง

สาขาวิชา	กลุ่มทดลอง	กลุ่มเปรียบเทียบ	รวม
วิทยาการคอมพิวเตอร์	17	17	34
เทคโนโลยีสารสนเทศ	15	15	30
เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์	9	9	18
รวม	41	41	82

เครื่องมือวิจัย

1. สื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์

สื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ โดยออกแบบให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ขั้นตอนการประกอบคอมพิวเตอร์ในลักษณะเชิงปฏิสัมพันธ์ และฝึกทักษะการคิดเชิงกระบวนการภายใต้สถานการณ์จำลองที่ใกล้เคียงกับการปฏิบัติจริง สื่อดังกล่าวทำหน้าที่เป็นสภาพแวดล้อมการเรียนรู้เสมือนจริงที่เอื้อต่อการทดลองซ้ำ การเรียนรู้จากข้อผิดพลาด และการพัฒนาความเข้าใจเชิงลำดับขั้นตอนของการปฏิบัติงาน

2. แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แบบทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเป็นแบบปรนัยชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อ ใช้วัดความรู้เกี่ยวกับการประกอบคอมพิวเตอร์ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญ และมีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.80 อยู่ในระดับดี โดยคำนวณด้วยวิธี KR-20 แสดงให้เห็นว่าแบบทดสอบมีความเหมาะสมสำหรับใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนในงานวิจัยทางการศึกษา

3. แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 12 ข้อ ใช้ประเมินความคิดเห็นของผู้เรียนต่อการใช้สื่อในการจัดการเรียนรู้ เครื่องมือผ่านการตรวจสอบความเชื่อมั่นภายในทั้งฉบับ โดยมีค่า Cronbach's alpha = 0.91 ซึ่งอยู่ใน

ระดับสูง แสดงว่าแบบสอบถามมีความสอดคล้องภายในและเหมาะสมสำหรับการเก็บข้อมูลด้านทัศนคติและความพึงพอใจของผู้เรียน

4. แบบประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ

วิจัยนี้ใช้เกณฑ์การประเมินแบบรูปrik พัฒนาขึ้นเป็นแบบมาตรประมาณค่า 5 ระดับ จำนวน 30 รายการ ครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา การเลือกใช้อุปกรณ์ การวางแผนขั้นตอน ความถูกต้องในการประกอบ ความปลอดภัยในการปฏิบัติ และการแก้ไขข้อผิดพลาด การใช้รูปrikช่วยเพิ่มความชัดเจนของเกณฑ์การประเมิน ความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน และความเที่ยงตรงของผลการประเมิน อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้โดยช่วยชี้แนะแนวทางการปฏิบัติที่ถูกต้องแก่ผู้เรียน (Jonsson & Svingby, 2007; Brookhart, 2023) เครื่องมือนี้ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าความสอดคล้องระหว่างผู้ประเมิน (IRR) เท่ากับ 0.86 และค่าความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha) เท่ากับ 0.89 แสดงว่าเครื่องมือมีความเหมาะสมและน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติของผู้เรียน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างทราบ
2. ดำเนินการทดสอบก่อนเรียนกับผู้เรียนทุกคนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
3. จัดการเรียนการสอน โดยกลุ่มทดลองเรียนรู้ด้วยสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์ ขณะที่กลุ่มเปรียบเทียบได้รับการจัดการเรียนการสอนตามแนวทางปกติ ภายใต้เนื้อหาและระยะเวลาเดียวกัน
4. ดำเนินการทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบชุดเดียวกับก่อนเรียน
5. เก็บข้อมูลความพึงพอใจและประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติของผู้เรียนหลังสิ้นสุดการเรียน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลดำเนินการในช่วงภาคการศึกษาที่กำหนด โดยผู้วิจัยเป็นผู้ควบคุมกระบวนการเก็บข้อมูลทั้งหมดเพื่อให้เป็นไปตามขั้นตอนเดียวกัน และลดความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลในแต่ละกลุ่ม

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่ออธิบายลักษณะข้อมูลพื้นฐาน
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ผู้วิจัยได้ตรวจสอบสมมติฐานของ ANCOVA พบว่า คะแนนก่อนเรียนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับคะแนนหลังเรียน และไม่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มทดลองกับคะแนนก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) แสดงว่าสมมติฐานความสม่ำเสมอของความชันเป็นไปตามเกณฑ์

ทั้งนี้ คะแนนก่อนเรียนของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และการกระจายของค่าคลาดเคลื่อน รวมถึงความแปรปรวนระหว่างกลุ่มอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงเหมาะสมควรใช้ ANCOVA เพื่อเปรียบเทียบ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แสดงดังตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มเปรียบเทียบ

กลุ่มตัวอย่าง	n	คะแนนก่อนเรียน (M ± SD)	คะแนนหลังเรียน (M ± SD)	สถิติ ANCOVA	p-value	Partial η^2
กลุ่มทดลอง	41	21.75 ± 2.10	24.56 ± 1.94	F(1,79) = 5.84	.018	0.07
กลุ่มเปรียบเทียบ	41	21.80 ± 2.05	22.88 ± 2.15	–	–	–

ผลการวิจัย

1. ผลการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ

ผลการประเมินด้วยรูปกรุปพบว่า ผู้เรียนมีระดับทักษะโดยรวมอยู่ในระดับสูง (M = 3.93, SD = 0.40) โดยด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยสูง ได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหา (M = 4.10, SD = 0.45) การวางแผนขั้นตอน (M = 3.98, SD = 0.38) และความปลอดภัยในการปฏิบัติ (M = 4.20, SD = 0.39) ขณะที่ด้านการแก้ไขข้อผิดพลาดมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง (M = 3.50, SD = 0.36) แสดงให้เห็นว่าผู้เรียนมีความสามารถด้านการดำเนินงานตามขั้นตอนและการปฏิบัติงานอย่างปลอดภัยค่อนข้างดี แต่ยังมีพื้นที่สำหรับการพัฒนาทักษะการแก้ไขข้อผิดพลาดให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียน

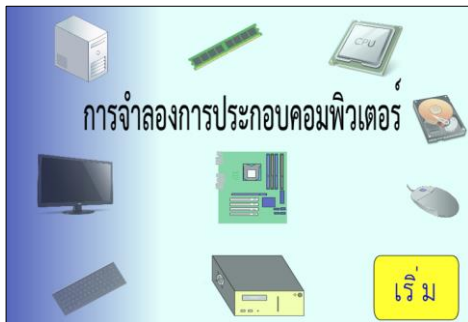
ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เรียนต่อการใช้อุปกรณ์สัมพันธการจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์พบว่า ผู้เรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับสูง (M = 4.51, SD = 0.50) สะท้อนว่าสื่อดังกล่าวเอื้อต่อการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ และช่วยเสริมความมั่นใจในการลงมือปฏิบัติของผู้เรียน

3. ผลการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANCOVA) โดยใช้คะแนนก่อนเรียนเป็นตัวแปรร่วม พบว่า คะแนนหลังเรียนของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (F(1,79) = 5.84, p = .018) โดยมีขนาดอิทธิพลระดับปานกลาง (partial η^2 = 0.07) แสดงว่าสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในระดับที่มีความหมายทางการศึกษา

ผลการพัฒนาสื่อการเรียนรู้แบบปฏิสัมพันธ์

สื่อปฏิสัมพันธ์ที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างสอดคล้องกับลำดับการประกอบคอมพิวเตอร์จริง ประกอบด้วย การแนะนำส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ การประกอบคอมพิวเตอร์ และการติดตั้งระบบปฏิบัติการ Microsoft windows ซึ่งจะมีลักษณะเป็นการโต้ตอบ (Interactivity) ผลป้อนกลับทันที (Immediate feedback) และ กิจกรรมฝึกปฏิบัติ โดยมีตัวอย่างดังภาพที่ 2 ถึงภาพที่ 4

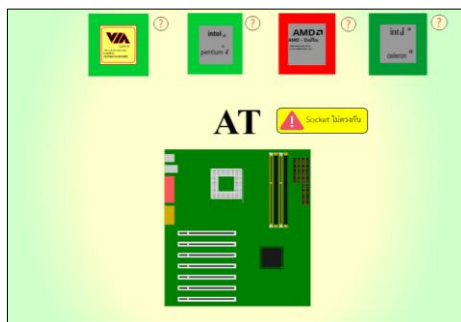


จอภาพหลัก

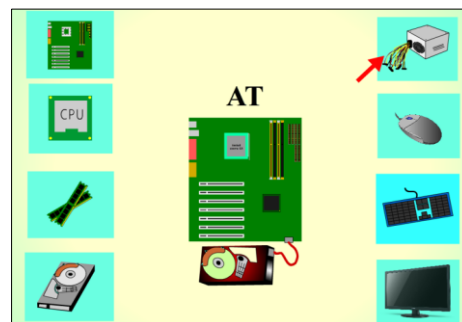


ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 2 แสดงจอภาพหลักและจอภาพส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์

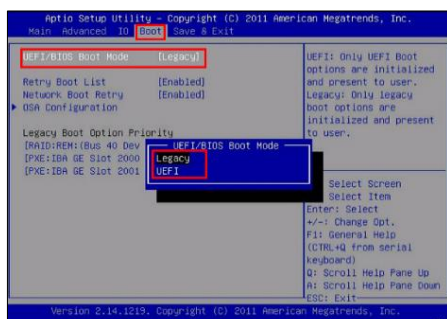


แจ้งเตือนการเชื่อมต่อ

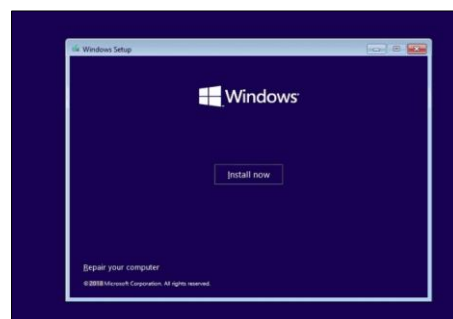


การเชื่อมต่ออุปกรณ์

ภาพที่ 3 แสดงจอภาพแจ้งเตือนการเชื่อมต่อไม่ถูกต้องและจอภาพการเชื่อมต่ออุปกรณ์



การตั้งค่า BIOS



การติดตั้งระบบปฏิบัติการ

ภาพที่ 4 แสดงจอภาพการตั้งค่า BIOS และจอภาพการติดตั้งระบบปฏิบัติการ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ ของกลุ่มเปรียบเทียบ

ทักษะ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับ
การวิเคราะห์ปัญหา	3.20	0.42	ปานกลาง
การเลือกใช้อุปกรณ์	3.15	0.38	ปานกลาง
การวางแผนขั้นตอน	3.05	0.45	ปานกลาง
ความถูกต้องในการประกอบ	2.95	0.50	ปานกลาง
การแก้ไขข้อผิดพลาด	2.80	0.48	ปานกลาง
ความปลอดภัยในการปฏิบัติ	3.35	0.41	ปานกลาง
รวม	3.08	0.44	ปานกลาง

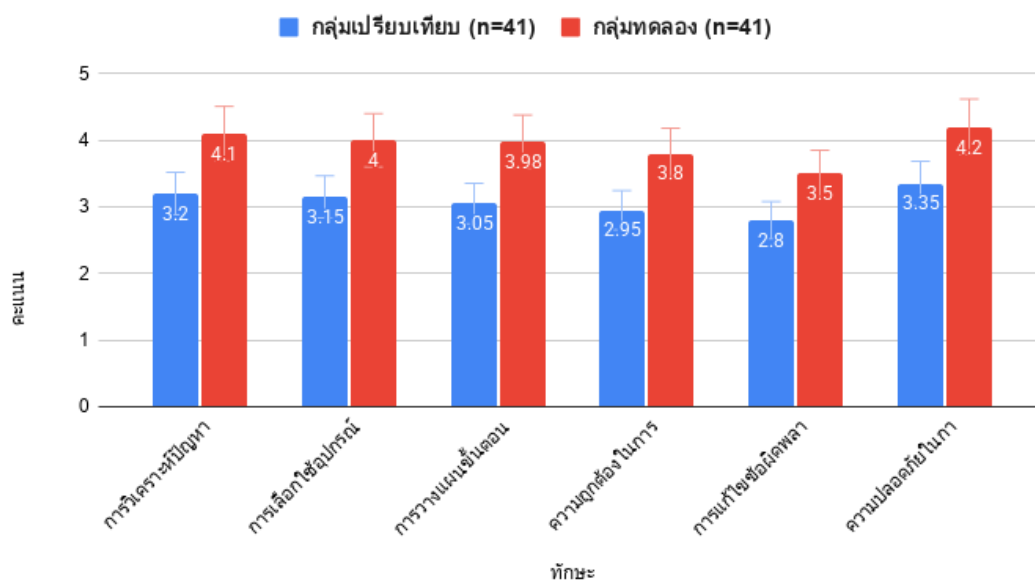
ตารางที่ 5 ผลการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ ของกลุ่มทดลอง

