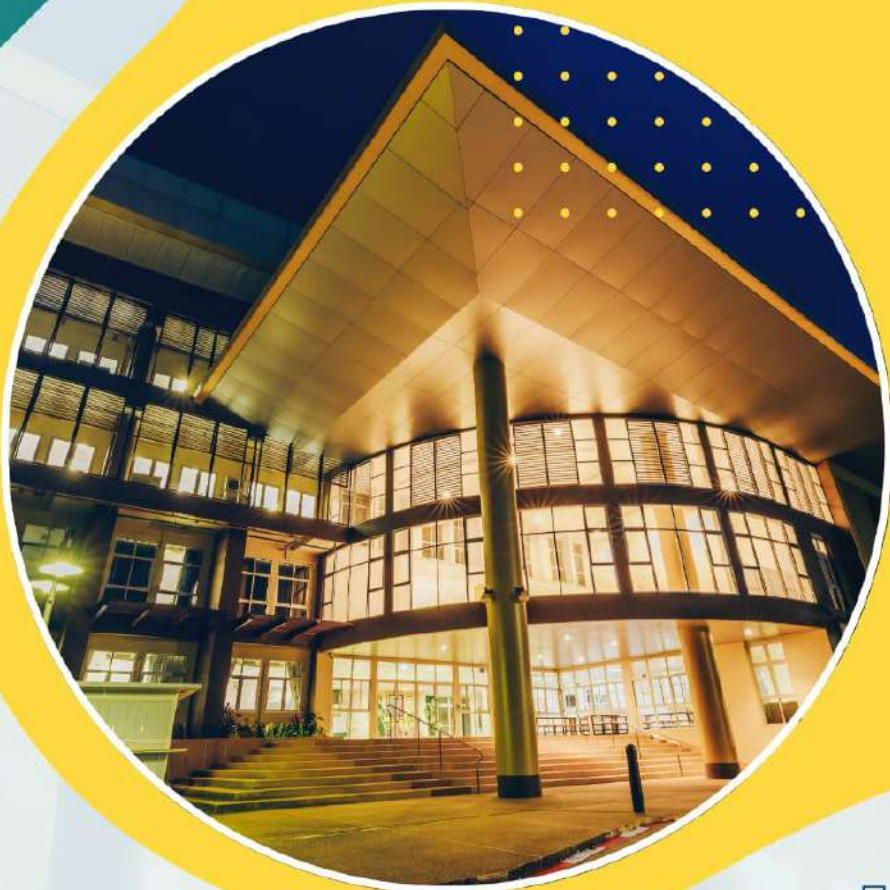




วารสาร มจร.กฟ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Techonology

SCOPE:

Pure/Applied/Educational Sciences

Physics, Chemistry, Biology,
Mathematics, Computer Science,
Food Science and Technology,
Information Technology,
Environmental Science,
Public Health

Published by

Faculty of Science and Technology
Kamphaeng Phet Rajabhat University

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt>

วารสาร มรภ.ภพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

เจ้าของ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

เว็บไซต์ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt>

หัวหน้าบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

รองหัวหน้าบรรณาธิการ รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุทธิ์ พิพรรธจินดา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ผู้ช่วยบรรณาธิการ นายกฤษณะ จันทร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

นายธาดา พรหมทับ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

นายประทีป เพ็ญแจ้ง มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ขอบเขต เป็นวารสารที่รับบทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์/ประยุกต์/การศึกษา ในสาขาวิชา ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ สิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีการอาหาร สาธารณสุขศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded และผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความมาจากหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์และผู้ร่วมประพันธ์ จำนวน 3 ท่าน จากหน่วยงานที่ต่างกัน และบทความจะต้องได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิตั้งน้อย 2 ท่าน

กำหนดการออกวารสาร 2 ฉบับ/ปี ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

จำนวนบทความ/ฉบับ 8 - 10 บทความ/ฉบับ

ผู้สนับสนุน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร, MOU เครือข่ายความร่วมมือทางวิชาการ 4 สถาบัน, บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) จังหวัดกำแพงเพชร

กองบรรณาธิการ	Professor Dr. Boyko Gyurov	Georgia Gwinnett College USA
ศาสตราจารย์ ดร.ทศวรรษ	สีตะวัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	เพชรโรจน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
Associate Prof. Dr. Bounphanh Tonpheng		National University of Laos
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กบ้งเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวะกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวิจิ	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุนนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินันท์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัคริย์	พิมพ์พิมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธรฤกษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทานิยเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงษศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอนก	หาลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์	สวนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วสุนธรา	รตโนภาส	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	ศิริธน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Dr. Phoui	Souksomvang	National University of Laos
Dr. Phengxay	Deevanhxay	National University of Laos
Dr. Somsack	Inthasone	National University of Laos
Dr. Somphouthone	Phimmachak	National University of Laos

บทบรรณาธิการ

วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักเรียน นักศึกษา ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป โดยไม่หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ เพื่อใช้ในการเพิ่มพูนองค์ความรู้และใช้เป็นผลงานทางวิชาการสำหรับผู้สนใจในด้านวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

วารสารนี้เผยแพร่เป็นปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิชาการและวิจัยทั้งหมด 8 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขาฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีการอาหาร ในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ประยุกต์ และการศึกษา โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนของเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน พบกันใหม่ในฉบับหน้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา

หัวหน้าบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิจัย ■	
Modeling Tactical Free Energy and Shot Decision-Making in Professional Football Using Spatiotemporal Event Data	103
► Sarayut Pantian	
การคำนวณและเปรียบเทียบระยะทางการยิงลูกตีมานาฬิกาเคลื่อนที่แบบซิมเพิลเพนดูลัมภายใต้แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา	113
► อาทิตย์ หู่เต็ม	
การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพญาوانร จากตำบลดงมหาวัน อำเภอเวียงเชียงรุ้ง จังหวัดเชียงราย	123
► บรรพต จอมสวรรค์	
ประสิทธิภาพเชื้อ <i>Serratia nematodiphila</i> Sd23 และ <i>Bacillus siamensis</i> Ks5 ในการควบคุมเชื้อ <i>Bipolaris oryzae</i> ที่เป็นสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว	131
► สุวิษญา บัวชาติ	
การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิง: กรณีศึกษาเทศบาลตำบลระหาน	141
► สุรินทร์ เพชรไทย	
การผลิตและคุณค่าทางอาหารของถั่วเน่าที่ผลิตตามภูมิปัญญาของชุมชนบ้านห้วยขม ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย	161
► ประเสริฐ ไวยะกา	
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวพองเพื่อสุขภาพ	173
► นกุล อินทกุล	
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ของนักศึกษา สาขาวิชาคณิตศาสตร์ โดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน	185
► สุดาภรณ์ ภู่แพร	

Modeling Tactical Free Energy and Shot Decision-Making in Professional Football Using Spatiotemporal Event Data

Sarayut Pantian^{1*}, Yaowalak Yamsuk²

¹Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi province, 15000

²Independent Researcher, Meung, Lopburi province, 15000

Abstract

This study proposes a physics-inspired framework for analyzing shooting decision-making in professional football through the concept of tactical free energy. Drawing on energy landscape theory from statistical mechanics, we model the tactical influence exerted by surrounding players on the ball as an abstract, configuration-dependent scalar field rather than a physical force. A derivative-based formulation is introduced to quantify the rate of change in tactical free energy around the ball, incorporating spatial factors such as distance to goal, shooting angle, opponent density, and tactical entropy representing decision variability.

The framework is evaluated using open-source StatsBomb event and freeze-frame data. Due to the absence of continuous tracking information, temporal derivatives are approximated using discrete positional snapshots within a short pre-shot window. An exploratory empirical analysis of 20 open-play shots reveals a moderate negative correlation (Pearson $r = -0.62$) between the tactical free energy derivative and expected goals (xG), indicating that players tend to attempt shots during moments of decreasing tactical resistance. Spatial heatmap visualizations further show that successful shots are concentrated in regions characterized by lower tactical energy influence. These findings suggest that shooting decisions can be interpreted as transitions toward local minima in a tactical energy landscape. The proposed approach contributes to football analytics by introducing an energy-based interpretation of tactical decision-making, bridging concepts from statistical physics and spatiotemporal football data, and providing a reproducible application using publicly available datasets. While exploratory in nature, the

*Corresponding author : sarayut.p@lawasri.tru.ac.th

Received : 04/08/2025 Revised : 04/12/2025 Accepted : 15/12/2025

framework demonstrates potential for extension to larger datasets and integration into predictive and decision-support systems.

Keywords : football analytics, tactical energy, shooting decision, tracking data, energy landscape.

Introduction

In modern football, the decision to attempt a goal is one of the most critical moments that can determine the outcome of a match. The complexity of this decision lies not only in the player's technical ability but also in the contextual dynamics surrounding the event, such as spatial positioning, pressure from defenders, and the player's tactical awareness. As football increasingly integrates data analytics and scientific modeling into its strategic planning, understanding the probability of shooting decisions has emerged as a vital area of research.

Recent developments in performance analysis have employed spatial data to quantify shooting opportunities using models such as Expected Goals (xG) [1-2]. While xG models have provided meaningful insights into shot quality and scoring likelihood, they often treat each shot as an independent event, ignoring the broader energy flow and tactical landscape that influences the player's choice to shoot. This limitation opens a space for more holistic modeling grounded in the principles of physics and complexity science.

To address this gap, this study proposes a novel framework that integrates the concept of Energy Landscape from statistical mechanics to model and interpret the decision-making process in football. The Energy Landscape metaphor, which describes how systems evolve toward lower-energy (more probable) states, has been successfully applied in molecular biology [3], neuroscience [4], and complex adaptive systems [5]. Applied to football, this concept enables the visualization of the tactical field as a dynamic terrain where players navigate options under the influence of pressure, space, and time constraints. Moreover, football has increasingly been studied through the lens of entropy and complexity, offering measures of unpredictability and decision variability [6-7]. This study builds upon that foundation by linking entropy and energy into a unified model that describes how the collective behavior of players affects a team's tactical free energy, a quantity that encapsulates opportunity, risk, and control.

The aim of this research is to analyze professional football match data and investigate how player positions, defensive pressure, and match context influence the probability of a shot attempt. By embedding these variables into a physics-inspired energy framework, we seek to provide a deeper understanding of shooting decisions that goes beyond conventional statistical models. This paper contributes to the field by (1) proposing a novel energy-based interpretation

of football tactics, (2) integrating position tracking data with event-based shooting decisions, and (3) providing empirical validation of the model using open-source data. The insights gained could aid coaches, analysts, and AI systems in developing more context-aware tactical evaluations and decision-support tools.

Methodology

This research proposes a novel framework that integrates principles from statistical mechanics and spatiotemporal data analysis to investigate professional football players decision-making when attempting a shot. The methodology consists of four major stages: data acquisition, data preprocessing, tactical energy modeling, and statistical analysis.

1. Data Acquisition

In this study, only StatsBomb open-event data were used. As open-access datasets do not contain continuous tracking information, player and ball velocities were approximated using surrogate measures derived from freeze-frame positional changes and contextual variables. This approximation allows the estimation of directional pressure and spatial gradients but does not represent true optical-tracking velocities [8]. Since true tracking data are unavailable in the open-release dataset, the calculation of $\vec{v}_i - \vec{v}_{ball}$ and the spatial gradient $\vec{\nabla} F_i$ relies on surrogate estimators. Therefore, the derivative in Eq. (2) should be interpreted as an approximation of tactical energy change, not a physically exact velocity-based computation.

2. Data Preprocessing

The data were cleaned and merged into a unified format using Python libraries (pandas, numpy) and organized by match ID, team, and half-time period. Only open-play shots were included. The spatial coordinates of each shot were rescaled to match real pitch dimensions (105×68 meters), enabling consistent heatmap visualization. Each shot instance was annotated with contextual tags such as foot used, body part, under pressure, and goal outcome, in line with event-based modeling standards [9]. For each shot, a temporal window of 3 seconds prior to the event was analyzed, consistent with prior tactical-pressure studies. Only one freeze-frame per second is available in StatsBomb data. Therefore, all temporal derivatives were approximated using discrete differences. The value of dF/dt used in analysis corresponds to the average across all available frames in the window.

3. Tactical Energy Modeling

To bridge physics and football analytics, this study introduces the concept of Tactical Free Energy (F), adapted from statistical thermodynamics

$$F = U - T \cdot S \quad (1)$$

Where U is the Tactical potential energy, defined based on positional advantages (e.g., proximity to goal, angle, opposition density).

$$U = w_1 \frac{1}{d_{goal}} + w_2 \cdot ShotAngle - w_3 OpponentDensity \quad (2)$$

where d_{goal} is the shooter-goal distance. ShotAngle captures angular advantage. OpponentDensity represents the number of defenders located within a 5-meter radius of the shooter. w_1 , w_2 and w_3 are non-negative weighting coefficients that determine the relative contribution of distance, angle, and defensive pressure to the potential energy U. All weights were normalized such that $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ to ensure dimensional consistency and interpretability. In the present exploratory analysis, the weights were set empirically to $w_1 = 0.4$, $w_2 = 0.3$ and $w_3 = 0.3$ though alternative values can be calibrated using larger datasets or optimization methods. A negative sign is introduced before the defensive density term because higher opponent congestion reduces the offensive potential, consistent with tactical-pressure theory and free-energy formulation. In the proposed framework, tactical potential energy U is not interpreted as physical potential energy in the classical mechanics sense, where energy depends solely on spatial coordinates. Instead, U is defined as an effective, configuration-dependent scalar field that summarizes the tactical favorability of a game state surrounding the ball. This formulation is analogous to potential landscapes in statistical mechanics and complex systems, where the state of the system is determined not only by position but also by the arrangement, density, and interaction of surrounding agents. In this context, higher values of U correspond to tactically favorable configurations in which the ball experiences lower effective resistance to offensive action, while lower values of U indicate unfavorable states characterized by increased defensive congestion. Accordingly, proximity to the goal and wider shooting angles increase U by enhancing offensive feasibility, whereas higher opponent density acts as a resisting constraint that reduces the tactical potential. This abstraction allows tactical decision-making to be interpreted through an energy-landscape perspective without requiring a direct physical force interpretation. S is the Tactical entropy, calculated from the diversity of spatial options available to the shooter as equation (3)

$$S = -\sum_{k=1}^K p_k \ln(p_k) \quad (3)$$

where p_k is the probability of an available action direction obtained by discretizing the 360° field around the ball into $K = 12$ bins. Higher entropy indicates greater decision variability. T is the scaling coefficient interpreted as time pressure or contextual urgency in match conditions defined as

$$T = \frac{1}{1 + d_{\text{nearest defender}}} \quad (4)$$

Where $d_{\text{nearest defender}}$ is the freeze-frame distance (meters) to the closest opponent, normalized to [0,1]. Higher values reflect increased time pressure. Equation (5) is adapted from the material derivative used in fluid dynamics. In the context of football, the ball represents the reference particle, while each player contributes a local tactical energy field F_i . Assuming linear superposition. The derivative near the ball becomes

$$\frac{dF_{\text{ball}}}{dt} = - \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial F_i}{\partial t} + \vec{\nabla} F_i \cdot (\vec{v}_i - \vec{v}_{\text{ball}}) \right) \quad (5)$$

was proposed to track the change in tactical energy influencing the ball, where $\vec{v}_i$ denotes each player's velocity and $\vec{v}_{\text{ball}}$ the ball's velocity. This formulation draws from energy field propagation principles in physics [1,2,10].

4. Statistical and Spatial Analysis

Heatmaps were generated using the `mplsoccer` package to visualize shot distributions and energy densities across pitch regions. Due to the limited sample size (20 shots), logistic regression and ANOVA analyses originally proposed were deemed statistically unreliable. Therefore, only descriptive statistics and a correlation analysis are reported in this exploratory study with variables such as distance, angle, entropy level, and energy score. Comparative analysis was conducted between teams and halves (first vs. second) to examine whether tactical energy correlates with decision patterns

Results and Discussion

The small sample size ($n=20$) substantially limits statistical power and generalizability. Therefore, all findings should be interpreted as exploratory. The results aim to demonstrate feasibility rather than provide conclusive evidence. Each shot was paired with two key metrics: the expected goal (xG) value, representing the statistical likelihood of scoring from that shot, and the corresponding energy derivative (dF/dt), computed using the model from equation (2). The results are summarized in Table 1. The average xG across the 20 events was 0.43, indicating a generally moderate likelihood of scoring, while the average value of dF/dt was approximately -0.08. Six of the 20 shots resulted in actual goals (30% success rate), and the Pearson

correlation between xG and dF/dt was found to be -0.62, suggesting a moderate negative relationship.

Table 1. Summary of Shooting Events and Energy Metrics

Metric	Value
Number of Shots	20
Average xG	0.43
Average dF/dt	-0.08
Actual Goals Scored	6 (30%)
Pearson r (xG vs dF/dt)	-0.62

These findings suggest that as the tactical energy around the ball decreases (i.e., more negative dF/dt), players are more likely to take effective shots, consistent with the theoretical analogy to energy valleys in physical systems. This aligns with the idea that optimal scoring opportunities arise when external forces (e.g., opponent pressure) diminish, and the system (i.e., the ball's tactical state) is at a local energy minimum.

To visualize the spatial dynamics of tactical energy, a heatmap was generated (Figure 1). Warmer colors indicate regions with lower dF/dt values, often near the penalty area where successful shot attempts were clustered. This pattern confirms that reduced tactical energy aligns spatially with high xG zones, supporting prior findings by Decroos et al. (2019) [8] on the critical importance of field position and opponent spacing in shot success.

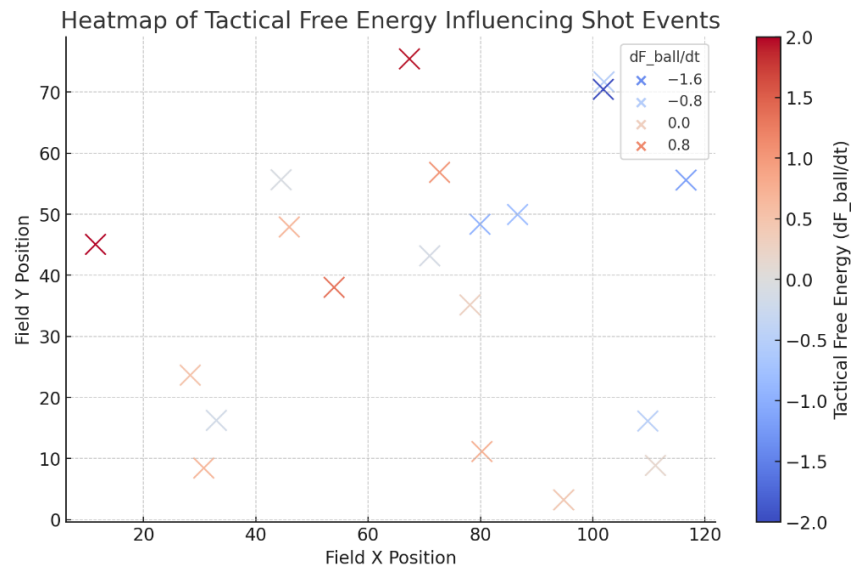


Figure 1. Heatmap of Tactical Energy Derivative (dF/dt) near Shot Locations. The color scale has been revised such that warmer colors correspond to higher dF/dt values, following common heatmap conventions. A colorbar with units is now included.

This visualization supports the model's interpretability by linking abstract energy dynamics to physical space on the pitch. Areas of low tactical energy act as “decision attractors,” where players are more likely to shoot effectively. These results align with Spearman (2018) [2] and Link et al. (2016) [9], who demonstrated the predictive value of contextual pressure and space-time analysis in football performance modeling. However, the proposed model differs by offering a physics-grounded quantitative interpretation of tactical behavior, rather than relying solely on statistical or neural network-driven features.

Nonetheless, limitations remain. The dataset was relatively small and limited in tactical diversity. Moreover, the model currently assumes a uniform energy field for each player without accounting for individual tactical roles or contextual variables such as time pressure or fatigue, as discussed by Memmert et al. (2017) [10]. Further research using larger datasets with richer context is essential for refining the energy landscape framework and testing its predictive robustness across teams, styles, and competitions.

Conclusion

This study presents a novel approach to understanding football shooting decisions through the lens of energy-based modeling. By formulating a derivative-based equation rooted in the concept of tactical free energy, we proposed a quantitative framework that captures how collective player dynamics influence the ball's state during offensive moments. This model

integrates position tracking and event data to compute the rate of change in tactical energy affecting the ball, offering a new interpretation of shot quality and timing.

Empirical validation using a dataset of 20 shooting events revealed a moderate negative correlation between the calculated energy derivative (dF/dt) and expected goal (xG) values. This supports the hypothesis that players tend to shoot when the tactical energy landscape favors them, specifically when surrounding energy pressure is low. The generated heatmap further illustrates that low-energy regions correlate with areas of high shot frequency and success, emphasizing the spatial relevance of the proposed metric.

The contributions of this research are threefold (1) introducing a physics-inspired model to interpret football tactics, (2) demonstrating the integration of spatiotemporal data and tactical energy concepts, and (3) providing an empirical example of how the model can be applied using open-source football data. While promising, this study is exploratory in nature. Future work should expand the dataset, refine the energy model to account for individual roles, team styles, and contextual variables, and explore its integration into predictive analytics systems. Nevertheless, this foundational step illustrates the potential of energy-based perspectives to enrich football analytics and tactical understanding in both research and applied domains.

References

- [1] Lucey, P., Bialkowski, A., Carr, P., Foote, L., & Matthews, I. (2014). “Quality vs Quantity”: Improved shot prediction in soccer using strategic features from spatiotemporal data. In *MIT Sloan Sports Analytics Conference*.
- [2] Spearman, W. (2018). Beyond expected goals. In *MIT Sloan Sports Analytics Conference*.
- [3] Wales, D. J., Miller, M. A., & Walsh, T. R. (1998). Archetypal energy landscapes. *Nature*, 394(6695), 758–760. <https://doi.org/10.1038/29487>
- [4] Watanabe, T., Hirose, S., Wada, H., Imai, Y., Machida, T., Shirouzu, I., Konishi, S., Miyashita, Y. & Masuda, N. (2014). A pairwise maximum entropy model accurately describes resting-state human brain networks. *Nature Communications*, 4, 1370. <https://doi.org/10.1038/ncomms2388>
- [5] Goldenfeld, N., & Woese, C. (2011). Life is physics: Evolution as a collective phenomenon far from equilibrium. *Annual Review of Condensed Matter Physics*, 2, 375–399. <https://doi.org/10.1146/annurev-conmatphys-062910-140509>

- [6] Rein, R., & Memmert, D. (2016). Big data and tactical analysis in elite soccer: Future challenges and opportunities for sports science. *SpringerPlus*, 5(1), 1410. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-3108-2>
- [7] Gudmundsson, J., & Wolle, T. (2014). Football analysis using spatio-temporal tools. *Computers, Environment and Urban Systems*, 47, 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.09.004>
- [8] Decroos, T., Bransen, L., Van Haaren, J., & Davis, J. (2019). Actions speak louder than goals: Valuing player actions in soccer. *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, 1851–1861. <https://doi.org/10.1145/3292500.333075>
- [9] Link, D., Lang, S., & Seidenschwarz, P. (2016). Real time quantification of dangerousity in football using spatiotemporal tracking data. *PloS One*, 11(12), e0168768. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168768>
- [10] Memmert, D., Lemmink, K. A., & Sampaio, J. (2017). "Current approaches to tactical performance analyses in soccer using position data." *Sports Medicine*, 47(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0562-5>

การคำนวณและเปรียบเทียบระยะทางการดึงลูกตุ้มนาฬิกาเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัมภายใต้แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา

Evaluation and comparison the distance of pulling pendulum of simple pendulum of motion via external force of function time

อาทิตย์ หู้เต็ม*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000 ไทย

Artit Hutem*

Department of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat, University Phetchabun Province 67000 Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคำนวณหาระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล โดยใช้กฎการเคลื่อนที่นิวตันในระบบสภาวะสมดุล ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์เรื่องอนุพันธ์ฟังก์ชัน เมื่อมวลของลูกตุ้มนาฬิกามีขนาดเป็น 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 กิโลกรัม ความยาวของเส้นเชือก 1.0 เมตร แรงดึงเป็น $f_1 = f_{ext1}$ และแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ระยะห่าง η_1 และระยะห่าง η_2 ผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าค่าระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลแปรผันโดยตรงกับค่าความยาวเส้นเชือก แต่แปรผกผันกับค่าขนาดของมวลลูกตุ้มนาฬิกา

คำสำคัญ : แรงดึง, แรงดึงในเส้นเชือก, ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกา กับจุดสมดุล

Abstract

This study is to calculate the distance of pendulum and the vertical distance. Using Newton's laws of motion in a system of equilibrium. We can be used mathematical techniques on derivative functions. When the mass of the clock pendulum has dimensions of 0.10, 0.15, 0.20, and 0.25 kg and the size of rope length is 1 m. The distance of pendulum and the vertical in the case of tensile force was compared $f_1 = f_{ext1}$ and tensile force $f_2 = f_{ext2} t$. The results of the calculation can be seen that the distance of pendulum with the vertical line is directly

*Corresponding author: artithutem@pcru.ac.th

Received : 28/02/2025 Revised : 27/04/2025 Accepted : 17/06/2025

proportional to the length of the rope. The distance of pendulum but inversely proportional to the size of the mass of the clock pendulum.

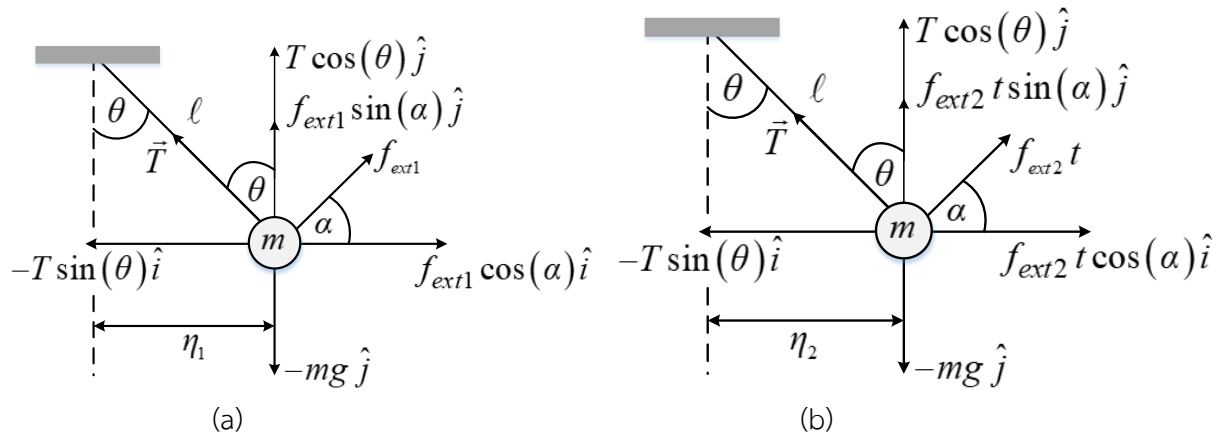
Keywords : pull force, tension force, the distance between pendulum and the vertical

ที่มาและความสำคัญ

ในรายวิชาฟิสิกส์ 1 ในภาคทฤษฎีซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับลูกตุ้มนาฬิกามวล m เคลื่อนที่แบบการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายซึ่งมีการคำนวณเพื่อหาการกระจัดเชิงมุมของลูกตุ้มนาฬิกามวล m ที่มีการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย [5,6,7] ซึ่งในระบบนี้พิจารณาพิกัดเชิงขั้ว ไม่คิดแรงภายนอกที่มากระทำต่อลูกตุ้มนาฬิกามวล m ไม่คิดแรงต้านอากาศ และไม่ได้คำนวณหาแรงตึงเส้นเชือกของระบบ เคลื่อนที่ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย [8,9,10] ต่อมาในรายวิชาปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 มีปฏิบัติการเรื่องการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่าย เป็นการทดลองที่ใช้มวลของลูกตุ้มมีขนาดคงที่ และมีการกำหนดตัวแปรต้น คือ ความยาวเส้นเชือกที่มีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 0.2 เมตร ไปถึง 1.0 เมตร เพื่อทดลองหาค่าคาบของการแกว่งลูกตุ้มนาฬิกามวล m และคำนวณหาค่าความเร่ง $g = 9.75 \text{ m/s}^2$ โดยประมาณ เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองการคำนวณหาระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับแนวตั้งซึ่งผ่านจุดตรึงของเส้นเชือกยาว l และมีการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลซึ่งผ่านจุดตรึงของเส้นเชือกในกรณีแรงดึง $f_1 = f_{ext1}$ และแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ระยะห่าง η_1 และระยะห่าง η_2

วิธีการดำเนินการวิจัย

ผูกเส้นเชือกที่มีความยาว l เมตรกับลูกตุ้มนาฬิกามีขนาดมวล m กิโลกรัมส่วนปลายเส้นเชือกอีกข้างหนึ่งผูกติดกับจุดตรึงแนวนอนมีแรงดึง $f_1 = f_{ext1}$ โดยที่ f_{ext1} เป็นแรงภายนอกที่เป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น (a.u.) ซึ่งไม่เป็นฟังก์ชันของเวลา ซึ่งในการทดลองฟิสิกส์ 1 เรื่องการเคลื่อนที่ลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย ใช้มือในการดึงลูกตุ้มนาฬิกา ในแต่ละครั้งเมื่อความยาวในเส้นเชือกเปลี่ยน และส่วนแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ โดยที่ $f_{ext2} t$ เป็นแรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา t มีตรีโกณมิติหนึ่ง และ f_{ext2} แรงภายนอกที่เป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น (a.u./s) และ t เป็นเวลามีหน่วยเป็นวินาที เช่น แรงจากมอเตอร์ในการกระตุ้น เป็นต้น ซึ่งแรงดึงทั้งสองชนิดกระทำกับลูกตุ้มนาฬิกานั้นในทิศทางหนึ่ง ๆ ดังรูปที่ 1 (a) และรูปที่ 1 (b) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 (a) การแตกแรงดึง $f_1 = f_{ext1}$ และแรงดึงในเส้นเชือกภายในระบบพิกัดฉาก (b) การแตกแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ และแรงดึง ($\vec{T}$) ในเส้นเชือกภายในระบบพิกัดฉาก [8,9,10]

โดยงานวิจัยนี้กำหนด $f_1 = f_{ext1}$ เป็นแรงดึงลูกตุ้มนาฬิกาขนาดมวล m และ $\vec{T}$ เป็นแรงดึงในเส้นเชือกที่กระทำกับลูกตุ้มนาฬิกาขนาดมวล m เนื่องจากเราไม่ทราบว่าลูกตุ้มนาฬิกาขนาดมวล m เบี่ยงเบนออกมาทำมุมกับจุดสมดุลเท่าใด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเป็นมุม θ ส่วนแรงดึง $f_1 = f_{ext1}$ มีทิศทำมุมกับแนวระดับเป็น α จากภาพที่ 1 (a) พิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายระบบอยู่ในสภาวะสมดุล c [2,3]

$$f_{ext1} \cos(\alpha) \hat{i} - T \sin(\theta) \hat{i} = 0$$

$$f_{ext1} \cos(\alpha) = T \sin(\theta) \quad (1)$$

จากรูปที่ 1 (a) พิจารณาระบบอยู่ในสภาวะสมดุล $\sum \vec{F}_y = 0$

$$T \cos(\theta) \hat{j} + f_{ext1} \sin(\alpha) \hat{j} = mg \hat{j}$$

$$f_{ext1} \sin(\alpha) = mg - T \cos(\theta) \quad (2)$$

นำสมการที่ (1) และ (2) ยกกำลังทั้งสองข้าง จะได้

$$f_{ext1}^2 \cos^2(\alpha) = T^2 \sin^2(\theta) \quad (3)$$

$$f_{ext1}^2 \sin^2(\alpha) = (mg)^2 - 2mgT \cos(\theta) + T^2 \cos^2(\theta) \quad (4)$$

นำสมการที่ (3) บวกกับ (4)

$$f_{ext1}^2 = (mg)^2 - 2mgT \cos(\theta) + T^2$$

$$\cos(\theta) = \frac{T^2 + (mg)^2 - f_{ext1}^2}{2mgT} \quad (5)$$

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 1 (a) หากต้องการคำนวณหาระยะ η_1 ที่มีค่ามากที่สุด เราอาจสามารถหาได้จากค่าของมุม θ ที่มีค่ามากที่สุดได้ ดังนั้นเราจึงหาค่าของขนาดแรงดึงในเส้นเชือก T ที่ทำให้มุมของ θ มีค่าสูงสุด โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (5) เทียบกับแรงดึงในเส้นเชือก T

$$\begin{aligned} \frac{d}{dT}(\cos(\theta)) &= \frac{d}{dT} \left(\frac{T^2 + (mg)^2 - f_{ext1}^2}{2mgT} \right) \\ -\sin(\theta) \frac{d\theta}{dT} &= \frac{2mgT(2T) - ((T^2 + (mg)^2 - f_{ext1}^2)2mg)}{(2mgT)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

จากเงื่อนไข $d\theta/dT = 0$ [1] ทำให้งานวิจัยนี้ได้ค่าวิกฤติของมุม θ แทนลงในสมการที่ (6) จะได้

$$T = \sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \quad (7)$$

นำสมการที่ (7) แทนลงในสมการที่ (5) จะได้

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \frac{\left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)^2 + (mg)^2 - f_{ext1}^2}{2mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} = \frac{(mg)^2 - f_{ext1}^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} \\ \cos(\theta) &= \frac{(mg)^2 - f_{ext1}^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(mg)^2 - f_{ext1}^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} \right) \quad (9)$$

หรือสามารถเขียน $\cos(\theta)$ ในสมการที่ (8) ในรูปของ $\sin(\theta)$ [4] ดังนี้

$$\begin{aligned} \sin(\theta) &= \sqrt{1 - \cos^2(\theta)} \\ \sin(\theta) &= \sqrt{1 - \left(\frac{(mg)^2 - f_{ext1}^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} \right)^2} \end{aligned}$$

ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับแนวตั้งเป็น $\eta_1 = \ell \sin(\theta)$ จะได้

$$\eta_1 = \ell \left[1 - \left(\frac{(mg)^2 - f_{ext1}^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext1}^2} \right)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) เป็นระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลที่ทำการดึงด้วยแรงดึง $f_1 = f_{ext1}$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง f_{ext1} ดังภาพที่ 2 (a) และภาพที่ 2 (b) [8,9,10] ต่อมาพิจารณาการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกอย่างง่ายจากภาพที่ 1 (b) พิจารณาระบบอยู่ในภาวะสมดุล $\sum F_x = 0$

$$f_{ext2} t \cos(\alpha) \hat{i} - T \sin(\theta) \hat{i} = 0$$

$$f_{ext2} t \cos(\alpha) = T \sin(\theta) \quad (11)$$

จากภาพที่ 1 (b) พิจารณาระบบอยู่ในภาวะสมดุล $\sum F_y = 0$

$$T \cos(\theta) \hat{j} + f_{ext2} t \sin(\alpha) \hat{j} = mg \hat{j}$$

$$f_{ext2} t \sin(\alpha) = mg - T \cos(\theta) \quad (12)$$

นำสมการที่ (11) และสมการที่ (12) ยกกำลังทั้งสองข้าง จะได้

$$f_{ext2}^2 t^2 \cos^2(\alpha) = T^2 \sin^2(\theta) \quad (13)$$

$$f_{ext2}^2 t^2 \sin^2(\alpha) = (mg - T \cos(\theta))^2$$

$$f_{ext2}^2 t^2 \sin^2(\alpha) = (mg)^2 - 2mgT \cos(\theta) + T^2 \cos^2(\theta) \quad (14)$$

นำสมการที่ (13) บวกกับสมการที่ (14) จะได้

$$\cos(\theta) = \frac{T^2 + (mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2}{2mgT} \quad (15)$$

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 1 (b) หากต้องการคำนวณหาระยะ η_2 ที่มีค่ามากที่สุดและเป็นฟังก์ชันของเวลาเนื่องจากแรงภายนอก $f_2 = f_{ext2} t$ เราจะสามารถหาค่าของมุม θ ที่มีค่ามากที่สุดได้ ดังนั้นเราจึงหาค่าของขนาดแรงดึงในเส้นเชือก T ที่ทำให้มุมของ θ มีค่าสูงสุด โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (15) เทียบกับแรงดึงในเส้นเชือก T และแทน $d\theta/dT = 0$ จะทำให้งานวิจัยนี้ได้ค่าวิกฤติของมุม θ จะได้แรงดึงในเส้นเชือก

$$T = \sqrt{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2} \quad (16)$$

นำสมการที่ (16) แทนลงในสมการที่ (15) จะได้

$$\cos(\theta) = \frac{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2} \right)} \quad (17)$$

หรือสามารถเขียน $\cos(\theta)$ ในสมการที่ (17) ในภาพของ $\sin(\theta)$ ดังนี้

$$\sin(\theta) = \sqrt{1 - \cos^2(\theta)}$$

$$\sin(\theta) = \sqrt{1 - \left(\frac{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2} \right)} \right)^2}$$

ระยะห่างของการดึงลูกตุ้มนาฬิกา $\eta_2 = \ell \sin(\theta)$ จะได้

$$\eta_2 = \ell \left(1 - \left(\frac{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2}{mg \left(\sqrt{(mg)^2 - f_{ext2}^2 t^2} \right)} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (18)$$

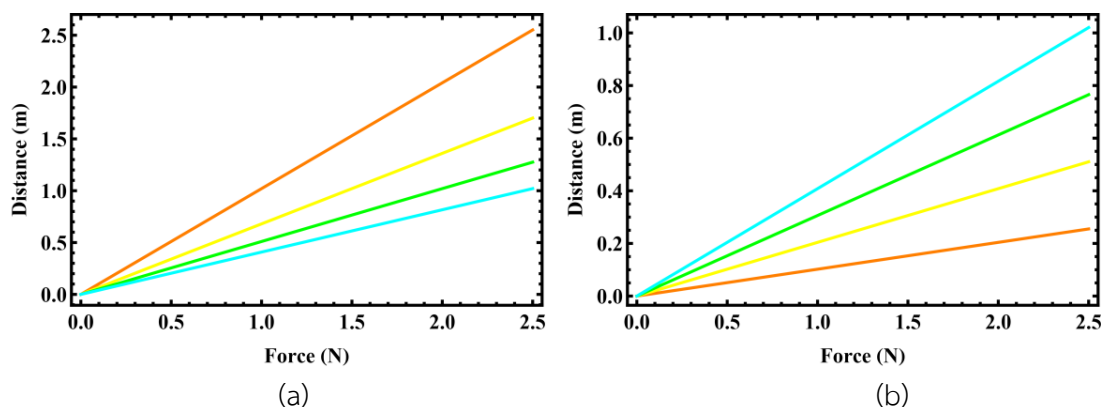
จากสมการที่ (18) เป็นระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลที่ทำการดึงด้วยแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ดังภาพที่ 3 (a) และภาพที่ 3 (b)

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตามคือ ระยะห่าง η_1

ตัวแปรต้น	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกา
มวล $m_1 = 0.10 \text{ kg}$	$\ell = 1 \text{ m}.$ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$	η_{11} เส้นกราฟสีน้ำตาล
มวล $m_2 = 0.15 \text{ kg}$		η_{12} เส้นกราฟสีเหลือง
มวล $m_3 = 0.20 \text{ kg}$		η_{13} เส้นกราฟสีเขียว
มวล $m_4 = 0.25 \text{ kg}$		η_{14} เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเล
ความยาว $\ell_1 = 0.20 \text{ m}$	$m = 0.20 \text{ kg}.$ $g = 9.8 \text{ m/s}^2$	η_{11} เส้นกราฟสีน้ำตาล
ความยาว $\ell_2 = 0.40 \text{ m}$		η_{12} เส้นกราฟสีเหลือง
ความยาว $\ell_3 = 0.60 \text{ m}$		η_{13} เส้นกราฟสีเขียว
ความยาว $\ell_4 = 0.80 \text{ m}$		η_{14} เส้นกราฟสีฟ้าน้ำทะเล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

แสดงผลการวิจัยที่ได้จากกระบวนการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัยที่ได้มาจากการวิจัย

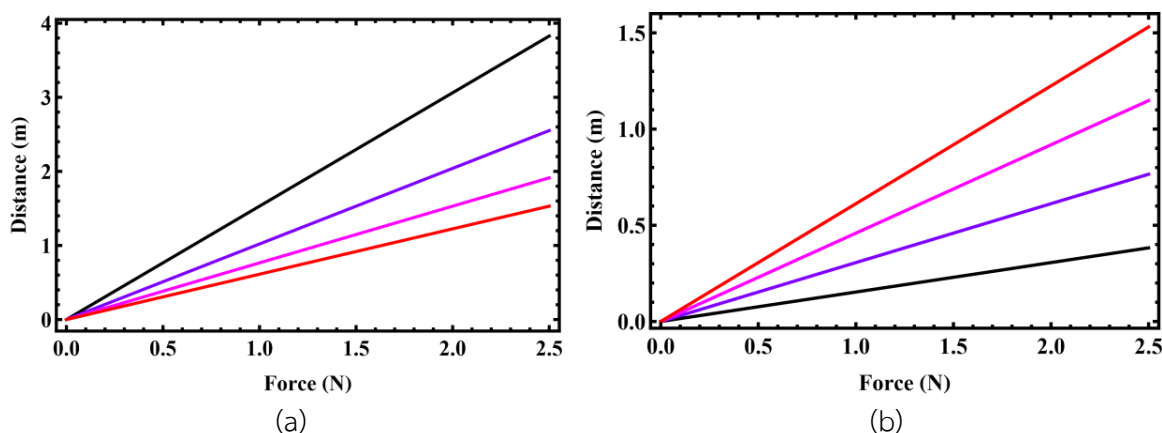


ภาพที่ 2 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง f_{ext1} ในกรณีที่ขนาดของมวลลูกตุ้มนาฬิกาเปลี่ยน $m = 0.10\text{ kg} \rightarrow 0.25\text{ kg}$ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง f_{ext1} ในกรณีที่ขนาดของความยาวเส้นเชือกเปลี่ยน $\ell = 0.20\text{ m} \rightarrow 0.80\text{ m}$

จากภาพที่ 2 (a) ถ้าขนาดมวลลูกตุ้มนาฬิกามีค่าเพิ่มขึ้นจาก $m = 0.10\text{ kg} \rightarrow 0.25\text{ kg}$ จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง f_{ext1} คือ η_1 มีระยะห่างที่ต้องดึงลูกตุ้มนาฬิกาออกจากแนวตั้งเปลี่ยนจาก 2.5 เมตร ตามเส้นกราฟสีน้ำตาล ลดลงเป็น 0.8 เมตรเป็นกราฟเส้นสีเขียวน้ำทะเล ณ แรงดึง 2.5 นิวตัน จากภาพที่ 2 (b) ถ้าขนาดความยาวเส้นเชือกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $\ell = 0.20\text{ m} \rightarrow 0.80\text{ m}$ จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับแนวตั้ง กับแรงดึง f_{ext1} คือ η_1 มีระยะห่างที่ต้องดึงลูกตุ้มนาฬิกาออกจากแนวตั้งเปลี่ยนจาก 0.22 เมตร เพิ่มขึ้นเป็น 1.2 เมตร ณ แรงดึง 2.5 นิวตัน

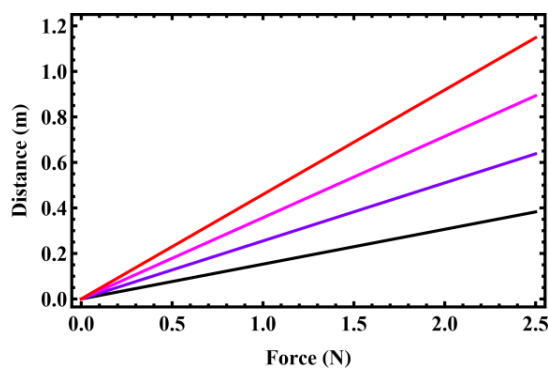
ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น ตัวแปรควบคุม และตัวแปรตามคือ ระยะห่าง η_2

ตัวแปรต้น	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกา
มวล $m_1 = 0.10\text{ kg}$	$\ell = 1\text{ m}.$ $g = 9.8\text{ m/s}^2$	η_{21} เส้นกราฟสีดำ
มวล $m_2 = 0.15\text{ kg}$		η_{22} เส้นกราฟสีม่วง
มวล $m_3 = 0.20\text{ kg}$		η_{23} เส้นกราฟสีชมพู
มวล $m_4 = 0.25\text{ kg}$		η_{24} เส้นกราฟสีแดง
ความยาว $\ell_1 = 0.20\text{ m}$	$m = 0.20\text{ kg}.$ $g = 9.8\text{ m/s}^2$	η_{21} เส้นกราฟสีดำ
ความยาว $\ell_2 = 0.40\text{ m}$		η_{22} เส้นกราฟสีม่วง
ความยาว $\ell_3 = 0.60\text{ m}$		η_{23} เส้นกราฟสีชมพู
ความยาว $\ell_4 = 0.80\text{ m}$		η_{24} เส้นกราฟสีแดง

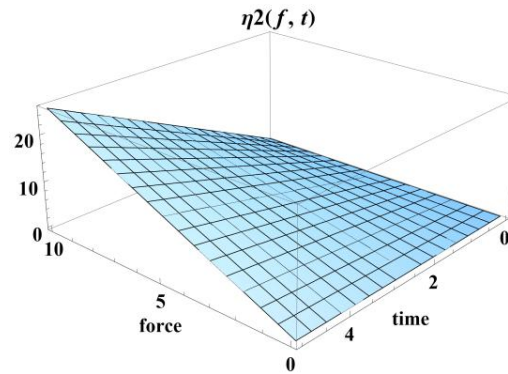


ภาพที่ 3 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_{ext2} t$ ในกรณีที่ขนาดของมวลลูกตุ้มนาฬิกาเปลี่ยน $m = 0.10 \text{ kg} \rightarrow 0.25 \text{ kg}$ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_{ext2} t$ ในกรณีที่ขนาดของความยาวเส้นเชือกลูกตุ้มเปลี่ยนค่าตามนี้ $l = 0.20 \text{ m} \rightarrow 0.80 \text{ m}$

จากภาพที่ 3 (a) ถ้าขนาดมวลลูกตุ้มนาฬิกามีค่าเพิ่มขึ้นจาก $m = 0.10 \text{ kg} \rightarrow 0.25 \text{ kg}$ จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_{ext2} t$ คือ η_2 มีระยะห่างที่ต้องดึงลูกตุ้มนาฬิกาออกจากตำแหน่งจุดสมดุลเปลี่ยนจาก 3.8 เมตร ลดลงเป็น 1.4 เมตร ณ แรงดึง 2.5 นิวตัน จากภาพที่ 3 (b) ถ้าขนาดความยาวเส้นเชือกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $l = 0.20 \text{ m} \rightarrow 0.80 \text{ m}$ จะทำให้ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_{ext2} t$ คือ η_2 มีระยะห่างที่ต้องดึงลูกตุ้มนาฬิกาออกจากแนวตั้งเปลี่ยนจาก 0.4 เมตร เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เมตร ณ แรงดึง 2.5 นิวตัน จากภาพที่ 2 (a) และภาพที่ 3 (a) ทำการเปรียบเทียบระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับแนวตั้ง ทั้งสองกรณี แรงดึง f_{ext1} และแรงดึง $f_{ext2} t$ ระยะห่าง η_1 และระยะห่าง η_2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าระยะห่าง η_2 มีค่ามากกว่า η_1 เป็น 2 เท่า สอดคล้องกับแรงดึงที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า



(a)



(b)

ภาพที่ 4 (a) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลกับแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ในกรณีที่ขนาดค่าของเวลาที่เพิ่มขึ้น $t = 0.30 \text{ s} \rightarrow 0.90 \text{ s}$ (b) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ ในกรณี 3 มิติ

จากภาพที่ 4(a) เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรความยาวเส้นเชือก น้ำหนักของวัตถุ ขนาดของแรงดึงภายนอก $f_2 = f_{ext2} t$ เมื่อขนาดของเวลาเพิ่มขึ้น $t = 0.30 \text{ s} \rightarrow 0.90 \text{ s}$ ซึ่งเส้นกราฟสี่เส้นแสดงขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล เมื่อเวลามีค่าเท่ากับ 0.3 s ต่อมาเส้นกราฟสีม่วงแสดงขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล เมื่อเวลามีค่าเท่ากับ 0.5 s ต่อมาเส้นกราฟสีชมพูแสดงขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล เมื่อเวลามีค่าเท่ากับ 0.7 s และเส้นกราฟสีแดงแสดงขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล เมื่อเวลามีค่าเท่ากับ 0.9 s ถ้าขนาดของเวลาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุลเพิ่มขึ้นด้วย จากภาพที่ 4(b) เป็นกราฟ 3 มิติ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_2 = f_{ext2} t$ และเวลา ซึ่งขนาดของระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล กับจุดสมดุลมีลักษณะเป็นคลื่นระนาบ

สรุปผลการวิจัย

จากสมการที่ (10) คือ ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง f_{ext1} เป็นระยะห่าง η_1 จากสมการที่ (18) คือ ระยะห่างระหว่างลูกตุ้มนาฬิกามวล m กับจุดสมดุล กับแรงดึง $f_{ext2} t$ เป็นระยะห่าง η_2 ตามลำดับ ซึ่งค่าระยะห่าง η_1 และระยะ η_2 แปรผันโดยตรงกับความยาวเส้นเชือก แต่ค่าระยะห่าง η_1 และระยะ η_2 แปรผกผันกับขนาดของมวลลูกตุ้มนาฬิกา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Riley, K.F., and Hobson, M.P. (2006). Mathematical Methods for Physics and Engineering. (3th ed.). New York: Cambridge University Press.
- [2] Atamp A.,(1990), Introduction to classical mechanics, Prentice-Hall, United States America, pp.336-340
- [3] Goldstein P.S.,(2002), Classical Mechanics, (3th ed.), Prentice-Hall, United States America. pp. 265-271
- [4] Murray R.S. and John L. (1999), Mathematical Handbook of Formulas and Tables, (2nd ed.),Mcgraw-hill New York. pp. 46-97
- [5] Coulton P., and Foote R. (2009), The dynamics of pendulums on surfaces of constant Curvature, Math. Phys. Anal. Geom. 12, 97–107.
- [6] Duc L. D.,(2023), Experimental evaluation of damping models for a nonlinear pendulum system, **Phys. Educ.** 58, 055003
- [7] Kyung-Ryul L. and Young-Gu J.,(2021), Learning the Resistance Coefficients of Pendulum Motion Using Balls of Various Sizes, **New Physics: Sae Mulli**, Vol. 71, No. 12,, pp. 1067-1075
- [8] K. Narissarawut, K. Suwannapoch, S. Naknayom, T. Seehatrai, and A. Hutem, (2024), Creation of experimental equipment finding the coefficient of friction in sand floor and flake stone floor from the solid sphere and hollow sphere, Journal of Earth Science, Astronomy and Space, Vol. 7 No. 1, pp. 1-12.
- [9] A. Wanaek and A. Hutem, (2023), Calculation of Time-dependent Angular Displacement Angular Velocity and Tension Force of Particle in the Pendulum Motion under Air Resistance Force and Cosine External Force, Journal of Earth Science, Astronomy and Space, Vol. 6 No. 1, pp 14-28.
- [10] A. Hutem,(2023) , Calculation of the time-dependent velocity and displacement of particle move under time-dependent external force of damping oscillation, Journal of Science and Technology CRRU, vol. 2, no. 1, pp. 1-7.
- [11] Hutem A., (2024), Angular Displacement Angular Velocity and Tension Force of Particle in the Pendulum Motion under drag Force and Time-Dependent External Force, Journal of Science and Technology CRRU, Vol. 3 No. 1., pp. 48-65
- [12] Kuaykaew S., Kerdmee S., Banyenugam P., Moonsri P. and Hutem A.,(2016), The Analytical Description of Projectile Motion of Cricket Ball in a Linear Resisting Medium the Storm Force, Applied Mechanics and Materials, vol. 855, pp. 188-191.

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพญาวานร จากตำบลดงมหาวัน

อำเภอเวียงเชียงรุ้ง จังหวัดเชียงราย

Free radical scavenging of *Pseuderatherum Platiferum* Extract from Dong Mahawan Subdistrict, Wiang Chiang Rung District, Chiang Rai Province

กิตติ ปวนปันวงศ์, บรรพต จอมสุวรรณ *

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, เมือง, เชียงราย 57100

Kitti Puunpanwong, Banthot Chomsawan *

Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Muang, Chiang Rai Province 57100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มฟอลิฟินอลจากสารสกัดหยาบของใบพญาวานร (*Pseuderatherum Platiferum*) ซึ่งเป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่ใช้ในการแพทย์แผนไทย โดยทำการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วแตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ เอทานอล, เมทานอล และน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ใช้การวิเคราะห์เชิงคุณภาพด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical Scavenging Assay ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณสารฟอลิฟินอลรวมใช้วิธี Folin-Ciocalteu และวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดพญาวานรที่ได้จากตัวทำละลายทั้งสามชนิดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยสารสกัดด้วยเมทานอลแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสุด (ค่า $IC_{50} = 0.15 \pm 0.01$ mg/ml) รองลงมาคือสารสกัดด้วยน้ำ (ค่า $IC_{50} = 0.18 \pm 0.01$ mg/ml) และเอทานอล (ค่า $IC_{50} = 0.20 \pm 0.01$ mg/ml) ตามลำดับ ซึ่งค่า IC_{50} ที่ต่ำกว่าบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟอลิฟินอลรวมแสดงให้เห็นว่าสารสกัดด้วยเมทานอลมีปริมาณฟอลิฟินอลสูงสุด (20.50 ± 0.50 mg GAE/g สารสกัด) รองลงมาคือสารสกัดด้วยน้ำ (17.40 ± 0.35 mg GAE/g สารสกัด) และเอทานอล (15.20 ± 0.40 mg GAE/g สารสกัด) การวิจัยนี้สรุปได้ว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพญาวานรมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารประกอบฟีนอลที่สกัดได้ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสารสกัดจากพญาวานร

*Corresponding author : banthod49@gmail.com

Received : 25/08/2025 Revised : 11/10/2025 Accepted : 25/11/2025

โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารสกัดด้วย เมทานอลมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยาจากสมุนไพรเพื่อใช้ในการป้องกันและรักษาโรค ที่เกี่ยวข้องกับอนุมูลอิสระ

คำสำคัญ : ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, พญาวานร, พอลิฟีนอล, ดีพีพีเฮซ, สารสกัดสมุนไพร

Abstract

The objective of this research was to investigate the antioxidant activity and total phenolic content of crude extracts from the Phaya Wanorn herb (*Pseuderatherum Platiferum*), a plant traditionally used in Thai medicine. Extraction was performed using three solvents of different polarities 99.8% ethanol, methanol, and water to compare their efficiency in extracting bioactive compounds. The antioxidant activity was evaluated using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. The total phenolic content was analyzed using the Folin-Ciocalteu method, with absorbance measured by a spectrophotometer. The results showed that all three extracts of *Pseuderatherum Platiferum* exhibited DPPH radical scavenging activity. The methanol extract demonstrated the highest antioxidant activity ($IC_{50} = 0.15 \pm 0.01$ mg/ml), followed by the water extract ($IC_{50} = 0.18 \pm 0.01$ mg/ml) and the ethanol extract ($IC_{50} = 0.20 \pm 0.01$ mg/ml), respectively. The lower IC_{50} values indicate significantly higher antioxidant efficacy. Furthermore, the analysis of total phenolic content revealed that the methanol extract had the highest polyphenol content (20.50 ± 0.50 mg GAE/g Extract), followed by the water extract (17.40 ± 0.35 mg GAE/g Extract) and the ethanol extract (15.20 ± 0.40 mg GAE/g Extract). This study concluded that the antioxidant activity of the *Pseuderatherum Platiferum* extracts is directly correlated with the quantity of extracted phenolic compounds. This suggests that the extracts, particularly the methanol extract, have the potential for development into dietary supplements or herbal medicines for the prevention and treatment of diseases associated with free radicals.

Keywords : Antioxidant Activity, *Pseuderatherum Platiferum*, Polyphenols, DPPH, Herbal Extract

ที่มาและความสำคัญ

อนุมูลอิสระ (Free Radical) เป็นสารประกอบที่มีความว่องไวสูง ซึ่งมีอิเล็กตรอนเดี่ยวที่ไม่เสถียรอยู่ในวงโคจรชั้นนอกของอะตอม ทำให้ต้องเข้าไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น โปรตีน ไขมัน และดีเอ็นเอ (DNA) เพื่อแย่งชิงอิเล็กตรอน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบลูกโซ่ (Chain reaction) และก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อในร่างกาย อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย [1] ทั้งจากกระบวนการเม

ตาบอดสีภายในร่างกาย เช่น การหายใจและการสร้างพลังงาน และจากปัจจัยภายนอก เช่น มลภาวะทางอากาศ คิวบิตรี รังสีอัลตราไวโอเลต ยาฆ่าแมลง และความเครียดสะสม เมื่อร่างกายมีอนุมูลอิสระในปริมาณมากเกินไปที่ระบบต้านอนุมูลอิสระของร่างกายจะควบคุมได้ จะเกิดภาวะที่เรียกว่า "ความเครียดจากออกซิเดชัน" (Oxidative stress) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของโรคความเสื่อมต่าง ๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจและสมอง โรคเมเร็ง โรคเบาหวาน โรคข้ออักเสบ และโรคทางระบบประสาทอย่างอัลไซเมอร์และพาร์กินสัน [2]

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) จึงมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยการให้หรือรับอิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระเพื่อทำให้เกิดความเสถียร ร่างกายสามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระได้เองบางชนิด เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide Dismutase; SOD) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase; GPx) อย่างไรก็ตาม สารต้านอนุมูลอิสระจากภายนอกหรือจากอาหารก็มีความจำเป็นอย่างยิ่ง สารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มักพบในพืชผักผลไม้ และสมุนไพรหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นสารในกลุ่ม พอลิฟีนอล (Polyphenols) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) แคโรทีนอยด์ (Carotenoids) และวิตามินต่าง ๆ เช่น วิตามินซีและวิตามินอี [2]

พญาวาน หรือ *Pseuderatherum Platiferum* เป็นพืชสมุนไพรพื้นบ้านที่เชื่อกันว่ามีสรรพคุณในการรักษาอาการอักเสบและโรคผิวหนัง ในทางการแพทย์แผนไทย มีการนำมาใช้เพื่อลดอาการปวดเมื่อยและฟกช้ำดำเขียว จากสรรพคุณดังกล่าวข้างต้น มีความเป็นไปได้สูงที่สมุนไพรชนิดนี้จะมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดการอักเสบและการเสื่อมสภาพของเซลล์ในร่างกาย [3] [4]

แม้จะมีการใช้พญาวานในแพทย์แผนไทย แต่ยังคงขาดการศึกษาวิจัยเชิงปริมาณทางวิทยาศาสตร์ที่เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวทำละลายต่าง ๆ ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากพืชชนิดนี้อย่างเป็นระบบ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารสำคัญในกลุ่มพอลิฟีนอลรวมของสารสกัดหยาบจากพญาวาน โดยใช้ตัวทำละลายที่แตกต่างกัน 3 ชนิด เพื่อหาตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารสำคัญและนำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรพญาวานในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองทางเคมี (Experimental Research) ที่มุ่งศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารพอลิฟีนอลรวมของสารสกัดจากใบพญาวาน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. การเตรียมสารสกัดสมุนไพร

ใช้พญาวานตัวอย่างจากศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนตำบลดงมหาวัน อำเภอเวียงเชียงรุ้ง จังหวัดเชียงราย ละติจูด 20.029648, ลองจิจูด 100.004843



ภาพที่ 1 ลักษณะของต้นพญาวัน (Pseuderanthemum Platiferum)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ (Morphology) [5]

ส่วนของพืช	ลักษณะ
ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Pseuderanthemum palatiferum</i> (Nees) Radlk. ex Lindau. หรือบางแหล่งใช้ <i>Pseuderanthemum latifolium</i> (Vahl) B. Hansen.
วงศ์	Acanthaceae
ลำต้น	เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ลำต้นตั้งตรง สูงประมาณ 1-3 เมตร เปลือกต้นผิวเรียบสีเขียว อาจมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม
ใบ	เป็นใบเดี่ยว การเรียงตัวแบบ เรียงตรงข้าม (Opposite) ที่ลำต้นและกิ่ง ใบมีรูปร่างแบบรูปใบหอก (Lanceolate) หรือรูปรี (Elliptic) ปลายใบแหลมเรียว โคนใบสอบ ขอบใบเรียบ มีขนาดกว้าง 3 – 5 เซนติเมตร ยาว 5 – 15 เซนติเมตร ผิวใบด้านบนมีสีเขียวเป็นมันเงา ส่วนด้านล่างจะหยาบ และอาจมีขนยาวห่าง
ดอก	ออกเป็นช่อดอกแบบแยกแขนงแบบช่อเชิงลด (Spiciform paniculate) ยาวได้ถึง 30 เซนติเมตร กลีบเลี้ยงมี 5 กลีบ วงกลีบดอกมีสีขาวปนชมพู จนถึงสีน้ำเงิน สีม่วง หรือเกือบดำ กลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 5 แฉก
ผล	เป็นผลแห้งแตก มีขนาดประมาณ 2.5 เซนติเมตร
เมล็ด	มีรูปร่างรูปไข่ (Ovoid) ผิวมีรอยย่น ขนาดประมาณ 4 มิลลิเมตร

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอล เมทานอล และน้ำ ด้วยการสกัดแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Extraction) ได้ดัดแปลงจากวิธีของภักตราพร ผูกคล้าย และคณะ [6]

นำใบพญาวันล้างให้สะอาดซับน้ำให้แห้งแล้วหั่นให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วเติม 99.8 เปอร์เซ็นต์เอทานอล อัตราส่วน 1 ต่อ 10 w/v เขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 และนำสารสกัดที่ได้ระเหยแห้งโดยเครื่องระเหยแห้งแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 40 องศา

เซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัด และละลายด้วยเอทานอล เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และปั่นแสง

การสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล ทำการสกัดเช่นเดียวกันกับสารสกัดเอทานอล การระเหยแห้งใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัดและละลายด้วยเมทานอล เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และปั่นแสง

การสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำ ใช้น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อ ทำการสกัดเช่นเดียวกันกับสารสกัดเอทานอล การระเหยแห้งใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งน้ำหนักสารสกัดและละลายด้วยน้ำ เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสและปั่นแสง

2. การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดพญาวาน

ดัดแปลงตามวิธีของ สุภกร บุญยืน และคณะ [7] ทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH ของสารสกัดเอทานอล โดยนำสารสกัดเอทานอลความเข้มข้นต่าง ๆ (0.05-0.5 mg/ml) 1 มิลลิลิตร เติม 0.2 มิลลิโมลาร์ DPPH 2 มิลลิลิตร (Test Sample) ลงไปผสมให้เข้ากัน เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีสารสกัด (Blank Control) ส่วนอีกหลอดหนึ่งใส่สารสกัด 1 มิลลิลิตร แล้วเติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร (ไม่เติม DPPH: Negative Control) แล้วทิ้งไว้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง นาน 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 516 นาโนเมตร โดยใช้เอทานอลเป็น blank นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดักจับอนุมูล DPPH (ในกรณีของสารสกัดเมทานอลและสารสกัดน้ำ ให้ใช้ตัวทำละลายเดิม (Respective solvents) คือ เมทานอล และน้ำ ตามลำดับ)

จากสูตร

$$\% \text{ Inhibition} = [(A_0 - (A_1 - A_{\text{sample}})) / A_0] \times 100$$

A_0 = ค่าการดูดกลืนแสงของเอทานอลและ DPPH (Blank Control)

A_1 = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและ DPPH (Test Sample)

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเอทานอล (ไม่เติม DPPH: Negative Control)

จากนั้นคำนวณหาค่า IC_{50} (ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถดักจับอนุมูล DPPH ได้ 50 % จากกราฟระหว่าง % Inhibition กับความเข้มข้นของสารสกัด)

3. การหาปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอล (Polyphenol) ในสารสกัดพญาวาน

ดัดแปลงตามวิธีในปริชาติ เทพทอง [8] โดยการสร้างกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 0.06 0.05 0.04 0.03 0.02 และ 0.1 mg/ml และเตรียมสารตัวอย่างความเข้มข้น 1.0 mg/ml ในเอทานอล วิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวมทำโดยนำสารตัวอย่าง ปริมาตร 1.0 ml มาเติม 10 % Folin - Ciocalteu Reagent ปริมาตร 0.2 ml ผสมให้เข้ากัน และวางทิ้งไว้ 8 นาที จากนั้นเติม 15 % โซเดียมคาร์บอเนต ปริมาตร 2 ml ผสม

ให้เข้ากัน และวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 นาที (ชุดควบคุมเตรียมโดยการเติมเอทานอลแทนสารตัวอย่าง) นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 nm ทำซ้ำ 3 ชุดการทดลอง และคำนวณปริมาณฟีนอลิกรวมของสารสกัด ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (mg GAE/g สารสกัด) โดยเปรียบเทียบจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH และหาค่าปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลในสารสกัดพญาวานร แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ฤทธิ์ต้านอนุมูล DPPH (IC_{50}) และปริมาณสารประกอบพอลิฟีนอลในสารสกัดพญาวานร

สารสกัดพญาวานร	IC_{50} (mg/ml)	ปริมาณพอลิฟีนอลรวม (mg GAE/g สารสกัด)
เมทานอล	0.15 ± 0.01	20.50 ± 0.50
น้ำ	0.18 ± 0.01	17.40 ± 0.35
เอทานอล	0.20 ± 0.01	15.20 ± 0.40

ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดพญาวานรจากทุกตัวทำละลายมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยสารสกัดด้วยเมทานอล ($IC_{50} = 0.15 \pm 0.01$ mg/ml) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด รองลงมาคือสารสกัดด้วยน้ำ ($IC_{50} = 0.18 \pm 0.01$ mg/ml) และเอทานอล ($IC_{50} = 0.20 \pm 0.01$ mg/ml) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Olah, S. O. A., et al. [9] พบว่าสารประกอบ ฟีนอลิกในพืชมีบทบาทสำคัญต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วสูง เช่น เมทานอลและน้ำ มักจะให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่า เนื่องจากสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านอนุมูลอิสระอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อนำสารสกัดแต่ละชนิดมาวิเคราะห์หาปริมาณสารพอลิฟีนอลรวม พบว่าสารสกัดด้วย เมทานอลมีปริมาณพอลิฟีนอลสูงสุด (20.50 ± 0.50 mg GAE/g สารสกัด) รองลงมาคือสารสกัดด้วยน้ำ (17.40 ± 0.35 mg GAE/g สารสกัด) และเอทานอล (15.20 ± 0.40 mg GAE/g สารสกัด) ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hussain, M. G., et al. [10] ได้ศึกษาพืชท้องถิ่นหลายชนิดในอินโดนีเซียและพบความสัมพันธ์เชิงบวกที่ชัดเจนระหว่างปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และเมื่อทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation, r) ด้วย SPSS ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่า IC_{50} และปริมาณพอลิฟีนอลรวม เท่ากับ -0.999 ซึ่งสนับสนุนว่าสารสกัดที่มีค่า IC_{50} ที่ต่ำ แสดงว่าสารสกัดนั้นมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง อย่างไรก็ตามค่า IC_{50} ของสาร

สกัดแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันอาจเนื่องมาจากสภาพตัวของตัวทำละลายที่ใช้สกัดไม่แตกต่างกันมากนักทำให้ได้ปริมาณสารสกัดที่ใกล้เคียงกัน ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในใบพญาวานส่วนใหญ่เป็นสารที่มีขั้วสูง (High polarity) ซึ่งเมทานอล (Methanol) มีความเป็นขั้วสูงกว่าเอทานอล (Ethanol) เล็กน้อย จึงอาจสกัดสารกลุ่มนี้ออกมาได้ดีกว่า ในขณะที่น้ำ (Water) แม้มีขั้วสูงที่สุด แต่ก็อาจสกัดสารประกอบอื่นๆ เช่น คาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีน ออกมาเจือปนด้วย หรืออาจได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิการระเหยที่สูง (70°C) ทำให้สารสำคัญบางส่วนสลายตัว และในกรณีการทำระเหยแห้งสารสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 70°C ค่อนข้างสูงและอาจส่งผลต่อการสลายตัวของสารประกอบพอลิฟีนอลบางชนิดที่ไวต่อความร้อน (Thermolabile compounds) ซึ่งอาจทำให้ผลของสารสกัดนี้ต่ำกว่าความเป็นจริง

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและทดลองทางเคมีเพื่อหาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารพอลิฟีนอลรวมของพญาวาน (Pseuderatherum Platiferum) โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) สารสกัดหยาบจากใบพญาวานที่สกัดด้วยเอทานอล, เมทานอล และน้ำ มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยสารสกัดด้วยเมทานอลแสดงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด โดยมีค่า IC_{50} ต่ำที่สุด และมีปริมาณพอลิฟีนอลรวมสูงที่สุด

2) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation, r) ด้วย SPSS ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างค่า IC_{50} และปริมาณพอลิฟีนอลรวม เท่ากับ -0.999 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้ยืนยันว่า ยิ่งปริมาณพอลิฟีนอลรวมสูงขึ้นเท่าไร ค่า IC_{50} จะยิ่งต่ำลงเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าสารสกัดนั้นมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสารพอลิฟีนอลเป็นสารสำคัญที่รับผิดชอบต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในพืชชนิดนี้

3) ผลการวิจัยยืนยันว่าสมุนไพรพญาวานมีศักยภาพในการเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] Parsons, A. F. (2000). *An Introduction to Free Radicals Chemistry*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- [2] กนกวรรณ จารุกัจจ, วิไลดา สินทร์, และชรินญา พิมพ์สอน. (2557). ความสัมพันธ์ของภาวะเครียดออกซิเดชันและภาวะไขมันในเลือดสูง. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 29(1-2), 57-69.
- [3] พีรวิชัย พาดี, และสมศักดิ์ นวลแก้ว. (2552). ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสมุนไพรพญาวานหรือฮว่านจ็อก. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*, 18(1), 131-138.
- [4] ฉันทรัตน์ คุ่มครอง, ภูวดล เหมชะรา, นัสวัล บุญวงศ์, พีรวิจน์ ชูเพ็ง, และ ถนอม ห่อวงศ์สกุล. (2565). ผลของการเสริมใบพญาวานในอาหารต่อค่าโลหิตวิทยา คุณภาพซาก และเนื้อในไก่เนื้อ. *วารสารวิทยาศาสตร์และนวัตกรรมการเกษตร*, 53(1), 1-18.