ทักษะ	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับ
การวิเคราะห์ปัญหา	4.10	0.45	สูง
การเลือกใช้อุปกรณ์	4.00	0.41	สูง
การวางแผนขั้นตอน	3.98	0.38	สูง
ความถูกต้องในการประกอบ	3.80	0.40	สูง
การแก้ไขข้อผิดพลาด	3.50	0.36	ปานกลาง
ความปลอดภัยในการปฏิบัติ	4.20	0.39	สูง
รวม	3.93	0.40	สูง

หมายเหตุ: ใช้การปัดเศษทศนิยมสองตำแหน่งตามหลักสถิติการรายงานผล

เมื่อเปรียบเทียบคะแนนทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการระหว่างกลุ่มเปรียบเทียบและกลุ่มทดลองด้วยการทดสอบ Independent samples t-test พบว่า กลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($t(80) = 9.19, p < .001, \text{Cohen's } d = 2.02$) ซึ่งสะท้อนถึงขนาดอิทธิพลในระดับสูงมาก แสดงให้เห็นว่าสื่อจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์แบบปฏิสัมพันธ์มีส่วนช่วยส่งเสริมการพัฒนาทักษะเชิงกระบวนการของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการประเมินเฉลี่ยของทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการ ระหว่างกลุ่มเปรียบเทียบกับกลุ่มทดลอง



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบคะแนนเฉลี่ยการคิดทักษะเชิงกระบวนการระหว่างสองกลุ่ม

การอภิปรายผล

ผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระดับอุดมศึกษาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อควบคุมความรู้พื้นฐานก่อนเรียนแล้ว กลุ่มทดลองมีคะแนนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบ โดยมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ($\text{partial } \eta^2 = 0.07$) แต่มีความหมายทางการศึกษาอย่างชัดเจน เนื่องจากบริบทการจัดการเรียนการสอนด้านฮาร์ดแวร์คอมพิวเตอร์มักเผชิญข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ ระยะเวลา และความเสี่ยงจากการปฏิบัติจริง ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนว่าสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองสามารถทำหน้าที่เป็นเครื่องมือเสริมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ภายใต้บริบทการเรียนการสอนในสภาพจริงได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ สื่อมีมิติเดียวและสื่อจำลองซึ่งเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติซ้ำ สามารถช่วยพัฒนาทักษะปฏิบัติและเสริมความเข้าใจเชิงขั้นตอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Koocharoenspaisal et al., 2023; Suwansil, 2023)

นอกจากนี้ ผลการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการด้วยรูปrikพบว่าผู้เรียนมีทักษะโดยรวมอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะด้านการวิเคราะห์ปัญหา การวางแผนขั้นตอน และความปลอดภัยในการปฏิบัติ ผลลัพธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากลักษณะของสื่อปฏิสัมพันธ์ที่เอื้อต่อการเรียนรู้เชิงกระบวนการผ่านการฝึกปฏิบัติซ้ำ การได้รับผลป้อนกลับทันที และการเรียนรู้จากข้อผิดพลาดในสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ซึ่งช่วยสนับสนุนการสร้างและเสริมความเข้มแข็งของโครงสร้างความรู้เชิงกระบวนการของผู้เรียน ผลการวิจัยนี้จึงสอดคล้องกับงานวิจัยด้าน simulation-based learning และ technology-enhanced learning ที่ชี้ว่าสื่อดิจิทัลเชิงปฏิสัมพันธ์มีบทบาทในการเชื่อมโยงความรู้เชิงแนวคิดกับการปฏิบัติจริง และส่งเสริมการพัฒนาทักษะปฏิบัติอย่างเป็นระบบ (Radianti et al., 2020) อย่างไรก็ตาม

แม้ว่าผลการประเมินโดยรวมจะอยู่ในระดับสูง แต่ทักษะการแก้ไขข้อผิดพลาดยังอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นประเด็นนี้ควรถูกนำมาพิจารณาเพื่อออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในอนาคต

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้สรุปได้ว่าสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองการประกอบคอมพิวเตอร์สามารถสนับสนุนการเรียนรู้ของนักศึกษาระดับอุดมศึกษาได้อย่างเหมาะสม โดยเมื่อควบคุมความรู้พื้นฐานก่อนเรียนแล้ว ผู้เรียนที่ใช้สื่อปฏิสัมพันธ์มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่ากลุ่มที่จัดการเรียนการสอนด้วยวิธีปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีขนาดอิทธิพลอยู่ในระดับปานกลาง ผลลัพธ์ดังกล่าวสะท้อนบทบาทของสื่อในฐานะเครื่องมือเสริมที่ช่วยส่งเสริมความเข้าใจเชิงเนื้อหาและลำดับขั้นตอนของการประกอบคอมพิวเตอร์ภายใต้บริบทการจัดการเรียนการสอนจริง

นอกจากนี้ ผลการประเมินทักษะการคิดและการปฏิบัติเชิงกระบวนการด้วยรูปrikพบว่าผู้เรียนมีทักษะโดยรวมอยู่ในระดับสูง โดยเฉพาะด้านการวางแผนขั้นตอนและการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ ในขณะที่ด้านการแก้ไขข้อผิดพลาดอยู่ในระดับปานกลาง องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้ช่วยยืนยันบทบาทของสื่อปฏิสัมพันธ์การจำลองในการสนับสนุนการพัฒนาทักษะการคิดและการปฏิบัติของผู้เรียนอย่างเป็นระบบ และสะท้อนศักยภาพของสื่อในการตอบสนองการจัดการเรียนรู้รายวิชาปฏิบัติด้านคอมพิวเตอร์ในระดับอุดมศึกษา

ข้อเสนอแนะ

1. เชิงการจัดการเรียนการสอน ควรนำสื่อปฏิสัมพันธ์ไปใช้เป็นเครื่องมือเสริมในรายวิชาที่เน้นทักษะการปฏิบัติ เพื่อสนับสนุนการฝึกซ้ำ การวางแผนขั้นตอน และลดความเสี่ยงจากการปฏิบัติจริง
2. เชิงการวิจัย ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการนำสื่อไปใช้ในบริบทชุมชน เช่น การจัดกิจกรรมบริการวิชาการร่วมกับองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เพื่อประเมินผลกระทบต่อการพัฒนาทักษะดิจิทัลของประชาชน
3. เชิงสังคมและท้องถิ่น มหาวิทยาลัยสามารถผลักดันสื่อนี้เป็น “ชุดฝึกอบรมดิจิทัลเบื้องต้นสำหรับชุมชน” ร่วมกับหน่วยงานท้องถิ่น โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่มีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์และช่างเทคนิค ซึ่งจะสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 4 (การศึกษาที่เท่าเทียม) และเป้าหมายที่ 9 (โครงสร้างพื้นฐานและนวัตกรรม)