- [5] สวนพฤกษศาสตร์พืชเชียงใหม่ ประเทศไทย. (2568). *หวานรีอก*. สืบค้นจาก <https://www.tweecholbotanic garden.com/data.php?id=305>
- [6] Pukklay, P., Saema, P., & Sanyawong, N. (2010). Phytochemical contents and antimutagenicity of Hoan Ngoc extracts. *Asian Health, Science and Technology Reports*, 18(1), 49–54. retrieved from <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/ahstr/article/view/2350>
- [7] สุภกร บุญยืน, ปาริยา ณ นคร และนิ รมล ศากยวงศ์. (2559).ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระฤทธิ์ต้านแบคทีเรียปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดของสารสกัดพืชหางนกยูง. *Thai Journal of Science and Technology*, 5(1), 20–28.
- [8] ปริชาติ เทพทอง, และฐิตียา ลูกแป้น. (2564). ปริมาณฟีนอลิกรวมฤทธิ์ต้านออกซิเดชันและฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสของสารสกัดรากมะพูด. *ASEAN Journal of Scientific and Technological Reports*, 24(1), 94–104.
- [9] Olah, S. O. A., et al. (2018). The Correlation between the Content of Phenolic Compounds Extracted with Different Solvents and the Antioxidant Capacity of Nettle (*Urtica dioica* L.). *Revista de Chimie*, 69(1), 1-5. retrieved from https://www.researchgate.net/figure/The-correlation-between-the-content-of-phenolic-compounds-extracted-with-different_fig1_381517615
- [10] Hussain, M. G., et al. (2021). Relationship between Total Phenolic Content, Antioxidant Capacity, Fe and Cu Content from Tea Plant Samples at Different Brewing Times. *Materials*, 14(8), 1-15. retrieved from <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/8/1311>

ประสิทธิภาพเชื้อ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5 ในการ
ควบคุมเชื้อ *Bipolaris oryzae* ที่เป็นสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

Efficiency of *Serratia nematodiphila* Sd23 and *Bacillus siamensis* Ks5 to
biological control of *Bipolaris oryzae* caused brown spot disease in rice

ภาวิณี ภูทอง¹, สุวิชญา บัวชาติ^{1*}

¹โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Phawinee Phoothong¹, Suwichaya Buachard^{1*}

¹Biology Program, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

บทคัดย่อ

เชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว เป็นโรคชนิดหนึ่งที่ทำให้ผลผลิตข้าวลดลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5 ในการควบคุมเชื้อ *B. oryzae* ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบ *B. siamensis* Ks5 ต่อ *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 ได้รับการทดสอบโดยใช้เทคนิค pour plate technique จากผลการทดลองพบว่าสารสกัด หยาบ *B. siamensis* Ks5 ควบคุมโรคได้ 30.0% และ 32.1% ตามลำดับ ส่วนสารสกัด หยาบของเชื้อ *S. nematodiphila* Sd23 ไม่สามารถยับยั้งเชื้อ *B. oryzae* ได้ ประสิทธิภาพของผงชีวภัณฑ์ *S. nematodiphila* Sd23 และ *B. siamensis* Ks5 ต่อ *B. oryzae* ได้รับการทดสอบโดยใช้เทคนิค dual culture bioassay ผงชีวภัณฑ์ควบคุมโรคได้ 8.8-14.8% และ 40.4-32.8% ตามลำดับ

คำสำคัญ : *Serratia nematodiphila*, *Bacillus siamensis*, *Bipolaris oryzae*, โรคขอบใบแห้งในข้าว

Abstract

Bipolaris oryzae, causing brown spot disease in rice, is a disease that reduces rice productivity. This research project aimed to test the efficacy of *Serratia nematodiphila* Sd23 and *Bacillus siamensis* Ks5 for biological control of *B. oryzae*. The efficacy of the crude extract of *B. siamensis* Ks5 against *B. oryzae* DOAC 2464 and *B. oryzae* TBRC 10586 were tested using pour plate technique. The experimental results showed that the crude extract of *B. siamensis* Ks5 controlled the disease, with 30.0% and 32.1%, respectively. However, the crude extract of *S. nematodiphila* Sd23 could not inhibit *B. oryzae*. The efficacy of the dry formulation of

*Corresponding author : suwichaya.gift@gmail.com

Received : 01/02/2025 Revised : 17/06/2025 Accepted : 24/06/2025

S. nematodiphila Sd23 and *B. siamensis* Ks5 against *B. oryzae* were tested using dual culture bioassay; the dry formulation controlled the disease, with 8.8-14.8% and 40.4-32.8%, respectively.

Keywords : *Serratia nematodiphila*, *Bacillus siamensis*, *Bipolaris oryzae*, Brown spot disease

ที่มาและความสำคัญ

ข้าว (*Oryza sativa*) เป็นพืชที่มีความสำคัญของไทย ในแต่ละปีประเทศไทยผลิตและส่งออกข้าวเป็นจำนวนมาก ในปี พ.ศ. 2567 ประเทศไทยมีการส่งออกข้าวมูลค่าเท่ากับ 6,433.86 ล้านเหรียญสหรัฐฯ คิดเป็นเงินไทย 225,655.57 ล้านบาท [1] แต่ในการผลิตข้าวนั้นประสบปัญหาเกี่ยวกับโรคในข้าวและศัตรูพืช โดยโรคในข้าวสำคัญที่พบประจำ ได้แก่ โรคขอบใบแห้ง โรคใบจุดสีน้ำตาล โรคไหม้ โรคกาบใบแห้ง โรคเมล็ดด่าง และโรคขีดโปร่งแสง เป็นต้น โรคใบจุดสีน้ำตาลที่เกิดจากเชื้อรา *Bipolaris oryzae* เป็นโรคที่มีลักษณะเฉพาะ และสร้างความเสียหายต่อข้าวมากที่สุดโรคหนึ่งของโลก เนื่องจากการกระจายพันธุ์ข้าวหลายสายพันธุ์ อาการเฉพาะของจุดสีน้ำตาลบนใบและเปลือก คือ รอยโรคสีน้ำตาลแดงอ่อนหรือมีจุดศูนย์กลางสีเทาล้อมรอบด้วยขอบสีน้ำตาลเข้มถึงสีน้ำตาลแดง จากนั้นมีขอบสีเหลืองสดใส จุดสีน้ำตาลมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกันบนส่วนต่าง ๆ ของพืช ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ส่งผลให้ผลผลิตลดลง เชื้อราจะแพร่กระจายจากต้นหนึ่งไปยังอีกต้นหนึ่งโดยสปอร์ที่ฟุ้งกระจายในอากาศ [2] การควบคุมโรคของเกษตรกรส่วนใหญ่ คือ การใช้สารเคมี เนื่องจากสารเคมีออกฤทธิ์เร็ว มีประสิทธิภาพสูง เห็นผลชัดเจน สะดวกในการซื้อ แต่มักมีผลเสียตามมา เพราะต้องใช้เป็นประจำจะส่งผลทำให้เชื้อดื้อยา เกิดการปนเปื้อนสารเคมีในผลิตผลการเกษตรและสิ่งแวดล้อม และกระทบต่อมาตรฐานการส่งออก [3] ดังนั้นความต้องการเกษตรกรรมที่ยั่งยืนจึงเพิ่มขึ้นทำให้ต้องใช้วิธีการอื่นแทนการใช้สารเคมีเพื่อควบคุมโรคพืช การควบคุมทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกแทนการใช้สารเคมี โดยเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* sp., *Streptomyces* sp., *Pseudomonas* sp. และ *Serratia* sp. ถูกนำมาใช้บ่อย ในการควบคุมทางชีวภาพ เพื่อต่อต้านเชื้อสาเหตุโรคพืชต่าง ๆ แบคทีเรียเหล่านี้จะยับยั้งการเติบโตของเชื้อก่อโรคผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การสร้างยาปฏิชีวนะ การแข่งขันระหว่างสารอาหารและพื้นที่ เป็นต้น [4] งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพแบคทีเรียปฏิชีวนะ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5 ต่อการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว *B. oryzae* เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ต่อไปในอนาคต

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 เชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะสายพันธุ์ *Bacillus siamensis* Ks5 และ *Serratia nematodiphila* Sd23 จากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เลี้ยงบนอาหาร nutrient agar (NA) จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

1.2 เชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว ได้แก่ *Bipolaris oryzae* DOAC 2464 จากศูนย์อารักขาพันธุ์พืชกรุงเทพฯ และ *Bipolaris oryzae* TBRC 10586 จากศูนย์ชีววัสดุประเทศไทย (Thailand bioresource

research center) เลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2. ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

เตรียมเชื้อแบคทีเรีย *B. siamensis* Ks5 และ *S. nematodiphila* Sd23 โดยเลี้ยงบนอาหาร NA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 2 วัน และเลี้ยงเชื้อรา *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 บนอาหาร PDA บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

ทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะตามเทคนิค dual culture โดยใช้ห้วงเยื่อเชื้อแต่ละเชื้อปฏิชีวนะแล้วนำมาติดเป็นเส้นตรงบนอาหาร PDA โดยห่างจากขอบจานเลี้ยงเชื้อ 2 เซนติเมตร และใช้ที่เจาะจุกคอร์ก (cork borer) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะรูบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาล นำไปวางบนอาหาร PDA โดยวางตรงข้ามกับเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะที่ขีดไว้ข้างต้นห่างกัน 4 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (control) ที่วางเฉพาะขึ้นเชื้อรา *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลโดยวัดขนาดของรัศมีเชื้อราสาเหตุโรคในเพลทควบคุม และเพลทที่ทดสอบในวันที่ 7 วัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (percent inhibition of radial growth; PIRG) ตามสูตรการคำนวณ วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ [5]

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญ (PIRG) [5]} = (R1-R2)/R1 \times 100$$

โดย R1 = รัศมีโคโลนีของเชื้อรา *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 ในเพลทควบคุม
R2 = รัศมีโคโลนีของเชื้อรา *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 ในวิธีที่ทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะแต่ละเพลท

3. ประสิทธิภาพของผงชีวภัณฑ์ และสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

นำเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะ *B. siamensis* Ks5 และ *S. nematodiphila* Sd23 มาเลี้ยงในอาหาร nutrient glucose broth (NGB) ปริมาณ 120 มิลลิลิตร บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 28-30 องศาเซลเซียส 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 96 ชั่วโมง นำเชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะมาตกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที ล้างเซลล์ด้วยไฮเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 0.85% (w/v) ดูดเซลล์แบคทีเรียปฏิชีวนะ 20 มิลลิลิตร ผสมกับแป้งข้าวเจ้า 43.5 กรัม น้ำมันรำข้าว 1.5 มิลลิลิตร และซูโครส 5 กรัม นำส่วนผสมมาอบในตู้อบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นให้เป็นผงและใส่ถุงซิปล็อคเก็บในอุณหภูมิห้อง

3.1 ประสิทธิภาพของผงชีวภัณฑ์เชื้อแบคทีเรียปฏิชีวนะในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

ซังตัวอย่างผงชีวภัณฑ์ 1 กรัม ผสมกับ peptone water 0.1% (w/w) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน และใช้กระดาษกรองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วจุ่มในบีกเกอร์ที่มีน้ำของผงเชื้อชีวภัณฑ์เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ และใช้ที่เจาะจุกคอorkขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะรูบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว วางบนอาหาร PDA ด้านตรงข้ามกับกระดาษกรองที่จุ่มน้ำของผงเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ ระยะห่างเช่นเดียวกับวิธีการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบกับชุดควบคุม บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน โดยทำการทดลอง ชุดละ 3 ซ้ำ บันทึกผลโดยวัดขนาดของรัศมีเชื้อราสาเหตุโรคในเพลทควบคุม และเพลทที่ทำการทดสอบ ตามวิธีของ Li *et al.* [6]

3.2 ประสิทธิภาพของสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

นำสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงก่อนการเตรียมผงเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ มากรองให้ปลอดเชื้อจุลินทรีย์ด้วยตัวกรองแบคทีเรีย (bacteria filter) นำสารสกัดเชื้อแบคทีเรียมาทดสอบกับเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวตามเทคนิค pour plate technique โดยเทสารสกัดของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ผสมกับอาหาร PDA ทำการ pour plate เมื่ออาหารแข็งตัวใช้ที่เจาะจุกคอorkขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะรูบริเวณปลายเส้นใยของเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว นำไปวางกึ่งกลางเพลท เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่วางเฉพาะขึ้นเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน โดยทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ บันทึกผลโดยวัดขนาดของรัศมีเชื้อราสาเหตุโรคในเพลทควบคุมและเพลทที่ทำการทดสอบ ตามวิธีของ Li *et al.* [7]

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics (SPSS) version 21

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

จากการนำเชื้อราสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล ได้แก่ *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 มาทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์พบว่า เชื้อก่อโรคทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถถูกควบคุมการเจริญเติบโตโดย *B. siamensis* Ks5 และ *S. nematodiphila* Sd23 (ตารางที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *S. nematodiphila* Sd23 และ *B. siamensis* Ks5 พบว่า *B. siamensis* Ks5 ให้ประสิทธิภาพการควบคุมได้ดีกว่า *S. nematodiphila* Sd23 เท่ากับ 2-4 เท่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาล *Bipolaris oryzae* DOAC 2464 และ *Bipolaris oryzae* TBRC 10586 โดยการใช้ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5

เชื้อปฏิปักษ์	เชื้อสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล	อัตราการยับยั้ง (%)
<i>Serratia nematodiphila</i> Sd23	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	10.4±0.46 ^c
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	7.2±0.35 ^d
<i>Bacillus siamensis</i> Ks5	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	28.8±1.00 ^b
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	32.8±1.50 ^a

หมายเหตุ : อักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งของผลการทดลองของแต่ละชนิดเชื้อก่อโรคแสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

2. ประสิทธิภาพของผงชีวภัณฑ์เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

จากการศึกษาประสิทธิภาพของผงเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล *B. oryzae* พบว่าผงเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *S. nematodiphila* Sd23 ไม่สามารถควบคุมเชื้อ *B. oryzae* ได้เลย ซึ่งต่างจาก *B. siamensis* Ks5 ที่สามารถควบคุมเชื้อ *B. oryzae* ได้ โดยมีประสิทธิภาพในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล *B. oryzae* TBRC 10586 และ *B. oryzae* DOAC 2464 เท่ากับ ร้อยละ 32.1 และ 3.00 ตามลำดับ โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของผงชีวภัณฑ์เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาล *Bipolaris oryzae* DOAC 2464 และ *Bipolaris oryzae* TBRC 10586 โดยการใช้ผงชีวภัณฑ์ของ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5

ผงเชื้อปฏิปักษ์	เชื้อสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล	อัตราการยับยั้ง (%)
<i>Serratia nematodiphila</i> Sd23	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	0±0 ^b
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	0±0 ^b
<i>Bacillus siamensis</i> Ks5	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	30.0±2.64 ^a
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	32.1±1.70 ^a

หมายเหตุ : อักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งของผลการทดลองของแต่ละชนิดเชื้อก่อโรคแสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

3. ประสิทธิภาพของสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว

จากการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อก่อโรคจุดสีน้ำตาล *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 พบว่าสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. siamensis* Ks5 สามารถควบคุมเชื้อ *B. oryzae* ได้ดีกว่า *S. nematodiphila* Sd23 เท่ากับ 2-4 เท่า แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของสารสกัดเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาล *Bipolaris oryzae* DOAC 2464 โดยการใช้ *Serratia nematodiphila* Sd23 และ *Bacillus siamensis* Ks5

ผงเชื้อปฏิปักษ์	เชื้อสาเหตุโรคจุดสีน้ำตาล	อัตราการยับยั้ง (%)
<i>Serratia nematodiphila</i> Sd23	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	8.8±0.21 ^d
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	14.8±0.56 ^c
<i>Bacillus siamensis</i> Ks5	<i>Bipolaris oryzae</i> DOAC 2464	40.4±1.95 ^a
	<i>Bipolaris oryzae</i> TBRC 10586	32.8±3.33 ^b

หมายเหตุ : อักษรที่เหมือนกันในแนวตั้งของผลการทดลองของแต่ละชนิดเชื้อก่อโรคแสดงความไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเชื้อ *B. siamensis* Ks5 และ *S. nematodiphila* Sd23 มีคุณสมบัติในการเป็นเชื้อปฏิปักษ์ในการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ ได้แก่ *B. oryzae* DOAC 2464 และ *B. oryzae* TBRC 10586 เนื่องจากเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus* sp. มีการผลิตสารสารทุติยภูมิหลายชนิด เช่น volatile organic compounds (VOCs), AHL-lactonase (aiiA), chitinase, bacillomycin และ surfactin ที่สามารถควบคุมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคได้ [4] ส่วนเชื้อ *S. nematodiphila* มีการผลิตรงควัตถุสีแดง คือ prodigiosin เป็นสารออกฤทธิ์สำคัญที่สามารถยับยั้งเชื้อรา แบคทีเรีย และโปรโตซัวได้ นอกจากนี้ยังสร้างสารทุติยภูมิอื่นที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้อีก เช่น serrawettin, pocyidin A, carbapenem, althiomycin และ bacteriocins [8] เมื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ในรูปแบบผง และน้ำ พบว่าผงชีวภัณฑ์เชื้อ *B. siamensis* Ks5 สามารถควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวได้ แต่เชื้อ *S. nematodiphila* Sd23 ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *S. nematodiphila* Sd23 อยู่ในสกุล *Serratia* วงศ์

Enterobacteriaceae เป็นแบคทีเรียรูปร่างท่อน แกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ [9] จึงทำให้เชื้อ *S. nematodiphila* Sd23 ไม่ทนต่อสภาพที่ร้อน แห้งแล้ง หรือสภาวะความชื้นต่ำได้ แตกต่างจากเชื้อ *B. siamensis* Ks5 ที่มีรูปร่างท่อน แกรมบวก มีการสร้างเอนโดสปอร์ [10] จึงทำให้เชื้อ *B. siamensis* Ks5 ทนต่อสภาพที่ร้อน หรือแห้งแล้งได้ เพราะการมีสปอร์จะช่วยรักษาแบคทีเรียไว้ในช่วงที่มีสภาวะไม่เอื้ออำนวย และยังช่วยให้แบคทีเรียสามารถแพร่กระจายไปกับดิน น้ำ และอากาศได้ดีขึ้น เมื่อสภาวะเหมาะสมสปอร์จะงอกกลายเป็นเซลล์แบคทีเรียอีกครั้งหนึ่ง ส่วนสารสกัดหยาบที่ได้จากการเลี้ยงเชื้อ *B. siamensis* Ks5 และ *S. nematodiphila* Sd23 พบว่าสามารถควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวได้ ซึ่งเป็นเพราะเชื้อปฏิปักษ์ทั้ง 2 สายพันธุ์ในระหว่างที่เลี้ยงในอาหารเหล่านั้น เซลล์ได้ทำการสร้างสารทุติยภูมิปล่อยออกมานอกเซลล์ลงสู่อาหารเลี้ยงเชื้อ แสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบของทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถพัฒนาไปเป็นชีวภัณฑ์รูปแบบน้ำได้

บังอร และคณะ [11] รายงานว่าชีวภัณฑ์แบคทีเรีย *B. siamensis* RRK1-Rif สูตรผงเปียกน้ำ หลังเก็บไว้ 11 เดือน สามารถลดความรุนแรงโรคกาบใบแห้งของข้าวซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* ได้ร้อยละ 36.56–48.82 และสามารถลดความรุนแรงโรคโรคมะลิสด่างที่เกิดจากเชื้อรา *Curvularia lunata*, *B. oryzae* และ *Alternaria padwickii* บนรวงได้ร้อยละ 17.02 - 37.02 และมีรายงานว่าสารสกัดหยาบของเชื้อ *Bacillus* sp. (BRM32110) และ *Serratia marcescens* (BRM32113) สามารถควบคุมเชื้อก่อโรคใบจุดสีน้ำตาล (*Bipolaris oryzae*) และโรคใบไหม้ (*Magnapotha oryzae*) ในข้าวได้ถึงร้อยละ 28 และ 92 ตามลำดับ [12] สารสกัดหยาบจากเชื้อ *S. nematodiphila* GCSR38 สามารถลดความรุนแรงของโรคขอบใบแห้งในข้าวจากเชื้อ *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* ได้ร้อยละ 28.89 [13] และมีรายงานว่าสารสกัดหยาบเชื้อ *B. siamensis* สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา *Fusarium* sp., *Ganoderma* sp., และ *Chaetomium globosum* InaCC F228 ได้ร้อยละ 93.96, 100 และ 76.64 ตามลำดับ [14]

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าว *B. oryzae* ทั้ง 2 สายพันธุ์ พบว่าเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *S. nematodiphila* Sd23 และ *B. siamensis* Ks5 สามารถควบคุมเชื้อรา *B. oryzae* ได้ โดยเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *B. siamensis* Ks5 มีศักยภาพสูงเพราะสามารถย่อยสลายไปเป็นชีวภัณฑ์ได้ทั้งรูปแบบน้ำ และรูปแบบผง แต่เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ *S. nematodiphila* Sd23 สามารถพัฒนาเป็นชีวภัณฑ์ได้เพียงรูปแบบน้ำเท่านั้น อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพการควบคุมเชื้อสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลในข้าวต่ำกว่าเชื้อ *B. siamensis* Ks5 2 – 4 เท่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย. (2560, 8 มกราคม). สถิติส่งออกข้าว (Export statistics). <http://www.thairiceexporters.or.th/>

- [2] Ashfaq, B., Arshad, H. M. I., Atiq, M., Yousaf, S., Saleem, K., & Arshad, A. (2021). Biochemical profiling of resistant phenotypes against *Bipolaris oryzae* causing brown spot disease in rice. *Frontiers in Agronomy*, 3, Article 675895. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.675895>
- [3] พรพรรณ อุสุวรรณ. (2561). การประเมินความสามารถของเชื้อ *Streptomyces* spp. ในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคของข้าว. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 37(2), 36–45.
- [4] Lee, J., Kim, S., Jung, H., Koo, B. K., Han, J. A., & Lee, H. S. (2023). Exploiting bacterial genera as biocontrol agents: Mechanisms, interactions and applications in sustainable agriculture. *Journal of Plant Biology*, 66, 485–498. <https://doi.org/10.1007/s12374-023-09404-6>
- [5] ยลธิดา ชนชัย และ เพชรรัตน์ ธรรมเบญจพล. (2563). การคัดเลือกเชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ที่ควบคุมเชื้อสาเหตุโรคแอนแทรคโนสพริกในแนวกว้างและช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช. *แก่นเกษตร*, 48(2), 333–344.
- [6] Xie, Z., Li, M., Wang, D., Wang, F., Shen, H., Sun, G., Feng, C., Wang, X., Chen, D., & Sun, X. (2021). Biocontrol efficacy of *Bacillus siamensis* LZ88 against brown spot disease of tobacco caused by *Alternaria alternata*. *Biological Control*, 154, Article 104508. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104508>
- [7] Li, K., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Jing, T., Zang, X., Qi, C., Wang, W., Xie, J., & Li, X. (2021). Biological control of banana wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* using *Streptomyces* sp. H4. *Biological Control*, 155, Article 104524. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104524>
- [8] Su, C., Xiang, Z., Liu, Y., Zhao, X., Sun, Y., Li, Z., Li, L., Chang, F., Chen, T., Wen, X., Zhou, Y., & Zhao, F. (2016). Analysis of the genomic sequences and metabolites of *Serratia surfactantifaciens* sp. nov. YD25T that simultaneously produces prodigiosin and serrawettin W2. *BMC Genomics*, 17, Article 865. <https://doi.org/10.1186/s12864-016-3171-7>
- [9] Kulkova, I., Wróbel, B., & Dobrzyński, J. (2024). *Serratia* spp. as plant growth-promoting bacteria alleviating salinity, drought, and nutrient imbalance stresses. *Frontiers in Microbiology*, 15, Article 1342331. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1342331>
- [10] Public Health England. (2018). *UK standards for microbiology investigations: Identification of Bacillus species*. Standards Unit.
- [11] บังอร น้อยไธย, จิระเดช แจ่มสว่าง และ วรณวิไล อินทนู. (2561). ประสิทธิภาพของชีวภัณฑ์ *Bacillus siamensis* RRK1–Rif สูตรผงเปียกน้ำ ในการควบคุมโรคกาบใบแห้ง และโรคเมล็ดด่างและการเพิ่มผลผลิตของข้าว. *แก่นเกษตร*, 46(4), 633–642.
- [12] Arriel-Elias, M. T., Arriel, G. C. T. F., Bezerra, G. A., Santos, P. H. D., Severino, V. G. P., & Filippi, M. C. C. (2021). Optimization of the extraction process and application of bacterial extracts in the control of brown spot and leaf blast in rice culture. Research Square. <https://orcid.org/0000-0003-1676-8164>

- [13] Sutthisa, W. (2022). Comparison of the antagonistic potential of the entomopathogenic bacterium *Serratia nematodiphila* GCSR38 with other effective microorganisms for the control of rice bacterial leaf blight. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 16(1), 557–566. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.1.54>
- [14] Santoso, I., Fadhilah, Q. G., Maryanto, A. E., & Yasman. (2020). The potency of *Bacillus siamensis* LDR as biocontrol agent against fungal phytopathogen. *Advances in Biological Sciences Research*, 14, 463–468.

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิง:

กรณีศึกษาเทศบาลตำบลระหาน

Development of an Information System for Elderly and Dependent Care:

A Case Study of Rahan Subdistrict Municipality

สุรินทร์ เพชรไทย^{1,*}, รัชชานนท์ พฤตโชค¹, กীরศักดิ์ พะยะ¹, ยุติธรรม ปรมะ¹

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
จังหวัดกำแพงเพชร 62000

Surin Petchthai^{1,*}, Ratchanon Phuetthichot¹, Keerasak Paya¹, Yutitham Parama¹

¹ Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet
Rajabhat University, Kamphaeng Phet 62000, Thailand

บทคัดย่อ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่ “สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์” ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพเพื่อสนับสนุนการดูแลผู้สูงอายุ ปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไปจำนวน 14.03 ล้านคน หรือคิดเป็นกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด ส่งผลให้อัตราส่วนการพึ่งพิงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เทศบาลตำบลระหานประสบปัญหาการจัดการข้อมูลการดูแลผู้สูงอายุที่ยังใช้ระบบกระดาษ ซึ่งก่อให้เกิดความล่าช้าในการบันทึกข้อมูล การสูญหายของเอกสาร และการสื่อสารที่ไม่ทันท่วงที การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน และ 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้กระบวนการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบ Waterfall Model พัฒนาโดยใช้ Vue.js สำหรับส่วนต่อประสานผู้ใช้ Express.js เป็นเฟรมเวิร์กระบบหลังบ้าน และ MySQL สำหรับจัดการฐานข้อมูล ระบบออกแบบให้รองรับการใช้งานแบบตอบสนอง (Responsive Web Design) สำหรับผู้ใช้งาน 4 ประเภท ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ (อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น) แพทย์ นักบริบาล และผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยมีโมดูลหลัก เช่น การจัดการบัญชีผู้ใช้ การจัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน การจัดการแผนการดูแลรายบุคคล การประเมิน ADL (Activities of Daily Living) การสร้างรายงาน PDF และการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ผ่าน LINE Messaging API กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

*Corresponding author : surin_p@kpru.ac.th

Received : 25/08/2025 Revised : 18/10/2025 Accepted : 13/11/2025

จำนวน 50 คน ประกอบด้วย อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น 1 คน แพทย์ 1 คน นักบริบาล 2 คน ผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง 8 คน และญาติผู้ดูแล 38 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือแบบสอบถามมาตราส่วน 5 ระดับ (Likert Scale) ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 คน ได้ค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (IOC) อยู่ระหว่าง 0.67–1.00 และมีค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือ (Cronbach's α) เท่ากับ 0.89 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติเชิงพรรณนาและการทดสอบ t-test แบบอิสระ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ครบถ้วนตามที่ออกแบบและผ่านเกณฑ์การทดสอบทุกด้าน ระบบช่วยลดเวลาในการบันทึกข้อมูลพื้นฐานจาก 15–20 นาที เหลือเพียง 2–3 นาที คิดเป็นการลดภาระ 85 และลดการสูญหายของเอกสารจากร้อยละ 12 เหลือร้อยละ 0 บุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ที่มีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.31 (S.D. = 0.81) ผู้รับบริการมีความพึงพอใจเฉลี่ย 4.34 (S.D. = 0.65) และผลการประเมินภาพรวมการทำงานของระบบจากผู้ใช้งานทั้งหมดมีค่าเฉลี่ย 4.36 (S.D. = 0.75) อยู่ในระดับความพึงพอใจสูง ผลการทดสอบ t-test แบบอิสระแสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างกลุ่มผู้ใช้งาน ($p > 0.05$) ระบบสามารถลดการซ้ำซ้อนของข้อมูล เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน สนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลแบบเรียลไทม์ และเสริมสร้างความมั่นใจให้แก่ญาติผู้ดูแลในการติดตามสถานะของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง การเข้าถึงผ่านอุปกรณ์มือถือช่วยให้สามารถบันทึกและติดตามข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุในระดับชุมชนมีความเป็นไปได้และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการบูรณาการเทคโนโลยี LINE API ที่ผู้ใช้งานคุ้นเคย ระบบนี้สามารถขยายผลไปยังชุมชนอื่น และเป็นกลไกสำคัญในการเตรียมความพร้อมของประเทศไทยสู่สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศ, การดูแลผู้สูงอายุ, การดูแลผู้ที่มีภาวะพึ่งพิง, การดูแลสุขภาพชุมชน, สังคมสูงวัยไทย

Abstract

Thailand is transitioning toward becoming a complete aging society, signaling an urgent need for efficient information technology systems to support elderly care. With an elderly population aged 60 years and over totaling 14.03 million people, accounting for more than 20% of the total population, this demographic shift has continuously increased the dependency ratio. Rahan Subdistrict Municipality faces challenges in managing elderly care data due to a paper-based system, resulting in delays in data recording, document loss, and untimely communication. This research aimed to (1) develop an information system for elderly and dependent care at Rahan Subdistrict Municipality, and (2) evaluate user satisfaction with the developed system. The system was developed using the Waterfall Model, with Vue.js for the user interface, Express.js as the backend framework, and MySQL for database management. The responsive web design supports four user types: system administrators (local volunteer caregivers), physicians, professional caregivers, and dependent elderly individuals. Core modules include user account

management, home visit data management, individual care plan management, Activities of Daily Living (ADL) assessment, PDF report generation, and real-time notifications via the LINE Messaging API. The study employed purposive sampling to select 50 participants: 1 local volunteer caregiver, 1 physician, 2 professional caregivers, 8 dependent elderly individuals, and 38 family caregivers. A 5-point Likert-scale questionnaire was used to assess user satisfaction. Content validity was verified by three experts, yielding Index of Item-Objective Congruence (IOC) values between 0.67–1.00, while instrument reliability was confirmed with Cronbach's $\alpha = 0.89$. Data were analyzed using descriptive statistics and an independent t-test at a significance level of $\alpha = 0.05$.