เอกสารอ้างอิง

- Brookhart, S. M. (2023). *How to create and use rubrics for formative assessment and grading*. (2nd ed.). ASCD.
- De Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). *Physical and virtual laboratories in science and engineering education*. *Science*, 340(6130), 305–308.
<https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Jonsson, A., & Svingby, G. (2007). *The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences*. *Educational Research Review*, 2(2), 130–144.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2007.05.002>
- Klinhom, N., Sudsanguan, N., Sudseechang, P., & Jattukul, W. (2022). Development of knowledge management infographic videos about online learning problems. *Journal of Science and Technology*, 2(2), 12–24. <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/JSCI/article/view/247102>
- Koocharoenspaisal, N., Jongpoo, S., & Chaykaew, I. (2023). Development of multimedia to enhance learning on using scientific equipment for 7th grade students. *Journal of Industrial Education*, 22(1), 12–24. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/JIE/article/view/250714>
- Meesuwan, W. (2018). *Research in educational technology*. Naresuan University Press. Naresuan University Institutional Repository.
<https://nuir.lib.nu.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3964/1/WiwatMeesuwan.pdf>
- Pholsalee, P. (2018). *Development of infographic media based on transfer of learning on the topic of saving for the future of primary 6 students*. (Master's thesis, Rajamangala University of Technology Thanyaburi).
<http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/3441/1/RMUTT-160341.pdf>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). *A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda*. *Computers & Education*, 147, 103778.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>

- Suwansil, P. (2023). The development of learning achievement through learning unit of processes change inside the earth of grade 12 students by learning from creating infographics. *Journal of Legal Entity Management and Local Innovation*, 9(1), 151–162. <https://so04.tci-thaijo.org/index.php/jsa-journal/article/view/257990>
- Wongjinda, W., & Mekpayom, A. (2022). The development of infographics in the design of online lessons for the industrial teacher students. *Interdisciplinary Academic and Research Journal*, 2(5), 155–166. <https://so03.tci-thaijo.org/index.php/IARJ/article/view/263178>

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ

รองศาสตราจารย์ ดร. รุ่งอรุณ วาดีถิ์ สิริศรัทธา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนศ พงศ์ธีรรัตน์	มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทพญ. ดร.อารีรัตน์ นิรันดร์สิทธิรัชต์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพ์ภา ธาณินพงศ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วฐา มินแสน	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา รอดแก้ว	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พญศักดิ์ อินตะวิชา	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนาพร บุญมี	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไผ่แดง ขวัญใจ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ นนทมาลย์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุกุล มะโนทน	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสรา รื่นไวย์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล ปันสกุล	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีย์พร แสงวงศ์	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติ เอี่ยมชื่น	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยชนัน เกษสุวรรณ	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมนา เหลืองจิตติกาญจนา	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บัลวี ยศน้อย	มหาวิทยาลัยพะเยา
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พวงงามชื่น	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หนึ่งหทัย ชัยอากร	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มธุรส ชัยหาญ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สายันท์ อุ่นนันทากาศ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พหล ศักดิ์คะทนต์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณวิมล นาดี	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารชาติ เทียมเมือง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสน์ ปราโมกษ์ชน	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวิณ เชื้อนแก้ว	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรวิชญ์ ภาคนนท์กุล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ศรีประภาคาร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพล มหาวิค	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตยา วัจวนสินธ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิโรจน์ ต่อสะสุกุล	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพล มากมี	มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิกา อินตะนนท์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐนิตา บุญสร้างสม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติพงศ์ แก้วเหล็ก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัฒนา ชยธวัช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณนิภา ดอกไม้งาม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาลิกา เวชกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวิจนา แก้วผืนก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา กิจพิพิธ
 รองศาสตราจารย์ ดร.สายันต์ แสงสุวรรณ
 รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐธิดา ชัยชนะ
 รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรพงษ์ เรือนคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินารัตน์ แสงกิจ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิติมา พรหมมารัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มีชัย เทพนุรัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิดารัตน์ สุขประภาภรณ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งโรจน์ สุขใจमुख
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กาญจนา ปินตาคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรา สมกำลัง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนฐิณี จิตคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สำราญ ไชยคำวัง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศศิพัชร หาญฤทธิ์
 รองศาสตราจารย์ ดร.พิสิส ฌอน บัวกนก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐกฤษณ์ ธรรมกวินวงศ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมคาย พันธุ์เพ็ง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรสุดา มาทา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ สุวรรณอรรถ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์พร พันธุ์เพ็ง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติยา ปลอดแก้ว
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิศากร สุวรรณ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณฐพร ศิลปะภิรมย์สุข
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระ พันอินทร์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพกา โพธิ์ลังกา
 รองศาสตราจารย์ ดร.ณิชากรีย์ ใจคำวัง
 รองศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา มิ่งฉาย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ศักดิ์ อ้นมอย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร พงศ์ธรรพฤกษ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยนเรศวร
 มหาวิทยาลัยปทุมธานี
 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
 มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภณ วิริยะรัตนกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรทิพพา พิณญาพงษ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราภรณ์ นิคมทัศน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อทิพันธ์ เสียมไหม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรพรรณ จิ๋ว
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นเรศ สวัสดิ์รักษา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นสพ. ดร.ชเวง สารคล่อง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยพล มีพร้อม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปพนพัชร ภัทรฐิติวิสต์
 รองศาสตราจารย์ ดร.สามารถ ใจเตี้ย
 รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรกร กรพรหม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย เครืออินทร์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิราภรณ์ ชัยวัง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ เตียมมี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปณต ภูมาศ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรางคณา เขาคี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สพ.ญ.ดร.กุลิสรา มรุตพันธ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิงกาญจน์ ปวนสุรินทร์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินานาฏ วิทยาประภากร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคลกร ศรีวิชัย
 อาจารย์ ดร.ศรีประไพ อินทร์ชัยเทพ
 รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี แหยมคง
 รองศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ธงไชย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษ สุจริตตั้งธรรม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริกาญจน์ ธนบุรณรื่องคำ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานิสร่า หาดขุนทด
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภิระ บุตรดี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท ชัยรัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิเชษฐ์ จำเนียรสุข
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา อัมพสุ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลชญา ลอยหา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภาวีร์ มากดี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วินัย มีแสง
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จารุวรรณ ไตรทิพย์สมบัติ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรชัย กมลลิ้มสกุล
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประดินันท์ เอี่ยมสะอาด

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์นาถ นาถวรานันต์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิศักดิ์ จตุรพิริย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยพฤกษ์ หงษ์ลัดดาพร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ ต้นเมืองปัก
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรัญ ปานเพชร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ โยธาทักดี
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ. ดร.มหิศร ประภาสะโนน
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดำรงศักดิ์ อาลัย
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร นิลรัตน์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิโชค พรรคพิทักษ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดลลักษณ์ พงษ์พานิช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิจักขณ์ อรุณลักษณ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาควัต รัตนราช
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญธิดา จิรตันโสภา
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชินีเพ็ญ มะลิสุวรรณ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญฤทัย วงศาพรม
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิสร บุรณวงศ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริลักษณ์ กมลวรรณสิทธิ์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยศิริ สนิทพลกลาง
 รองศาสตราจารย์ ดร.พิชัย ทองดีเลิศ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรอุมา ทองหล่อ
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐภูมิ ศรีวิบูลย์
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา แยมประชา
 รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวรรณ วงศ์ทะเนตร
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุระสิทธิ์ ทรงม้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี
 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
 มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยบูรพา
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 มหาวิทยาลัยศิลปากร
 มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 มหาวิทยาลัยมหิดล
 มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน มีเป้าหมายและขอบเขต (Aim and Scope) ที่รับตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน ได้แก่

- 1) วิทยาศาสตร์ชีวภาพ และเกษตรศาสตร์ ได้แก่ ชีววิทยา จุลชีววิทยา ชีวเคมี เทคโนโลยีการอาหาร พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ปฐพีวิทยา โรคพืช การส่งเสริมการเกษตร และเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว
- 2) วิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
- 3) วิทยาศาสตร์สุขภาพ ได้แก่ สร้างเสริมพัฒนาสุขภาพชุมชน อนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัย สารสนเทศทางสุขภาพ

รูปแบบของวารสาร

1. กำหนดออก ปีละ 6 ฉบับ ฉบับละ 8 บทความ
ฉบับที่ 1 มกราคม – กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม – มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม – สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน – ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน – ธันวาคม
2. บทความที่ตีพิมพ์ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ บทความละ 3 ท่านต่อเรื่อง โดยผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-blind Peer Review)
3. นโยบายด้านค่าดำเนินการ
 - 3.1 ปี พ.ศ. 2565 – 2568 การส่งบทความไม่มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากได้รับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 - 3.2 ปี พ.ศ. 2569 เป็นต้นไป ค่าธรรมเนียม บทความละ 3000 บาท

การเตรียมต้นฉบับบทความมีรูปแบบ ดังนี้

ชื่อบทความ (ไทย) (Th SarabunPSK 20 pt, Bold)

Title of article (English) (Th SarabunPSK 20 pt)

ชื่อผู้เขียน (ไทย) (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

Author's name (English) (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

หน่วยงานผู้เขียน (ไทย) (Th SarabunPSK 16 pt)

Author Agency (English) (Th SarabunPSK 16 pt)

E-mail : (Th SarabunPSK 14 pt)

Telephone (Th SarabunPSK 14 pt)

บทคัดย่อ (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

(ภาษาไทยก่อนและตามด้วยภาษาอังกฤษ, กรณีเป็นบทความภาษาอังกฤษต้องมีบทคัดย่อภาษาไทย) เป็นการสรุปสาระสำคัญ ประเภทวิจัย วัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย สรุปผลการวิจัยที่กระชับและชัดเจน และองค์ความรู้ใหม่ที่จะเกิดขึ้น รวมทั้งสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อสังคม ชุมชนท้องถิ่น ระบุตัวเลขสถิติที่สำคัญ ใช้ภาษารัดกุมเป็นประโยคสมบูรณ์และเป็นร้อยแก้ว ไม่แบ่งเป็นข้อๆ โดยบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษไม่ควรเกิน 1 หน้ากระดาษขนาด A4 และให้ระบุคำสำคัญ (Keywords) ไว้ท้ายบทคัดย่อในแต่ละภาษา (Th SarabunPSK 16 pt)

คำสำคัญ: คำที่ 1 คำที่ 2 คำที่ 3 (3-5 คำ) (Th SarabunPSK 16 pt)

บทนำ (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

ให้เขียนอธิบายความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา แนวคิดทฤษฎีที่ใช้ วัตถุประสงค์ และประโยชน์ที่ได้รับ (Th SarabunPSK 16 pt)

ระเบียบวิธีวิจัย (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

อธิบายถึงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและอธิบายวิธีการศึกษาทดลอง ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง วิธีดำเนินการวิจัย เครื่องมือวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล (Th SarabunPSK 16 pt)

ผลการวิจัย (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

การเขียนเสนอผลการศึกษาค้นคว้าที่กระชับและแสดงการวิจัยถึงผลที่ชัดเจน หากมีตาราง กราฟ หรือรูปภาพให้มีเนื้อหาหรือวิธีการอธิบายประกอบ (Th SarabunPSK 16 pt)

การอภิปรายผล (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

การเขียนอภิปรายผลการศึกษา เป็นการชี้แจงผลการวิจัยว่าตรงตามวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการวิจัย สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับผลการวิจัยของผู้อื่นที่มีอยู่ก่อนหรือไม่ อย่างไร ด้วยเหตุผลใด เปรียบเทียบหรือตีความเพื่อเน้นความสำคัญของงานและสรุปให้เข้าใจง่ายที่สุด (Th SarabunPSK 16 pt)

บทสรุปและข้อเสนอแนะ (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

ให้เขียนสรุปสาระสำคัญของผลงานวิจัยว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยเน้นถึงปัญหาหรือข้อโต้แย้งในสาระสำคัญ ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ และองค์ความรู้ใหม่ที่เกิดขึ้นหรือประโยชน์ที่จะเกิดต่อสังคม ชุมชน และท้องถิ่น (Th SarabunPSK 16 pt)

กิตติกรรมประกาศหรือคำขอบคุณ (ถ้ามี) (Th SarabunPSK 18 pt, Bold)

อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ โดยเป็นการแสดงความขอบคุณผู้ช่วยเหลือในงานวิจัยแต่ไม่ได้เป็นผู้ร่วมในงานวิจัย (Th SarabunPSK 16 pt)

เอกสารอ้างอิง (Th SarabunPSK 16 pt)

เอกสารอ้างอิง ควรมีไม่ต่ำกว่า 15-20 รายการ และควรเป็นปัจจุบันให้มากที่สุด (Th SarabunPSK 16 pt) การอ้างอิงแบบแทรกปนไปกับเนื้อหา : เนื้อหาบทความใช้ระบบการอ้างอิงแบบนามปี (ชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์) ตัวอย่างเช่นลมูล รัตตากร (2529) ได้กำหนดคุณสมบัติของ.....

รูปแบบการเขียนรายการอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง ควรมีไม่ต่ำกว่า 15-20 รายการ และควรเป็นปัจจุบันให้มากที่สุด การเขียนเอกสารอ้างอิงให้เรียงเอกสารที่ใช้อ้างอิงทั้งหมดตามลำดับอักษรตัวแรกของรายการที่อ้างอิง โดยเรียงลำดับแบบพจนานุกรม และให้เรียงภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ มีรูปแบบการเขียนแบบ APA 7 (American Psychological Association) ดังนี้

1. หนังสือ

ชื่อ สกุล. (ปีที่พิมพ์). *ชื่อหนังสือ*. ครั้งที่พิมพ์. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

สีลาภรณ์ บัวสาย. (2549). *เศรษฐกิจพอเพียง ร่วมเรียนรู้ สานช่วย ขยายผล*. (พิมพ์ครั้งที่ 2).

กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.

Courtney, T. K. (1965). *Physical Fitness and Dynamic Health*. New York: McGraw-Hill Inc.

2. วารสาร (อ้างอิงวารสารที่มีความทันสมัย/เป็นปัจจุบันมากที่สุด)

ชื่อ สกุล. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. *ชื่อวารสาร*, ปีที่ (ฉบับที่), เลขหน้าเริ่มต้น-เลขหน้าสิ้นสุด.

ไพฑูรย์ สีนลรัตน์. (2531). การปฏิรูปหลักสูตรมหาวิทยาลัยในประเทศไทยที่กำลังพัฒนา. *อุดมศึกษา*, 13 (34), 14-

20. <http://www.....> Or DOI:.....

Elmastas, M., Isildak, O., Turkekal, Isildak., & Temar, N. (2007). Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushroom. *Food Composition and analysis*, 20, 337-345. <http://www.....> Or DOI:.....

3. วิทยานิพนธ์ (หากเรื่องนั้นมีบทความในวารสารให้ใช้การอ้างอิงจากวารสาร)

ชื่อ สกุล. (ปีที่พิมพ์). *ชื่อวิทยานิพนธ์ การค้นคว้าแบบอิสระ*. (ระดับวิทยานิพนธ์ การค้นคว้าแบบอิสระ คณะ สถาบันการศึกษา).

ยุริพรรณ แสนใจยา. (2545). *แนวทางการพัฒนาไร้ชาสุวิหุห์ อำเภอมะลาว จังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร*. (วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).

4. บทความในเอกสารประกอบการประชุมสัมมนาวิชาการที่พิมพ์เผยแพร่

ชื่อ สกุล ผู้เขียนหรือหน่วยงาน. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ใน สถานที่จัดประชุม, *ชื่อการประชุม* ครั้งที่ วันประชุมสัมมนา สถานที่จัด.

คณะกรรมการอำนวยการคัดสรรสุดยอดหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ไทย. (2549). *Proceeding งานประชุมวิชาการคัดสรรสุดยอดหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์*, ครั้งที่ 2 วันที่ 1-2 ธันวาคม 2560 มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

5. สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (อ้างอิงเฉพาะข้อมูลที่ทันสมัย/เป็นปัจจุบัน เช่น สถิติจำนวนประชากร เป็นต้น)

ชื่อ สกุล. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. สืบค้นจาก ชื่อ website

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2562). สํารวจภาวะการณ์ทำงานของประชากร 2562.

<http://www.nso.go.th/sites/2014>

การส่งต้นฉบับ

จัดส่งต้นฉบับที่พิมพ์ตามข้อกำหนดของรูปแบบวารสาร

ที่เว็บไซต์ <https://li02.tci-thaijo.org/index.php/STC/index>

การประเมินบทความต้นฉบับ

ต้นฉบับจะต้องผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ซึ่งเป็นบุคคลภายนอกสังกัดของเข้าของบทความ และจากหลากหลายสถาบัน จำนวน 3 ท่านต่อเรื่อง โดยผู้ทรงคุณวุฒิไม่ทราบชื่อผู้นิพนธ์และผู้นิพนธ์ไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Double-blind peer review) สถาบันวิจัยและพัฒนาจะเป็นผู้สรรหาเพื่อรับการประเมิน กรณีมีการแก้ไขสถาบันวิจัยและพัฒนาจะส่งผลการอ่านประเมินคืนผู้เขียนให้เพิ่มเติม แก้ไขหรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี

หมายเหตุ

1. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน” ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
2. เนื้อหาบทความที่ปรากฏในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาด อันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์
3. การส่งบทความ
 - 3.1 ปี พ.ศ. 2565 – 2568 การส่งบทความไม่มีค่าใช้จ่าย เนื่องจากได้รับการสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
 - 3.2 ปี พ.ศ. 2569 เป็นต้นไป ค่าธรรมเนียม บทความละ 3000 บาท

จริยธรรมการตีพิมพ์

จริยธรรมในการตีพิมพ์บทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน มีเป้าหมายและขอบเขต (Aim and Scope) ที่รับตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชน ได้แก่

- 1) วิทยาศาสตร์ชีวภาพ เกษตรศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ชีววิทยา จุลชีววิทยา ชีวเคมี เทคโนโลยีการอาหาร พืชศาสตร์ สัตวศาสตร์ ปฐพีวิทยา โรคพืช การส่งเสริมการเกษตร เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว และสิ่งแวดล้อม
- 2) วิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์ คณิตศาสตร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม
- 3) วิทยาศาสตร์สุขภาพ ได้แก่ สร้างเสริมพัฒนาสุขภาพชุมชน อนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัย สารสนเทศทางสุขภาพ

เพื่อให้การเผยแพร่วารสารเป็นไปอย่างถูกต้อง จึงได้กำหนดแนวปฏิบัติและจริยธรรมการตีพิมพ์เผยแพร่บทความสำหรับการดำเนินงานของวารสาร ดังนี้