Results indicated that the developed information system functioned fully as designed and passed all testing criteria. The system reduced the time required for basic data entry from 15–20 minutes to 2–3 minutes (an 85% reduction) and eliminated document loss (from 12% to 0%). Medical personnel and staff reported an average satisfaction score of 4.31 (S.D. = 0.81), service recipients 4.34 (S.D. = 0.65), and the overall functional evaluation yielded 4.36 (S.D. = 0.75), indicating a high satisfaction level. The independent t-test revealed no statistically significant difference between user groups ($p > 0.05$). The system effectively reduced data redundancy, enhanced operational efficiency, facilitated real-time data access, and increased family caregivers' confidence in monitoring elderly care. Mobile access further enabled real-time recording and tracking from any location. Therefore, the proposed system demonstrates that community-level elderly care information systems are both feasible and effective—particularly through the integration of the LINE API, a platform familiar to Thai users. This system can be extended to other local communities and serves as a valuable foundation for Thailand's readiness toward a complete aging society.

Keywords : Information System, Elderly Care, Dependent Care, Community Health Care, Thailand Aging Society

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยได้เข้าสู่ "สังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์" (Complete Aged Society) อย่างเป็นทางการ ในปี 2567 มีประชากรผู้สูงอายุที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปถึง 14.03 ล้านคน หรือมากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด [1] การเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลให้อัตราส่วนการพึ่งพิงผู้สูงอายุเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 10.7 ในปี พ.ศ. 2537 เป็น 31.1 ในปี พ.ศ. 2567 หมายความว่าประชากรวัยทำงาน 100 คน ต้องแบกรับการดูแลผู้สูงอายุถึง 31 คน [2] ผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 8.6 โดยเฉพาะในกลุ่มวัยปลาย (80 ปีขึ้นไป) ที่มีผู้พึ่งพิงสูงถึงร้อยละ 32.8 เนื่องจากประสบปัญหาสุขภาพที่ซับซ้อน เช่น โรคหลอดเลือดสมอง โรคเบาหวาน ความดันโลหิตสูง ภาวะ

สมองเสื่อม และการหกล้ม ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินกิจวัตรประจำวัน (Activities of Daily Living: ADL) ได้เอง จำเป็นต้องได้รับการดูแลในด้านสุขภาพและกิจวัตรประจำวัน เช่น การกิน การอาบน้ำ และการขับถ่าย ส่งผลให้การดูแลตกอยู่ที่ครอบครัว ชุมชน และหน่วยงานท้องถิ่นมากยิ่งขึ้น [3] ในปี 2568 คาดว่าจะมีผู้สูงอายุติดบ้าน 126,000 ราย และ ติดเตียง 236,000 ราย ขณะเดียวกันแนวโน้มจำนวนผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละกว่า 42,000 คน ทำให้การดูแลในระดับชุมชนท้องถิ่นกลายเป็นความท้าทายเร่งด่วนที่ต้องได้รับการแก้ไข [4-5]

เทศบาลตำบลระหาน อำเภอวังสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นขนาดเล็กที่ประสบปัญหาดังกล่าว โดยมีประชากรรวม 7,228 คน ตั้งอยู่ห่างจากตัวเมืองกำแพงเพชรประมาณ 80 กิโลเมตร และมีเนื้อที่ประมาณ 50.32 ตารางกิโลเมตร [6] เทศบาลได้จัดตั้งหน่วยงานอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่นเพื่อดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิง โดยมีบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ 4 คน ประกอบด้วย อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น 1 คน แพทย์จากโรงพยาบาล 1 คน นักบริบาล 2 คน และมีผู้สูงอายุที่อยู่ในความดูแล 8 คน ซึ่งเป็นผู้ที่มีภาวะพึ่งพิงต้องการการดูแลอย่างใกล้ชิด โดยแต่ละคนมีญาติผู้ดูแลที่สนใจติดตามข้อมูลการดูแล รวม 38 คน

การทำงานปัจจุบันยังใช้แบบฟอร์มกระดาษเป็นหลัก ระบบการดูแลผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงในปัจจุบันประสบปัญหาความไม่มีประสิทธิภาพในหลายด้าน นักบริบาลต้องเยี่ยมบ้านและจดบันทึกข้อมูลกิจกรรมประจำวัน รวมถึงอาการต่างๆ ของผู้สูงอายุลงในกระดาษแบบฟอร์ม จากนั้นส่งข้อมูลให้เทศบาลตำบลระหานและโรงพยาบาลระหานเพื่อประเมินค่า ADL (Activities of Daily Living) ซึ่งเป็นดัชนีวัดความสามารถในการดำเนินกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการปรับแผนการดูแลโดยหน่วยงานอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น อย่างไรก็ตามระบบปัจจุบันมีข้อจำกัดสำคัญหลายประการ ได้แก่ การจดบันทึกข้อมูลพื้นฐาน เช่น ชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เลขบัตรประชาชน และข้อมูลกิจวัตรประจำวันต้องเขียนข้อมูลพื้นฐานซ้ำๆ ทุกครั้งที่ไปเยี่ยมบ้าน เสียเวลาไปประมาณ 15-20 นาที ซึ่งคิดเป็นเกือบ 1 ใน 3 ของเวลาทั้งหมด บางครั้งเอกสารข้อมูลการดูแลรายบุคคลสูญหาย จำเป็นต้องขอข้อมูลจากโรงพยาบาลเพื่อใช้ประกอบการจดบันทึกในครั้งต่อไป ไม่สามารถติดตามความก้าวหน้าของผู้สูงอายุได้อย่างต่อเนื่อง ญาติผู้ดูแลไม่สามารถรับทราบข้อมูลการดูแลได้ทันทีเมื่อมีการเยี่ยมบ้าน

จากที่มาและความสำคัญของปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน จัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) มีระบบประเมิน ADL (Activities of Daily Living) และสามารถออกรายงาน PDF พร้อมการแจ้งเตือนผ่าน LINE API [7] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน และ 2) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อระบบที่พัฒนาขึ้น ให้สามารถรองรับการเป็นสังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ของประเทศไทยอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพัฒนา (Development Research) โดยใช้วิธีการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบน้ำตก (Waterfall Model) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การศึกษาข้อมูลและความต้องการ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบและประเมินผล และติดตั้งและบำรุงรักษา การพัฒนาระบบ

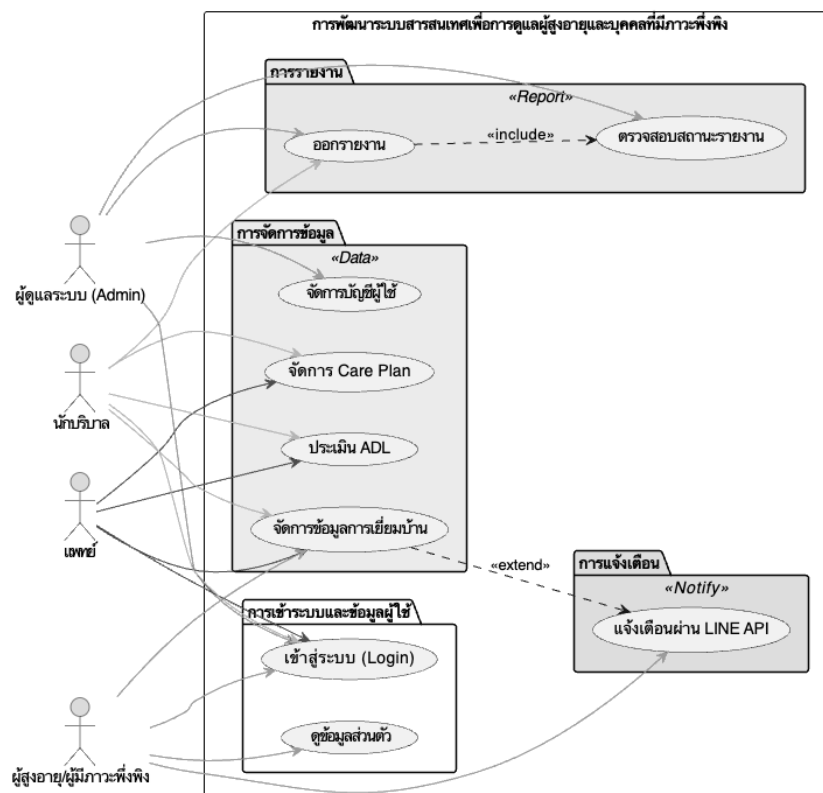
สารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน รองรับผู้ใช้งาน 4 ประเภท ได้แก่ อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น (ผู้ดูแลระบบ) แพทย์ นักบริบาล และผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยแต่ละประเภทมีสิทธิการเข้าถึงข้อมูลที่แตกต่างกันตามบทบาทหน้าที่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้ [8-10]

1. การศึกษาข้อมูลและความต้องการ

การดำเนินการในขั้นตอนนี้เริ่มต้นจากการศึกษานโยบายและแนวทางการดูแลผู้สูงอายุของรัฐบาล ทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับระบบสารสนเทศการดูแลสุขภาพ สัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ได้แก่ อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น แพทย์ นักบริบาล ผู้สูงอายุและญาติผู้ดูแล สังเกตการณ์ปฏิบัติงานจริง วิเคราะห์เอกสาร และแบบฟอร์มที่ใช้งานในปัจจุบัน เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานที่เกี่ยวข้อง

2. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ออกแบบและกำหนดโครงสร้างฐานข้อมูล (Database Schema) และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram) ออกแบบส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User Interface Design) ออกแบบฐานข้อมูล (Database Design) สร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล Entity Relationship Diagram (ERD) สร้างแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และระบบ (Use Case Diagram) และการทดสอบ Usability เบื้องต้นกับกลุ่มผู้ใช้งานหลัก



ภาพที่ 1: แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ (Use Case Diagram)

จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ (Use Case Diagram) มีผู้เกี่ยวข้องกับระบบ 4 ประเภท ได้แก่ 1) อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น (ผู้ดูแลระบบ) 2) นักบริบาล 3) แพทย์และ 4) ผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยผู้ใช้งานทุกคนต้องเข้าสู่ระบบ ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน จัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน จัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) จัดการข้อมูลการประเมิน ADL และการแจ้งเตือนผ่าน Line API

3. การพัฒนาระบบ

สำหรับการเขียนโค้ดและพัฒนาระบบตามแบบที่ออกแบบในขั้นตอนนี้มีการพัฒนาฐานข้อมูล พัฒนา Backend (Server-side Development) และพัฒนา Frontend (Client-side Development) โดยใช้ด้วย Vue.js สำหรับส่วนต่อประสานผู้ใช้ ใช้งาน Bootstrap สำหรับ Responsive Design พัฒนาด้วย Express.js สำหรับสร้างระบบหลังบ้าน พัฒนาระบบการจัดการไฟล์และการออกรายงาน เชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วย MySQL และพัฒนาระบบแจ้งเตือนผ่าน LINE Messaging API เพื่อการติดตามสถานะงานแบบเรียลไทม์ ใช้ Figma ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบ นอกจากนี้พัฒนาโมดูลหลัก ได้แก่ ระบบจัดการข้อมูลบัญชีผู้ใช้ ระบบจัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน ระบบจัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) ระบบประเมิน ADL ระบบตรวจสอบสถานะรายงาน ระบบออกรายงาน PDF และการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน ได้ดำเนินการสรุปผลการวิจัยสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. ผลการพัฒนาาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน รองรับผู้ใช้งาน 4 ประเภท ได้แก่ อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น (ผู้ดูแลระบบ) แพทย์ นักบริบาล และผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยแต่ละประเภทมีสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลที่แตกต่างกันตามบทบาทหน้าที่

1.1 ส่วนของเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลระบบ (Admin) คือ อาสาสมัครบริบาลท้องถิ่นเทศบาลตำบลระหาน โดยสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานและการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึง สามารถตรวจสอบและพิมพ์รายงานการเยี่ยมบ้านของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง สามารถตรวจสอบและพิมพ์รายงานผลการปฏิบัติงานของนักบริบาลได้

1.2 ส่วนของแพทย์ สามารถจัดการข้อมูลผู้สูงอายุ สามารถดูแลและแก้ไขรายงานการเยี่ยมบ้าน สามารถจัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) เพื่อจัดทำแผนการดูแลเฉพาะบุคคลตามสภาพสุขภาพและความต้องการของผู้สูงอายุแต่ละคน สามารถดูรายงานและปรับเปลี่ยนข้อมูลการประเมินค่า ADL ได้

1.3 ส่วนของนักบริบาล สามารถจัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน จัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) จัดการประเมินข้อมูล ADL และสามารถออกรายงานการปฏิบัติการโดยค้นหาแยกเป็นรายเดือน รายปี

1.4 ส่วนของผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิง สามารถดูข้อมูลรายละเอียดการเยี่ยมบ้านและรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE API

ภาพที่ 2: นักบริหารจัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan)

จากภาพที่ 2 แสดงการจัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคลสำหรับผู้สูงอายุและผู้มีภาวะพึ่งพิง (Care Plan) เพื่อวางแผนการดูแล สามารถเลือกรูปแบบให้เหมาะสมกับผู้สูงอายุและผู้ที่มีภาวะพึ่งพิง โดยเลือก ชื่อ-นามสกุล วันที่ให้บริการ การดูแลกิจวัตรประจำวัน การดูแลสุขภาพขั้นพื้นฐาน การดูแลสิ่งแวดล้อมและการประสานงาน

แนวทางการจัดทำแผนการดูแลรายบุคคลสำหรับผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง (Care Plan) โดยอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น

ข้อมูลผู้สูงอายุ : ชื่อ-สกุล นายอนุชา แซ่ เลขบัตรประจำตัวประชาชน 3456789012345 อายุ 72 ปี

ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 5 หมู่ 2 ต.ระหาน อ.บึงสามัคคี จ.กำแพงเพชร หมายเลขโทรศัพท์ 0923456789 ADL = 5

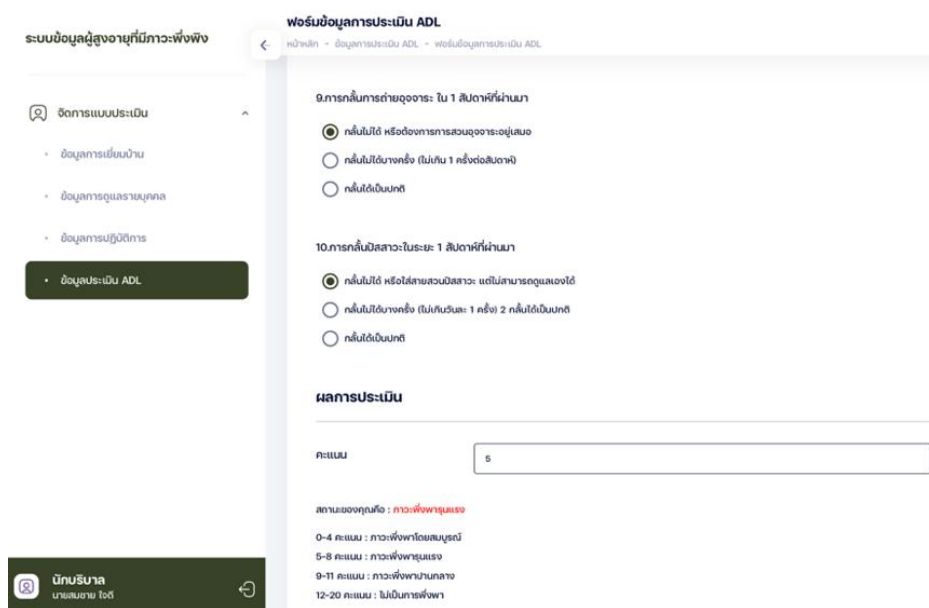
ข้อมูลอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น : ชื่อ-สกุล นายสมชาย ใจดี หมายเลขโทรศัพท์ 0947432811สังกัดหน่วยงาน เทศบาลระหาน

หมวด	กิจกรรม	เวลา	ความถี่
1.การดูแลกิจวัตรประจำวัน	✓ การอาบน้ำ ทำความสะอาดร่างกายกับการแต่งตัว	☑ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☐ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☐ 11.00 – 12.00 น. ☑ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>2</u> วัน/สัปดาห์
	✓ การช่วยเหลือเคลื่อนย้าย หรือการพลิกตะแคงตัว	☐ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☑ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☐ 11.00 – 12.00 น. ☑ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>1</u> วัน/สัปดาห์
	✓ การช่วยเหลือรับประทานอาหาร	☑ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☐ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☐ 11.00 – 12.00 น. ☑ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>2</u> วัน/สัปดาห์
	✓ การช่วยเหลือการขับถ่าย	☐ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☐ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☐ 11.00 – 12.00 น. ☑ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>3</u> วัน/สัปดาห์
	✓ อื่นๆ ระบุ <u>พาไปหาหมอ</u>	☐ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☐ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☑ 11.00 – 12.00 น. ☐ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>2</u> วัน/สัปดาห์
2.การดูแลสุขภาพขั้นพื้นฐาน	✓ การพยาบาลพื้นฐาน	☐ ก่อนเวลา 08.00 น. ☐ 08.00 – 09.00 น. ☑ 09.00 – 10.00 น. ☐ 10.00 – 11.00 น. ☐ 11.00 – 12.00 น. ☐ 12.00 – 13.00 น. ☐ 13.00 – 14.00 น. ☐ 14.00 – 15.00 น. ☐ 15.00 – 16.00 น. ☐ หลังเวลา 16.00 น.	จำนวน <u>2</u> วัน/สัปดาห์

ภาพที่ 3: รายงานแผนการดูแลเฉพาะบุคคลตามสภาพสุขภาพและความต้องการของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงแต่ละคน

จากภาพที่ 3 แสดงรายงานแผนการดูแลเฉพาะบุคคลตามสภาพสุขภาพและความต้องการของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงแต่ละคน โดยแสดงข้อมูลพื้นฐานของผู้สูงอายุและผู้มีภาวะพึ่งพิง ชื่อ-นามสกุล ของอาสาสมัครบริบาล ที่องถิ่นที่ดูแล หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ สังกัดหน่วยงาน รายละเอียดของหมวดการดูแล กิจกรรมที่ดูแล เวลาที่ดูแล และจำนวนความถี่ของวัน/สัปดาห์ที่ต้องดูแล

ADL (Activities of Daily Living) เป็นเครื่องมือมาตรฐานสำหรับประเมินความสามารถในการดำเนินกิจกรรมประจำวันของผู้สูงอายุ ซึ่งพัฒนาโดย Barthel ในปี 1965 และได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย [8] สำหรับการประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันนั้น นักบริบาลจะประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิงทุกครั้งเพื่อดูความก้าวหน้าในการดูแลรักษา โดยเลือก ชื่อ-นามสกุล ของผู้สูงอายุ วันที่ให้บริการ และทำการประเมินความสามารถกิจวัตรประจำวัน ประเมิน 10 กิจกรรมหลัก ได้แก่ การรับประทานอาหาร (Feeding) การล้างหน้า แปรงฟัน (Grooming) การแต่งตัว (Dressing) การอาบน้ำ (Bathing) การควบคุมการปัสสาวะ (Bowel control) การควบคุมการถ่ายอุจจาระ (Bladder control) การใช้ห้องน้ำ (Toilet use) การเคลื่อนย้าย (Transfer) การเดิน (Mobility) การขึ้นลงบันได (Stairs) การแปลผลดัชนี ADL แบ่งเป็น 4 ระดับ 0-4 คะแนน (ภาวะพึ่งพาโดยสมบูรณ์) 5-11 คะแนน (ภาวะพึ่งพารุนแรง) 12-19 คะแนน (ภาวะพึ่งพาปานกลาง) และ 20 คะแนน (ไม่มีภาวะพึ่งพา) [12]



ภาพที่ 4: นักบริบาลประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวัน ADL (Activities of Daily Living)

จากภาพที่ 4 แสดงการประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิง โดยเทศบาลตำบลระหาน แบ่งระดับการประเมินเป็น 4 ระดับตามช่วงคะแนนที่ปรับปรุงตามมาตรฐาน Barthel Index ได้แก่ 0-4 คะแนน ภาวะพึ่งพาโดยสมบูรณ์ 5-8 คะแนน ภาวะพึ่งพารุนแรง 9-11

คะแนน ภาวะพึ่งพิงปานกลาง และ 12-20 คะแนน ไม่มีภาวะพึ่งพิง เมื่อประเมินเสร็จระบบจะคำนวณผลการประเมินอัตโนมัติและแสดงผลการประเมินตามช่วงคะแนน นักบริหารจะประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิงทุกครั้ง เพื่อความก้าวหน้าในการดูแลรักษา

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีการปรับช่วงคะแนนการแปลผล ADL ให้เหมาะสมกับบริบทของเทศบาลตำบลระหาน ที่ต้องการแผนการดูแลที่แตกต่างกัน จากมาตรฐาน Barthel Index ดั้งเดิมที่แบ่งเป็น 4 ระดับ (0-4, 5-11, 12-19, 20 คะแนน) มาเป็นการแบ่ง 4 ระดับที่มีช่วงคะแนนละเอียดขึ้น (0-4, 5-8, 9-11, 12-20 คะแนน) โดยการแบ่งช่วงคะแนน 5-11 ออกเป็น 2 ระดับย่อย ทำให้สามารถจำแนกผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงรุนแรงได้ละเอียดมากขึ้น การปรับนี้ยังคงใช้หลักการประเมิน 10 กิจกรรม และวิธีการให้คะแนนตามมาตรฐาน Barthel Index เพื่อคงความถูกต้องทางการแพทย์และสามารถเปรียบเทียบผลกับการศึกษาอื่นได้

ข้อมูลการประเมิน ADL

หน้าหลัก - ข้อมูลการประเมิน ADL

ส่งออกงาน + เพิ่ม

ค้นหา

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	วันที่ให้บริการ	แบบสอบถามครั้งที่ 1	แบบสอบถามครั้งที่ 2	จัดการ
1	อัมรินทร์ : นายสมชาย ใจดี ผู้สูงอายุ : นางสาวนิชดา วงศ์สุวรรณ	2025-04-30	บันทึกผล	บันทึกผล	ลบ
2	อัมรินทร์ : นายสมชาย ใจดี ผู้สูงอายุ : นางสาวอาภา เตธี	2025-03-29	บันทึกผล	บันทึกผล	ลบ

จำนวนข้อมูล 10

< 1 >

ภาพที่ 5: นักบริหารจัดการข้อมูลการประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวัน ADL

จากภาพที่ 5 แสดงข้อมูลการประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิง ได้แก่ ชื่อ-นามสกุลของผู้สูงอายุ วันที่ให้บริการ รายละเอียดการประเมินแต่ละครั้ง ซึ่งสามารถแก้ไข ลบ ดูรายละเอียดข้อมูล และออกรายงานข้อมูลการประเมินในรูปแบบไฟล์ pdf

แบบประเมินกิจวัตรประจำวัน ดัชนีบาร์เธลแอคทีวีส (Barthel Activities of Daily Living : ADL)
ชื่อผู้รับบริการ..... นายอนุชา แซ่ลิ้..... นักบริบาล นายสมชาย ใจดี.....

การประเมินกิจกรรมประจำปี	เขียนแบบ วันที่ ๒๓/๐๖/๒๕๖๔	เขียนแบบ วันที่ ๒๓/๐๖/๒๕๖๔
(๑) วัตถุประสงค์การดำเนินงานเพื่อให้ได้รับหรือต่อหน้า ๐ ไม่สามารถขยายการเข้าถึงได้ ๑ ตัวอย่างการแก้ไข เพื่อเพิ่มพื้นที่ เช่น ขยายใช้ห้องครัวเดิมไว้ได้เพิ่มเป็นชั้นอีกก็ได้ ๒ ตัวอย่างการขยายตัวลงใต้ดินได้	๐	๐
(๒) การสร้างหน้า หรือแบบ โทนหนักในระยะเวลา ๒-๔๔ ชั่วโมงที่ผ่านมา ๐ ต้องการความช่วยเหลือ ๑ ทำได้เอง (รวมทั้งทำได้อีกถ้าเตรียมอุปกรณ์ไว้ให้)	๑	๑
(๓) ลูกน้องที่ขึ้นหรือจากพื้นที่ปฏิบัติงาน ๐ ไม่สามารถทำได้ (ไม่มีระบบสนับสนุน) หรือต้องใช้งบ ๑ คนช่วยกันขึ้น ๑ ใช้รถขึ้นช่วยเหลือมีทักษะ 1 คน/ใช้คนทั่วไป ๒ คนพอที่จะขึ้นหรือลงได้ ๒ ต้องการความช่วยเหลือบ้างเช่นช่วยผูกมัดกันเอง/เครื่องมือดูแลเพื่อความปลอดภัย ๓ ทำได้เอง	๑	๑
(๔) การใช้ห้องน้ำ ๐ ช่วยตัวเองไม่ได้ ๑ ทำเองได้บ้าง ต้องการความช่วยเหลือในบางสิ่ง ๒ ช่วยเหลือตัวเองได้	๑	๒
(๕) การเคลื่อนที่ภายในห้องหรือขึ้น ๐ เคลื่อนที่ไปเองไม่ได้ ๑ ใช้รถขึ้นช่วยเหลือเคลื่อนที่ได้เอง (ไม่ต้องมีคนขึ้นให้) เข้าออกพื้นที่หรือห้อยประตูได้ ๒ เดินหรือเคลื่อนที่โดยมีคนช่วย เช่น พุง ๓ เดินหรือเคลื่อนที่ตัวเอง	๓	๑
(๖) การสวมใส่เสื้อผ้า ๐ ต้องมีคนสวมใส่ให้ ช่วยตัวเองแทบไม่ได้หรือได้บ้าง ๑ ช่วยตัวเองได้ประมาณร้อยละ ๕๐ ที่เหลือต้องมีคนช่วย ๒ ช่วยตัวเองได้ (รวมทั้งการติดกระดุม รูดซิป ใส่เสื้อผ้าที่ติดแปะไว้บนกระดุมก็ได้)	๑	๑
(๗) การขึ้นบันได ๑ ชั้น ๐ ไม่สามารถทำได้ ๑ ต้องการความช่วยเหลือ ๒ ขึ้นเองได้เอง (ถ้าต้องใช้เครื่องมือเช่นเดิน เช่น Walker จะต้องมีเขาขึ้นได้ด้วย)	๒	๒
(๘) การอาบน้ำ ๐ ต้องมีคนช่วยหรือทำให้ ๑ อาบน้ำได้เอง	๑	๑
(๙) การจัดการถ่ายอุจจาระ ใน ๑ สัปดาห์ที่ผ่านมา ๐ ขึ้นไม่ได้ หรือต้องการการสนับสนุนอยู่บ่อย ๑ ขึ้นไปได้บางครั้ง (ไม่บ่อย หรือต้องให้พา) ๒ ขึ้นได้เป็นประจำ	๒	๒
(๑๐) การกินสัปดาห์ละในระยะเวลา ๑ สัปดาห์ที่ผ่านมา ๐ ขึ้นไม่ได้ หรือใส่สายสวนอาหาร อยู่ไม่สามารถดูแลเองได้ ๑ ขึ้นไปได้บางครั้ง (ไม่บ่อยเกิน ๑ ครั้ง) ๒ ขึ้นได้เป็นประจำ	๑	๒
รวมคะแนน	๑๓	๑๕
แปลผล	ไม่เพียงพอ	ไม่เพียงพอ

ผลการประเมิน	แปลผล
คะแนนรวม ADL ๒๐ คะแนน	
๐ - ๔ คะแนน	ภาวะพึ่งพิงโดยสมบูรณ์ : very low initial score, total dependence
๕ - ๘ คะแนน	ภาวะพึ่งพิงรุนแรง : low initial score, severe dependence
๙ - ๑๒ คะแนน	ภาวะพึ่งพิงปานกลาง : intermediate initial score, moderately severe dependence
๑๓ - ๒๐ คะแนน	ไม่เป็นการพึ่งพิง : intermediate high, mildly severe dependence, consideration of discharging home

Barthel Activities of Daily Living : ADL (✓) เพิ่มขึ้น () ลดลง () เท่าเดิม

(ဂ)

แบบรายงานผลการปฏิบัติงานของอาสาสมัครท้องถิ่น

เทศบาลตำบล ระหาน..... ๒๕๕๐

ประจำเดือน เมษายน พ.ศ. 2568

กุล (อาสาสมัครบริหารท้องถิ่น)...นายสมชาย ใจดี

ชื่อหมู่บ้าน ม.2.....
ตำบล ระหาน.....อำเภอ บึงสามัคคี.....

ค่างส.๒๕๖๓.....อำเภอ.๖๓

[illegible]

ลงชื่อ.....

()

.....
 อาสาสมัครนิสิตท้องถิ่นตำบลระหาน

ลงชื่อ.....

(

ตำแหน่ง

ภาพที่ 6: (ก) รายงานข้อมูลการประเมิน ADL และ (ข) รายงานผลการปฏิบัติงานของอาสาสมัครท้องถิ่น

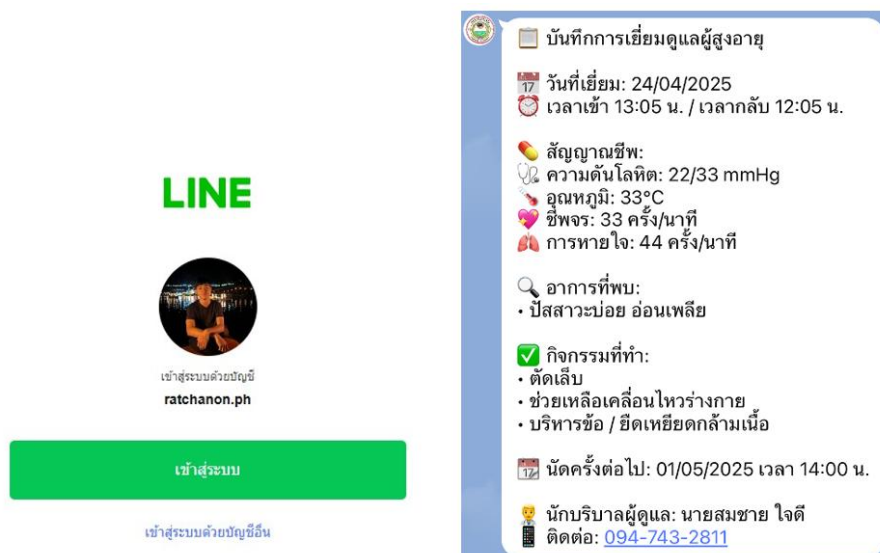
จากภาพที่ 6 (ก) แสดงการออกรายงานข้อมูลการประเมิน ADL โดยรายงานผลการประเมินความสามารถในการทำกิจวัตรประจำวันของผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิงในการเยี่ยมบ้านแต่ละครั้งสรุปผลคะแนนการประเมิน แผลผล และทำการเปรียบเทียบผลการประเมิน ADL (Activities of Daily Living) ครั้งล่าสุดกับการประเมินก่อนหน้า เทียบเคียงไว้ 3 ระดับ คือ เพิ่มขึ้น ลดลง เท่าเดิม และจากภาพที่ 6 (ข) แสดงการออกรายงานการปฏิบัติงานของอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่นเทศบาลตำบลระหาน โดยแสดงวัน เดือน ปี ปฏิบัติหน้าที่ ผู้สูงอายุที่ดูแล รายละเอียดกิจกรรมการปฏิบัติงาน จำนวนคน ช่วงระยะเวลาการดูแล หมายเหตุ มีการลงลายมือชื่อและส่งผลการปฏิบัติงานเดือนละครั้ง

แบบบันทึกการเยี่ยมบ้านและดูแลสุขภาพผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิง
โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล/ อบต.ระหาน..... ตำบล.....ระหาน..... อำเภอ.....บึงสามัคคี..... จังหวัดกำแพงเพชร
Care Giver/นักบริบาล: นายสมชาย ใจดี.....