บทบาทหน้าที่ของผู้เขียนบทความ

1. วารสารขอให้ผู้เขียนรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ของผู้เขียนบทความ ไม่คัดลอกผลงานวิชาการของผู้อื่น ไม่มีการละเมิดลิขสิทธิ์หรือทรัพย์สินทางปัญญา และไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน หากตรวจพบว่ามีกรกระทำข้างต้นให้ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความในการละเมิดลิขสิทธิ์
2. บทความที่ส่งมานั้นต้องไม่อยู่ในระหว่างการส่งไปวารสารอื่นเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ หากตรวจพบว่ามีกรกระทำข้างต้นกองบรรณาธิการขอยกเลิกบทความดังกล่าว
3. วารสารขอให้เขียนบทความวิจัยให้ถูกต้อง โดยยึดตามรูปแบบของวารสารที่กำหนดไว้ในคำแนะนำผู้เขียน
4. วารสารขอให้ผู้เขียนบทความมีการอ้างอิงทั้งส่วนเนื้อหาและรายการอ้างอิงท้ายบทความเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาอ้างอิงหากตรวจพบว่ามีกรละเมิดลิขสิทธิ์ให้ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความแต่เพียงผู้เดียวในการละเมิดลิขสิทธิ์
5. ผู้เขียนบทความที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคนต้องเป็นผู้ที่มีส่วนร่วมในการทำวิจัยเรื่องนั้นจริง
6. หากมีแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยให้ระบุแหล่งทุนด้วย
7. หากมีผลประโยชน์ทับซ้อนใดๆ วารสารขอให้ผู้เขียนบทความระบุรายละเอียดผลประโยชน์ทับซ้อนดังกล่าวด้วย
8. บทความที่เกี่ยวกับการวิจัยในมนุษย์หรือในสัตว์ทดลอง ควรผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย (ถ้ามี) โดยให้แนบหลักฐานการรับรองมาพร้อมบทความที่ส่งให้กับกองบรรณาธิการหากมีการร้องเรียนเกี่ยวกับการละเมิดทางจริยธรรมการวิจัยและกองบรรณาธิการได้พิจารณาแล้วเห็นว่ามีกรละเมิดจริง ผู้เขียนบทความจะต้องถอนบทความ
9. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ใน “วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน” ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