ชื่อผู้รับบริการ	นายอนุชา แซ่ลี	อายุ	23 ปี	บ้านเลขที่	5	หมู่	2	ตำบล	ระหาน	อำเภอ	บึงสามัคคี	จังหวัด	กำแพงเพชร	ADL	12	คะแนน	กลุ่ม	1	TAI	C4
วันที่เยี่ยม	24 / 04 / 2025																			
เวลาถึง	13:05 น.																			
เวลากลับ	12:05 น.																			
โรคประจำตัว	เบาหวาน																			
อาการทั่วไป / ปัญหา	สัญญาณชีพ: ความดันโลหิต 22 mmHg อุณหภูมิ 33 °C ชีพจร 33 ครั้ง/นาที การหายใจ 44 ครั้ง/นาที น้ำหนัก 55.00 กิโลกรัม ส่วนสูง 162.00 ซม. BMI 20.96 อาการทั่วไป ปัสสาวะบ่อย อ่อนเพลีย ปัญหา น้ำหนักตัวลดลง																			
กิจกรรม	☐ อาบน้ำ ☐ ตัดผม ☒ ตัดเล็บ ☐ ดูแลความสะอาดหลังขยับถ่าย ☒ ช่วยเหลือเคลื่อนไหวร่างกาย ☐ พลิกตะแคงตัว ☐ ทำแผล ☒ บริหารข้อ / ยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ☐ ดูแลการให้ออกซิเจน ☐ ดูแลสาย NG tube ☐ ดูแลสายสวนปัสสาวะ ☐ อื่น ๆ																			
หมายเหตุ	นัดครั้งต่อไป 01 / 05 / 2025 ลายมือชื่อ (ผู้ป่วย/ญาติ/ผู้ดูแล/เพื่อนบ้าน) ลายมือชื่อ (CG/นักบริบาล.....) ลายมือชื่อ (CM.....)																			

ภาพที่ 7: รายงานบันทึกการเยี่ยมบ้านและดูแลสุขภาพผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิง

จากภาพที่ 7 แสดงรายละเอียดการออกรายงานบันทึกการเยี่ยมบ้านและดูแลสุขภาพผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิงและบุคคลอื่นที่มีภาวะพึ่งพิงเป็นรายบุคคล โดยแสดงชื่อ-สกุล อายุ ที่อยู่ ระดับค่า ADL วันที่เยี่ยม อาการทั่วไป/ปัญหา กิจกรรมที่ดำเนินการ การนัดครั้งต่อไป เป็นต้น



ภาพที่ 8: ระบบการแจ้งเตือนผ่าน LINE API

จากภาพที่ 8 แสดงระบบการแจ้งเตือนผ่าน LINE API เมื่อมีการบันทึกการดูแลผู้สูงอายุและผู้ที่มีภาวะพึ่งพิง ระบบจะแจ้งเตือนมาที่ญาติของผู้สูงอายุ โดยมีรายละเอียดการแจ้งเตือนเป็น วันที่เยี่ยม เวลาเข้า-เวลากลับ รายละเอียดของสัญญาณชีพ อาการที่พบ กิจกรรมที่ได้ทำในวันนั้น วันนัดครั้งต่อไป พร้อมเบอร์โทรศัพท์เพื่อใช้ติดต่อ

2. ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิง ได้ดำเนินการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ จำนวน 4 คน และกลุ่มผู้รับบริการผู้สูงอายุและญาติผู้ดูแล จำนวน 46 คน รวมทั้งสิ้น 50 คน เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วยแบบสอบถามที่ครอบคลุมการประเมิน 4 ด้านหลัก ได้แก่ 1) ด้านการทำงานตามฟังก์ชัน (Functional Test) ประเมินโดยผู้ใช้งานทุกกลุ่ม (n=50) 2) ด้านความง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test) ประเมินแยกตามกลุ่มบุคลากร (n=4) และผู้รับบริการ (n=46) 3) ด้านความปลอดภัย (Security Test) ประเมินแยกตามกลุ่ม บุคลากร (n=4) และผู้รับบริการ (n=46) และ 4) ด้านประโยชน์และความพึงพอใจ (Benefit and Satisfaction Test) ประเมินเฉพาะกลุ่มผู้รับบริการ (n=46) โดยกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ประเมิน 3 ด้าน (ด้านที่ 1, 2, 3) ส่วนกลุ่มผู้รับบริการประเมินครบทั้ง 4 ด้าน เพื่อให้ครอบคลุมมุมมองและความต้องการของผู้ใช้งานแต่ละกลุ่ม

2.1 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่

ตารางที่ 1: สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ (n=4)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
การทำงานตามฟังก์ชัน (Functional Test)	4.38	0.75	มาก
ความง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test)	4.25	0.83	มาก
ความปลอดภัย (Security Test)	4.31	0.85	มาก
ภาพรวม	4.31	0.81	มาก

กลุ่มบุคลากรมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.31$, S.D. = 0.81) โดยมีความพึงพอใจสูงสุด ด้านการทำงานตามฟังก์ชัน ($\bar{x} = 4.38$, S.D. = 0.75) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการปฏิบัติงานได้ดี ความพึงพอใจด้านความปลอดภัยอยู่ในระดับดี ($\bar{x} = 4.31$, S.D. = 0.85) สะท้อนถึงความมั่นใจในการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ค่อนข้างสูง (0.81-0.85) อาจเกิดจากขนาดตัวอย่างที่เล็กและความหลากหลายในประสบการณ์การทำงานของบุคลากร

2.2 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานตามฟังก์ชันจากผู้ใช้งานทุกกลุ่ม

ตารางที่ 2: ผลการประเมินความพึงพอใจด้านการทำงานตามฟังก์ชันจากผู้ใช้งานทุกกลุ่ม (n=50)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
ความถูกต้องของรายงานการเยี่ยมบ้าน	4.52	0.64	มากที่สุด
การแจ้งเตือนผ่าน LINE ทำงานได้ดีและทันเวลา	4.48	0.68	มาก
สามารถเข้าถึงข้อมูลการดูแลได้ง่ายและรวดเร็ว	4.44	0.72	มาก
สามารถออกรายงานได้ถูกต้องและครบถ้วน	4.42	0.65	มาก
ความสามารถในการจัดการค่า ADL ได้อย่างแม่นยำ	4.38	0.69	มาก
ประสิทธิภาพการบันทึกข้อมูลการเยี่ยมบ้าน	4.36	0.74	มาก
สามารถเข้าถึงข้อมูล ADL ได้อย่างรวดเร็ว	4.32	0.78	มาก
สามารถตรวจสอบแผนการดูแลรายบุคคล	4.28	0.81	มาก
ระบบจัดการบัญชีผู้ใช้งานทำงานได้ดี	4.24	0.85	มาก
สามารถดูข้อมูลส่วนตัว/การดูแลได้ชัดเจน	4.18	0.92	มาก
ภาพรวม	4.36	0.75	มาก

กลุ่มผู้ใช้งานทุกกลุ่มส่วนใหญ่มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.36$, S.D. = 0.75) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านการตรวจสอบรายงานการเยี่ยมบ้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.52$, S.D. = 0.64) แสดงถึงความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูล รองลงมาเป็นการแจ้งเตือนผ่าน LINE ทำงานได้ดีและทันเวลา มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.48$, S.D. = 0.68) สะท้อนประสิทธิภาพของการสื่อสารแบบเรียลไทม์ และสามารถเข้าถึงข้อมูลการดูแลได้ง่ายและรวดเร็ว มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.44$, S.D. = 0.72) ตาม

2.3 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานกลุ่มบุคลากร

ตารางที่ 3: ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความง่ายต่อการใช้งานกลุ่มบุคลากร (n=4)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
ส่วนต่อประสานผู้ใช้งาน (UI) ใช้งานง่าย	4.50	0.58	มากที่สุด
การเรียนรู้การใช้งานระบบทำได้ง่าย	4.25	0.87	มาก
ระบบตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน	4.25	0.87	มาก
ข้อความแสดงข้อผิดพลาดชัดเจน	4.25	0.87	มาก
การใช้งานบนมือถือสะดวก	4.00	1.15	มาก
ภาพรวม	4.25	0.87	มาก

กลุ่มบุคลากรส่วนใหญ่มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.25$, S.D. = 0.87) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านการออกแบบ UI อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.50$, S.D. = 0.58) แสดงถึงการออกแบบที่เข้าใจง่ายและใช้งานสะดวก อย่างไรก็ตามการใช้งานบนมือถือมีคะแนนต่ำสุดมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.00$, S.D. = 1.15) ซึ่งให้เห็นถึงความจำเป็นในการปรับปรุง Mobile User Experience ให้ดีขึ้น เพื่อรองรับการทำงานของบุคลากรที่ต้องเคลื่อนที่ระหว่างการเยี่ยมบ้าน

2.4 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความปลอดภัยกลุ่มบุคลากร

ตารางที่ 4: ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความปลอดภัยกลุ่มบุคลากร (n=4)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วย	4.75	0.50	มากที่สุด
ระบบการเข้าสู่ระบบมีความปลอดภัย	4.25	0.87	มาก
การควบคุมสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลเหมาะสม	4.25	0.87	มาก
การสำรองข้อมูลอัตโนมัติ	4.00	1.15	มาก
ภาพรวม	4.31	0.85	มาก

กลุ่มบุคลากรส่วนใหญ่มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.31$, S.D. = 0.85) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลผู้ป่วย อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x} = 4.75$, S.D. = 0.50) แสดงถึงความมั่นใจสูงของบุคลากรในระบบรักษาความลับ ส่วนการสำรองข้อมูลอัตโนมัติได้คะแนนต่ำสุด มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{x} = 4.00$, S.D. = 1.15) อาจเกิดจากการที่บุคลากรบางส่วนไม่ทราบรายละเอียดของกระบวนการสำรองข้อมูล ซึ่งควรมีการสื่อสารให้ชัดเจนมากขึ้น

2.5 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้รับบริการ

ตารางที่ 5: ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มผู้รับบริการ (n=46)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
ความง่ายต่อการใช้งาน (Usability Test)	4.22	0.71	มาก
ความปลอดภัย (Security Test)	4.28	0.64	มาก
ประโยชน์และความพึงพอใจ (Benefit and Satisfaction Test)	4.41	0.59	มาก
ภาพรวม	4.34	0.65	มาก

กลุ่มผู้รับบริการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.31$, S.D. = 0.85) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านประโยชน์และความพึงพอใจ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.41$, S.D. = 0.59) ซึ่งสะท้อนว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการและสร้างประโยชน์ที่ชัดเจนให้กับผู้ใช้บริการ โดยมีความสอดคล้องของความคิดเห็นในกลุ่มผู้รับบริการ

2.6 ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประโยชน์และความพึงพอใจกลุ่มผู้รับบริการ

ตารางที่ 6: ผลการประเมินความพึงพอใจด้านประโยชน์และความพึงพอใจ (กลุ่มผู้รับบริการ n=46)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
การแจ้งเตือนผ่าน LINE ให้ทราบข้อมูลทันที	4.59	0.54	มากที่สุด
การติดตามสถานะการดูแลผู้สูงอายุ	4.48	0.55	มาก
ความมั่นใจในการดูแลของทีม	4.43	0.59	มาก
ระบบช่วยลดความกังวลของญาติผู้ดูแล	4.41	0.62	มาก
การเข้าถึงข้อมูลการดูแลง่ายและสะดวกขึ้น	4.37	0.61	มาก
ข้อมูลที่ได้รับมีความถูกต้องและครบถ้วน	4.33	0.64	มาก
ความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบ	4.30	0.67	มาก
ภาพรวม	4.41	0.60	มาก

กลุ่มผู้รับบริการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.41$, S.D.=0.60) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านการแจ้งเตือนผ่าน LINE มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.59$, S.D.=0.54) ซึ่งแสดงให้เห็นความสำคัญ ของการสื่อสารแบบเรียลไทม์ที่ช่วยให้ญาติผู้ดูแลรู้สึกเชื่อมต่อกับกระบวนการดูแล รองลงมามีความพึงพอใจการติดตามสถานะการดูแล ($\bar{X} = 4.48$, S.D.=0.55) และความมั่นใจในทีมดูแล ($\bar{X} = 4.59$, S.D.=0.54) ตามลำดับ แสดงถึงการเสริมสร้างความไว้วางใจระหว่างผู้รับบริการและผู้ให้บริการ

2.7 การเปรียบเทียบความพึงพอใจระหว่างกลุ่มบุคลากรและกลุ่มผู้รับบริการ

ตารางที่ 7: การเปรียบเทียบความพึงพอใจระหว่างกลุ่มบุคลากรและกลุ่มผู้รับบริการ

ด้านการประเมิน	กลุ่มบุคลากร (n=4)	กลุ่มผู้รับบริการ (n=46)	t-value	p-value
ความพึงพอใจต่อระบบโดยรวม	4.31 ± 0.81	4.34 ± 0.65	-0.095	0.924

ผลการทดสอบ Independent t-test แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความพึงพอใจโดยรวมของกลุ่มบุคลากรและกลุ่มผู้รับบริการ ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานทุกกลุ่มได้อย่างเท่าเทียมกัน แม้ว่ากลุ่มบุคลากรและกลุ่มผู้รับบริการจะมีความต้องการและมุมมองการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยบุคลากรมุ่งเน้นประสิทธิภาพการทำงานและความปลอดภัย ในขณะที่ผู้รับบริการเน้นความสะดวกและประโยชน์ที่ได้รับ แต่ทั้งสองกลุ่มมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากกลุ่มบุคลากรมีขนาดเล็ก ($n=4$) การแปลผลทางสถิติจึงควรพิจารณาพร้อมกับข้อมูลเชิงคุณภาพ ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้งานหลากหลายกลุ่ม ซึ่งเป็นการยอมรับของระบบในการใช้งานจริง

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน ได้สำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ ระบบที่พัฒนาขึ้นครอบคลุมฟังก์ชันการทำงานหลัก โดยผู้ใช้งานทุกคนเข้าสู่ระบบ ระบบสามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน จัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน จัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) จัดการข้อมูลการประเมิน ADL และการแจ้งเตือนผ่าน Line API รองรับผู้ใช้งาน 4 ประเภท ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับการศึกษาของ Johnson et al. [13] พบว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศการดูแลสุขภาพที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับบริบทของชุมชนมีประสิทธิภาพมากกว่าการนำระบบสำเร็จรูปมาปรับใช้นอกจากนี้การใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นที่ยอมรับ เช่น Vue.js และ Express.js ช่วยให้การพัฒนาเป็นไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ การออกแบบที่คำนึงถึงความต้องการเฉพาะของชุมชนและการใช้เทคโนโลยี LINE API ที่คุ้นเคยกับผู้ใช้งานไทย ส่งผลให้ผู้ใช้งานทั้งบุคลากรและผู้สูงอายุเกิดการยอมรับและสามารถใช้ระบบได้อย่างไม่มีอุปสรรค เนื่องจากไม่ต้องดาวน์โหลดหรือเรียนรู้แอปพลิเคชันใหม่ และการนำ LINE Messaging API มาใช้งานทำให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี การศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chalong et al. [14] ที่ศึกษาการใช้ LINE เพื่อพัฒนาระบบสื่อสารสำหรับผู้สูงอายุ โดยพบว่าการใช้แพลตฟอร์มที่คุ้นเคยช่วยลดช่องว่างทางดิจิทัลและเพิ่มการมีส่วนร่วมได้ส่วนเสียได้เป็นอย่างดี

สำหรับระบบที่พัฒนาขึ้นมี 3 ประการสำคัญ ได้แก่ 1) การพัฒนาระบบประเมิน ADL แบบดิจิทัลที่ปรับให้เหมาะกับบริบทท้องถิ่น โดยแบ่งช่วงคะแนนละเอียดขึ้นเพื่อให้สามารถวางแผนการดูแลได้แม่นยำมากขึ้น 2) การบูรณาการ LINE API เข้ากับระบบการดูแลสุขภาพ ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีที่คุ้นเคยมาประยุกต์ใช้ในบริบทใหม่ และ 3) การพัฒนาอัลกอริทึมการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า ADL ที่สามารถเปรียบเทียบผลการประเมินระหว่างครั้งได้อัตโนมัติ ผู้ใช้งานระบบแต่ละกลุ่มมีความต้องการและความคาดหวังที่แตกต่างกัน การสร้างความเข้าใจและการจัดการความคาดหวังให้สอดคล้องกับความสามารถของระบบ ผลจากการวิจัยที่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความพึงพอใจของกลุ่มบุคลากรและผู้รับบริการ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า

การสร้างความเข้าใจและการจัดการความคาดหวังประสบความสำเร็จ ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้งสองกลุ่มอยู่ในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.31-4.34) ซึ่งถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่น่าพอใจและแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ได้แก่ 1) ขนาดกลุ่มตัวอย่างบุคลากรที่มีจำนวนน้อย ($n=4$) แม้จะเป็นประชากรทั้งหมดในพื้นที่ แต่อาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ทางสถิติ 2) ระบบยังไม่รองรับการทำงานแบบออฟไลน์ ซึ่งอาจเป็นปัญหาในพื้นที่ที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร และ 3) การประเมินผลกระทบระยะยาวของระบบยังไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาของการวิจัย

จากผลการประเมินความพึงพอใจ พบประเด็นที่ต้องปรับปรุงในการพัฒนาต่อไป 2 ประเด็นหลัก คือ 1) การใช้งานบนมือถือ (Mobile User Experience) ยังต้องการการพัฒนาเพิ่มเติม โดยกลุ่มบุคลากรให้คะแนนด้านนี้น้อยที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.00, S.D. = 1.15) ซึ่งอาจเกิดจากการออกแบบที่ยังไม่เหมาะสมกับหน้าจอขนาดเล็ก และ 2) การสำรองข้อมูลอัตโนมัติ (Automatic Data Backup) ที่ได้คะแนนเฉลี่ย 4.00 (S.D. = 1.15) อาจเกิดจากการที่บุคลากรไม่ทราบรายละเอียดของกระบวนการสำรองข้อมูล ซึ่งควรมีการแสดงสถานะการสำรองข้อมูลให้ผู้ใช้เห็นอย่างชัดเจน นอกจากการปรับปรุงด้านเทคนิคแล้ว ควรมีการฝึกอบรมหรือสื่อสารกระบวนการความปลอดภัยของข้อมูลให้ชัดเจนขึ้นแก่บุคลากร

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน ผลการวิจัยสามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1) ผลการพัฒนาการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการดูแลผู้สูงอายุและบุคคลที่มีภาวะพึ่งพิงสำหรับเทศบาลตำบลระหาน ได้ดำเนินการพัฒนาซอฟต์แวร์แบบน้ำตก (Waterfall Model) ประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การศึกษาข้อมูลและความต้องการ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบและประเมินผล และติดตั้งและบำรุงรักษา รองรับผู้ใช้งาน 4 ประเภท ได้แก่ อาสาสมัครบริหารท้องถิ่น (ผู้ดูแลระบบ) แพทย์ นักบริหาร และผู้สูงอายุที่มีภาวะพึ่งพิง โดยแต่ละประเภทยังมีสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลที่แตกต่างกันตามบทบาทหน้าที่ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนตามความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย การเข้าสู่ระบบ การจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน การจัดการข้อมูลการเยี่ยมบ้าน การจัดการข้อมูลการดูแลรายบุคคล (Care Plan) การจัดการข้อมูลการประเมิน ADL และการแจ้งเตือนผ่าน Line API ระบบพัฒนาด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ประกอบด้วย Vue.js สำหรับส่วนต่อประสานผู้ใช้ Express.js สำหรับระบบหลังบ้าน MySQL สำหรับฐานข้อมูล และการใช้ LINE Messaging API สำหรับการแจ้งเตือน ระบบมีการออกแบบแบบ Responsive Web Design ที่สามารถใช้งานได้บนอุปกรณ์หลากหลาย จุดเด่นของระบบคือความครบถ้วนของฟังก์ชันการทำงานที่ครอบคลุมตั้งแต่การบันทึกข้อมูลไปจนถึงการออกรายงาน [15-18]

2) ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบจากกลุ่มตัวอย่าง 50 คน แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับดี โดยพบว่า

2.1) กลุ่มบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่ มีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.31$, S.D.=0.81) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านการทำงานตามฟังก์ชัน ($\bar{x}=4.38$, S.D.=0.75) และโดยเฉพาะการตรวจสอบรายงานการเยี่ยมบ้านอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.52$, S.D.=0.64)

2.2) กลุ่มผู้รับบริการ มีความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.31$, S.D.=0.85) โดยมีความพึงพอใจสูงสุดด้านประโยชน์และความพึงพอใจ อยู่ในระดับมาก ($\bar{x}=4.41$, S.D.=0.59) และโดยเฉพาะการแจ้งเตือนผ่าน การแจ้งเตือนผ่าน LINE มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}=4.59$, S.D.=0.54)

การทดสอบทางสถิติไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างความพึงพอใจของทั้งสองกลุ่ม ($p > 0.05$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานทุกกลุ่มได้อย่างเท่าเทียมกัน อย่างไรก็ตามกลุ่มบุคลากรมีขนาดเล็ก ($n=4$) ซึ่งอาจส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของการเปรียบเทียบทางสถิติ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

จากผลการวิจัยและข้อจำกัดที่พบ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตดังนี้

1. ควรศึกษาผลกระทบระยะยาวของการใช้ระบบต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุและภาระการทำงานของบุคลากร โดยติดตามผลอย่างน้อย 1 ปี เพื่อประเมินความยั่งยืนของการใช้งานระบบ
2. พัฒนาระบบให้รองรับการทำงานแบบออฟไลน์ (Offline Mode) และซิงค์ข้อมูลเมื่อมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เพื่อแก้ปัญหาในพื้นที่ที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร
3. ขยายขอบเขตการศึกษาไปยังเทศบาลหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นๆ เพื่อทดสอบความสามารถในการปรับใช้ระบบ (Scalability) และสร้างมาตรฐานระบบการดูแลผู้สูงอายุระดับชุมชน
4. บูรณาการเทคโนโลยี AI และ Machine Learning เพื่อพัฒนาระบบการพยากรณ์สุขภาพของผู้สูงอายุ และระบบแจ้งเตือนอัจฉริยะ
5. ศึกษาการเชื่อมโยงระบบกับฐานข้อมูลสุขภาพระดับชาติ เช่น ระบบ 43 แฟ้ม เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ
6. พัฒนาแอปพลิเคชันมือถือเฉพาะสำหรับระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานบนอุปกรณ์เคลื่อนที่และรองรับฟีเจอร์เพิ่มเติม เช่น การใช้ GPS ในการบันทึกตำแหน่งการเยี่ยมบ้าน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเทศบาลตำบลระหาน อำเภอบึงสามัคคี จังหวัดกำแพงเพชร ที่ให้ความร่วมมือและสนับสนุนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณอาสาสมัครบริบาลท้องถิ่น แพทย์ นักบริบาล ผู้สูงอายุ และญาติผู้ดูแลทุกท่านที่เข้าร่วมการวิจัยและให้ข้อมูลอันมีค่า ขอขอบคุณกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทุกท่านที่ให้ความปรึกษาและตรวจสอบเครื่องมือวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thai PBS Policy Watch. (2024). โฉมหน้าสังคมสูงวัยอย่างสมบูรณ์ไทย หญิงมากกว่าชาย-พึ่งพาผู้อื่น. *Thai PBS Policy Watch*. <https://policywatch.thaipbs.or.th/article/life-100>
- [2] National Statistical Office. (2024). *Statistical yearbook Thailand 2024*. National Statistical Office. <https://www.nso.go.th/public/e-book/Statistical-Yearbook/SYB-2024/55/>
- [3] Ministry of Public Health. (2018). *20-year national strategic plan on public health (2017–2036)*. Ministry of Public Health. <https://spd.moph.go.th/wp-content/uploads/2022/09/Ebookmoph20.pdf>
- [4] Thai Health Promotion Foundation. (2025). สังคมสูงวัยสมบูรณ์: ไทยเข้าสู่สังคมสูงวัยสมบูรณ์ปี 2568. *Thai Health Promotion Foundation (ThaiHealth)*. <https://section09.thaihealth.or.th/2025/01/09/complete-aged-society/>
- [5] Department of Health. (2025). รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุมีภาวะพึ่งพิงในประเทศไทย ปี 2568. *Department of Health*. https://eh.anamai.moph.go.th/th/322-2568/download?did=36186&id=123560&lang=th&mid=39530&mkey=m_document
- [6] Rahan Subdistrict Municipality. (2023). *Local development plan (2023–2027), revision no. 2*. Rahan Subdistrict Municipality. https://www.rahan.go.th/dnm_file/project/267831252_center.pdf
- [7] LINE Corporation. (2024). *LINE messaging API documentation*. LINE Developers. <https://developers.line.biz/en/docs/messaging-api/>
- [8] Aroral, H. K. (2021). Waterfall process operations in the fast-paced world: Project management exploratory analysis. *International Journal of Applied Business and Management Studies*, 6(1), 91–99. https://www.ijabms.com/wp-content/uploads/2021/05/05_ARORAL_PB.pdf
- [9] Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Morgan Kaufmann.
- [10] International Organization for Standardization. (2011). *ISO/IEC 25010:2011 systems and software engineering—systems and software quality requirements and evaluation (SQuaRE): System and software quality models*. ISO. <https://www.iso.org/standard/35733.html>
- [11] Srisatad, B. (1992). *การพัฒนาและการใช้มาตราส่วนการวัดความคิดเห็น [The development and use of opinion measurement scales]*. Chulalongkorn University Press.

-
- [12] Mahoney, F. I., & Barthel, D. W. (1965). Functional evaluation: The Barthel Index. *Maryland State Medical Journal*, 14, 61–65. <https://www.sralab.org/sites/default/files/2017-07/barthel.pdf>
- [13] Johnson, K. L., Smith, R. A., & Thompson, M. B. (2023). Community-specific health information systems: A systematic review of implementation success factors. *Journal of Medical Internet Research*.
- [14] Chalong, W., Phomoon, B., & Phetchhamnan, W. (2018). *Instant messenger for elderly people by using LINE system* [Doctoral dissertation]. Burapha University.
- [15] Vue.js Team. (2024). *Vue.js: The progressive JavaScript framework*. <https://vuejs.org/guide/introduction.html>
- [16] Express.js Foundation. (2024). *Express: Node.js web application framework*. <https://expressjs.com/>
- [17] Oracle Corporation. (2024). *MySQL 8.0 reference manual*. Oracle Corporation. <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>
- [18] Bootstrap Team. (2024). *Bootstrap: The most popular HTML, CSS, and JS library*. <https://getbootstrap.com/docs/5.3/getting-started/introduction/>

การผลิตและคุณค่าทางอาหารของถั่วเน่าที่ผลิตตามภูมิปัญญาของชุมชนบ้านห้วยขม
ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

Production and Nutritional Value of Thua Nao Produced Using Traditional
Knowledge of Ban Huai Khom Community, Mae Yao Subdistrict, Mueang District,
Chiang Rai Province

ประเสริฐ ไวยะกา¹, สุนทรี กรโอชาเลิศ¹, วาสนา แก้วโพธิ์²

¹โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
จังหวัดเชียงราย 57100

²โปรแกรมนวัตกรรมอาหารและการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย
จังหวัดเชียงราย 57100

Prasert Waiyaka¹, Soonthree Kornochalert¹, Watsana Kaewpho²

¹Biological Science Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai Province 57100

²Food Tech & Innovation Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University
Chiang Rai Province 57100

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตและคุณค่าทางอาหารของถั่วเน่าตามภูมิปัญญาดั้งเดิมของชุมชนบ้านห้วยขม จังหวัดเชียงราย และเพื่อศึกษาแนวทางการพัฒนาคุณภาพการผลิตโดยใช้ถั่วเน่าเชื้อบริสุทธิ์ การวิจัยดำเนินการโดยการสัมภาษณ์เชิงลึกและสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วมกับผู้ผลิต 3 ครอบครัว เพื่อศึกษากระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม เก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์เพื่อวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ได้ทำการแยกเชื้อจุลินทรีย์จากถั่วเน่าดั้งเดิมเพื่อผลิตเป็นถั่วเน่าเชื้อ ทดลองนำถั่วเน่าเชื้อไปใช้ในการผลิตจริงโดยชุมชนพบว่ากระบวนการผลิตถั่วเน่าแบบดั้งเดิมมีขั้นตอนหลักร่วมกัน คือ การแช่ การต้ม และการบ่มหมัก ซึ่งสะท้อนถึงภูมิปัญญาที่สืบทอดกันมา ถั่วเน่าแช่ที่ผลิตตามภูมิปัญญาท้องถิ่นมีปริมาณโปรตีนสูงเฉลี่ยระหว่าง 38.52% – 43.39% แต่มีความแตกต่างกันของลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นถั่วเน่า สี และกลิ่นของผู้ผลิตแต่ละราย งานวิจัยสามารถแยกเชื้อแบคทีเรียสกุล Bacillus ซึ่งเป็นจุลินทรีย์หลักในการหมักและพัฒนาเป็นถั่วเน่าเชื้อชนิดผงได้สำเร็จ การทดลองผลิตถั่วเน่าโดยใช้ถั่วเน่าเชื้อที่พัฒนาขึ้น พบว่าสามารถควบคุมกระบวนการหมักได้ดีขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์

*Corresponding author : prasert.wai@crpu.ac.th

Received : 15/07/2025 Revised : 01/12/2025 Accepted : 16/12/2025

สุดท้ายมีคุณภาพสม่ำเสมอและมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 45.98% ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าการผสมผสานภูมิปัญญาท้องถิ่นเข้ากับเทคโนโลยีชีวภาพผ่านการใช้กล้าเชื้อ เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการยกระดับมาตรฐานและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ถั่วเน่า ซึ่งเป็นการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรมและส่งเสริมเศรษฐกิจของชุมชนไปพร้อมกัน

คำสำคัญ : ถั่วเน่า, คุณค่าทางอาหาร, กล้าเชื้อ

Abstract

This research aimed to study the traditional production process and nutritional value of Thua Nao (fermented soybeans), a product of indigenous wisdom from the Ban Huai Khom community in Chiang Rai province. It also sought to explore methods for developing production quality using a pure starter culture. The research was conducted through in-depth interviews and participatory observation with three producer households to study the traditional production process, with product samples collected for nutritional analysis. Furthermore, microorganisms were isolated from traditional Thua Nao to produce a starter culture, which was then trialed in the actual production process by the community. The study found that the traditional production process consists of three main steps soaking, boiling and fermentation, reflecting inherited wisdom. The hard-type Thua Nao produced using traditional methods had a high average protein content, ranging from 38.52% to 43.39%, although differences in appearance, color and aroma were observed among producers. The research successfully isolated bacteria of the *Bacillus* genus, the primary microorganism in the fermentation, and developed it into a powdered starter culture. The trial of producing Thua Nao with this developed starter culture showed that the fermentation process could be better controlled, resulting in a final product with consistent quality and a high protein content of up to 45.98%. The research indicates that integrating local wisdom with biotechnology through the use of a starter culture is an effective approach to elevate the standard and safety of Thua Nao. This method simultaneously preserves cultural heritage and promotes the community's economy.

Keywords : Thua Nao, Nutritional Value, Starter Culture

ที่มาและความสำคัญ

ถั่วเน่าเป็นผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักพื้นบ้านที่เป็นเอกลักษณ์และมีบทบาทสำคัญในวัฒนธรรมการบริโภคอาหารของภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยมาอย่างยาวนาน [1] ไม่เพียงแต่เป็นแหล่งโปรตีนและสารอาหารที่มีคุณค่าสูง แต่ถั่วเน่ายังเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ให้รสชาติ "อูมามิ" และกลิ่นหอมเฉพาะตัวแก่แกงพื้นบ้าน น้ำพริก และอาหารอื่น ๆ อีกหลากหลายเมนู [2] ความพิเศษของถั่วเน่าไม่ได้อยู่ที่คุณค่าทางโภชนาการเพียงอย่างเดียว

หากแต่อยู่ในภูมิปัญญาดั้งเดิมที่สืบทอดกันมารุ่นสู่รุ่นในกระบวนการผลิต ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตที่เชื่อมโยงกับทรัพยากรท้องถิ่นของชุมชน

การผลิตถั่วเน่าเป็นอาชีพที่ดำรงอยู่ในหลายชุมชนของภาคเหนือ โดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทและชุมชนบ้านห้วยขม ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย เป็นชุมชนที่มีบรรพบุรุษเป็นชาวไทยลื้อ อพยพมาจากเมืองสิบสองปันนา มีการสืบทอดภูมิปัญญาในการทำถั่วเน่ามาสู่รุ่นลูกหลาน ปัจจุบันอาชีพการผลิตถั่วเน่าในชุมชนบ้านห้วยขมกำลังเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญนั่นคือ ผลผลิตถั่วเน่ามีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ ผู้ประกอบอาชีพส่วนใหญ่เป็นผู้สูงอายุ ในขณะที่คนวัยทำงานหรือวัยรุ่นในชุมชนไม่ได้ให้ความสนใจที่จะเข้ามาเรียนรู้หรือประกอบอาชีพนี้ หากสถานการณ์นี้ยังคงดำเนินต่อไป ภูมิปัญญาและเทคนิคการผลิต อันล้ำค่าที่สืบทอดกันมาหลายชั่วอายุคน อาจเลือนหายไปในอนาคตอันใกล้ ซึ่งจะเป็นการสูญเสียทั้งมรดกทางวัฒนธรรมและโอกาสทางเศรษฐกิจของชุมชนยิ่งไปกว่านั้นแม้ถั่วเน่าจะมีการบริโภคอย่างแพร่หลาย แต่การศึกษาเกี่ยวกับการผลิตและคุณค่าทางโภชนาการของ ถั่วเน่าที่ผลิตตามภูมิปัญญาดั้งเดิมของชุมชนยังมีจำกัด การทำความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การคัดเลือกถั่วเหลือง การต้ม การบ่มหมัก และการแปรรูป จะช่วยให้สามารถบันทึกองค์ความรู้ อันเป็นเอกลักษณ์ของชุมชนบ้านห้วยขมได้อย่างแม่นยำ เพื่อใช้เป็นแหล่งเรียนรู้สำหรับผู้สนใจสืบทอดอาชีพนี้ต่อไป นอกจากนี้การนำถั่วเน่ามาใช้ในการผลิตถั่วเน่าจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของผลผลิตถั่วเน่าให้มีคุณภาพที่สม่ำเสมอและทำให้ระยะเวลาในการผลิตถั่วเน่าลดน้อยลง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะเป็นส่วนสำคัญในการสร้างความตระหนักและส่งเสริมให้ผู้บริโภคเห็นคุณค่าและประโยชน์ของถั่วเน่าที่เป็นอาหารพื้นบ้านเพิ่มมากขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตถั่วเน่าตามภูมิปัญญา

ศึกษาข้อมูลการผลิตถั่วเน่าตามภูมิปัญญาของชุมชนบ้านห้วยขม ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ที่สืบทอดมาจากบรรพบุรุษซึ่งเป็นชาวไทยลื้อจากเมืองสิบสองปันนา และข้อมูลด้านปัญหาอุปสรรคการผลิต โดยการสัมภาษณ์เจาะลึกผู้ผลิตถั่วเน่าทุกคนของชุมชนบ้านห้วยขม จำนวน 10 คน และสังเกตแบบมีส่วนร่วม

2. คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่า

สุ่มเก็บตัวอย่างแผ่นถั่วเน่าที่ผลิตตามภูมิปัญญาชุมชนบ้านห้วยขม จำนวน 3 ครีวเรือน (แม่จันดี แม่จันทรทรา และแม่นาง) เพื่อนำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ การตรวจสอบหาสิ่งแปลกปลอม ลักษณะทั่วไป สี กลิ่น ความชื้น เถ้า โปรตีน และไขมัน [3] ตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ พลังงาน และคาร์โบไฮเดรต [4]

3. การแยกเชื้อจากแผ่นถั่วเน่าและการผลิตกล้าเชื้อ

จากแผ่นถั่วเน่าที่เก็บมาจากบ้านห้วยขมที่ผลิตโดย แม่จันดี แม่จันทรทรา และแม่นาง นำมาบดและผ่านกระบวนการเพิ่มสภาวะการเจริญ นำมาเกลี่ย (Streak plate) บนอาหาร Nutrient agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เลือกโคโลนีที่แยกเดี่ยว ๆ นำมาย้อมสีแกรม (Gram stain) ดูลักษณะภายใต้

กลีงจุลทรรศน์และเก็บไว้บน Nutrient agar slant นำเชื้อมาเลี้ยงในอาหาร Nutrient broth เติมลงในถ้วยเหลียงที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง อบถ้วยเหลียงที่ผ่านการเพาะเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ในตูบที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 10% และนำมาบดให้ละเอียด

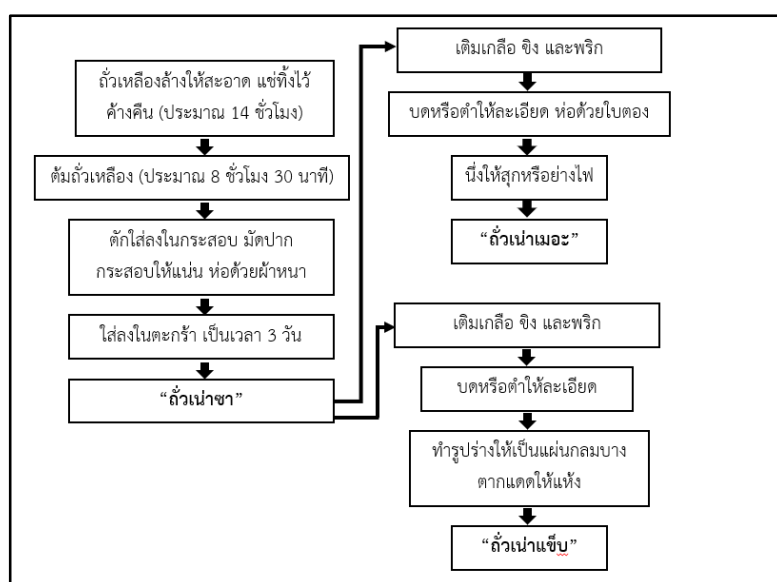
4. การทำถั่วเน่าด้วยกล้าเชื้อโดยชุมชน

ใช้กระบวนการผลิตถั่วเน่าตามภูมิปัญญาของชุมชน เติมกล้าเชื้อ 10 กรัมต่อถ้วยเหลียงดิบ 1 กิโลกรัม (คิดเป็น 1%) ลงในถ้วยเหลียงที่ผ่านการต้มเป็นเวลา 8 ชั่วโมงครึ่งและสะเด็ดน้ำแล้ว ตักลงในกระสอบมัดปาก กระสอบให้แน่น ท่อด้วยผ้าบรรจุลงในตะกร้า สังเกตการเจริญของเชื้อในเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทำเป็นถั่วเน่าแช่บ นำถั่วเน่าแช่บที่ได้มาตรวจสอบลักษณะโดยทั่วไปและตรวจหาคุณค่าทางโภชนาการ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาการผลิตถั่วเน่าตามภูมิปัญญา

ชุมชนบ้านห้วยขม ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย มีผู้ผลิตถั่วเน่าเพื่อจำหน่ายจำนวน 5 ครัวเรือน มีอยู่ 3 ครัวเรือน ได้แก่ แม่จันดี แม่จันทรทรา และแม่นาง จะผลิตถั่วเน่าจำหน่ายตลอดทั้งปี โดยทั้ง 3 ครัวเรือนนี้มีขั้นตอนของการทำถั่วเน่าคล้ายกัน ได้แก่ ถั่วเน่าซา (ถั่วเน่าในรูปเมล็ด) ถั่วเน่าเมอะ (ถั่วเน่าที่นำไปบดปรุงรส ห่อใบตอง แล้วนึ่ง) และถั่วเน่าแช่บ (ถั่วเน่าที่บดเป็นแผ่นกลมแล้วตากแห้ง) ส่วนใหญ่จะขายในรูปถั่วเน่าแช่บ มีขั้นตอนการผลิตดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การผลิตถั่วเน่าแช่บตามภูมิปัญญาของชุมชนบ้านห้วยขม

จากภาพที่ 1 กระบวนการผลิตถั่วเน่าของชุมชนบ้านห้วยขมแสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาการแปรรูปอาหารพื้นบ้านที่สอดคล้องกับหลักการพื้นฐานของการผลิตถั่วเน่าแบบดั้งเดิมในภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ การแช่ถั่วเหลือง การต้ม การหมัก และการแปรรูปเป็นถั่วเน่าเมอะหรือถั่วเน่าแช็บ ระยะเวลาการแช่ถั่วเหลืองในน้ำค้ำคั้น (ประมาณ 14 - 16 ชั่วโมง) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภาวดี อินเขียน [5] ที่ใช้เวลาในการแช่ถั่วเหลืองเป็นเวลา 1 คืน และใช้ระยะเวลาการหมักเป็นเวลาประมาณ 3 วันเช่นกัน ชุมชนบ้านห้วยขมใช้กระสอบที่มัดปากและห่อด้วยผ้าหนาจากนั้นใส่ในตะกร้าเพื่อหมัก ในขณะที่กรรมวิธีอื่น ๆ มักเน้นการใช้ตะกร้าที่รองด้วยใบตองโดยตรง การเลือกใช้วัสดุและภาชนะในการหมักนี้อาจส่งผลต่อสภาวะจุลินทรีย์และกลิ่นรสที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ [6] การใช้ใบตองหรือใบตองตึงในการห่อหมักอาจมีส่วนช่วยในการควบคุมความชื้นและส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมบางชนิด กรรมวิธีการผลิตถั่วเน่าของชุมชนบ้านห้วยขมเป็นการปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมและทรัพยากรท้องถิ่น การที่กรรมวิธีมีความแตกต่างกันในรายละเอียดปลีกย่อย เช่น ระยะเวลาการต้มหรือวัสดุที่ใช้ในการหมัก แสดงให้เห็นถึงภูมิปัญญาในการประยุกต์ใช้ทรัพยากรของชุมชนเพื่อผลิตอาหารที่มีคุณภาพ การพึ่งพาการหมักด้วยจุลินทรีย์ธรรมชาติและปัจจัยสิ่งแวดล้อม เช่น ฤดูฝนที่ส่งผลต่อการตากแห้งการผลิตถั่วเน่าระดับครัวเรือนหากไม่ควบคุมกระบวนการผลิตให้ถูกสุขลักษณะจะมีความเสี่ยงของการปนเปื้อนของเชื้อก่อโรคนำไปสู่ความปลอดภัยของการบริโภคผลิตภัณฑ์และความไม่แน่นอนของกระบวนการหมักแบบธรรมชาติจะส่งผลต่อคุณภาพของถั่วเน่าได้

2. คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่า

ผู้ผลิตถั่วเน่าจำหน่ายตลอดทั้งปีของชุมชนบ้านห้วยขม ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย จำนวน 3 ครัวเรือน ได้แก่ แม่จันดี แม่จันทรทรา และแม่นาง นำมาตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ การตรวจสอบสิ่งแปลกปลอม ลักษณะทั่วไป สี และกลิ่น ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นถั่วเน่าแช็บจาก 3 ครัวเรือน ไม่พบสิ่งแปลกปลอม เป็นแผ่นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9-13 เซนติเมตร สีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม มีกลิ่นเฉพาะตัวของถั่วเน่าแช็บ ดังตารางที่ 1 สำหรับคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่า แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นถั่วเน่าแช็บที่ผลิตตามภูมิปัญญาชุมชนบ้านห้วยขม

แผ่นถั่วเน่าแช็บ	สิ่งแปลกปลอม	สี	กลิ่น	ลักษณะทั่วไป
	ไม่พบ	น้ำตาลเข้ม	เฉพาะตัวของถั่วเน่า กลิ่นค่อนข้างฉุน	เป็นแผ่นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-13 เซนติเมตร
แม่จันดี				

	ไม่พบ	น้ำตาลอ่อน	เฉพาะตัวของ ถั่วเน่า	เป็นแผ่นวงกลมมีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 9-10 เซนติเมตร
แม่จันทร์ทรา				
	ไม่พบ	น้ำตาล	เฉพาะตัวของ ถั่วเน่า	เป็นแผ่นวงกลมมีเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 10-11 เซนติเมตร
แม่นาง				

จากการศึกษาลักษณะโดยทั่วไปของแผ่นถั่วเน่าแช่บที่ผลิตตามภูมิปัญญาชุมชนบ้านห้วยขม พบว่าลักษณะของแผ่นถั่วเน่าแช่บมีลักษณะเป็นแผ่นวงกลมและไม่พบสิ่งแปลกปลอม สอดคล้องกับคำอธิบายลักษณะของถั่วเน่าแช่บที่กล่าวว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำถั่วเหลืองต้มเปื่อยมาโขลกหรือบดละเอียด แล้วปั้นเป็นแผ่นกลม บางก่อนนำไปตากแดดให้แห้ง [7] ความแตกต่างของสี (น้ำตาลอ่อน น้ำตาลเข้ม) และความเข้มของกลิ่นระหว่างผู้ผลิตแต่ละรายแม้จะมาจากชุมชนเดียวกัน แต่รายละเอียดของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายมีความแตกต่างกัน อาจเกิดจากระยะเวลาในการหมัก สายพันธุ์ของถั่วเหลืองที่ใช้ หรือแม้กระทั่งความแตกต่างของเชื้อธรรมชาติในการผลิตของแต่ละครัวเรือน [8]

ตารางที่ 2 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่าแช่บที่ผลิตตามภูมิปัญญาชุมชนบ้านห้วยขม

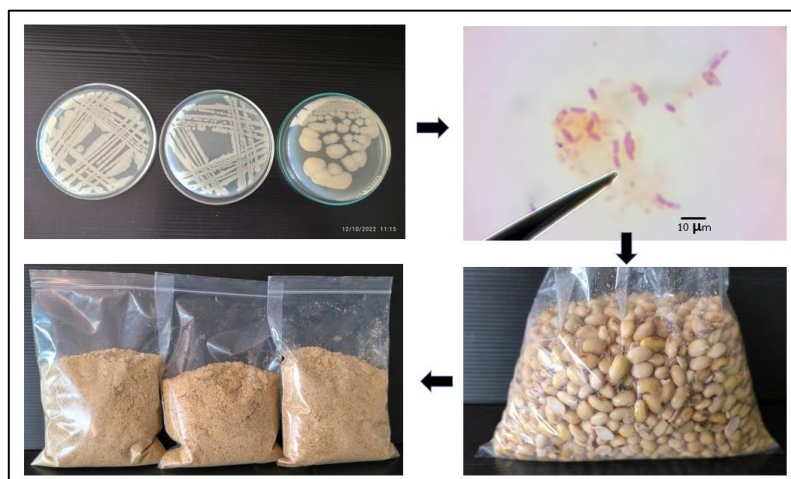
รายการทดสอบ	ถั่วเน่าแม่จันดี	ถั่วเน่าแม่จันทรา	ถั่วเน่าแม่นาง
คาร์โบไฮเดรต (%)	20.45 ± 1.45	21.42 ± 2.77	18.49 ± 1.05
โปรตีน (%)	38.52 ± 0.52	41.55 ± 0.96	43.39 ± 1.07
ไขมัน (%)	23.43 ± 2.45	24.66 ± 2.99	24.28 ± 2.41
เถ้า (%)	3.91 ± 0.65	3.03 ± 0.45	3.66 ± 0.53
ความชื้น (%)	13.69 ± 0.65	9.34 ± 1.04	10.18 ± 1.67
พลังงาน (Kcal ต่อ 100 กรัม)	446.75 ± 2.45	473.82 ± 3.45	466.04 ± 2.01

จากตารางที่ 2 ข้อมูลจากบ้านห้วยขมแสดงให้เห็นว่าถั่วเน่าแช่บมีปริมาณโปรตีนสูงมีค่าอยู่ระหว่าง 38.52%-43.39% ซึ่งเป็นการยืนยันบทบาทของถั่วเน่าในฐานะอาหารพื้นบ้านที่เป็นแหล่งโปรตีนที่ยอดเยี่ยม [9] สอดคล้องกับงานวิจัยของ จีรวรรณ เจริญผลาด และคณะ (2559) ที่พบปริมาณโปรตีนในถั่วเน่าจากจังหวัด

เชียงใหม่และเชียงรายอยู่ระหว่าง 31.79%-38.38% (ต่อน้ำหนักแห้ง) [10] และงานของ สุนทรี ชัยบุญย์ และ ทิพวรรณ เทพปินใจ (2561) ที่ศึกษาถั่วเน่าจากจังหวัดพะเยาและพบว่ามีโปรตีนสูงถึง 37.15%- 45.71% [11] คุณค่าทางโภชนาการระหว่างผู้ผลิตทั้งสามครัวเรือนในชุมชนบ้านห้วยขม ได้แก่ ถั่วเน่าของแม่นางมีปริมาณโปรตีน สูงที่สุด (43.39%) ขณะที่ของแม่จันดีมีโปรตีนต่ำที่สุด (38.52%) แต่กลับมีความชื้นสูงสุด (13.69%) ซึ่งจะทำให้ อายุการเก็บรักษาถั่วเน่าสั้นลงและจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพและเนื้อสัมผัสได้ง่ายขึ้น ความแตกต่าง นี้เป็นลักษณะเด่นของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตตามภูมิปัญญาชาวบ้าน ซึ่งแต่ละครัวเรือนอาจมีเทคนิค สูตร ระยะเวลา ในการหมัก และวิธีการตากแห้งที่แตกต่างกัน จะส่งผลโดยตรงต่อคุณค่าทางโภชนาการสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุนทรี ชัยบุญย์ และทิพวรรณ เทพปินใจ (2561) ที่พบความแตกต่างของคุณลักษณะ ผลิตภัณฑ์ระหว่างผู้ผลิตในพื้นที่ต่าง ๆ [11]

3. การแยกเชื้อจากแผ่นถั่วเน่าและการผลิตกล้าเชื้อ

นำตัวอย่างแผ่นถั่วเน่าจากชุมชนบ้านห้วยขมที่ผลิตโดย แม่จันดี แม่จันทรทรา และแม่นาง มาแยกเชื้อ บนอาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient agar นำเชื้อที่แยกได้เลี้ยงเก็บไว้มาตรวจสอบโดยการย้อมสีแกรม พบว่าแบคทีเรีย ส่วนใหญ่ย้อมติดสีแกรมบวก (Gram positive) มีบางส่วนเกิดการสร้างเอนโดสปอร์ (Endospore) เตรียมกล้าเชื้อ โดยเลี้ยงเชื้อที่แยกได้เลี้ยงในอาหารเหลว Nutrient Broth ใช้เชื้อปริมาณ 5% (w/v) เติมน้ำลงในถั่วเหลืองที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 55 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง บดให้ละเอียดได้กล้าเชื้อถั่วเน่าเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อน ดังภาพที่ 2



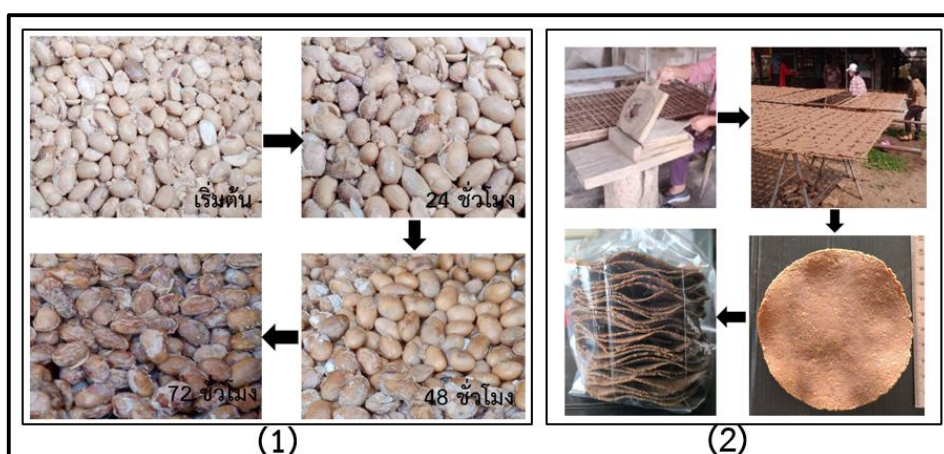
ภาพที่ 2 การแยกเชื้อจากแผ่นถั่วเน่าและการผลิตกล้าเชื้อชนิดผง

กระบวนการแยกเชื้อแบคทีเรียจากแผ่นถั่วเน่าแช่แข็งของชุมชนบ้านห้วยขมเพื่อนำมาผลิตเป็นกล้าเชื้อ สำหรับการใช้ในการหมัก พบว่าแบคทีเรียที่แยกได้ส่วนใหญ่ย้อมติดสีแกรมบวก และสามารถสร้างเอนโดสปอร์ได้ ซึ่งเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาและชีวเคมีที่สำคัญของแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* สอดคล้องกับงานวิจัยของ อัญชนีย์ และคณะ (2555) ที่พบว่าจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญที่สุดในการหมักถั่วเน่า คือแบคทีเรียในกลุ่ม *Bacillus*

โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายพันธุ์ *Bacillus subtilis* [12] ขั้นตอนการนำเชื้อที่คัดเลือกแล้วมาเลี้ยงเพิ่มจำนวนในอาหาร Nutrient Broth นำไปหมักกับถั่วเหลืองต้มสุก ทำให้แห้งในตู้อบ และบดให้เป็นผงละเอียด เป็นกระบวนการที่เป็นที่ยอมรับในการผลิตกล้าเชื้อชนิดผงเพื่อให้ง่ายต่อการขนส่ง การใช้งาน และการเก็บรักษา [13] อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 °C และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55–60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความชื้นจะอยู่ที่ประมาณ 10% และนำมาบดให้ละเอียด ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *Bacillus* ซึ่งโดยทั่วไปเป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ทนความร้อนได้ดี (Thermotolerant) และเจริญได้ดีในสภาวะอุณหภูมิค่อนข้างสูง [8]

4. การทำถั่วเน่าด้วยกล้าเชื้อโดยชุมชน

เทศบาลตำบลแม่ยาวมีโครงการสนับสนุนให้ถั่วเน่าเป็นผลิตภัณฑ์เด่นของทางเทศบาล ได้ดำเนินการจัดทำศูนย์ให้ความรู้ร่วมกับทางมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เพื่อสร้างมูลค่าและคุณค่าแก่ถั่วเน่าอาหารฟังก์ชันพื้นบ้าน ตำบลแม่ยาว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย แม่นางซึ่งเป็นประธานกลุ่มผู้ผลิตถั่วเน่าชุมชนบ้านห้วยขมเป็นผู้เริ่มทดลองทำถั่วเน่าด้วยกล้าเชื้อ โดยนำถั่วเหลืองที่คัดทำความสะอาด แขน้าเป็นเวลา 1 คืนนำมาต้มนานประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที เติมหกล้าเชื้อ 10 กรัมต่อถั่วเหลืองดิบ 1 กิโลกรัม (คิดเป็น 1%) ใส่ลงในกระสอบนำไปบ่มในตะกร้าที่รองด้วยใบปอสาทับด้วยกระสอบป่านวางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง การเจริญของเชื้อจะเห็นได้ชัดเจนหลังจากการบ่มเชื้อไปแล้ว 24 ชั่วโมง เชื้อเจริญได้เป็นอย่างดี หลังจากการบ่มไว้ 48 ชั่วโมง สีของเมล็ดถั่วเหลืองเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน เมื่อบ่มจนครบ 72 ชั่วโมง สีของของเมล็ดถั่วเหลืองเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม นำมาบดให้ละเอียด นวดให้เข้ากัน กดทับให้เป็นแผ่น แล้วนำไปตากแดดได้ถั่วเน่าแซบ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทำถั่วเน่าด้วยกล้าเชื้อโดยชุมชน (1) การเจริญของเชื้อ (2) ถั่วเน่าแซบที่ทำจากกล้าเชื้อโดยชุมชน

จากภาพที่ 3(2) ลักษณะโดยทั่วไปของถั่วเน่าแช่เป็นแผ่นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ไม่พบสิ่งแปลกปลอม สีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัวของถั่วเน่า นำถั่วเน่าแช่ที่ทำจากถั่วเหลืองตรวจสอบคุณค่าทางโภชนาการได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่าแช่ที่ทำจากถั่วเหลืองโดยชุมชน (แม่น้ำง)

รายการทดสอบ	ถั่วเน่าแม่น้ำง (บ่มเชื้อ 72 ชั่วโมง ถั่วเหลืองชนิดผง)
คาร์โบไฮเดรต (%)	24.26 ± 1.35
โปรตีน (%)	45.98 ± 1.09
ไขมัน (%)	21.93 ± 2.11
เถ้า (%)	3.48 ± 0.58
ความชื้น (%)	4.35 ± 1.35
พลังงาน (Kcal ต่อ 100 กรัม)	478.33 ± 2.56

จากขั้นตอนการทำถั่วเน่าด้วยถั่วเหลืองแช่โดยชุมชน (แม่น้ำง) กระบวนการทำถั่วเน่าใช้ขั้นตอนโดยทั่วไป ได้แก่ เริ่มจากการนำถั่วเหลืองมาล้าง แขน้ำ ต้มจนเปื่อย แล้วนำไปหมัก [7] ซึ่งวิธีการของแม่น้ำงใช้ขั้นตอนพื้นฐานเหล่านี้เช่นกันสะท้อนถึงภูมิปัญญาการถนอมอาหารที่สืบทอดกันมา ในงานวิจัยครั้งนี้แม่น้ำงต้มถั่วเหลืองนาน 8 ชั่วโมง 30 นาที และหมักนาน 72 ชั่วโมง ซึ่งมีความแตกต่างจากการศึกษาของ Suppadit *et al.* (2008) ที่พบว่า กระบวนการต้มถั่วเหลืองในการทำถั่วเน่าใช้เวลา 4-8 ชั่วโมง และหมัก 2-4 วัน [14] ความแตกต่างนี้อาจขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ถั่วเหลือง สภาพอากาศ และสูตรของแต่ละท้องถิ่น จุลินทรีย์หลักที่ใช้ในการหมักถั่วเน่าคือแบคทีเรียในสกุล *Bacillus* โดยเฉพาะ *Bacillus subtilis* [15] ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ "ถั่วเหลือง" ในการทดลองของแม่น้ำง แม้จะไม่ได้ระบุสายพันธุ์ชัดเจน แต่ก็เป็นการใช้เชื้อเพื่อควบคุมการหมัก ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกับการผลิตถั่วเน่าเชิงพาณิชย์ และพบว่าการนำถั่วเหลืองบ่มเชื้อมาช่วยทำถั่วเน่าหลังจากบ่มเป็นเวลา 48 ชั่วโมงก็สามารถนำมาบดให้ละเอียดนำมาทำให้เป็นแผ่นได้ ซึ่งต่างจากวิธีการแบบดั้งเดิมที่อาศัยจุลินทรีย์จากธรรมชาติในอากาศหรือจากอุปกรณ์ที่ใช้หมักที่ต้องใช้เวลา 72 ชั่วโมงเป็นการลดระยะเวลาของการหมัก และสีของถั่วเน่าแช่ที่ผ่านการทำให้แห้งโดยการตากแดด มีสีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นเฉพาะของถั่วเน่าแช่ไม่มีกลิ่นฉุน ดังนั้นการใช้ถั่วเหลืองบ่มเชื้อมีข้อดี คือ ช่วยควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สม่ำเสมอและลดความเสี่ยงจากการปนเปื้อนของเชื้อราที่อาจสร้างสารพิษ [16] ถั่วเน่าเป็นอาหารที่มีโปรตีนสูง ผลการวิเคราะห์ถั่วเน่าแช่ที่ใช้ถั่วเหลืองในการผลิตพบว่าโปรตีนสูงถึง 45.98% สาเหตุที่ปริมาณของโปรตีนเพิ่มสูงขึ้นเกิดจากการใช้ถั่วเหลือง *Bacillus subtilis* ช่วยเปลี่ยนสภาพโปรตีนถั่วเหลืองที่ย่อยยากให้กลายเป็นโปรตีนที่ละลายน้ำได้ กรดอะมิโนอิสระ และเปปไทด์ที่มีประโยชน์ จึงทำให้ปริมาณโปรตีนขยาย เมื่อคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dajanta *et al.* (2012) ที่กล่าวว่าถั่วเน่ามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก โดยอาจมี

ปริมาณโปรตีนในช่วง 36 - 42% [17] การทำ ถั่วเน่าด้วยกล้าเชื้อโดยชุมชนเป็นแนวทางการพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจและช่วยยกระดับการผลิตแบบดั้งเดิมให้มีมาตรฐานและปลอดภัยยิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษากระบวนการผลิตถั่วเน่าตามภูมิปัญญาของชุมชนบ้านห้วยขม ซึ่งสืบทอดมาจากบรรพบุรุษชาวไทลื้อ พบว่ามีกระบวนการหลักที่คล้ายคลึงกันใน 3 ครั้วเรือนที่ทำการศึกษ ได้แก่ การแช่ถั่วเหลืองข้ามคืน (ประมาณ 14-16 ชั่วโมง) การต้ม (ประมาณ 8 ชั่วโมง 30 นาที) และการหมักเป็นเวลา 3 วัน โดยมีการใช้วัสดุในท้องถิ่นอย่างกระสอบและผ้าในการบ่ม ซึ่งแตกต่างจากกรรมวิธีดั้งเดิมในพื้นที่อื่นที่มักใช้ใบตอง ผลิตภัณฑ์ถั่วเน่าที่ได้มี 3 รูปแบบ คือ ถั่วเน่าซา ถั่วเน่าเมอะ และถั่วเน่าแซ็บ

จากการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่าแซ็บที่ผลิตตามภูมิปัญญาดั้งเดิมจาก 3 ครั้วเรือน พบว่ามีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณสูง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 38.52% - 43.39% ซึ่งยืนยันสถานะของถั่วเน่าในฐานะแหล่งโปรตีนที่สำคัญของอาหารพื้นบ้าน สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่เคยศึกษาในจังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย และพะเยา พบความแตกต่างกันของคุณค่าทางอาหาร เช่น ปริมาณโปรตีนและความชื้นระหว่างผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งอาจเกิดจากความแตกต่างของเทคนิค ระยะเวลาการหมัก และวิธีการตากแห้งของแต่ละครั้วเรือน ในส่วนของการพัฒนาการผลิตโดยใช้กล้าเชื้อบริสุทธิ์ ได้แยกเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์หลักในการหมักถั่วเน่าจากแผ่นถั่วเน่าดั้งเดิมได้สำเร็จ และสามารถผลิตเป็นกล้าเชื้อชนิดผงได้ เมื่อนำกล้าเชื้อนี้ไปใช้ในการหมักถั่วเน่าโดยชุมชน (แม่บ้าน) พบว่ากระบวนการหมักเกิดได้ดี เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่ม *Bacillus* ที่อยู่ในกล้าเชื้อจะเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็วก่อให้เกิดกระบวนการหมักขึ้น ทำให้ถั่วเน่าแซ็บที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอและมีปริมาณโปรตีนสูงถึง 45.98%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุกานดา วงศ์ภาพสินธุ์, รัตนภรณ์ พงษ์ศักดิ์, และสุภารัตน์ พุ่มจันทร์. (2019). คุณภาพทางจุลชีววิทยาและคุณค่าทางโภชนาการของถั่วเน่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 27(1), 105-115.
- [2] บุญยงค์ วรเนตร์. (2012). ถั่วเน่า: ภูมิปัญญาพื้นบ้านล้านนา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] AOAC International. (2019). Official methods of analysis of AOAC International (21st ed.). AOAC International.