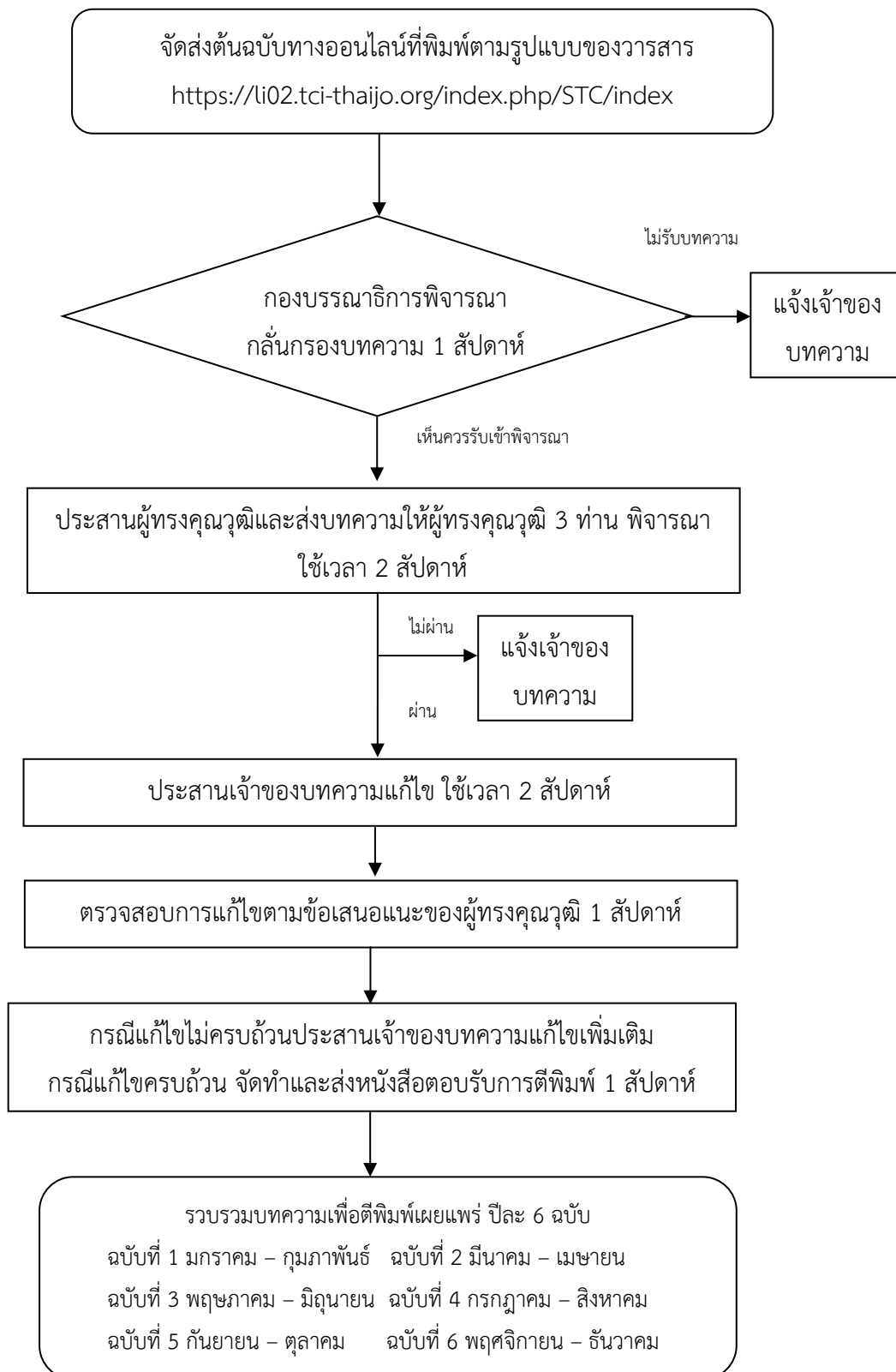
บทบาทหน้าที่ของทีมบรรณาธิการ

1. ที่ปรึกษาวารสารมีหน้าที่พิจารณาให้ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายในการดำเนินงานด้านวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน
2. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่เป็นแกนหลักเป็นหัวหน้าทีมกองบรรณาธิการในการพิจารณาและตรวจสอบบทความ พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงตรวจสอบประเมินคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
3. กองบรรณาธิการวารสารเป็นกลุ่มบุคคลที่ทำหน้าที่เป็นคณะทำงานของบรรณาธิการมีหน้าที่ในการพิจารณาและตรวจสอบบทความ พิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหาบทความกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงตรวจสอบประเมินคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
4. หน้าที่ของทีมบรรณาธิการต่อผู้เขียนบทความและผู้ประเมินบทความ
 - 4.1 ไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนบทความและผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น
 - 4.2 ตรวจสอบและปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่เคยเผยแพร่ที่อื่นมาแล้ว
 - 4.3 ต้องใช้หลักการพิจารณาบทความโดยอิงเหตุผลทางวิชาการเป็นหลัก และต้องไม่มีอคติต่อผู้เขียนบทความและบทความที่พิจารณาไม่ว่าด้วยกรณีใด
 - 4.4 ต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้เขียนบทความหรือผู้ประเมินบทความ ไม่ว่าจะเพื่อประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเองหรือผลประโยชน์อื่นๆ
 - 4.5 ตรวจสอบการคัดลอกผลงานทางวิชาการของผู้อื่นในบทความ หากพบการคัดลอกผลงานดังกล่าวจะต้องหยุดกระบวนการประเมินบทความ และติดต่อผู้เขียนบทความเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการตอบรับหรือปฏิเสธการตีพิมพ์บทความ
 - 4.6 ตรวจสอบขั้นตอนการประเมินบทความของวารสารให้เป็นความลับ มีความเป็นธรรม ปราศจากอคติ
 - 4.7 ตีพิมพ์เผยแพร่บทความที่ผ่านกระบวนการประเมินจากผู้ประเมินบทความแล้วเท่านั้น
 - 4.8 ต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประเมินของผู้ประเมินบทความ
 - 4.9 ต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด

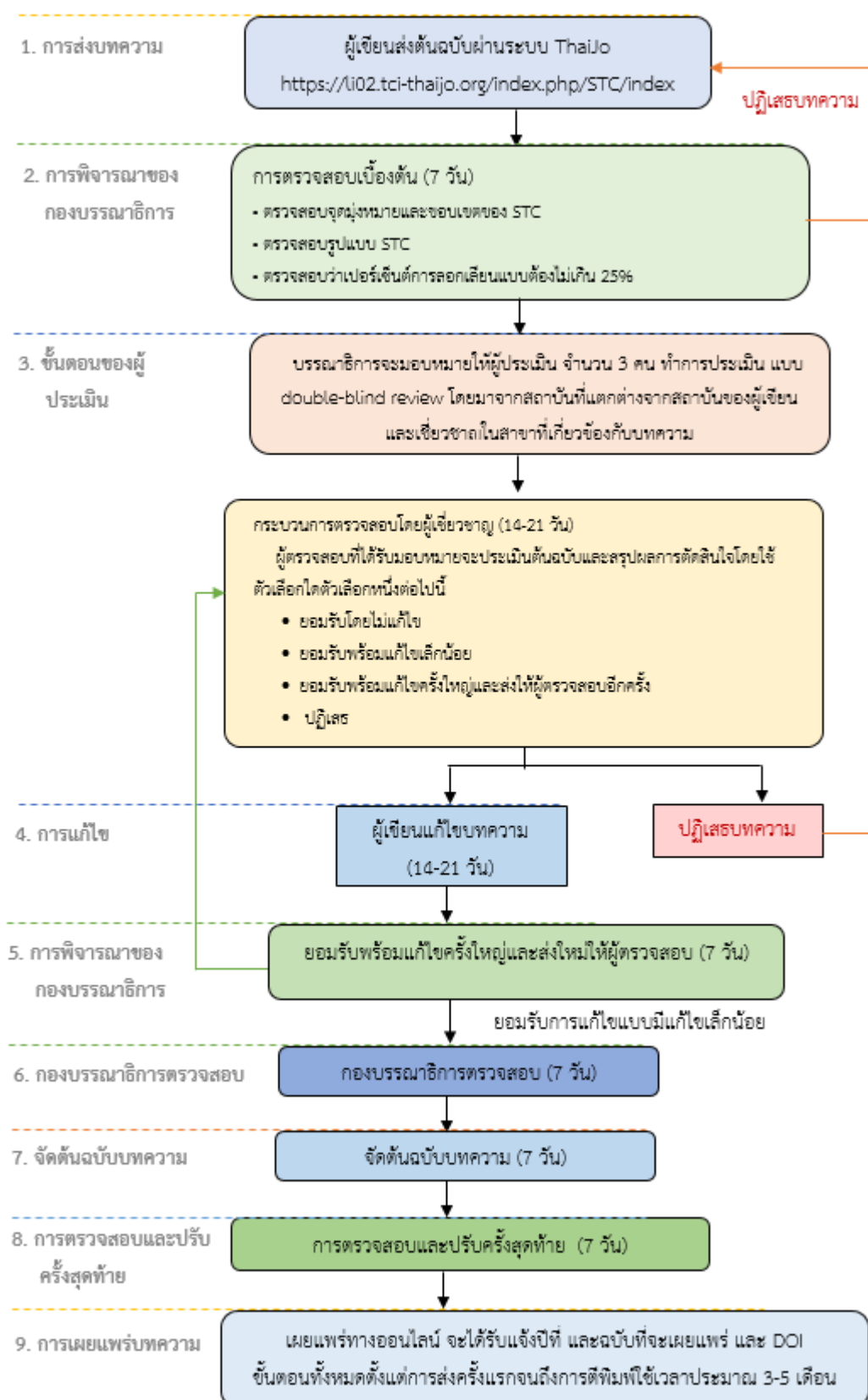
บทบาทหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ

1. ผู้ประเมินบทความต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์บทความ
2. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความแก่บุคคลที่ไม่เกี่ยวข้องในระหว่างกระบวนการประเมินบทความ
3. ต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากบทความที่ตนเองได้ทำการประเมิน
4. ต้องตระหนักว่าตนเองเป็นผู้มีความเชี่ยวชาญ มีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของบทความที่รับประเมินอย่างแท้จริง
5. หากพบว่าบทความมีความเหมือนหรือซ้ำซ้อนเป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ผู้ประเมินต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบทันที พร้อมแสดงหลักฐานประกอบที่ชัดเจน
6. ผู้ประเมินบทความต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่วารสารกำหนด

ขั้นตอนการส่งบทความเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่ชุมชน



ขั้นตอนของผู้ประเมิน





วารสารวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยีสู่ชุมชน



สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ศูนย์แม่ริม 180 หมู่ 7 ถนนโชตนา (เชียงใหม่-ฝาง)

ตำบลน้ำเหล็ก อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 50180

stc_journal@cmru.ac.th

<https://li02.tci-thaijo.org/index.php/STC/index>

SCIENCE &
TECHNOLOGY
TO
COMMUNITY