- [4] Sullivan, D. M., & Carpenter, D. E. (1993). Methods of analysis for nutrition labeling. AOAC International.
- [5] สุภาวดี อินเขียน. (2011). การศึกษาการผลิตถั่วเน่าแผ่นในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่).
http://cmruir.cmru.ac.th/bitstream/123456789/142/4/C1_382021.pdf
- [6] Sangla, K., & Suppadit, T. (2005). A study on production processes and quality of fermented soybean (Thua-Nao) in the upper north of Thailand. Journal of Environmental Management, 2(1), 33–39.
- [7] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, & นิธิยา รัตนพานนท์. (n.d.). ถั่วเน่า / Thua nao. Food Wiki.
<https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2210/ถั่วเน่า-thua-nao>
- [8] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (n.d.). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเชื้อ *Bacillus subtilis* เพื่อผลิตถั่วเน่าแช่แข็ง. <https://www.nstda.or.th/sci-kids-menu/11545-bacillus-subtilis>
- [9] Thailand Food Tradition. (2024). ถั่วเน่า อาหารเหนือมากคุณค่าจากภูมิปัญญาพื้นบ้าน.
<https://thailandfoodtradition.com/th/articles/ถั่วเน่า-อาหารเหนือมากคุณค่าจากภูมิปัญญาพื้นบ้าน>
- [10] จีรพรรณ เจริญฉลาด, ปรัชญา ราชสุภา, อรทัย บุรีนอก, และศศิธร ศิริสุวรรณ. (2016). องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ถั่วเน่า. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 47(3, ฉบับพิเศษ), 425–428.
- [11] สุนทรี ชัยบุญ, & ทิพวรรณ เทพปิ่นใจ. (2018). คุณภาพของถั่วเน่าจากแหล่งผลิตต่างกันในจังหวัดพะเยา. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 6 (น. 642–648). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม. <https://science.kmutt.ac.th/wp-content/uploads/2021/01/Full-Paper-Proceeding-ASTIC-2018-final.pdf>
- [12] อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, มณจันท์ เมฆธน, และสุวิมล กิรติพิบูล. (2012). การคัดเลือกและพิสูจน์เอกลักษณ์ของเชื้อแบคทีเรียจากถั่วเน่าเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 20(4), 315–327.
- [13] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2016). กล้าเชื้อถั่วเน่า.
https://www.tistr.or.th/tistrnew/main/page_service.php?id=309

- [14] Suppadit, T., Sangla, L., & Pintasean, S. (2008). A study on production processes and quality of fermented soybean (Thua-Nao) in the upper north of Thailand. *Journal of Environmental Management and Sustainability*, 4(2), 29–38.
- [15] เอกชัย ชูเกียรติโรจน์, ศศิธร อินเขียน, เกตุการ ดาจันทา, และอรุณี อภิชาติสร่างกูร. (2011). ถั่วเน่า: ผลิตภัณฑ์ถั่วเหลืองหมักพื้นเมืองของประเทศไทย. *Science Essence Journal*, 27(1), 197–213.
- [16] ปิยะวรรณ กาสลัก, & รัชฎาพร อุ่นศิริไธย์. (2010). การลดกลิ่นไม่พึงประสงค์และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ถั่วหมัก โดยการใช้ *Bacillus subtilis* เป็นกล้ำเชื้อในการหมัก. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [17] Dajanta, K., Chukeatirote, E., & Apichartsrangkoon, A. (2012). Nutritional and physicochemical qualities of Thua Nao (Thai traditional fermented soybean). *Chiang Mai Journal of Science*, 39(1), 76–86..

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบข้าวพองเพื่อสุขภาพ

Development of healthy puffed rice product prototype

นุกูล อินทกุล, เจษฎา ใจดี, ภัทรารวรรณ จันธิมา, นามทิพย์ เรืองดี*

โปรแกรมวิชานวัตกรรมอาหารและการเกษตร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย 57100

Nukul Intakul, Jessada Jaidee, pattarawan Chanthima, Namthip Ruangdee*

Food Innovation and Agriculture Program, Faculty of Science and Technology,

Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai Province 57100

บทคัดย่อ

การวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาข้าวพองต้นแบบให้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดีและเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยศึกษาสายพันธุ์ข้าวต่ออัตราการพองตัวของข้าว และศึกษาสัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่า สายพันธุ์ข้าวมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวและความชื้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยอัตราการพองตัวของข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 มีค่าสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 260.17 และมีค่าความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 5.98 และจากการศึกษาสัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมของข้าวพองเพื่อสุขภาพ พบว่า สัดส่วนของข้าวพอง ผงถั่วเหลือง และผงฟักทองมีผลต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัส และองค์ประกอบทางเคมีของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยข้าวพองเพื่อสุขภาพที่ประกอบด้วยอัตราส่วนข้าวพอง ไข่ขาว น้ำตาล เกลือ และผงถั่วเหลือง ไม่มีส่วนผสมผงฟักทอง ในปริมาณร้อยละ 66.7, 14.8, 1.8, 8.9, 0.4 และ 7.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ได้รับคะแนนการความชอบรวมสูงที่สุด เท่ากับ 8.24 ซึ่งอยู่ในความชอบระดับมาก ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเถ้า โปรตีน ไขมัน เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต เท่ากับร้อยละ 1.78, 10.75, 1.62, 0.50, 81.87 โดยน้ำหนักตามลำดับ มีความชื้นเท่ากับร้อยละ 3.48 และค่าปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.22 ข้าวพองเพื่อสุขภาพที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี มีปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และแร่ธาตุสูงขึ้นจากไข่ขาวและผงถั่วเหลือง และมีปริมาณไขมันต่ำกว่าข้าวพองที่ได้จากการทอดประมาณ 10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวแต่นพองกรอบด้วยการทอดในน้ำมัน

คำสำคัญ : ข้าวพอง, ข้าวเหนียว, อาหารเพื่อสุขภาพ

Abstract

The development of the healthy food product was conducted due to the consumer demand that tends to continuously increase. This research aims to develop the prototype puffed rice product with good nutrition and suitable for healthy food. The effect of rice varieties on the rate of puffing and the appropriate component ratio for a healthy puffed rice development were observed. The result founded that rice varieties were significantly affected by puffing rate ($p < 0.05$). The RD6 Rice had the highest puffing rate at 260.17% w/v, followed by San Pa Tong Rice, Kiaw Ngoo Rice and Purple Rice at 195.84, 175.00 and 150.00% w/v, respectively. The component ratio of puffed rice, soybean powder and pumpkin powder was significantly affected on sensory acceptance and chemical compositions ($p < 0.05$). The optimum ingredients for developed a healthy puffed rice product were puffed rice 66.7%, egg white 14.8%, water 1.8%, sugar 8.9% salt 0.4% and soybean powder 7.5% w/w. Product received overall liking score with 8.24, which is the most like level. The proximate analysis of product was as following; ash 1.78% w/w, protein 10.75% w/w, fat 1.62% w/w, dietary fiber 0.55% w/w, carbohydrate 81.87% w/w, moisture 3.48% and water activity was 0.22. The healthy puffed rice showed good nutritional value. Protein, dietary fiber and mineral content were increased due to the egg white and soybean powder in the formula. The fat content in prototype product was approximately 10 times lower than the puffed rice obtained from frying.

Keywords: puffed rice, sticky rice, healthy food

ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคที่มีการศึกษา และอาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ มีพฤติกรรมการบริโภคเปลี่ยนไป โดยให้ความสำคัญในการดูแลสุขภาพมากขึ้น ส่งผลให้ตลาดเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มเพิ่มสูงอย่างต่อเนื่อง [1] โดยเฉพาะกลุ่มอาหารสำเร็จรูปและขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพที่ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ได้แก่ อาหารที่มีสัดส่วนของน้ำตาลและไขมันต่ำ ให้พลังงานต่ำ มีโปรตีนและเส้นใยอาหารสูง

ข้าวพอง (Puffed Rice) เป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวที่ได้จากการทำให้แป้งในเมล็ดข้าวสุกและอมน้ำไว้ในโครงสร้าง หรือที่เรียกว่า การเกิดเจลละติไนเซชัน (Gelatinization) เมื่อนำเมล็ดข้าวสุกไปลดความชื้นลง แล้วนำเมล็ดข้าวไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงด้วยการคั่วหรือทอดในน้ำมัน น้ำในโครงสร้างของแป้งจะเกิดการระเหยเป็นไอน้ำ เกิดแรงดันโครงสร้างของเมล็ดข้าวให้พองและมีความกรอบเกิดขึ้น การพองตัวของเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณเกลือ และสายพันธุ์ข้าว จากรายงานการศึกษา พบว่า ที่ระดับความชื้นประมาณร้อยละ 10-13 โดยน้ำหนัก และการเติมเกลือในน้ำที่ใช้ในการแช่ข้าวในปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนักจะช่วยให้เมล็ดข้าวมีการพองตัวได้ดี [2,3] นอกจากนี้ อัตราการพองตัวของข้าวแต่ละสายพันธุ์ยังมีความแตกต่างกัน [4] เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ในข้าวเหนียวจะมี

ปริมาณอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเม็ดสตาร์ช (starchgranule) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นสายตรงและสายแขนง เมื่อนำไปผ่านความร้อนจนสูงจะมีลักษณะใสเหนียว เจลออน และเกิดการคืนตัวโดยยาก (retrogradation) จึงมีผลต่อการพองตัว [5]

ผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่เป็นที่นิยมในประเทศไทย อาทิ ข้าวแต่น หรือขนมนางเล็ดเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวพองที่เกิดจากภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยเฉพาะภาคเหนือและอีสานที่บริโภคข้าวเหนียว ซึ่งข้าวแต่นมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน เถ้าทั้งหมด เส้นใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรตในปริมาณร้อยละ 6.16, 21.42, 0.91, 0.20 และ 71.31 โดยน้ำหนักทั้งหมด ตามลำดับ [6] ข้าวแต่นจึงเป็นขนมขบเคี้ยวที่ให้พลังงานสูง มีไขมันและน้ำตาลในปริมาณสูง งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน โดยนำข้าวเหนียวสายพันธุ์ที่มีในท้องถิ่นมาแปรรูปให้เป็นข้าวพองเพื่อสุขภาพ ลดปริมาณไขมัน เพิ่มปริมาณโปรตีนและเพิ่มคุณค่าโภชนาการที่ดี ด้วยวัตถุดิบในท้องถิ่น เช่น ถั่ว และผักต่าง ๆ โดยศึกษาสายพันธุ์ข้าวต่ออัตราการพองตัวของข้าว และศึกษาสัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพจากวัตถุดิบท้องถิ่นที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน และสร้างมูลค่าเพิ่มผลผลิตข้าวเหนียวในท้องถิ่นได้ ต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

ศึกษาผลของสายพันธุ์ข้าวต่อการพองตัวของข้าวเหนียวท้องถิ่น 4 สายพันธุ์ ได้แก่ สันป่าตอง ข้าวเหนียว กข 6 ข้าวเหนียวเขี้ยวงู และข้าวเหนียวกำ เติร์มข้าวพอง โดยแช่ข้าวเหนียวในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนข้าวและน้ำเกลือเท่ากับ 1 : 2 เป็นเวลานาน 5 ชั่วโมง จากนั้นนำมาสะเด็ดน้ำ แล้วนึ่งเป็นเวลา 30 นาที พักข้าวเหนียวสุกไว้จนเย็น แบ่งใส่ถุงพลาสติก (HDPE: High Density Polyethylene) เก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 4 – 7 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำข้าวมาแยกเป็นเมล็ดแล้วเกลี่ยลงบนถาด เก็บในตู้เย็นอีก 48 ชั่วโมง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน รุ่น DH410 (Zolftech innovation) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง และนำไปอบให้พองด้วยเตาอบไฟฟ้า ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 วินาที ตัวอย่างถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพ ได้แก่ ปริมาณความชื้น ด้วยวิธี AOAC 2020 [7], วิเคราะห์การพองตัวของข้าว (Expansion Ratio) ตามวิธีการของ Suchada Maisont and Woatthichai Narkrugs, (2009) [2] โดยชั่งน้ำหนักข้าว 5 กรัม วัดปริมาตรข้าวด้วยกระบอกตวง (V1) แล้วนำไปอบด้วยเตาไฟฟ้าอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส 30 วินาที วัดปริมาตรข้าวพอง (V2) แล้วคำนวณเป็นค่าอัตราการพองตัวของข้าว ดังนี้

$$\text{Expansion Ratio (ER)} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

นำข้อมูลคุณภาพไปวิเคราะห์ทางสถิติวางแผนการทดลองทางสถิติแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS 27.0 เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ข้าวเหนียว

2. ศึกษาสัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ

2.1 ศึกษาปริมาณของข้าวพองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง

ข้าวเหนียวที่ผ่านการคัดเลือกจากข้อ 1 นำมาศึกษาสัดส่วนของข้าวพองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง กำหนดสัดส่วนของข้าวพองแตกต่างกันใน 3 ระดับ คือ 50, 70 และ 90 กรัม โดยน้ำหนัก โดยมีส่วนผสมหลักคงที่ ไข่ขาว น้ำ น้ำตาล เกลือ และผงถั่วเหลือง 20, 2.5, 12, 0.5 และ 10 กรัม โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทำการผลิตข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง โดยนำส่วนผสมไข่ขาว น้ำตาล เกลือ และน้ำเย็น ปั่นผสมที่ความเร็วสูงเป็นเวลา 3 นาที จนกลายเป็นโฟมไข่ขาว จากนั้นนำผงถั่วเหลืองคนผสมกับโฟมไข่ขาวจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำข้าวพองลงไปคลุกเคล้าให้ส่วนผสมทั้งหมดเคลือบข้าวพองอย่างสม่ำเสมอ แล้วขึ้นรูปด้วยพิมพ์ซิลิโคนอบในเตาอบไฟฟ้า รุ่น DH410 (Zolfttech innovation) ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที [8] จะได้ข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง ตัวอย่างที่ได้นำไปทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9 point hedonic scale ใช้กลุ่มผู้บริโภคร่วมไปทดสอบชิม จำนวน 30 คน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อหาสัดส่วนของข้าวพองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง

2.2 ศึกษาสัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเพื่อสุขภาพ

ศึกษาสัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเพื่อสุขภาพ โดยเตรียมข้าวพองตามผลการศึกษาข้อที่ 2.1 กำหนดสัดส่วนผงถั่วเหลืองและผงฟักทองแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 1.8 และ 3.7 ดังแสดงในตารางที่ 1 ตัวอย่างทั้งหมดนำไป วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน และเส้นใยอาหาร ตามวิธีการของ AOAC (2020) [7] และวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Aqua Lab 4TE) และทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9 point hedonic scale ใช้กลุ่มผู้บริโภคร่วมไปทดสอบชิม จำนวน 30 คน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเพื่อสุขภาพ

ตารางที่ 1 : ส่วนประกอบของข้าวพองเพื่อสุขภาพที่มีผงถั่วเหลืองและผงฟักทองแตกต่างกัน 3 ระดับ

ส่วนประกอบ	สูตร 1 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สูตร 2 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	สูตร 3 (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ไข่ขาว (กรัม)	20 (14.8%)	20 (14.8%)	20 (14.8%)
น้ำเย็น (กรัม)	2.5 (1.8%)	2.5 (1.8%)	2.5 (1.8%)
น้ำตาล (กรัม)	12 (8.9%)	12 (8.9%)	12 (8.9%)
เกลือ (กรัม)	0.5 (0.4%)	0.5 (0.4%)	0.5 (0.4%)
ผงถั่วเหลือง (กรัม)	10 (7.4%)	7.5 (5.6%)	5 (3.7%)
ผงฟักทอง (กรัม)	0 (0%)	2.5 (1.8%)	5 (3.7%)
ข้าวพอง (กรัม)	90 (66.7%)	90 (66.7%)	90 (66.7%)
รวมน้ำหนักทั้งหมด	135	135	135

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสายพันธุ์ข้าวเหนียวที่มีผลต่อการพองตัวของข้าว

จากการศึกษาผลของสายพันธุ์ข้าวที่มีต่อการพองตัวของข้าว โดยได้เลือกสายพันธุ์ข้าวที่มีอยู่ในท้องถิ่น 4 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตอง ข้าวเหนียว กข6 ข้าวเขี้ยว และข้าวกำ นำไปวิเคราะห์คุณภาพ หาอัตราการพองตัว และปริมาณความชื้น จากตารางที่ 2 พบว่า สายพันธุ์ข้าวมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยข้าวเหนียว กข6 มีอัตราการพองตัวของข้าวสูงที่สุด เท่ากับร้อยละ 260.17 ± 5.60 โดยปริมาตร รองลงมาได้แก่ ข้าวเหนียวสันป่าตอง ข้าวเขี้ยว และข้าวกำ มีอัตราการพองตัวของข้าว เท่ากับร้อยละ 195.84 ± 5.89 , 175.00 ± 11.79 และ 150.00 ± 0.00 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ในด้านปริมาณความชื้นของข้าวพองพบว่า สายพันธุ์ข้าวมีผลต่อความชื้นของข้าวพองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปริมาณความชื้นในข้าวเหนียวสันป่าตอง และข้าวเหนียวกข6 มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับร้อยละ 5.56 และ 5.98 โดยน้ำหนัก ข้าวพองทั้ง 4 สายพันธุ์มีปริมาณความชื้น ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$) จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราการพองตัวของข้าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งการพองตัวของข้าวประกอบไปด้วยปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวก่อนการพองตัว อุณหภูมิ และระยะเวลาของการให้ความร้อน [9] รวมถึงปัจจัยด้านสายพันธุ์ข้าวมีผลต่ออัตราการพองตัวของข้าว [4] สายพันธุ์ข้าวมีองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพคตินแตกต่างกัน ในข้าวเหนียวจะมีปริมาณอะไมโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเม็ดสตราซ

(starchgranule) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่จัดเรียงตัวเป็นสายตรงและสายแขนง เมื่อนำไปผ่านการต้มจนสุกจะมีลักษณะใส เหนียว เจลออน และเกิดการคืนตัวได้ยาก (retrogradation) จึงมีผลต่อการพองตัว [5] ซึ่งข้าวเหนียว กข6 มีอัตราการพองตัวสูงสุด มีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 29-31 [10] สอดคล้องกับการศึกษาของ Chardraekhar and Chattopadhyay (1991) [11] พบว่าข้าว ที่มีการพองตัวดีที่สุดได้แก่ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสอยู่ประมาณร้อยละ 28.5 จากการศึกษาจึงได้เลือกข้าวเหนียวที่มีอัตราการพองตัวมากที่สุด ได้แก่ ข้าวเหนียวกข6 เป็นวัตถุดิบในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 2 : อัตราการพองตัวและปริมาณความชื้นของข้าวเหนียวแต่ละสายพันธุ์

สายพันธุ์ข้าวเหนียว	อัตราการพองตัว (ร้อยละโดยปริมาตร)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
ข้าวสันป่าตอง	195.84±5.89 ^b	5.56±0.18 ^b
ข้าวกข6	260.17±5.60 ^a	5.98±0.12 ^b
ข้าวเขี้ยว	175.00±11.79 ^c	6.68±0.23 ^a
ข้าวกำ	150.00±0.00 ^d	7.11±0.25 ^a

หมายเหตุ: ตัวเลขในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2. ผลการศึกษาสัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ

2.1 ศึกษาปริมาณของข้าวพองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลือง

จากการศึกษาปริมาณของข้าวพองที่เหมาะสม โดยนำข้าวเหนียวกข6 มาเตรียมข้าวพอง แล้วนำข้าวพองมาเคลือบผงถั่วเหลือง โดยมีส่วนประกอบและสัดส่วนของข้าวพองแตกต่างกัน 3 ระดับ ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสแสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณของข้าวพองทั้ง 3 ระดับ มีผลต่อระดับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อพิจารณาปริมาณข้าวพองที่ 50 และ 70 กรัม พบว่า มีคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 4.40 ± 1.85 และ 6.50 ± 1.43 ซึ่งอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อย และชอบเล็กน้อย ตามลำดับ แต่ข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลืองที่มีปริมาณข้าวพอง 90 กรัม มีค่าระดับคะแนนความชอบด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมสูงที่สุดเท่ากับ 7.74 ± 1.22 , 7.50 ± 1.43 , 8.00 ± 1.11 , 8.03 ± 0.93 และ 8.17 ± 0.83 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบถึงชอบมาก ซึ่งใกล้เคียงกับการศึกษาของ นรินทร์ (2563) [12] ได้ศึกษาอัตราส่วน ข้าวเจ้า:ข้าวเหนียว โดยใช้ข้าวเจ้าได้แก่ปลายข้าวหอมมะลิและปลายข้าวเหนียว กข6 ในการทำข้าวแตน พบว่าอัตราส่วน ข้าวเจ้า:ข้าวเหนียว 0:100 เป็นสูตรที่มีคะแนนเฉลี่ยความชอบด้านลักษณะปรากฏ, กลิ่น, รสชาติ, เนื้อสัมผัส) และความชอบรวมสูงที่สุด อยู่ในระดับชอบ ดังนั้นในการคัดเลือกสัดส่วนข้าวพอง 90 กรัมจึงเหมาะสมต่อการนำไปศึกษาขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 3 : ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลืองที่สัดส่วนของข้าวพองแตกต่างกัน

ปริมาณข้าวพอง (กรัม)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
50	5.87 ± 2.10^b	5.03 ± 1.52^c	4.6 ± 2.13^c	3.10 ± 2.14^c	4.40 ± 1.85^c
70	6.33 ± 1.49^b	6.47 ± 1.38^b	6.53 ± 1.72^b	5.90 ± 1.47^b	6.50 ± 1.43^b
90	7.47 ± 1.22^a	7.50 ± 1.43^a	8.00 ± 1.11^a	8.03 ± 0.93^a	8.17 ± 0.83^a

หมายเหตุ : ตัวเลขในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.2 ผลศึกษาสัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองที่เหมาะสมในการเตรียมข้าวพองเพื่อสุขภาพ

จากการศึกษาสัดส่วนผงถั่วเหลืองและผงฟักทองที่เหมาะสม โดยเตรียมข้าวพองตามผลการศึกษาในขั้นตอนที่ 2.1 นำข้าวพองมาเคลือบผงถั่วเหลืองและผงฟักทอง โดยมีสัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองแตกต่างกัน 3 ระดับ ผลทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสตารางที่ 4 พบว่า สัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองมีผลต่อระดับคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของข้าวพองเพื่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยการเพิ่มอัตราส่วนของผงฟักทองมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมของผลิตภัณฑ์มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากผงฟักทองมีสีเหลืองเข้ม และกลิ่นเฉพาะของฟักทองที่เข้มข้นมากกว่าฟักทองสด ส่งผลทำให้ค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบของผู้ทดสอบลดลงได้ ส่วนข้าวพองเพื่อสุขภาพที่เคลือบผงถั่วเหลืองเพียงอย่างเดียว (สูตรที่ 1) มีค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุดเท่ากับ เท่ากับ 8.24 ± 0.78 ซึ่งอยู่ในระดับชอบมาก

ตารางที่ 4 : ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวพองเพื่อสุขภาพที่สัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองแตกต่างกัน

อัตราส่วนของ ผงถั่วเหลืองต่อผง ฟักทอง (ร้อยละ)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1 (10.0: 0.0)	7.44 ± 1.26^a	7.40 ± 1.50^a	8.00 ± 1.16^a	8.04 ± 0.94^a	8.24 ± 0.78^a
2 (7.5: 2.5)	7.08 ± 1.53^a	6.08 ± 2.12^b	6.24 ± 1.72^b	5.64 ± 1.82^b	6.48 ± 1.61^b
3 (5.0: 5.0)	5.64 ± 1.93^b	5.12 ± 1.97^b	5.12 ± 1.94^c	5.36 ± 2.14^b	5.56 ± 1.98^c

หมายเหตุ: ตัวเลขในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างข้าวพองเพื่อสุขภาพเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมจากตารางที่ 5 พบว่าการเคลือบผงถั่วเหลืองและผงฟักทองมีผลทำให้ปริมาณโปรตีน เส้นใยอาหาร และเถ้าทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณไขมัน และคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบการเคลือบผงถั่วเหลืองและผงฟักทองในอัตราส่วนที่แตกต่าง พบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของฟักทองมีผลทำให้ปริมาณไขมันในข้าวพองลดลง แต่มีผลทำให้ปริมาณเถ้าทั้งหมด และเส้นใยอาหารเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลง ซึ่งฟักทองประกอบไปด้วย ใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ฟักทองยังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล และฟลาโวนอยด์สูง [13] จึงกล่าวได้ว่า ผงฟักทองเป็นส่วนประกอบที่ช่วยเพิ่มปริมาณแร่ธาตุและเส้นใยอาหารที่ดี เมื่อพิจารณาสัดส่วนผงถั่วเหลือง พบว่าการเพิ่มผงถั่วเหลืองส่งผลให้ปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น และคาร์โบไฮเดรตลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากถั่วเหลืองมีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 50 มีกรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย มีคาร์โบไฮเดรต ไขมัน แร่ธาตุและใยอาหารสูง นอกจากนี้ยังมีสารต้านอนุมูลอิสระไอโซฟลาโวน (Isoflavone) ที่สามารถป้องกันการติดเชื้อ ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งเต้านม มะเร็งปอด ลด LDL และเพิ่ม HDL คอเลสเตอรอล ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ และโรคเบาหวานชนิดที่ 2 [14] ผงถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบที่ช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน และลดปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวพองลงได้ และการเคลือบข้าวพองด้วยส่วนประกอบที่มีไขมันต่ำยังช่วยลดปริมาณไขมันในข้าวพองลงประมาณ 10 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวแต่นีที่พองกรอบด้วยการทอดในน้ำมันมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 21.42 โดยน้ำหนัก [5]

ในด้านปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) พบว่า ข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลืองมีค่าความชื้น และ ปริมาณน้ำอิสระ ต่ำกว่าข้าวพองสูตรควบคุม เนื่องมาจากในขั้นตอนการอบข้าวพองเคลือบผงถั่วเหลืองและผงฟักทองใช้อุณหภูมิสูง 120 องศาเซลเซียส และนานถึง 30 นาที ทำให้เกิดการระเหยของน้ำในอาหารในปริมาณสูง ค่าปริมาณน้ำอิสระของข้าวพองสูตรควบคุม เท่ากับ 0.36 ส่วนตัวอย่างข้าวพองเพื่อสุขภาพมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.20 - 0.22 ซึ่งไม่เกินเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) ผลิตภัณฑ์ข้าวพอง (มผช.๗๔๓/๒๕๖๒) [15]

ตารางที่ 5 : องค์ประกอบทางเคมีของข้าวพองเพื่อสุขภาพที่มีสัดส่วนของผงถั่วเหลืองและผงฟักทองแตกต่างกัน

อัตราส่วนของ ผงถั่วเหลืองต่อ ผงฟักทอง (ร้อยละ)	ความชื้น (% by wt.)	เถ้า (% by wt.)	โปรตีน (% by wt.)	ไขมัน (% by wt.)	เส้นใย (% by wt.)	คาร์โบไฮเดรต (% by wt.)	ปริมาณน้ำ อิสระ (a_w)
ควบคุม	4.33±0.11 ^a	1.07±0.00 ^d	7.49±1.64 ^c	2.09±0.03 ^a	0.22±0.00 ^d	84.81±0.05 ^a	0.36±0.01 ^a
1 (10.0: 0)	3.48±0.03 ^b	1.78±0.01 ^c	10.75±0.13 ^a	1.62±0.01 ^b	0.50±0.00 ^c	81.87±0.11 ^c	0.22±0.00 ^b
2 (7.5: 2.5)	3.40±0.06 ^b	1.85±0.01 ^a	10.69±0.07 ^a	1.56±0.16 ^b	0.60±0.01 ^b	81.91±0.21 ^c	0.21±0.01 ^b
3 (5.0: 5.0)	3.13±0.02 ^c	1.83±0.00 ^b	9.77±0.09 ^b	1.36±0.12 ^b	0.88±0.05 ^a	83.03±0.14 ^b	0.20±0.00 ^b

หมายเหตุ: ตัวเลขในแนวตั้งที่มีตัวอักษรกำกับแตกต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ โดยใช้ข้าวจากท้องถิ่นในจังหวัดเชียงราย พบว่าพันธุ์ข้าวที่มีอัตราการงอกตัวมากที่สุด ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ กข6 เหมาะแก่การนำไปพัฒนาสูตรข้าวพองเพื่อสุขภาพ โดยเพิ่มปริมาณโปรตีน และเส้นใยอาหารด้วยวัตถุดิบที่มีในท้องถิ่น สัดส่วนและส่วนประกอบที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ ประกอบด้วย ปริมาณข้าวพอง 90 กรัม และสัดส่วนผงถั่วเหลืองต่อฟักทอง 10.0: 0.0 เป็นสูตรที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ข้าวพองเพื่อสุขภาพ ซึ่งได้คะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี โดยมีปริมาณโปรตีนสูง มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลง และปริมาณไขมันลดลงกว่า 10 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวพองที่ผ่านการทอดน้ำมันซึ่งมีปริมาณไขมัน ร้อยละ 21.42 โดยน้ำหนัก รวมถึงเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการทางด้านวิตามิน แร่ธาตุ และสารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในถั่วเหลืองซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ โปรแกรมวิชานวัตกรรมอาหารและการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ สถานที่ และสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Silanoi, Thongrawee. (2018). The influence of attitude towards predicting the intention to buy diet supplementary product: A case study in Roi Kaen Sa Ra Sin area. KRU Research Journal of Humanities and Social Sciences (Graduate Study), 6(1), 1-10.

- [2] Suchada, M. and Woatthichai, N. (2009). Effects of salt, moisture content and microwave power on puffing qualities of puffed rice. Faculty of Agro Industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang..
- [3] Hetal. K. Bhatt and D.C. Joshi. (2014). Standardization of pretreatments for production of ready-to-puff rice using microwave energy. Journal of Grain Processing and Storage, 1(2), 47-53.
- [4] HOKE K., HOUŠOVÁ J. and HOUŠKA M. (2005): Optimum conditions of rice puffing – Review. Journal of Food Science, 23(1), 1–11.
- [5] ชลลดา ไชขาม และ อรรรรณ รื้อทอง. (2561). ผลของอุณหภูมิและเวลาพฟฟิ่งต่อคุณภาพของข้าวพองที่ผลิตจาก ข้าวเหนียวกล้อง กข 6. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง. 27(1), 42-54
- [6] กัญญา สุจริตวงศานนท์, สมจิต อ่อนเหม, ช่อลัดดา เทียงพุก และยุวดี พิรพรไพศาล. (2553). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นสำหรับรายไ. วารสารอาหาร, 40(1), 73-81
- [7] AOAC. (2020). Official methods of analysis of AOAC International. 20th edn. AOAC International, Maryland.
- [8] บัณฑิต ไพรัชยาด และปิยวัฒน์ กิจจานนท์. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวแต่นแบบไม่ทอดจาก ข้าวเหนียว. วิจัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [9] Murugesan, G., Bhattacharya, K.R. (1986). Studies on puffed rice. I. Effect of processing conditions. Journal of Food Science and Technology, 3(4), 197-202.
- [10] กองวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (กุมภาพันธ์, 2567). องค์ความรู้เรื่องข้าว:ข้าวเหนียว กข6. Active leaning for All. <https://webold.ricethailand.go.th/rkb3/Varieties.htm>
- [11] Chardraekhar, P.R. and Chattopadhyay P.K. (1991). Rice puffing in relation to its varietal characteristics and processing conditions. Journal of Food Process Engineering. 14(4), 261-277
- [12] นรินทร์ เจริญพันธ์. (2563) การใช้ประโยชน์จากปลายข้าวเพื่อผลิตข้าวแต่น. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 28(12), 2150-2163
- [13] Gomes, R.S., de Almeida C.F., Chagas, R.R., Fara, J.S., and da Silva, D.J.H. (2020). Winter squash (CucurbitamoschataD.) displays promising nutritional aspects in fruits, seeds and in the seed oil. Journal of PlantBiochemistry & Physiology, 8(2), 248-253

- [14] Adelakun, O.E., Duodu, K.G., Buys, E. and Olanipekun, B.F. (2013). Potential use of soybean flour (glycinemax) in food fortification. Editor, Rijeka, InTech.
- [15] สำนักงาน มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม. (2562). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน เรื่อง ข้าวพอง มผช. 743/2562. กระทรวงอุตสาหกรรม

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ของนักศึกษา
สาขาวิชาคณิตศาสตร์ โดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

Comparison of the learning achievement of Calculus 1 courses, Application of
Derivatives, Department of Mathematics by using the Flipped Classroom
Learning

สุตาภรณ์ ภูแปง^{1,*} และ หฤทัย ทองพันธ์¹

¹สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี 15000

Sudaporn Poopra^{1,*} and Haruthai Thongpan¹

¹Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Tepsatri Rajbhat University,
Lopburi Province 15000

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 โดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) ก่อนเรียนและหลังเรียน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี โดยใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากนักศึกษา 20 คนแรกที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาแคลคูลัส 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้รายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ จำนวน 2 คาบ คาบเรียนละ 3 ชั่วโมง โดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน 2) ชุดสื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับบทเรียนและชุดคำถามสะท้อนความเข้าใจหลังการเรียนรู้ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ เป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลคือ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า นักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่เรียนรู้โดยใช้รูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) มีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในหัวข้อ การประยุกต์อนุพันธ์ ก่อนเรียนเฉลี่ยร้อยละ 26.5 และหลังเรียนเฉลี่ยร้อยละ 84 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบห้องเรียนกลับด้านส่งผลให้นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

*Corresponding author : sudaporn.p@lawasri.tru.ac.th

Received : 26/06/2025 Revised : 26/10/2025 Accepted : 14/11/2025

คำสำคัญ : การประยุกต์อนุพันธ์, วิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Abstract

The purpose of this research was to develop the learning achievement of Calculus 1 courses, application of derivatives of first-year mathematics students who were taught by using the Flipped Classroom learning process before and after the course. The purposive sampling group was the 20 first year mathematics students of the Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, enrolling in Calculus 1, semester 1, academic year 2024. The research tools were: 1) the Flipped Classroom Learning Management Plan on application of derivatives, calculus 1 course, 2 periods (3 hours per lesson); 2) A set of learning media and online learning resources developed specifically for the lesson and a set of post – learning reflection questions; 3) The achievement test on the application of derivatives is a subjective test with 5 items. The statistics used in the data analysis were mean and standard deviation.

The research results found that subject achievement application of derivatives for first-year mathematics student, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, who received the academic achievement scores in the topic of Derivatives Application before and after learning using the Flipped Classroom learning management plan were 26.5 percent on average before learning and 84 percent after learning, which shows that the learning management using the Flipped Classroom model resulted having higher academic achievement after learning than before learning.

Keywords : Application of derivatives, Flipped classroom learning process, Learning achievement test.

บทนำ

ตามที่หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มุ่งผลิตบัณฑิตที่มีความรู้ ความสามารถ และใฝ่รู้ในเนื้อหา ทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และจากการที่ผู้วิจัยต้องสอนในรายวิชาแคลคูลัส 1 ให้กับนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567 พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 26.5 ก่อนข้างต่ำกว่าเกณฑ์ที่ผู้สอนกำหนดไว้คือ ร้อยละ 80 ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องสำคัญในรายวิชานี้ และที่ผ่านมาการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนมักพบว่านักศึกษาสามารถหาค่าของอนุพันธ์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ แต่เมื่อเชื่อมโยงเรื่องของการนำวิธีการนำอนุพันธ์ไปประยุกต์ใช้กับโจทย์สถานการณ์ปัญหา นักศึกษาจะไม่เข้าใจไม่เห็นภาพ จึงไม่สามารถทำการประยุกต์ได้ จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงคิดหาแนวทางในการพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น มีการจัดกิจกรรมที่หลากหลายเน้นทักษะกระบวนการเพื่อให้ผู้เรียนได้พัฒนากระบวนการคิด การตัดสินใจ และกระตุ้นให้ผู้เรียนตื่นตัวอยู่ตลอดเวลา มีการเชื่อมโยงวิธีการเรียนรู้ในเนื้อหาวิชา กับชีวิตจริง และสอดคล้องกับความสามารถของผู้เรียน การเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom)

คือ วิธีการเรียนที่มีแนวคิดหลักคือ เรียนที่บ้าน ทำการบ้านที่มหาวิทยาลัย โดยให้นักศึกษาเป็นผู้ค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองผ่าน สื่อหรือเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่อาจารย์ผู้สอนเป็นผู้แนะนำให้ก่อนจะเข้าชั้นเรียน โดยมีหัวใจสำคัญคือ ให้นักศึกษาได้มีโอกาสเรียนรู้ผ่านการจัดกิจกรรม และใช้สื่อเทคโนโลยีที่ทันสมัย โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นอาจารย์ผู้สอนด้วยตนเอง

การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน มีขั้นตอน ดังนี้ 1. ชั้นเรียนรู้ที่บ้าน นักศึกษาจะต้องศึกษาจากสื่อต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการสืบค้น การหาข้อมูลให้ตรงกับกิจกรรมและสถานการณ์ที่ตรงกับเรื่องของการประยุกต์อนุพัทธ์รูปแบบต่าง ๆ และให้นักศึกษาทำการบันทึกการเรียนรู้เป็นแบบผังมโนทัศน์ เป็นขั้นตอนที่นักศึกษาได้จากการค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเอง แล้วทำการจดบันทึกไว้เป็นหลักฐานเพื่อช่วยเตือนความจำ โดยที่นักศึกษาแต่ละคนจะบันทึกแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความรู้ที่นักศึกษาได้ทำการสืบค้นมา 2. ชั้นเรียนรู้ที่มหาวิทยาลัย เป็นขั้นที่ได้จากการเรียนรู้หลังจากที่นักศึกษามีกิจกรรมนอกห้องเรียน และทำการสืบค้นข้อมูลต่าง ๆ มาจากที่บ้าน ผู้วิจัยจึงนำสิ่งที่นักศึกษาได้จากการเรียนรู้ มาร่วมกันแลกเปลี่ยนกัน เพื่อนำมาคิดสร้างสรรค์ คิดวิเคราะห์งานจากเนื้อหาที่ได้เรียนรู้ร่วมกันที่มหาวิทยาลัย โดยได้มีการนำมาขยายความรู้ ประยุกต์ใช้โดยที่ผู้วิจัย ได้ให้นักศึกษาแต่ละคนนำบันทึกการเรียนรู้ในรูปแบบแผนของตนเองมานำเสนอ แล้วทำการอภิปรายแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกัน หลังจากนั้นนำข้อสรุปมาขยายเพิ่มเติมความรู้ความเข้าใจในความคิดรวบยอดในเนื้อหา และผู้วิจัยได้วางแผนการเรียนรู้โดยคิกิจกรรมหรือสถานการณ์ที่ให้นักเรียนได้ฝึกปฏิบัติตามศักยภาพของแต่ละบุคคลตามความถนัด และรวบรวมความรู้มาแสดงความคิดเห็นให้ชัดเจน เพื่อให้สามารถประยุกต์ไปสู่การสร้างความรู้ใหม่ได้ 3. ชั้นประเมินผล เป็นขั้นที่ผู้วิจัยวางแผนการเรียนรู้ให้นักศึกษา ได้รับข้อมูลย้อนกลับในสิ่งที่ผู้เรียนได้มีความรู้ความเข้าใจ ด้วยการกระตุ้นหรือส่งเสริมส่งเสริม ให้นักศึกษาประเมินความรู้ความเข้าใจและความสามารถที่เกิดขึ้นหลังจากการเรียนรู้ได้อย่างหลากหลาย ประกอบไปด้วยการแสดงความคิดเห็นกับสิ่งที่ได้เรียนรู้ไป ให้นักศึกษาทำแบบฝึกหัดที่เกี่ยวกับเนื้อหานั้น โดยมีผู้วิจัยคอยให้คำแนะนำ หรือแม้แต่การนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในเรื่องอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การดำเนินการวิจัยมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับทฤษฎีทางการศึกษา ตลอดจนสามารถอธิบายผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นได้อย่างมีเหตุผล ผู้วิจัยได้ศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจากงานของเพชรประกาย อะโคตรมี (2566) ซึ่งได้ศึกษาการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิด ห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) ร่วมกับการจัดการเรียนรู้ แบบร่วมมือในรูปแบบ TGT (Teams-Games-Tournament) เรื่อง “การคูณ” สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 พบว่า การจัดกิจกรรมในลักษณะดังกล่าว ช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองมากขึ้น มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ และสามารถเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์เข้ากับสถานการณ์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของชนิสรา เมธภัทรศิริ (2560) ที่ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านช่วยให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้มากขึ้น เกิดการเรียนรู้เชิงลึกในรายวิชาคณิตศาสตร์ และช่วยให้นักเรียนมีโอกาสเรียนรู้ล่วงหน้า ทบทวนเนื้อหาซ้ำได้ด้วยตนเองนอกห้องเรียน อีกทั้งในชั้นเรียนยังสามารถร่วมทำกิจกรรม แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และอภิปรายร่วมกับเพื่อน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการพัฒนาทักษะการคิดในระดับสูง

จากผลการศึกษาวรรณกรรมดังกล่าว ผู้วิจัยเห็นว่าแนวทางของการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านมีความเหมาะสมกับการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาในรายวิชาเรื่อง การประยุกต์อนุพัทธ์ โดยในบริบทของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอน “การเรียนรู้ที่บ้าน” ผ่านการให้นักศึกษาศึกษาเนื้อหาล่วงหน้าด้วยตนเองตามสื่อที่จัดเตรียมไว้ และจัดทำสรุปความรู้ในรูปแบบ “ผังมโนทัศน์” เพื่อส่งเสริม

ให้ผู้เรียนสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง เตรียมความพร้อมก่อนเข้าร่วมกิจกรรมเชิงปฏิบัติในชั้นเรียน ซึ่งเป็นการขยายผลสู่การเรียนรู้ระดับสูง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ ชั้นปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ นักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี โดยใช้การเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) จากนักศึกษา 20 คนแรกที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาแคลคูลัส 1 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนการสอนด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านใน รายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์

ตัวแปรตาม คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 ภายหลังจากการเรียนด้วยกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัย

เนื้อหาที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นเนื้อหา เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ในรายวิชาแคลคูลัส 1 ที่สอดคล้องกับคำอธิบายรายวิชาแคลคูลัส 1 โดยเลือกเนื้อหาโจทย์ประยุกต์อนุพันธ์

ระยะเวลาที่ใช้

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 2 คาบ คาบเรียนละ 3 ชั่วโมง

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน หมายถึง การจัดการเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ในรายวิชาแคลคูลัส 1 โดยผู้วิจัยนำนักศึกษาจำนวน 20 คน มาทำการเรียนการสอนโดยใช้แนวคิดของห้องเรียนกลับด้าน (ชนิสรา เมธภัทรหิรัญ 2560) โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1) การวางแผน ผู้วิจัยทำการสังเกตเห็นว่านักศึกษาสามารถหาค่าของอนุพันธ์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้ แต่เมื่อเชื่อมโยงเรื่องของการนำวิธีการนำอนุพันธ์ไปประยุกต์ใช้กับโจทย์สถานการณ์ปัญหา นักศึกษาจะไม่เข้าใจไม่เห็น

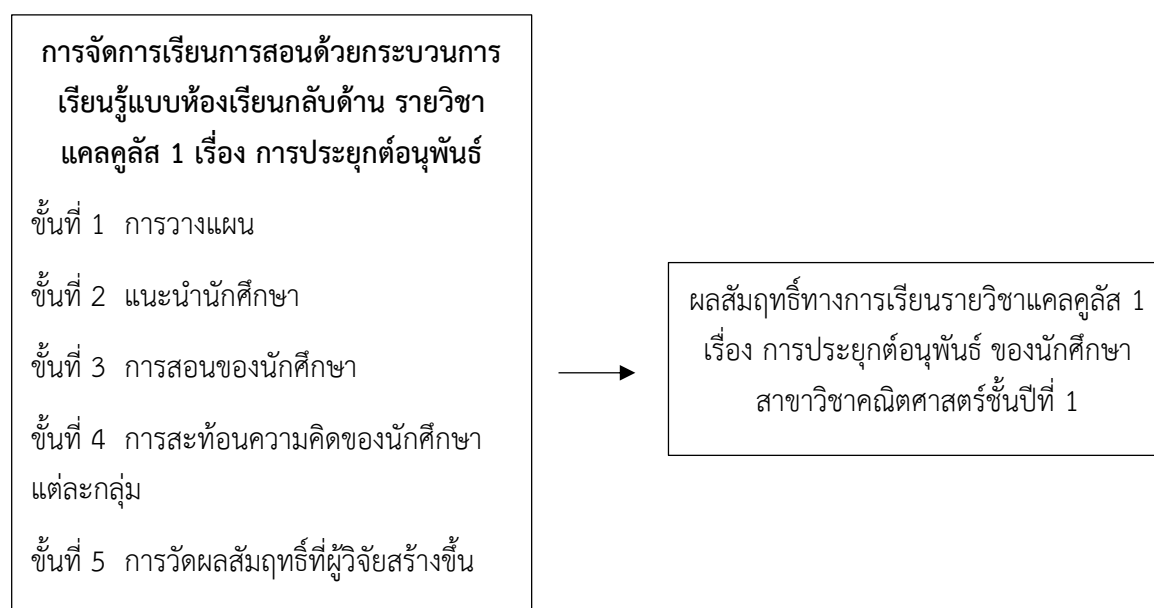
ภาพ จึงไม่สามารถทำการประยุกต์ได้ ผู้วิจัยจึงทำการที่จะพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ให้ดีขึ้น

2) แนะนำสิ่งที้นักศึกษาจะต้องเรียนในชั้นเรียน โดยผู้วิจัยทำการกำหนดเนื้อหาชัดเจนที่จะให้นักศึกษาไปค้นคว้ามาก่อนก่อนที่จะเข้าห้องเรียน คือเรื่องของการประยุกต์อนุพันธ์ โดยเน้นที่โจทย์ประยุกต์อนุพันธ์ จากนั้นผู้วิจัยแนะนำการใช้แอปพลิเคชันทางคณิตศาสตร์ เช่น Geoboard, Operation Math นอกจากนี้อาจารย์ผู้สอนยังได้ทำการอัดวิดีโอการสอนเรื่องการประยุกต์อนุพันธ์เพื่อให้นักศึกษาได้ดูหรือศึกษาก่อนล่วงหน้าก่อนจะเข้าชั้นเรียน

3) การสอนของนักศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบกิจกรรมโดยให้นักศึกษาแบ่งออกเป็นกลุ่ม ๆ ละ 3 – 5 คน เพื่อพูดคุยแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน หลังจากนั้นผู้วิจัยให้นักศึกษาแต่ละกลุ่มออกแบบโจทย์ประยุกต์อนุพันธ์ที่เข้ากับสถานการณ์ในชีวิตจริง และให้นักศึกษาสะท้อนความคิดตามความเข้าใจของตนเองหลังจากที่ได้ศึกษาค้นคว้ามาด้วยตนเอง และที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักศึกษา

2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ความสามารถในการเรียนรู้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ในรายวิชาแคลคูลัส 1 ที่สอดคล้องกับคำอธิบายรายวิชาแคลคูลัส 1 ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ ซึ่งวัดจากคะแนนในการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย



วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ รายวิชา แคลคูลัส 1 ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีขั้นตอน ดังนี้

1.1 ศึกษารายละเอียดหลักสูตร และคำอธิบายของรายวิชา แคลคูลัส 1

1.2 ศึกษาหลักการและรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3 สร้างแผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ รายวิชา แคลคูลัส 1 ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1 จำนวน 2 แผน เวลา 6 ชั่วโมง

1.4 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ เพื่อตรวจสอบพิจารณาความสอดคล้องกับจุดประสงค์และเนื้อหา โดยมีเกณฑ์ ดังนี้

+ 1	หมายถึง	ตรงตามวัตถุประสงค์และเนื้อหา
0	หมายถึง	ไม่แน่ใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา
- 1	หมายถึง	ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา

1.5 นำผลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.5–1.00

1.6 ทำการปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญจนได้ฉบับสมบูรณ์ แล้วนำแผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ ที่สร้างไปใช้กับนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ชั้นปีที่ 1

2. ชุดสื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับบทเรียนและชุดคำถามสะท้อนความเข้าใจหลังการเรียนรู้ เป็นชุดสื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับบทเรียนในหัวข้อการประยุกต์อนุพันธ์ ประกอบด้วยเนื้อหาที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้อย่างชัดเจน เพื่อให้ให้นักศึกษาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองก่อนเข้าสู่กระบวนการเรียนรู้ในชั้นเรียน โดยเนื้อหาดังกล่าวมุ่งเน้นการวิเคราะห์โจทย์ปัญหาประยุกต์ของอนุพันธ์ในบริบทต่าง ๆ ผู้วิจัยจัดเตรียมสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วิดีโอการสอน เพื่อให้นักศึกษาได้ศึกษาและทำความเข้าใจเนื้อหาล่วงหน้า รวมถึงแนะนำการใช้งานแอปพลิเคชันทางคณิตศาสตร์ เช่น Geoboard และ Operation Math เพื่อส่งเสริมความเข้าใจและการนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ภายหลังจากการเรียนรู้ด้วยตนเอง นักศึกษาได้เข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียนที่ออกแบบให้เน้นการมีส่วนร่วมผ่านการทำกิจกรรมกลุ่ม

โดยเน้นให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติ ฝึกวิเคราะห์และแก้ไขโจทย์ปัญหาอย่างเป็นกระบวนการ ทั้งยังเปิดโอกาสให้นักศึกษาได้อภิปราย ทบทวน และแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับเนื้อหาและคลิปวิดีโอที่ได้ศึกษาไว้ล่วงหน้า เพื่อเสริมสร้างความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง และพัฒนาทักษะการเรียนรู้ร่วมกัน ตลอดจนเตรียมความพร้อมสำหรับการประเมินผลการเรียนรู้ในชั้นถัดไป

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ เป็นแบบทดสอบอัตนัย จำนวน 5 ข้อ โดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน พิจารณาตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างแบบทดสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) อยู่ในช่วง 0.67–1.00

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับนักศึกษาในการเรียนเรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ แล้วศึกษาการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน จากนั้นดำเนินการสร้างเครื่องมือ ได้แก่ 1) แผนการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ 2) ชุดสื่อการเรียนรู้และแหล่งเรียนรู้ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นเฉพาะสำหรับบทเรียนและชุดคำถามสะท้อนความเข้าใจหลังการเรียนรู้ 3) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ เป็นแบบวัดผลการเรียนรู้อัตนัย จำนวน 5 ข้อ และดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนตามแผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่อง การประยุกต์อนุพันธ์ รายวิชา แคลคูลัส 1 รวมทั้งเก็บรวบรวมคะแนนจากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อน และหลังการใช้การจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน โดยการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ผลการวิจัย

การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ รายวิชา แคลคูลัส 1 ผู้วิจัยนำคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียน มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยรวม ซึ่งแสดงในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ผลคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

ลำดับที่	คะแนนก่อนใช้ (20) $X_{\text{ก่อน}}$	คะแนนหลังใช้ (20) $X_{\text{หลัง}}$	ลำดับที่	คะแนนก่อนใช้ (20) $X_{\text{ก่อน}}$	คะแนนหลังใช้ (20) $X_{\text{หลัง}}$
1	3	16	11	4	16
2	9	15	12	8	18
3	5	13	13	3	17
4	4	17	14	5	18
5	9	19	15	4	17
6	7	14	16	7	20
7	8	16	17	6	19
8	5	18	18	3	17
9	5	17	19	2	16
10	4	18	20	5	15

จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า นักศึกษาที่เรียนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ มีผลคะแนนจากการทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ตารางที่ 3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนเรียนและหลังเรียนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

ขนาดตัวอย่าง n	หลังเรียน		ก่อนเรียน	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
20	16.8	1.74	5.3	2.08

จากตาราง 3.2 พบว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน มีค่าเฉลี่ยของคะแนนเท่ากับ 5.3 และหลังเรียนมีค่าเฉลี่ยของคะแนนเท่ากับ 16.8 แสดงให้เห็นว่านักศึกษาที่เรียนโดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้แผนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน มีค่าเฉลี่ยของคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

อย่างไรก็ตาม กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนเพียง 20 คน ซึ่งถือว่าเป็นขนาดตัวอย่างค่อนข้างเล็กสำหรับการสรุปผลในระดับประชากรที่กว้างขึ้น ผลลัพธ์จึงควรตีความอย่างระมัดระวัง แต่สำหรับการศึกษาค้นคว้าขนาดตัวอย่างดังกล่าวเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เข้าร่วมการเรียนการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านในรายวิชาแคลคูลัส 1 ในการศึกษาต่อไปสามารถเพิ่มจำนวนตัวอย่างและกระจายกลุ่มนักศึกษาให้กว้างขึ้น เพื่อยืนยันความมั่นใจของผลการวิจัยและเพิ่มความทั่วไปของผลลัพธ์

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

เนื่องจากการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) เป็นแนวทางการสอนที่ให้ผู้เรียนศึกษาความรู้พื้นฐานด้วยตนเองผ่านสื่อออนไลน์นอกห้องเรียน เช่น วิดีโอ บทเรียน หรือเอกสารออนไลน์ ก่อนเข้าสู่ห้องเรียนเพื่อทำกิจกรรม วิเคราะห์ หรืออภิปรายร่วมกับเพื่อนและผู้สอน แตกต่างจากการสอนแบบดั้งเดิมที่ผู้สอนเป็นผู้ถ่ายทอดความรู้เป็นหลักในห้องเรียน แล้วให้ผู้เรียนกลับไปทำแบบฝึกหัดหรือทบทวนด้วยตนเองที่บ้านจุดเด่นของวิธีการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านคือ การเปลี่ยนบทบาทผู้เรียนจากผู้รับสารให้เป็นผู้มีส่วนร่วมในการสร้างความรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถควบคุมจังหวะการเรียนรู้ของตนเอง ทบทวนบทเรียนได้หลายครั้งจนเข้าใจ ก่อนจะนำความรู้มาประยุกต์ในกิจกรรมห้องเรียน นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้สอนใช้เวลาในชั้นเรียนเพื่อเน้นการฝึกคิดวิเคราะห์ แก้ปัญหา และให้คำแนะนำเฉพาะรายบุคคลได้มากขึ้น ซึ่งเป็นข้อดีที่เหนือกว่าวิธีการสอนแบบบรรยายทั่วไปดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำแนวทางการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ ของนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี โดยใช้การจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน (Flipped Classroom) ในการจัดการเรียนในรายวิชาแคลคูลัส 1 พบว่านักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ หลังการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน สูงกว่าก่อนการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน แสดงให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้นี้ส่งผลในทางบวกต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีการส่งเสริมให้ผู้เรียนมีบทบาทในการเรียนรู้นี้มากขึ้นโดยให้ผู้เรียนได้ศึกษาบทเรียนเบื้องต้นด้วยตัวเองผ่านสื่อออนไลน์นอกชั้นเรียน และนำความรู้มาปฏิบัติกิจกรรมในห้องเรียน ส่งผลให้ผู้เรียนได้มีโอกาสทบทวนเนื้อหาในบทเรียนและทำความเข้าใจเนื้อหาได้มากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้วิจัยได้จัดกระบวนการเรียนรู้ เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ โดยใช้การจัดกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน ด้วยการจัดให้นักศึกษาเข้ากลุ่มแบบคละความสามารถ ทำให้มีโอกาสทำงานร่วมกันได้ใช้ความรู้ความสามารถของตนเองในการร่วมกันหาคำตอบ และแลกเปลี่ยนความรู้กับสมาชิกภายในกลุ่มเพื่อทำความเข้าใจเนื้อหาบทเรียนและนำไปสู่การบรรลุจุดประสงค์ในการเรียน เกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนจากการที่ได้ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในกระบวนการกลุ่ม ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ดีขึ้นนอกจากนี้ ผลสะท้อนที่ได้รับจากนักศึกษาหลังการจัดการเรียนรู้นี้ในรูปแบบห้องเรียนกลับด้าน พบว่านักศึกษามีทัศนคติเชิงบวกต่อกระบวนการเรียนรู้นี้ดังกล่าว โดยนักศึกษาระบุว่า การได้รับเนื้อหาเบื้องต้นล่วงหน้าผ่านสื่อออนไลน์ทำให้สามารถควบคุมจังหวะการเรียนรู้ของตนเอง ทบทวนเนื้อหาตามความเข้าใจ และเตรียมตัวก่อนเข้าสู่ชั้นเรียนได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลให้สามารถใช้เวลาในห้องเรียนอย่างมีประสิทธิภาพในการอภิปราย ซักถาม และฝึกทักษะการคิดวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ ทั้งยังช่วยเสริมสร้างความกล้าแสดงออกในการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนและผู้สอนมากยิ่งขึ้น อันเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ระดับอุดมศึกษา ซึ่งการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Cooperative Learning หรือ Collaborative Learning) คือ การเรียนรู้เป็นกลุ่มย่อย โดยมีสมาชิกกลุ่มที่มีความสามารถแตกต่างกันประมาณ 3 – 5 คน ช่วยกันเรียนรู้เพื่อไปสู่เป้าหมายของกลุ่ม สลาวิน (Slavin) เดวิด จอห์นสัน (David Johnson) และร็อบเบิร์ต จอห์นสัน (Roger Johnson) (อ้างถึงใน ทิศนา ขัมมณี, 2547, น. 98-106) กล่าวว่า ความสัมพันธ์

ระหว่างผู้เรียนเป็นมิติที่มักจะถูกกลืนหรือมองข้ามไป ทั้ง ๆ ที่มีผลการวิจัยชี้ชัดเจนว่าความรู้สึกของผู้เรียนต่อตนเอง ต่อโรงเรียน ครูและเพื่อนร่วมชั้น มีผลต่อการเรียนรู้มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ วริศรา คุ่มถิ่นแก้ว (2566, น. 57-67) ที่ได้ทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่องค่ากลางของข้อมูลของนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับเทคนิคการสอนระดมพลังสมอง พบว่านักเรียนที่ได้รับการเรียนรู้ด้วยรูปแบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับเทคนิคการสอนระดมพลังสมอง มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงกว่านักเรียนที่ใช้การจัดการเรียนรู้แบบปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.5 และสอดคล้องกับงานวิจัยของแก้วมะณี เลิศสนธิ์ (2557, น. 83-84) ที่ศึกษาการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว ด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือแบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ซึ่งพบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของว่านักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือแบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ทั้งนี้ งานวิจัยอื่น ๆ ที่นำแนวทางการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านไปประยุกต์ใช้ก็มีความแตกต่างกันออกไป เช่น งานวิจัยของ วิมลรัตน์ และ ชำนาญ (2566) นำรูปแบบห้องเรียนกลับด้านไปใช้ใน รายวิชาชีววิทยา ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย พบว่านักเรียนมีความสามารถในการวิเคราะห์และสังเคราะห์ความรู้เชิงวิทยาศาสตร์สูงขึ้น แต่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ตรงที่เป็นวิชาวิทยาศาสตร์ ไม่ใช่คณิตศาสตร์ และเน้นกิจกรรมการทดลองมากกว่าการแก้โจทย์เชิงคณิตศาสตร์ ในทำนองเดียวกัน งานวิจัยของ ชาริยาต ชิตชลธาร (2566) นำวิธี Flipped Classroom ไปใช้กับ รายวิชาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 6 พบว่าผู้เรียนสามารถพัฒนาทักษะการคิดเชิงตรรกะและการแก้ปัญหาได้ดีกว่าการสอนแบบบรรยาย แต่แตกต่างจากงานวิจัยนี้ตรงที่เน้นทักษะการเขียนโค้ดและโปรแกรมมากกว่าการประยุกต์อนุพันธ์จากตัวอย่างดังกล่าว จะเห็นได้ว่างานวิจัยแต่ละชิ้นมีบริบทรายวิชา และกลุ่มผู้เรียนแตกต่างกัน ขณะที่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ รายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาคณิตศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งถือว่าเป็นการประยุกต์แนวทางการสอนแบบห้องเรียนกลับด้านในบริบทนี้ค่อนข้างใหม่ สามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ปรับปรุงการจัดการเรียนการสอนรายวิชาคณิตศาสตร์อื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสมดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการใช้การจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านในการจัดการเรียน เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ ส่งผลให้นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเนื้อหาอื่น ๆ ต่อไป

ทั้งนี้ในระดับมหาวิทยาลัยยังไม่ค่อยมีใครได้จัดการเรียนการสอนโดยใช้การจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน ในรายวิชาแคลคูลัส 1 ซึ่งผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการวิจัยครั้งนี้ว่าการนำการจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน มาใช้ในการจัดการเรียนรายวิชาแคลคูลัส 1 เรื่องการประยุกต์อนุพันธ์ จะมีประสิทธิภาพที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ความเข้าใจตามจุดประสงค์การเรียนรู้ และเกิดความคงทนทางความรู้ รวมทั้งได้แผนการจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน ที่จะช่วยให้นักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเรื่องอื่น ๆ ต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

1. ในการจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน ควรมีการชี้แจงให้นักศึกษาเกิดความเข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับขั้นตอน กระบวนการเรียนรู้ และข้อตกลงในการเรียนการสอน ตลอดจนบทบาทของผู้เรียนและผู้สอนในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้นักศึกษาสามารถเตรียมตัว ติดตามเนื้อหา และมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ภายในชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นระบบ ทั้งนี้ การกำหนดแนวทางปฏิบัติร่วมกันตั้งแต่เริ่มต้น จะช่วยสร้างความเข้าใจอันเป็นหนึ่งเดียว และส่งเสริมให้กระบวนการเรียนรู้ดำเนินไปอย่างราบรื่นและบรรลุเป้าหมายตามวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ในรูปแบบดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านสามารถใช้กับการเรียนการสอนรูปแบบออนไลน์และออนไลน์ โดยหลักการสำคัญคือทำให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีม และผู้สอนคอยให้คำแนะนำ เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนทุกคนมีส่วนร่วมในการทำงาน รวมทั้งชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่ม และในขั้นการทดสอบย่อย ผู้สอนควรมีการวางแผนอย่างเป็นระบบในการป้องกันไม่ให้เกิดการทุจริตระหว่างการทำแบบทดสอบ เพื่อให้ได้ข้อมูลของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ตรงตามความเป็นจริง

3. การดำเนินการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนควรมีความยืดหยุ่นของเวลาในแต่ละขั้นตอน โดยมีการปรับให้เหมาะสมกับสถานการณ์และเนื้อหาวิชา เพื่อให้เกิดการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มในส่วนของขั้นตอนของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านว่าขั้นตอนใดส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และมีการศึกษารายละเอียดของผลสัมฤทธิ์ว่ามีความรู้เรื่องใดเพิ่มขึ้นบ้าง

2. ควรมีการวัดและประเมินผลอีกครั้งเมื่อผ่านไป 2 สัปดาห์ เพื่อตรวจสอบความคงทนทางความรู้ของนักศึกษาที่เกิดขึ้นหลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน

3. ควรมีการวิจัยครั้งนี้ไปต่อยอดในการพัฒนาการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้าน กับเนื้อหาทางคณิตศาสตร์ในเรื่องอื่น ๆ

4. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยวิธีการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านกับวิธีการสอนรูปแบบอื่น ๆ เช่น เทคนิคการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิคแบบเพื่อนคู่คิด (Think-Pair-Share) เทคนิคกลุ่มแข่งขัน (Teams-Games-Tournament: TGT) เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Johnson, D. W., Johnson, R. T., & Holubec, E. J. (1994). The nuts & bolts of cooperative learning. Interaction Book Company.
- [2] Slavin, R. E. (1995). Cooperative learning: Theory, research, and practice (2nd ed.). Prentice Hall.

- [3] แก้วมะณี เลิศสนธิ์. (2557). การจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวด้วยรูปแบบการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือแบบแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ (STAD) สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จังหวัดฉะเชิงเทรา [วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].
- [4] จรัส พิเลิศ. (2564). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์เรื่องลำดับของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับการใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์ [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม].
- [5] ทิศนา แคมมณี. (2547). ศาสตร์การสอน: องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] พชรพงศ์ นวลศิริ. (2562). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิคการแบ่งกลุ่มผลสัมฤทธิ์ (STAD) ที่ส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เรื่องทฤษฎีบทพีทาโกรัสของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม].
- [7] ยุวดี ทองแผ่น. (2561). การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์เรื่องทศนิยมของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 ระหว่างการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD กับการเรียนรู้แบบปกติ โรงเรียนบ้านปากน้ำปราม [วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยรามคำแหง].
- [8] สุนารี นวลจันทร์. (2562). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์และความสามารถในการทำงานกลุ่มเรื่องระบบจำนวนจริงโดยการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAD ร่วมกับเกมคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 [วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยทักษิณ].
- [9] ชนิสร เมธภัทรทิรัญ. (2560). ห้องเรียนกลับด้าน (Flipped classroom) กับการสอนคณิตศาสตร์. นิตยสารสสวท., 45(209), 20-22.
- [10] เขียวตะวัน สุวรรณพานิช. (2556). ห้องเรียนกลับด้านชวนรับความคิดใหม่. สืบค้นเมื่อ 24 มิถุนายน 2568, จาก <http://so06.tci-thaijo.org/index.php/jomld/article/view/252811>
- [11] ชลธชา วิลลจันทร์. (2563). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้แนวคิดห้องเรียนกลับด้านเรื่องอัตราส่วนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร].
- [12] นภาพรณ เพียงดวงใจ. (2560). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์โดยใช้โครงงานร่วมกับเทคนิคการสืบเสาะหาความรู้ตามแนวคิดห้องเรียนกลับด้านเพื่อเสริมสร้างความสามารถในการสร้างนวัตกรรมและจิตวิทยาศาสตร์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3. วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย, 9(2), 190-204.
- [13] นิชาภา บุรีกาญจน์. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้วิชาสุขศึกษาโดยใช้แนวคิดแบบห้องเรียนกลับด้านที่มีผลต่อความรับผิดชอบและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมัธยมศึกษาตอนต้น [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- [14] เพชรประกาย อะโคตรมี. (2566). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ตามแนวคิดห้องเรียนกลับด้านร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TGT เรื่องการคูณสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร].

- [15] วิมลรัตน์ รูปแก้ว, & ชำนาญ ปาณางษ์. (2566). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับด้านร่วมกับสื่อประสมออนไลน์เพื่อส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับรู้สีกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [16] ชาริยาล ชิตชลธาร. (2566). ผลการจัดการเรียนรู้โดยใช้ปัญหาเป็นฐานร่วมกับแนวคิดห้องเรียนกลับด้านและเกมนิพเคชันที่มีต่อทักษะการคิดเชิงคำนวณและความสามารถในการเขียนโปรแกรมรายวิชาเทคโนโลยี (วิทยาการคำนวณ) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยใช้แบบแผนการทดลองแบบสีกุ่มของโซโลมอน [วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].



วารสาร มรภ.กฟ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt>