

วารสาร มรภ.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 ได้ถูกจัดทำขึ้นให้เป็นสื่อกลางในการรวบรวม และเผยแพร่ผลงานวิจัย 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.นิรุจน์	พิพรรณจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิไลลักษณ์	สวนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตรี	โพธิ์ระวัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	อาจารย์กฤษศักดิ์	พะยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ฝ่ายจัดการ	นายประทีป	เพ็ญแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	นายกฤษณะ	จันทร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

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

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded และผู้ทรงคุณวุฒิที่ ประเมินบทความมาจากหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์และผู้ร่วมประพันธ์ จำนวน 3 ท่าน จากหน่วย งานที่ต่างกัน และบทความจะต้องได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์จากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 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.สำรวจ และผลิตปิโตรเลียม 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.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวิจิ	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	รองศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย	เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	รองศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์	พักสมบุรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	รองศาสตราจารย์อุมาพร	ฉัตรวิโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กงบังเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุมนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติพันธ์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจริยะ	พิมพ์พิมุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธรรพักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทานีเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หัมมิษา	ตันติสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงษศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร	ฤทธิธรรม	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
	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	แสนยาเจริญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทบรรณาธิการ

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

วารสารนี้เผยแพร่เป็นปีที่ 3 ฉบับที่ 2 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิชาการและวิจัยทั้งหมด 8 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ ชีววิทยา เทคโนโลยีสารสนเทศ เคมี วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร และ คณิตศาสตร์ศึกษา ตามลำดับ โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลายสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนของเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน พบกันใหม่ในฉบับหน้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา
หัวหน้าบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิจัย	
Evaluation of Time-Dependent Displacement of Particle Bound in Anharmonics Oscillator Potential Perturb by Electrostatic External Force via Heisenberg Picture Method	113
▶ Artit Hutem	
The Resampling Method for Estimating Variance of the Generalized Regression Estimator in the Presence of Nonresponse	131
▶ Chugiat Ponkaew	
ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดใบอ่อนและใบแก่ ของกาแฟโรบัสต้าเก็บจากสวนกาแฟ ในอำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร และสารสกัดใบอ่อนและใบแก่ของกาแฟอาราบิก้า เก็บจากสวนกาแฟ ในอำเภอเมือง จังหวัดตาก	143
▶ ชิดารัตน์ พรหมมา	
การพัฒนาไข่ขาวต้มพร้อมทานเสริมสารสกัดจากผักแพวแดงสำหรับผู้สูงอายุ	155
▶ พรหทัย พุทธวัน	
การประยุกต์ใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีกรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์ แบบไมโทซิส ในกานตะวัน	167
▶ กฤษฎีพงศ์ ภาษีทวีไลธรรม	
การพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)	179
▶ สิริพิชญ์ สุวรรณ	
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยการ เรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี	205
▶ อาริรัตน์ ชะนู	
การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง โดยใช้วิธี การจัดการเรียนรู้ เชิงรุกร่วมกับ แอปพลิเคชัน Desmosของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนปทุมวิไล	215
▶ หฤทัย ทองพันธ์	

Evaluation of Time-Dependent Displacement of Particle Bound in Anharmonics Oscillator Potential Perturb by Electrostatic External Force via Heisenberg Picture Method

Artit Hutem*

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

Abstract

We consider the time-dependent electrostatic force anharmonic oscillator potential in one-dimension. Here, we derive the existing Heisenberg equations of motion from Newton's second law. We can be used the time-dependent Hamiltonian operator for the time-dependent electrostatic force anharmonic oscillator system. We use the principal of Wronskian method solve for solution of the expectation value of displacement operator for particle bound in anharmonic oscillator potential system. The behavior of the expectation value of displacement operator is wave oscillate depend on the parameter linear frequency, the initial charge, the initial electric, the parameter σ and μ .

Keywords : Displacement operator, Time-dependent external force, Heisenberg equation of motion

INTRODUCTION

Having established the observational meaning of the variable we have called momentum operator ($\hat{P}$), we can find the relation between newtonian mechanics and the theory we have developed here. We have already studied the quantum-mechanical analog to Newton's first law; here is the second. The problem is to evaluate $d\langle P \rangle / dt$ and this requires the commutator $[\hat{H}, \hat{P}]$. It is easily shown to be equal to $[\hat{H}, \hat{P}] = i\hbar \partial V / \partial x$ so that

*Corresponding author : artithutem@pcru.ac.th

$$\frac{d}{dt}\langle P \rangle = -\left\langle \frac{\partial V}{\partial x} \right\rangle \quad (1)$$

Thus there exists a relation among expectation values which exactly parallels Newton's second law expressed in terms of the potential energy. It is the most and it encourages us to look at Newtonian physics as a series of relationships among the expected results of measurements. Equation (1) are known as Ehrenfest's theorems or Heisenberg equation of motion (Mark, 2014) [6].

Russell Akridge will consider several model of transition amplitudes and probabilities for the harmonic oscillator potential with a time-dependent forcing function proportional to cosine beginning at time zero are evaluated to ground state order using time-dependent perturbation theory [1]. Next, Cordero-Soto Ricardo create model of the classical equations of motion for particle bounded harmonic oscillator potential perturbation the time-dependent damped oscillations are derived for the corresponding expectation values of the time-dependent position operator (Cordero-Soto, et.al., 2009) [4]. Currently, Castanos L.O. and Zuniga-Segundo A. show that the classical time-dependent forced harmonic oscillator with constant mass, linear frequency and the use of elementary properties of the coherent states simplifies the description of the system and in determining the solution in the RWA (Castanos & Zuniga-Segundo, 2019) [10]. The purpose of this paper, we will calculate the expectation value of displacement operator under the time-dependent external damping force anharmonic oscillator potential. The scheme of the article is as follows. In section materials and method, we illustrate evaluation of the expectation value of displacement operator of particle bounded in anharmonics oscillator potential under time-dependent electrostatic external force. In section results, we can be plot graph relation between the expectation value of displacement operator and time. The last section contains our conclusions.

MATERIALS AND METHODS

Evaluation of time-dependent displacement operator of particle bound in anharmonics oscillator potential under time-dependent external force

The behavior of an oscillator subjected to a time-dependent force is of importance in many contexts. When the oscillations are those of a small massive system, such as a molecule, the force can often be approximate as being constant over the dimensions of the unforced motions, and is described by adding the potential $-\lambda\hat{q}_d + \alpha_a\xi(t)\hat{P}_{lin}$ to the Hamiltonian.

Let $\hat{P}_{lin}$ and $\hat{q}_d$ be the canonical linear momentum and position operators (displacement

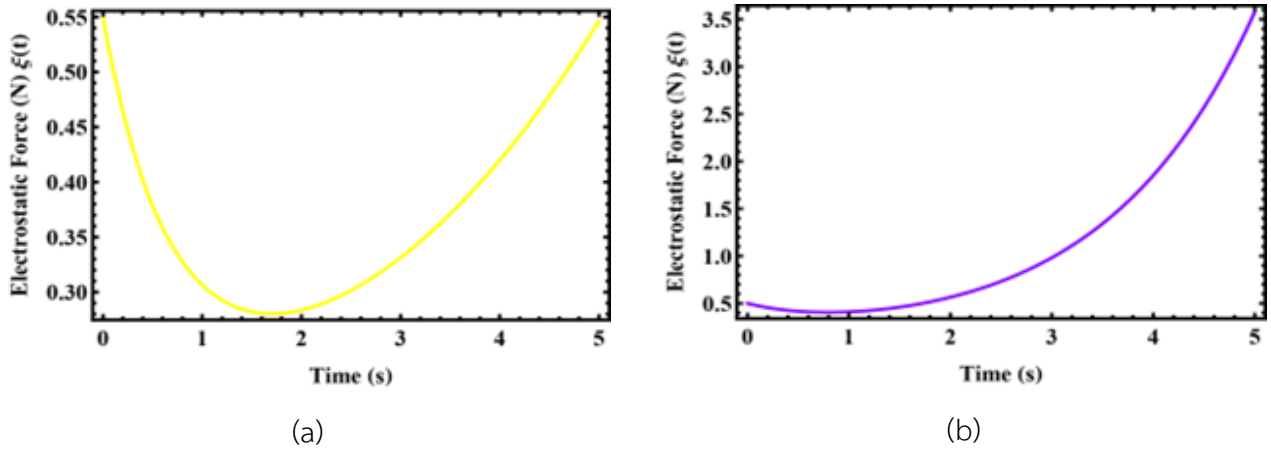


Fig. 1: Plots of the electrostatic external force as a function of time showing particle bound state ($2\sigma < \mu$) (a) and particle unbound state ($2\sigma > \mu$) (b)

operator) of a particle of mass m moving in one dimension under the influence of a Static linear restoring force and anharmonic oscillator potential, i.e. a potential energy proportional to $\hat{q}_d^2$, of a strength such that the angular frequency is ω_f . The Hamiltonian, in the Heisenberg picture (Jussi & Jukka, 2020) [11], [12], [14], [16], is thus

$$\hat{H}_F(q_d, P_{lin}, t) = \frac{\hat{P}_{lin}^2}{2m} + \frac{1}{2}k\hat{q}_d^2 - \lambda\hat{q}_d + \alpha_a\xi(t)\hat{P}_{lin}, \quad (2)$$

where $k = m\omega_f^2$ is the spring constant, λ are positive real constants, α_a are positive real constants, $\xi(t)$ is the time-dependent electrostatic force (Kurt & Tung-Mow, 2004), (Sang, 2003)[3], (Andrews, 2010)[2] in figure 1. The equation of motion of position and linear momentum operators in the Heisenberg picture are (Shigeji et.al. 2014)[7], (Moonsri et.al., 2020) [12] $\frac{d}{dt}\langle\hat{q}_d(t)\rangle = \frac{1}{i\hbar}\langle[\hat{q}_d, \hat{H}_F(t)]\rangle$ and $\frac{d}{dt}\langle\hat{P}_{lin}(t)\rangle = \frac{1}{i\hbar}\langle[\hat{P}_{lin}(t), \hat{H}_F(t)]\rangle$ The Heisenberg equations of motion the case of the expectation value of the position operator are :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\langle\hat{q}_d(t)\rangle &= \frac{1}{i\hbar}\langle[\hat{q}_d, \hat{H}_F(t)]\rangle \\ &= \frac{1}{i\hbar}\langle\left[\frac{d}{dt}, \left(\frac{\hat{P}_{lin}^2}{2m} + \frac{1}{2}k\hat{q}_d^2 - \lambda\hat{q}_d + \alpha_a\xi(t)\hat{P}_{lin}\right)\right]\rangle \\ &= \frac{1}{i\hbar}\langle\left(\frac{1}{2m}[\hat{q}_d(t), \hat{P}_{lin}^2] + \frac{1}{2}m\omega_f^2[\hat{q}_d(t), \hat{q}_d^2(t)] - \lambda[\hat{q}_d(t), \hat{q}_d(t)] + \alpha_a[\hat{q}_d(t), \xi(t)\hat{P}_{lin}]\right)\rangle \end{aligned} \quad (3)$$

Substituting the commutator of $[\hat{q}_d(t), \hat{q}_d^2(t)] = 0$, $[\hat{q}_d(t), \hat{q}_d(t)] = 0$ and $[\hat{q}_d(t), \hat{P}_{lin}^2] = 2i\hbar\hat{P}_{lin}$, $[\hat{q}_d(t), \hat{P}_{lin}] = i\hbar$ into The Heisenberg equations of motion equation (3) yield

$$\frac{d}{dt}\langle\hat{q}_d(t)\rangle = \frac{\langle\hat{P}_{lin}(t)\rangle}{m} + \alpha_a\xi(t) \quad (4)$$

These are the famous first-order linear ordinary differential equation. The Heisenberg equations of motion the case of the expectation value of the linear momentum operator are :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\langle\hat{P}_{lin}(t)\rangle &= \frac{1}{i\hbar}\langle[\hat{P}_{lin}(t), \hat{H}_F(t)]\rangle \\ &= \frac{1}{i\hbar}\langle[\hat{P}_{lin}(t), \frac{\hat{P}_{lin}^2}{2m} + \frac{1}{2}k\hat{q}_d^2 - \lambda\hat{q}_d + \alpha_a\xi(t)\hat{P}_{lin}]\rangle \\ &= \frac{1}{i\hbar}\langle(\frac{1}{2m}[\hat{P}_{lin}(t), \hat{P}_{lin}^2] + \frac{1}{2}m\omega_f^2[\hat{P}_{lin}(t), \hat{q}_d^2] - \lambda[\hat{P}_{lin}(t), \hat{q}_d(t)] + \alpha_a\xi(t)[\hat{P}_{lin}(t), \hat{P}_{lin}(t)])\rangle \end{aligned} \quad (5)$$

Substituting the relationship commutator of $[\hat{P}_{lin}, \hat{P}_{lin}^2] = 0$, $[\hat{P}_{lin}, \hat{q}_d^2(t)] = -2i\hbar\hat{q}_d$, $[\hat{P}_{lin}, \hat{q}_d(t)] = -i\hbar$, $[\hat{P}_{lin}, \hat{P}_{lin}] = 0$ into the Heisenberg equation of motion in case of the linear momentum operator equation (5), we have

$$\frac{d}{dt}\langle\hat{P}_{lin}(t)\rangle = \lambda - m\omega_f^2\langle\hat{q}_d(t)\rangle \quad (6)$$

These are the famous first-order linear ordinary differential equation. Differentiating equation (4) with respect to time gives us

$$\frac{d^2}{dt^2}\langle\hat{q}_d(t)\rangle = \frac{1}{m}\frac{d}{dt}\langle\hat{P}_{lin}(t)\rangle + \alpha_a\frac{d}{dt}\xi(t) \quad (7)$$

Substituting Equation (6) into equation (7), we can rewrite equation (7) as

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{dt^2}\langle\hat{q}_d(t)\rangle &= \frac{1}{m}(\lambda - m\omega_f^2\langle\hat{q}_d(t)\rangle) + \alpha_a\frac{d}{dt}\xi(t) \\ \frac{d^2}{dt^2}\langle\hat{q}_d(t)\rangle + \omega_f^2\langle\hat{q}_d(t)\rangle &= \frac{\lambda}{m} + \alpha_a\frac{d}{dt}\xi(t) \end{aligned} \quad (8)$$

We now define of the time-dependent electrostatic external force to give $\xi(t) = q_0E_0e^{-\mu t}\cosh^2(\sigma t)$ (Russell 1995), where q_0 is the electron charge, μ is the positive damping constant, E_0 is the initial electrostatic force (Chew et. al., 2016), (Chew et. al., 2019), and σ are positive real constant. Sketch $\xi(t)$ as a function of time, we have With this definition, the first-derivative term becomes

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\xi(t) &= \frac{d}{dt}(q_0 E_0 e^{-\mu t} \cosh^2(\sigma t)) = \frac{q_0 E_0}{2} \left(\frac{d}{dt}(e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t)) + \frac{de^{-\mu t}}{dt} \right) \\ \frac{d}{dt}\xi(t) &= \frac{q_0 E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t})\end{aligned}\quad (9)$$

Substituting equation (9) into equation (8), we can rewrite Equation (8) as

$$\frac{d^2}{dt^2}\langle \hat{q}_d(t) \rangle + \omega_f^2 \langle \hat{q}_d(t) \rangle = \frac{\lambda}{m} + \frac{q_0 \alpha_a E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \quad (10)$$

This is a non-homogeneous, second-order, linear differential equation. The solution of equation (10) is given by the sum of two parts according to the following theorem: If $\langle \hat{q}_d^p(t) \rangle$ is a particular solution of an non-homogeneous differential equation and the complementary function $\langle \hat{q}_d^c(t) \rangle$ is the solution of corresponding homogeneous equation (that is, equation (10) with the right side equal to zero), then $\langle \hat{q}_d(t) \rangle = \langle \hat{q}_d^c(t) \rangle + \langle \hat{q}_d^p(t) \rangle$ is also a solution of the non-homogeneous differential equation. $\langle \hat{q}_d^c(t) \rangle$ is the solution of the homogeneous differential equation (Nouredine, 2001)[13].

$$\frac{d^2}{dt^2}\langle \hat{q}_d(t) \rangle + \omega_f^2 \langle \hat{q}_d(t) \rangle = 0 \quad (11)$$

Solve the solution by using the auxiliary equation $\gamma^2 + \omega_f^2 = 0, \gamma = \pm i\omega_f$. We obtain an alternative solution;

$$\begin{aligned}\langle \hat{q}_d^c(t) \rangle &= C_1 e^{i\omega_f t} + C_2 e^{-i\omega_f t} = C_1 (\cos(\omega_f t) + i \sin(\omega_f t)) + C_2 (\cos(\omega_f t) + i \sin(\omega_f t)) \\ &= (C_1 + C_2) \cos(\omega_f t) + (iC_1 - iC_2) \sin(\omega_f t) = A \cos(\omega_f t) + B \sin(\omega_f t)\end{aligned}$$

With this definition the parameter becomes $A = A \cos(\phi)$ and $B = A \sin(\phi)$. We can rewrite the complementary function $\langle \hat{q}_d^c(t) \rangle$ as

$$\begin{aligned}\langle \hat{q}_d^c(t) \rangle &= A \cos(\omega_f t) \cos(\phi) + A \sin(\omega_f t) \sin(\phi), \\ \langle \hat{q}_d^c(t) \rangle &= A \cos(\omega_f t - \phi)\end{aligned}\quad (12)$$

where A is the amplitude of the oscillator, ϕ is a positive real constant, called the initial phase angle. According to equation (10), the applied time-dependent electrostatic force ($\xi(t)$) varies sinusoidally, so we expect the resulting steady-state $\langle \hat{q}_d^p(t) \rangle$ to vary sinusoidally. With this definition the parameter becomes $\langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle = \cos(\omega_f t)$, $\langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle = \sin(\omega_f t)$, and the variable function Wronskian method are $f(t) = \frac{\lambda}{m} + \frac{q_0 \alpha_a E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t})$ [12]. To take care of this situation, we must have a particular solution of the form

$$\langle \hat{q}_d^p(t) \rangle = \langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle u_p^1(t) + \langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle u_p^2(t) \quad (13)$$

Then, suppose the particular solution $\langle \hat{q}_d^p(t) \rangle$ of equation (10) from the $\xi(t)$ by using Wronskian's method find the trigonometry solution by using this form $\langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle = \cos(\omega_f t)$, $\langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle' = -\omega_f \sin(\omega_f t)$, $\langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle = \sin(\omega_f t)$, $\langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle' = \omega_f \cos(\omega_f t)$ and substitute in Wronskian's method, we get

$$W = \begin{vmatrix} \langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle & \langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle \\ \langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle' & \langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos(\omega_f t) & \sin(\omega_f t) \\ -\omega_f \sin(\omega_f t) & \omega_f \cos(\omega_f t) \end{vmatrix} = \omega_f$$

Consider the first Wronskian's method defined as W_1 , we satisfy the solution as

$$\begin{aligned} W_1 &= \begin{vmatrix} 0 & \langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle \\ f(t) & \langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle' \end{vmatrix} \\ &= \begin{vmatrix} 0 & \sin(\omega_f t) \\ \frac{\lambda}{m} + \frac{q_0 \alpha_0 E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) & \omega_f \cos(\omega_f t) \end{vmatrix} \\ W_1 &= -\sin(\omega_f t) \left(\frac{\lambda}{m} + \frac{q_0 \alpha_0 E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \right) \end{aligned} \quad (14)$$

So we set the parameter of into equation (14) as

$$W_1 = -\sin(\omega_f t) \left(\frac{\lambda}{m} + \delta (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \right) \quad (15)$$

We may write

$$\begin{aligned} u_p^1(t) &= \int_0^t \frac{W_1}{W} dt = -\frac{1}{\omega_f} \int_0^t \sin(\omega_f t) \left(\frac{\lambda}{m} + \delta (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \right) dt \\ u_p^1(t) &= -\frac{1}{\omega_f} \left(\frac{\lambda}{m} \int_0^t \sin(\omega_f t) dt + 2\sigma \delta \int_0^t e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) \sin(\omega_f t) dt \right. \\ &\quad \left. - \mu \int_0^t e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) \sin(\omega_f t) dt - \int_0^t \mu e^{-\mu t} \sin(\omega_f t) dt \right) \end{aligned} \quad (16)$$

Substituting $e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) = (e^{\beta t} - e^{-\tau t})/2$, $e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) = (e^{\beta t} + e^{-\tau t})/2$ into equation (16), we can rewrite equation (16) as

$$u_p^1(t) = -\frac{1}{\omega_f} \left(\frac{\lambda}{m} \int_0^t \sin(\omega_f t) dt + \delta\kappa_1 \int_0^t e^{\beta t} \sin(\omega_f t) dt - \delta\kappa_2 \int_0^t e^{-\tau t} \sin(\omega_f t) dt - \int_0^t \mu e^{-\mu t} \sin(\omega_f t) dt \right) \quad (17)$$

where we set the parameter $\beta = 2\sigma - \mu$, $\tau = 2\sigma + \mu$. The first integral function, the second integral function, the third integral function, and the fourth integral function can be found by evaluation of the right-hand side of equation (17) by using the integration by part technique. We can rewrite equation (17) as

$$u_p^1(t) = -\frac{1}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} (1 - \cos(\omega_f t)) + \left(\frac{\delta\kappa_1 e^{\beta t} (\beta \sin(\omega_f t) - \omega_f \cos(\omega_f t)) + \delta\kappa_1 \omega_f}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ \left. + \left(\frac{\delta\kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \delta\kappa_2 \omega_f}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \mu \omega_f}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \right] \quad (18)$$

Consider the second Wronskian's method defined as W_2 , we satisfy the solution as

$$W_2 = \begin{vmatrix} \langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle & 0 \\ \langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle' & f(t) \end{vmatrix} \\ = \begin{vmatrix} \cos(\omega_f t) & 0 \\ -\omega_f \sin(\omega_f t) & \frac{\lambda}{m} + \frac{q_0 \alpha_0 E_0}{2} (2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \end{vmatrix} \\ W_2 = \cos(\omega_f t) \left(\frac{\lambda}{m} + \delta(2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \right) \quad (19)$$

We may write

$$u_p^2(t) = \int_0^t \frac{W_2}{W} dt = -\frac{1}{\omega_f} \int_0^t \cos(\omega_f t) \left(\frac{\lambda}{m} + \delta(2\sigma e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) - \mu e^{-\mu t}) \right) dt \quad (20)$$

Substituting $e^{-\mu t} \sinh(2\sigma t) = (e^{\beta t} - e^{-\tau t})/2$, $e^{-\mu t} \cosh(2\sigma t) = (e^{\beta t} + e^{-\tau t})/2$ into equation (20), we can be solved equation (20) by using the integration by part technique, we get

$$u_p^2(t) = -\frac{1}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} (\sin(\omega_f t)) + \left(\frac{\delta\kappa_1 e^{\beta t} (\beta \cos(\omega_f t) - \omega_f \sin(\omega_f t)) + \delta\kappa_1 \beta}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ \left. + \left(\frac{\delta\kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \cos(\omega_f t) + \omega_f \sin(\omega_f t)) - \delta\kappa_2 \tau}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \cos(\omega_f t) + \omega_f \sin(\omega_f t)) - \mu^2}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \right] \quad (21)$$

Substituting $\langle \hat{q}_d^{c1}(t) \rangle = \cos(\omega_f t)$, $\langle \hat{q}_d^{c2}(t) \rangle = \sin(\omega_f t)$ and equation (18) and equation (21) into equation (13), thus a particular solution of the non-homogeneous differential equation of equation (10) as $\langle \hat{q}_d^p \rangle = \langle \hat{q}_d^{c1} \rangle u_p^1(t) + \langle \hat{q}_d^{c2} \rangle u_p^2(t)$

$$\begin{aligned} \langle \hat{q}_d^p(t) \rangle = & \frac{\sin(\omega_f t)}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} \sin(\omega_f t) + \left(\frac{\delta \kappa_1 e^{\beta t} (\beta \cos(\omega_f t) + \omega_f \sin(\omega_f t)) - \delta \kappa_1 \beta}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ & + \left(\frac{\delta \kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \cos(\omega_f t) - \omega_f \sin(\omega_f t)) - \delta \kappa_2 \tau}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \cos(\omega_f t) - \omega_f \sin(\omega_f t)) - \mu^2}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \Big] \\ & - \frac{\cos(\omega_f t)}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} (1 - \cos(\omega_f t)) + \left(\frac{\delta \kappa_1 e^{\beta t} (\beta \sin(\omega_f t) - \omega_f \cos(\omega_f t)) + \delta \kappa_1 \beta}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ & + \left(\frac{\delta \kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \delta \kappa_2 \omega_f}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \mu \omega_f}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \Big] \end{aligned} \quad (22)$$

Then, we will get the general solution in the non-homogeneous second-order linear differential equation for equation (10),

$$\begin{aligned} \langle \hat{q}_d(t) \rangle = & A \cos(\omega_f t - \phi) + \frac{\sin(\omega_f t)}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} \sin(\omega_f t) + \left(\frac{\delta \kappa_1 e^{\beta t} (\beta \cos(\omega_f t) + \omega_f \sin(\omega_f t)) - \delta \kappa_1 \beta}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ & + \left(\frac{\delta \kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \cos(\omega_f t) - \omega_f \sin(\omega_f t)) - \delta \kappa_2 \tau}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \cos(\omega_f t) - \omega_f \sin(\omega_f t)) - \mu^2}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \Big] \\ & - \frac{\cos(\omega_f t)}{\omega_f} \left[\frac{\lambda}{m} (1 - \cos(\omega_f t)) + \left(\frac{\delta \kappa_1 e^{\beta t} (\beta \sin(\omega_f t) - \omega_f \cos(\omega_f t)) + \delta \kappa_1 \beta}{(\beta^2 + \omega_f^2)} \right) \right. \\ & + \left(\frac{\delta \kappa_2 e^{-\tau t} (\tau \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \delta \kappa_2 \omega_f}{(\tau^2 + \omega_f^2)} \right) + \left(\frac{\mu e^{-\mu t} (\mu \sin(\omega_f t) + \omega_f \cos(\omega_f t)) - \mu \omega_f}{(\mu^2 + \omega_f^2)} \right) \Big] \end{aligned} \quad (23)$$

The equation (23) is called the expectation value of the displacement or the expectation value of the position of particle bound anharmonic oscillator potential by perturbed time-dependent external force ($\xi(t)$). Putting this into program the mathematica for plot graph. (Moonsri et. al., 2020)

Case 1: We can explain behavior of numerical for the expectation value of the displacement of the particle bounded in the anharmonic oscillator potential ($2\sigma < \mu$). We can show the relationship between default variables, dependent variables, and control variables in the table 1.

Case 2: We can explain behavior of numerical for the expectation value of the displacement of the particle unbounded in the anharmonic oscillator potential. We can show the relationship between default variables, dependent variables, and control variables in the table 2.

Table 1: Representation the relationship between default variables, dependent variables, and control variables in case of $(2\sigma < \mu)$

Dependent variable	Control variable	Independent variables
The expectation value of time-dependent displacement $\langle \hat{q}_d(t) \rangle$ In case of $(2\sigma < \mu)$	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, E_0 = 5N/C, \lambda = 0.5,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$q_0 = 0.3C, q_0 = 1.0C, q_0 = 1.7C,$ $q_0 = 2.4C$
	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, E_0 = 5N/C, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$\lambda_1 = 0.2C, \lambda_2 = 0.3C, \lambda_3 = 0.4C,$ $\lambda_4 = 0.5C$
	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$E_0 = 1.0N/C, E_0 = 4.0N/C,$ $E_0 = 7.0N/C, E_0 = 10.0N/C,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$f = 0.10Hz, f = 0.11Hz,$ $f = 0.12Hz, f = 0.13Hz,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $f = 0.12Hz, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$\phi = 0rad, \phi = \pi/8rad, \phi = \pi/6rad,$ $\phi = 4rad,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, f = 0.12Hz,$	$\alpha_a = 0.1\alpha_a = 0.3\alpha_a = 0.5$ $\alpha_a = 0.7$

RESULTS

We can explain behavior of numerical and result for the expectation value of the displacement oscillation in equation (23). These the expectation value of the displacement are illustrated in Figure 2 to Figure 7. Next, we can be illustrated plot graph relationship between of the expectation value of the displacement and time in the Figure 2 and Figure 4 $((2\sigma < \mu))$, where we can vary the parameter electric charge (Figure 2(a)), the parameter . (Figure 2(b)) respectively.

We can be illustrated plot graph relationship between of the expectation value of the displacement and time in the Figure 2(a) and Figure 2(b) $((2\sigma < \mu))$, where we can vary the parameter

Table 2: Representation the relationship between default variables, dependent variables, and control variables in case of ($2\sigma > \mu$)

Dependent variable	Control variable	Independent variables
The expectation value of time-dependent displacement $\langle \hat{q}_d(t) \rangle$ In case of ($2\sigma < \mu$)	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, E_0 = 5N/C, \lambda = 0.5,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$q_0 = 0.3C, q_0 = 1.0C, q_0 = 1.7C,$ $q_0 = 2.4C$
	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, E_0 = 5N/C, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$\lambda_1 = 0.2C, \lambda_2 = 0.3C, \lambda_3 = 0.4C,$ $\lambda_4 = 0.5C$
	$f = 0.12Hz, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$E_0 = 1.0N/C, E_0 = 4.0N/C,$ $E_0 = 7.0N/C, E_0 = 10.0N/C,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$f = 0.10Hz, f = 0.11Hz,$ $f = 0.12Hz, f = 0.13Hz,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $f = 0.12Hz, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, \alpha_a = 0.3$	$\phi = 0rad, \phi = \pi/8rad, \phi = \pi/6rad,$ $\phi = 4rad,$
	$E_0 = 5N/C, \sigma = 0.3, m = 1, \mu = 0.9,$ $\phi = 0rad, \lambda = 0.5, q_0 = 0.5C,$ $A = 0.5, f = 0.12Hz,$	$\alpha_a = 0.1\alpha_a = 0.3\alpha_a = 0.5$ $\alpha_a = 0.7$

the parameter electric charge (q_0) (Figure 2(a)), the parameter . (Figure 2(b)) respectively. From Figure 2(a), the light green color solid line is the electric charge (q_0) = 0.3C . The light blue color solid line is the electric charge (q_0) = 0.1C . The purple color solid line is the electric charge (q_0) = 1.7C . The pink color solid line is the electric charge (q_0) = 2.4C . The expectation value of displacement for particle is oscillation because the particles are bounded by potential energy and the electrostatic external force as a function of time at very time. From Figure 2(b), the solid light green, light blue, purple, and pink line, they are for the parameter $\lambda_1 = 0.2a.u., \lambda_2 = 0.3a.u., \lambda_3 = 0.4a.u.,$ and $\lambda_5 = 0.5a.u.,$ respectively. The graphs of the expectation value of displacement for particle has a shifted axis because of the electrostatic external force acting on the particle.

From Figure 3(a), the light green color solid line is the electrostatic value $E_0 = 1.0N/C$

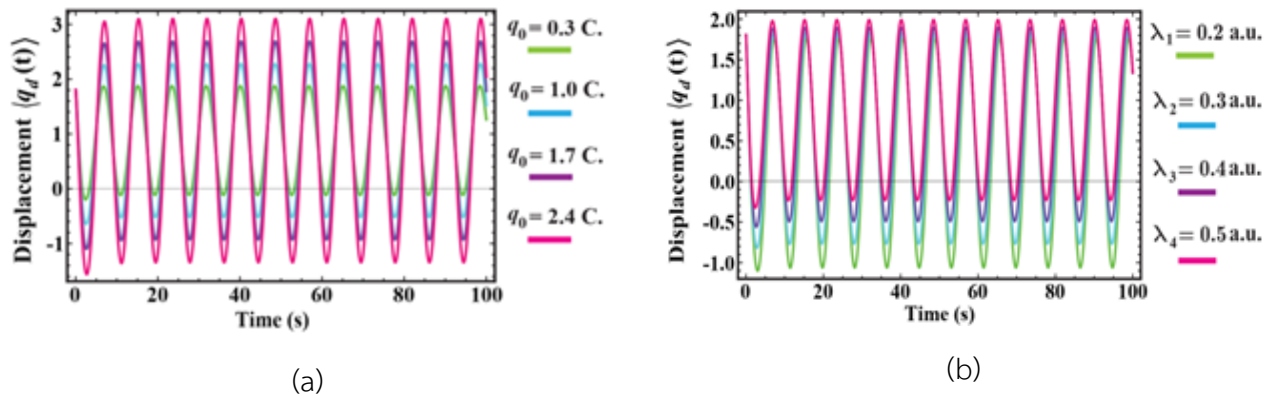


Fig. 2: Graphs of the expectation value of displacement. (a) The graphs illustrate the expectation value of displacement in case of vary the parameter electric charge. (b) The graphs illustrate the expectation value of displacement in case of vary the parameter λ .

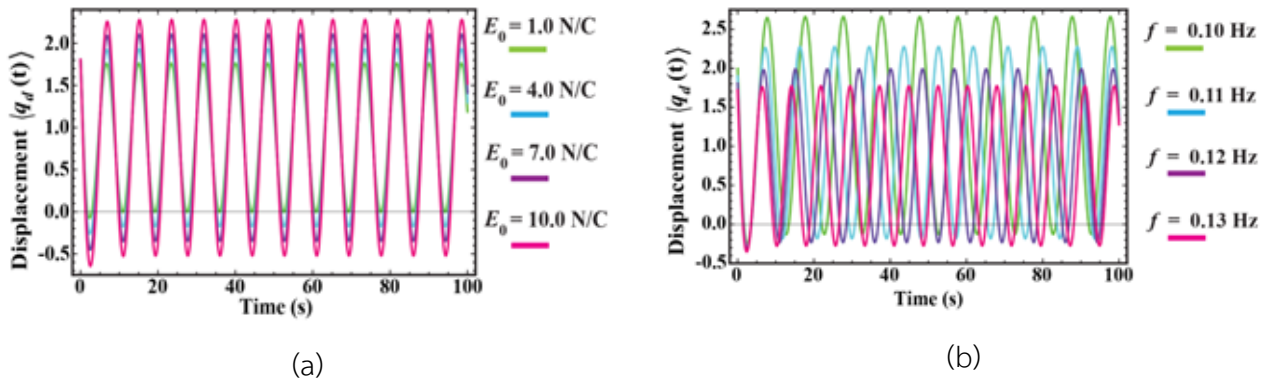


Fig. 3: Illustration of the relative parameter between the expectation value of displacement and time in equation (23) versus the electrostatic value E_0 (a) and the linear frequency value (f)(b).

. The light blue color solid line is the electrostatic value $E_0 = 4.0 \text{ N/C}$. The purple color solid line is the electrostatic value $E_0 = 7.0 \text{ N/C}$. The pink color solid line is the electrostatic value $E_0 = 10.0 \text{ N/C}$. From Figure 3(b), the light green color solid line is the linear frequency value $f = 0.1 \text{ Hz}$. The light blue color solid line is the linear frequency value $f = 0.11 \text{ Hz}$. The purple color solid line is the linear frequency value $f = 0.12 \text{ Hz}$. The pink color solid line is the linear frequency value $f = 0.13 \text{ Hz}$.

From Figure 4(a), the light green color solid line is the initial phase angle value $\phi_1 = 0 \text{ rad}$. The light blue color solid line is the initial phase angle value $\phi_2 = \pi/8 \text{ rad}$. The purple color solid line is the initial phase angle value $\phi_3 = \pi/6 \text{ rad}$. The pink color solid line is the initial phase angle value $\phi_4 = \pi/4 \text{ rad}$. From Figure 4(b), the light green color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.1 \text{ a.u.}$. The light blue color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.3 \text{ a.u.}$. The purple color

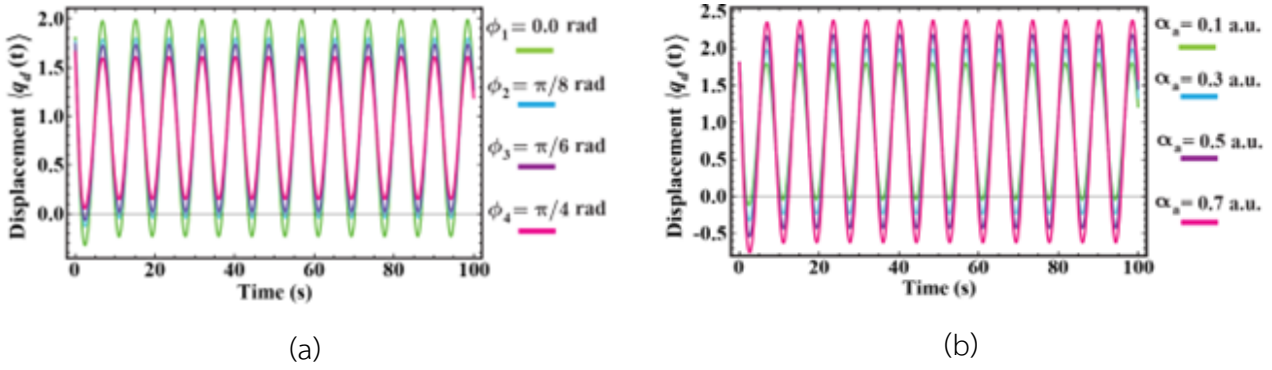


Fig. 4: Plots of the expectation value of displacement in equation (23) as a function of time showing versus the initial phase angle value (ϕ) (a) and the α_a parameter value (b)

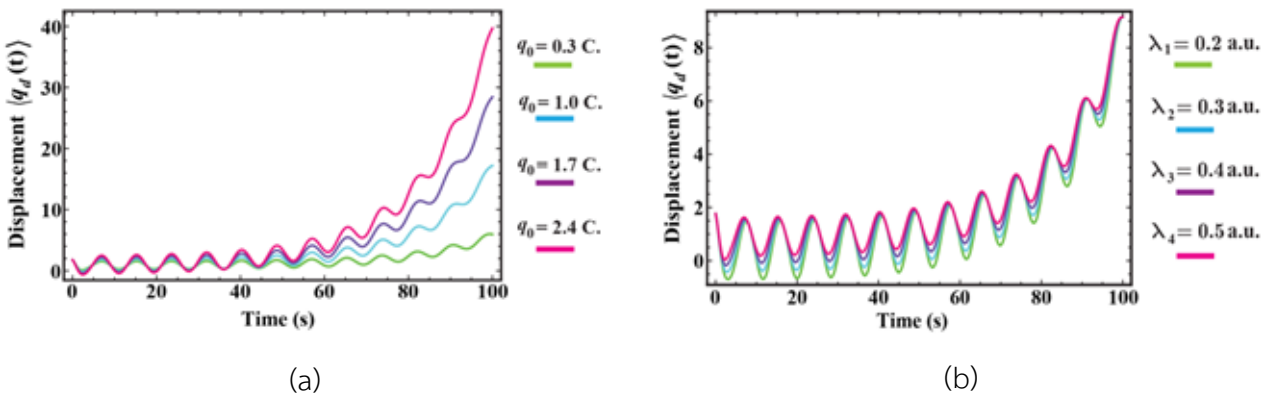


Fig. 5: Illustration of the relative parameter between the expectation value of displacement and time in equation (23) versus the electric charge value (q_0) (a) and the (λ) parameter value (b)

solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.5a.u.$. The pink color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.7a.u.$.

Finally, we can be illustrated plot graph relationship between of the expectation value of displacement and time in the Figure 5 to Figure 7 in case of ($(2\sigma > \mu)$), where we can vary the electric charge value (q_0) (Figure 5(a)), the parameter (λ) (Figure 5(b)), the electrostatic value (E_0) (Figure 6(a)) and the linear frequency value (f) (Figure 6(b)) respectively.

From Figure 5(a), the light green color solid line is the electric charge ($q_0 = 0.3C$. The light blue color solid line is the electric charge ($q_0 = 1.0C$. The purple color solid line is the electric charge ($q_0 = 1.7C$. The pink color solid line is the electric charge ($q_0 = 2.4C$. From Figure 5(b), the light green color solid line is the parameter $\lambda_1 = 0.2a.u.$. The light blue color solid line is the parameter $\lambda_2 = 0.3a.u.$. The purple color solid line is the parameter $\lambda_3 = 0.4a.u.$.

From Figure 6(a), the light green color solid line is the electrostatic value $E_0 = 1.0N/C$

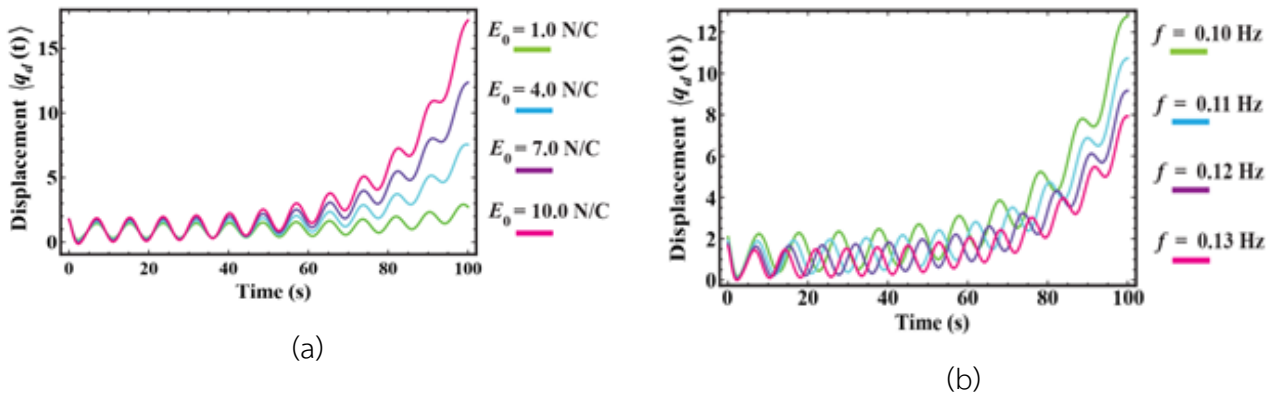


Fig. 6: Illustration of the relative parameter between the expectation value of displacement and time in equation (23) versus the electrostatic value E_0 (a) and the linear frequency value (f)(b)

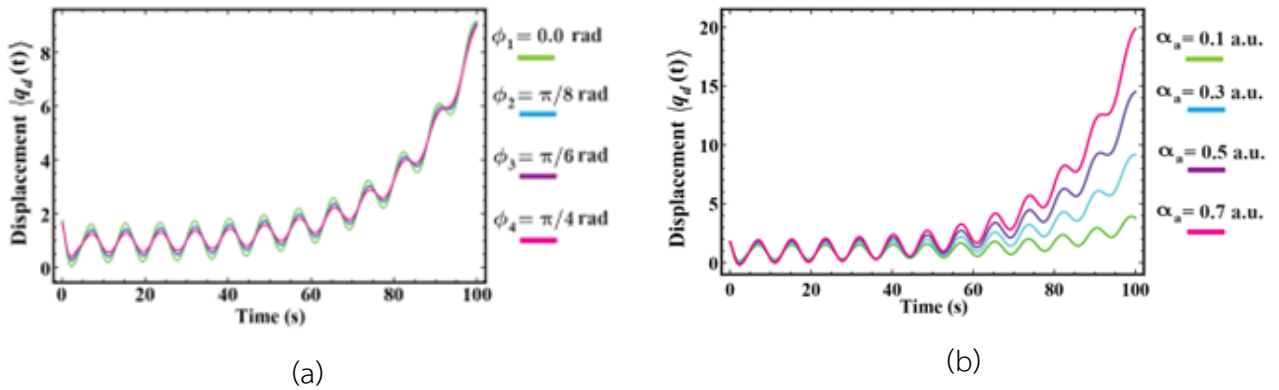


Fig. 7: Illustration of plots of the graph expectation value of displacement in equation (23) as a function of time versus the initial phase angle value ϕ (a) and the α_a parameter value (b).

. The light blue color solid line is the electrostatic value $E_0 = 4.0 \text{ N/C}$. The purple color solid line is the electrostatic value $E_0 = 7.0 \text{ N/C}$. The pink color solid line is the electrostatic value $E_0 = 10.0 \text{ N/C}$. From Figure 6(b), the light green color solid line is the linear frequency value $f = 0.1 \text{ Hz}$. The light blue color solid line is the linear frequency value $f = 0.11 \text{ Hz}$. The purple color solid line is the linear frequency value $f = 0.12 \text{ Hz}$. The pink color solid line is the linear frequency value $f = 0.13 \text{ Hz}$.

From Figure 7(a), the light green color solid line is the initial phase angle value $\phi_1 = 0 \text{ rad}$. The light blue color solid line is the initial phase angle value $\phi_2 = \pi/8 \text{ rad}$. The purple color solid line is the initial phase angle value $\phi_3 = \pi/6 \text{ rad}$. The pink color solid line is the initial phase angle value $\phi_4 = \pi/4 \text{ rad}$. From Figure 7(b), the light green color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.1 \text{ a.u.}$. The light blue color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.3 \text{ a.u.}$. The purple color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.5 \text{ a.u.}$. The pink color solid line is the parameter value $\alpha_a = 0.7 \text{ a.u.}$.

$$\alpha_a = 0.7 a.u. .$$

DISCUSSION

The expectation value of displacement of solution in equation (23) are plotted in Figure 2 - Figure 4 in case of $((2\sigma > \mu))$. From Figure 2(a), if higher the electric charge (q_0) parameter affect increasing value amplitude of the graph expectation value of displacement but wavelength of the expectation value of displacement invariable value. From Figure 2(b), if higher the λ parameter affect increasing value amplitude of the graph expectation value of displacement (-). Thus the effect of the interaction Heisenberg picture is that the product of the electric charge (q_0) parameter and the λ parameter and the expectation value of displacement is function of time and denote the change for particle anharmonic oscillator under influence of the time-dependent electrostatic damping force anharmonic oscillator. The physical meaning of this can be seen in Figure 3(a) the electrostatic value E_0 can increase with increase the expectation value of displacement of particle bound into the anharmonic oscillator potential. The physical meaning of this can be seen in Figure 3(b) the linear frequency (f_q) can increase with decrease the expectation value of displacement and wavelength of particle bound into the anharmonic oscillator potential. The behavior of the expectation value of displacement of solution in equation (23) is wave-Sine function oscillate under influence of the time-dependent electrostatic force ($\xi(t) = qE_0e^{-\mu t} \cosh^2(\sigma t)$). From Figure 4(a), if higher the initial phase angle affect decreasing value amplitude of the expectation value displacement of particle bound into the anharmonic oscillator potential but wavelength of the expectation value of displacement invariable value. From Figure 4(b), if higher the (α_a) parameter affect increasing value amplitude of the expectation value displacement. Thus the effect of the interaction Heisenberg picture is that the product of the initial phase angle, the (α_a) parameter and the expectation value of displacement denote the change for particle anharmonic oscillator potential under influence of the time-dependent external electrostatic force $\xi(t) = qE_0e^{-\mu t} \cosh^2(\sigma t)$.

The expectation value of displacement of solution in equation (23) are Illustrated in Figure 5 to Figure 7 in case of $((2\sigma > \mu))$. From Figure 5(a), if higher the initial electric charge parameter (q) affect increasing value amplitude of the expectation value of displacement of particle unbound into the anharmonic oscillator potential. From Figure 5(b), if higher the (λ) parameter value affect increasing value amplitude of the expectation value of displacement of particle unbound into the anharmonic oscillator potential. From Figure 6(a), if higher the electrostatic value affect increasing value amplitude of the expectation value of displacement of particle unbound into the anharmonic

oscillator potential. From Figure 6(a), if higher the linear frequency value affect decreasing value amplitude of the expectation value of displacement of particle unbound into the anharmonic oscillator potential. The physical meaning of this can be seen in Figure 7(a) the initial phase angle parameter (ϕ) can increase with decrease the expectation value of displacement and wavelength of particle unbound into the anharmonic oscillator potential. The physical meaning of this can be seen in Figure 7(b) the (α_a) parameter value can increase with supplement the expectation value of displacement of particle unbound into the anharmonic oscillator potential.

CONCLUSIONS

We can evaluate the expectation value of the displacement ($\langle \hat{q}_d \rangle$) of solution in equation (23) under influencer of the time-dependent electrostatic force ($\xi(t)$). Using the Heisenberg picture method and the principal of Wronskian method we showed that the treatment of the anharmonic oscillator potential system is simplified and that the expectation value of the displacement ($\langle \hat{q}_d \rangle$) of the system can be evaluated very easily. The behavior of the expectation value of the displacement ($\langle \hat{q}_d \rangle$) for the anharmonic oscillator potential system is wave oscillate (function of Sine or Cosine) ($2\sigma < \mu$) bounded state with that depend on the parameter $f, \sigma, q_0, \mu, \phi, E_0$ and A . The initial electric charge q_0 , the (λ) parameter value, the electrostatic value E_0 and the (α_a) parameter value is directly proportional to the expectation value of the displacement. The linear frequency value f , the initial phase angle ϕ is inversely proportional to the expectation value of the displacement.

The deportation of the expectation value of the displacement ($\langle \hat{q}_d \rangle$) for the anharmonic oscillator potential system is wave oscillate increase exponential function ($2\sigma > \mu$) unbounded state with that ancillary the parameter $f, \sigma, q_0, \mu, \phi, E_0$ and A . We can apply the expectation value of the displacement result to the particular case of evaluation the propagator from the Newtonian dynamics of ($\langle \hat{q}_d \rangle$). The initial electric charge q_0 , the (λ) parameter value, the electrostatic value E_0 and the (α_a) parameter value is directly proportional to the expectation value of the displacement. The linear frequency value f , the initial phase angle ϕ is inversely proportional to the expectation value of the displacement.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the Phetchabun Rajabhat University, Department of Science Ed-

ucation. And also Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University for partial support.

Reference

- [1] Russell A. (1995). Time-dependent perturbation and exact results for the periodically driven quantum harmonic oscillator, *American Journal of Physics*, 63, 141-147.
- [2] Andrews, M. (2010). Quantum mechanics with uniform forces. *American Journal of Physics*, 78(12), 1361-1364.
- [3] Sang P. K. (2003). Decoherence of quantum damped oscillator, *Journal of the Korean Physical Society*, 43(4), 452-460
- [4] Cordero-Soto, R., Suazo, E., & Suslov, S. K., (2009). Models of damped oscillators in quantum mechanics. *Journal of Physical Mathematics*, 1, 1-16.
- [5] Samuel K. & Peter P. (2013). The velocity operator in quantum mechanics in noncommutative space, *Journal of Mathematical Physics*, 54, 1021031-10210311
- [6] Mark C. P. (2014). Quantum mechanics from Newton's second law and the canonical commutation relation , *European Journal of Physics*, 35(045014) pp.1-11
- [7] Shigeji F., James M., & Akira S. (2014). On the Heisenberg and Schrodinger pictures, *Journal of Modern Physics*, 5, 171-176.
- [8] Chew, W. C., Liu, A. Y., Salazar-Lazaro, C. H., & Sha, W. E. I., (2016). Quantum electromagnetics: A new look-part I and part II. *IEEE J. Multiscale Multiphys. Comput. Tech*, 1, 73-97.
- [9] Chew, W. C., Liu, A. Y., Salazar-Lazaro, C. H., & Dong, Y. N., (2019). Hamilton equations, commutator and energy conservation. *quantum report*, 1, 295-303.
- [10] Castanos L.O. & Zuniga-Segundo A. (2019). The forced harmonic oscillator : Coherent states and the RWA, *American Journal of Physics*, 87, 815-823.
- [11] Jussi L. & Jukka L. (2020). The Heisenberg Uncertainty Principle as an endogenous equilibrium property of stochastic optimal control system in quantum mechanics, *Symmetry*, 12(1533), 1-8.
- [12] Moonsri P., Yakaw P. & Hutem A. (2020). CREATION MODEL OF TIME-DEPENDENT LOWERING OPERATOR AND RAISING OPERATOR UNDER TIME-DEPENDENT EXTERNAL DAMPING FORCE SIMPLE HARMONIC OSCILLATOR. *PSRU Journal of Science and Technology*, 5(3), 52-60.

- [13] Nouredine Z. (2001), Quantum Mechanics concepts and applications, NewYork, USA, John Wiley & Sons, 115-125.
- [14] Anton Z.C. (2002), Nonrelativistic Quantum Mechanics, Singapore, World Scientific Publishing, 250-255.
- [15] Kurt G. & Tung-Mow Y., (2004). Quantum Mechanics : Fundamentals, second edition, NewYork, USA, Springer Publishing, 60-71, 174-1
- [16] Anton Z.C. (2002), Nonrelativistic Quantum Mechanics Problem solutions, Singapore, World Scientific Publishing, 219-230.

The Resampling Method for Estimating Variance of the Generalized Regression Estimator in the Presence of Nonresponse

Chugiat Ponkaew*

Department Applied Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology

Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun, Thailand

Abstract

This paper aims to propose new variance estimators for the generalized regression estimator to estimate the population mean under a reverse framework, where nonresponse occurs in the study variable, as proposed by Ponkaew [1] in 2018. The proposed variance estimators are investigated using two resampling techniques, namely the Jackknife and the Rao-Wu bootstrap. The new variance estimator does not require joint inclusion probabilities, which differs from the variance estimator proposed by Ponkaew [1]. The effectiveness of the suggested estimators is examined through simulation experiments and an application to air pollution data from Phetchabun province, Thailand. The findings demonstrate that, in comparison to other estimators, the proposed Rao-Wu bootstrap variance estimator achieves the highest precision, producing the smallest the root mean square error.

Keywords : Jackknife Method, Missing Data, Variance, Estimation

Introduction

In 1952, the estimator of Horvitz and Thompson [2] is the best for estimating the population mean of the study variable in the full response scenario and unequal probability sampling without replacement design (UPWOR). Later, in 1994 Deville and Särndal [3] devised the generalized regression (GREG) estimator to estimate the population mean when auxiliary variable is provided and there

*Corresponding author : chugiat.pon@pcru.ac.th

is a correlation with the study variable. The GREG is equal to the estimator developed by Horvitz and Thompson [2] with an additional adjustment term derived from the auxiliary variable. In practice, when the chosen distance function is the Chi-square distance, the GREG estimator is a particular instance of the calibration estimator was discussed by Deville and Sarndal [4]. In 2005, non-response is present according to Särndal and Lundström [5] suggestion the GREG estimator can estimate the population mean under the assumption that the response probability is known. A two-phase framework was used to explore variance and related estimators. In 2018, Ponkaew [1] suggested a linear GREG estimator for estimating the population mean under the presumption that the response probability is the same for all sample units. Ponkaew [1] also explored variance and its estimator of linear GREG estimator under the reverse framework and negligible sampling fraction. Joint inclusion probabilities are needed in the computation of the value for the variance estimator of Ponkaew [1]. Under the UPWOR sampling design, it can be difficult to calculate the joint inclusion probabilities, though. As a result, it is challenging to establish the value of variance estimator of Ponkaew [1] in actual use.

The GREG estimator takes the form of a nonlinear function, its characteristics, such as expectation or variance, can be discovered by applying the Taylor linearization approach to convert the GREG estimator into a linear function. As a result, this linear function can be used to approximate the expectation or variance of the GREG estimator. Since the GREG estimator function consists of four estimators, the Taylor linearization approach necessitates a distinct derivation for each individual estimator. Additionally, the variance estimator of the GREG estimator under the UPWOR sampling design requires joint inclusion probability, which may be challenging to obtain for complex designs.

In contrast to Taylor linearization procedures, a resampling method is an alternative strategy for investigating the GREG estimator's variance estimator because it does not call for joint inclusion probabilities or separate derivations for each individual estimator. Resampling techniques like Jackknife and Bootstrap are used with data from the economy or education. The use of the Jackknife produce to reduce estimator bias and standard error was initially discussed by Quenouille [6] in 1949. If the estimator is not smooth, the Jackknife could, however, fail disastrously. The Bootstrap approach was first presented by Efron [7] in 1979, and it was further modified by Efron and Tibshirani [8] in 1994. In contrast to the Jackknife method, this one does not demand that the estimator be smooth. In the presence of nonresponse Haziza [9] discussed the Jackknife and Bootstrap procedure to estimated variance of population mean estimator. However, Haziza [9] discussed a method to estimate the variance of the population mean estimator using only simple random sampling. In this paper, the author extends the method of Haziza [9] to estimate the variance of the GREG estimator on the UPWOR sampling design.

Materials and Methods

1. Notation and assumption

Let $U = \{1, 2, \dots, N\}$ be a finite population of size N and $y_i; i = 1, 2, \dots, N$ be the value of study variable y . The aim of this study is to investigate the estimator of variance of the GREG estimator in the presence of nonresponse and sampling fraction is negligible under a reverse framework. The sample s of size n , selected with probability $p(s)$ according to sampling design s .

Suppose that information on auxiliary and size variable exists, which are related to study variable y as denoted by x and k respectively. It is assumed that the values of x and k are all greater than zero and known for all units in U . Let π_i and π_{ij} be the inclusion probabilities for the i th, and i th and j th unit of U . Let $E_s(\bullet)$ and $V_s(\bullet)$ denote the expectation and variance operators with respect to the sampling design.

Under nonresponse, let $n_r(\subset n)$ denotes the total number of respondents in response sample $s_r(\subset s)$. Let subscript R denote the nonresponse mechanism and r_i denote the response indicator variable of y_i as defined by, $r_i = 1$ if y_i is observed otherwise $r_i = 0$. Let P_i denote the response probability as defined by $p_i = P(r_i = 1)$. The author assumes that $p_i = p$ for all units in U . Let $E_R(\bullet)$ and $V_R(\bullet)$ denote the expectation and variance operators with respect to the nonresponse mechanism and denote the overall expectation and variance operators. So, $E_R(r_i) = P(r_i = 1) = p$ and $V_R(r_i) = p(1 - p)$.

2. Midzuno scheme

In order to select samples of size from a population of size, Midzuno [10] proposed the UPWOR design in 1952 as follows:

(i) Use a probability proportional to size to select one unit.

(ii) Use the SRSWOR design to select units from the remaining units of the population. In this scheme, the is given by,

$$p(s) = \begin{cases} \frac{K}{\sum_{i \in s} K_i} & , n(s) = n \\ \text{otherwise} & \end{cases}$$

where $K = \frac{N}{n} \sum_{i \in s} K_i$. In Midzuno [10] scheme the π_i can be obtained by, $\pi_i = \frac{N-n}{N-1} \frac{K_i}{K} + \frac{n-1}{N-1}$.

3. The GREG estimator in the presence of nonresponse

In a full response case, Deville and Särndal [3] proposed their GREG estimator based on sample elements in s . In the presence of nonresponse, Ponkaew [1] proposed GREG estimator based on response set s_r defined by:

$$\hat{Y}_{GREG} = \sum_{i \in s_r} \frac{d_i y_i}{P_i} + \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s_r} \frac{d_i x_i}{P_i} \right]' \left(\sum_{i \in s_r} \frac{d_i c_i x_i y_i}{P_i} \right) \left(\sum_{i \in s_r} \frac{d_i c_i x_i x'_i}{P_i} \right)^{-1} = \hat{Y}_r + [x - \hat{x}_r]' \hat{\beta}_r,$$

where

$$\hat{Y}_r = \sum_{i \in s_r} \frac{d_i y_i}{P_i}, \hat{x}_r = \sum_{i \in s_r} \frac{d_i x_i}{P_i}, \hat{\beta}_r = \left(\sum_{i \in s_r} \frac{d_i c_i x_i y_i}{P_i} \right) \left(\sum_{i \in s_r} \frac{d_i c_i x_i x'_i}{P_i} \right)^{-1}, x = \sum_{i \in U} x_i, d_i = 1/\pi_i$$

is design weight, c_i are specified constants and $x_i = (1, x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{iJ})'$ are column vector of auxiliary variable with $J \geq 1$. Later, Ponkaew [1] proposed the linear GREG estimator to estimate population total under reverse framework and $p_i = p$ for all defined by,

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{GREG} &= \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{P} + \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{P} \right]' \left(\sum_{i \in s} \frac{r_i d_i c_i x_i y_i}{P} \right) \left(\sum_{i \in s} \frac{d_i c_i x_i x'_i}{P} \right)^{-1} \\ &= \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{P} + \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{P} \right]' \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x'_i \right)^{-1} \\ &= \hat{Y}_r + [X - \hat{X}_r]' \hat{\beta}_r, \end{aligned}$$

where

$$\hat{Y}_r = \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{P}, \hat{X}_r = \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{P}$$

and

$$\hat{\beta}_r = \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x'_i \right)^{-1}$$

Then, the linear GREG estimator to estimate population mean is equal to

$$\begin{aligned}\hat{\bar{Y}}_{GREG} &= \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{p} + \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{P} \right]' \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x_i' \right)^{-1} \\ &= \hat{\bar{Y}}_r + [\bar{X} - \hat{\bar{X}}_r]' \hat{\beta}_r,\end{aligned}\quad (1)$$

where

$$\hat{\bar{Y}}_r = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{p}, \quad \hat{\bar{X}}_r = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{p}.$$

Under, reverse framework the variance of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ can be obtained by, $V(\hat{\bar{Y}}_{GREG}) = E_R V_S(\hat{\bar{Y}}_{GREG}|R) + V_R E_S(\hat{\bar{Y}}_{GREG}|R)$. Haziza [9] state that, under reverse framework with sampling fraction is negligible the variance of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ can be approximated by $V(\hat{\bar{Y}}_{GREG}) \cong E_R V_S(\hat{\bar{Y}}_{GREG}|R)$. From equation (1) we see that $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ has form of nonlinear function because it consisting of four estimators that is $\frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{p}$, $\frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{p}$, $\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i$ and $\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x_i'$ then the variance of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ can be obtained by using Taylor linearization approach or an automated linearization approach to transform this estimator into a linear function. The linear form of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ by using automated linearization approach is $\hat{\bar{Y}}_{GREG,lin} = \hat{X}'\beta + \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{e_i}{\pi_i}$ where $e_i = \frac{r_i}{p}(y_i - x_i'\beta)$. Then, the variance of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ can be approximated by,

$$V(\hat{\bar{Y}}_{GREG}) \cong E_R V_S(\hat{\bar{Y}}_{GREG}|R) = \frac{1}{N^2} \left[\sum_{i \in U} \frac{1}{p} D_i e_i^2 + \sum_{i \in U} \sum_{i \setminus \{j\} \in U} D_{ij} e_i e_j \right],$$

where $D_i = (1 - \pi_i)\pi_i^{-1}$, $D_{ij} = (\pi_{ij} - \pi_i\pi_j)(\pi_i\pi_j)^{-1}$, $e_i = (y_i - x_i'\beta)$

and $\beta = (\sum_{i \in U} c_i x_i x_i^{-1}) (\sum_{i \in U} c_i x_i y_i)$. The estimator of $V(\hat{\bar{Y}}_{GREG})$ is given by,

$$\hat{V}(\hat{\bar{Y}}_{GREG}) = \frac{1}{N^2 P^2} \left[\sum_{i \in s} r_i \hat{D}_i \hat{e}_i^2 + \sum_{i \in U} \sum_{i \setminus \{j\} \in U} r_i r_j \hat{D}_{ij} \hat{e}_i \hat{e}_j \right], \quad (2)$$

where $\hat{D}_i = (1 - \pi_i)\pi_i^{-2}$, $\hat{D}_{ij} = (\pi_{ij} - \pi_i\pi_j)(\pi_i\pi_j\pi_j)^{-1}$,

$$\hat{\beta}_r = \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i, c_i, x_i x' \right)^{-1} \text{ and } \hat{e}_i = (y_i - x'_i \hat{\beta}_r)$$

Due to the fact that the technique for calculating variance estimator under UPWOR requires joint inclusion probabilities π_{ij} then the variance estimator of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ are difficult to calculate. Since, the joint inclusion probabilities are probability function that two difference units in population include in sample that is $\pi_{ij} = \sum_{s \supset \{i,j\}} P(s)$. In 2003 Berger [11] stated that size of joint inclusion probabilities set is $n(n-1)/2$ where n denotes sample size then the computational value of estimator variance may be inconvenient when n is large. Then, Hájek [12] approximated π_{ij} under rejective sampling defined by, $\hat{\pi}'_{ij} = \pi_i \pi_j \left[1 - \frac{(1-\pi_i)(1-\pi_j)}{c} \right]$, where $c = \sum_{i \in U} c_i$ and $c_i = \pi_i(1 - \pi_i)$. Let $\hat{D}'_{ij} = (\hat{\pi}'_{ij} - \pi_i \pi_j)(\pi'_i \pi_j)^{-1}$ then $\hat{V} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right)$ in (2) can be approximated by,

$$\hat{V}^{(1)} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right) = \frac{1}{N^2 \hat{p}^2} \left[\sum_{i \in s} r_i \hat{D}_i \hat{e}_i^2 + \sum_{i \in U} \sum_{j \in U} r_i r_j \hat{D}'_{ij} \hat{e}_i \hat{e}_j \right]$$

If is unknown $\hat{V}^{(1)} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right)$ can be calculated from,

$$\hat{V}^{(1)} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right) = \frac{1}{N^2 \hat{p}^2} \left[\sum_{i \in s} r_i \hat{D}_i \hat{e}_i^2 + \sum_{i \in U} \sum_{j \in U} r_i r_j \hat{D}'_{ij} \hat{e}_i \hat{e}_j \right] \quad (3)$$

where $\hat{p} = \sum_{i \in s} r_i d_i / \sum_{i \in s} d_i$.

4. The resampling method for estimating variance

Since $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ has form of nonlinear function then its variance can be approximated by using automated linearization approach or Taylor linearization approach. The second approach requires separate derivation for each particular estimator then it is difficult to determine a linear form of this estimator. Furthermore, the variance estimator of $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ by using automated linearization approach and Taylor linearization approach requires π_{ij} in the step to compute the value that may be difficult to obtain for complex designs such as the UPWOR sampling design. Then, Haziza [9] introduces an alternative method namely the resampling method to estimate the variance of the estimator when the estimator has form of a nonlinear function and sampling design is simple random sampling without replacement (SRSWOR). The resampling method discussed by Hazza [9] consists of the jackknife and the Rao-Wu bootstrap method as follows.

4.1 The jackknife method

Under SRSWOR sampling design, let $\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{i \in U} y_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$, $s = \{1, 2, \dots, n\}$ is a sample set size n , $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} d_i y_i$ is the estimator of $\bar{Y}$, $j = 1, \tilde{s} = \{j\}$ and $d_i = \frac{N}{n}$. The jackknife

variance estimator is obtained as follows:

$$(i) \hat{s} = s - \tilde{s}.$$

(ii) Adjust the design weights d_i to obtain the so-called jackknife weights $d_{i(j)}$ where is given by $d_{i(j)} = \frac{N}{n} \frac{n}{n-1} = \frac{N}{n-1}$ if $i \neq j$ otherwise $d_{i(j)} = 0$.

$$(iii) \text{ Compute } \bar{y}_{(j)} = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} d_{i(j)} y_i \text{ and let } j = j + 1.$$

(iv) Repeat the steps (i)-(iii) if $j \neq n$ otherwise stop process.

The the jackknife variance estimator of $\bar{y}$ is defined by,

$$\hat{V}_j = \frac{n-1}{n} \sum_{i \in s} (\bar{y}_{(j)} - \bar{y})^2. \quad (4)$$

4.2 The Rao-Wu bootstrap method

Rao-Wu bootstrap was proposed by Rao and Wu [13] in 1988. This method may be described as follows. Let $s = \{1, 2, \dots, n\}$ is a sample set size n , $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i \in s} y_i$ is the estimator of $\bar{Y}$, $\tilde{n}$ is bootstrap sample size, $B = \{1, 2, \dots, \tilde{B}\}$ and $b = 1$. We note that $\tilde{n}$ may be different from n .

(i) Compute $z_i = \bar{y} + \sqrt{C}(y_i - \bar{y})$ where $i = 1, 2, \dots, n$, $C = \frac{\tilde{n}(1-f)}{n-1}$, $f = \frac{n}{N}$ and let $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$.

(ii) Draw a simple random sample $\tilde{Z} = \{\tilde{Z}_1, \tilde{Z}_2, \dots, \tilde{Z}_{\tilde{n}}\}$ with replacement from $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ and let $\tilde{s} = \{1, 2, \dots, \tilde{n}\}$. Compute $\hat{\tilde{Z}}_{(b)} = \frac{1}{\tilde{n}} \sum_{i \in \tilde{s}} \tilde{Z}_i = \frac{1}{\tilde{n}} \sum_{i=1}^{\tilde{n}} \tilde{Z}_i$ and let $b = b + 1$.

(iii) If $b = \tilde{B}$ stop process otherwise repeat (iii).

The Rao-Wu bootstrap variance estimator is given by,

$$\hat{V}_{RW} = \frac{1}{\tilde{B}} \sum_{b \in B} \left(\hat{\tilde{Z}}_{(b)} - \hat{\tilde{Z}}_{(\bullet)} \right)^2, \quad (5)$$

where

$$\hat{\tilde{Z}}_{(\bullet)} = \frac{1}{\tilde{B}} \sum_{b \in B} \hat{\tilde{Z}}_{(b)}$$

Results and Discussion

1. The proposed variance estimators in the presence of nonresponse

This section, we aim to propose variance estimators of liner GREG estimator by using resampling method. Recall from (1) the linear GREG estimator is given by

$$\hat{\bar{Y}}_{GREG} = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{p} + \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{p} \right]' \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x_i' \right)^{-1} \quad (6)$$

Then, we modified the Jackknife variance to the estimated variance of the linear GREG estimator as follows, from sample $s = \{1, 2, \dots, n\}$ of size was selected according to the UPWOR sampling design.

(i) Remove the unit $j = 1$ from the sample.

(ii) Adjust the design weights $d_i = 1/\pi_i$ to obtain the so-called jackknife weights $\tilde{d}_{i(j)}$ and defined by, $\tilde{d}_{i(j)} = \frac{n}{n-1} d_i$ if $i \neq j$ otherwise $\tilde{d}_{i(j)} = 0$ and compute $\hat{\bar{Y}}_{GREG(j)}$ in equation (7),

$$\hat{\bar{Y}}_{GREG(j)} = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i \tilde{d}_{i(j)} y_i}{\hat{p}_{(j)}} + \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{\tilde{d}_{i(j)} x_i}{\hat{p}_{(j)}} \right]' \left(\sum_{i \in s} r_i \tilde{d}_{i(j)} c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} \tilde{d}_{i(j)} c_i x_i x_i' \right)^{-1}, \quad (7)$$

where $\hat{p}_{(j)} = \sum_{i \in s} r_i \tilde{d}_{i(j)} / \sum_{i \in s} \tilde{d}_{i(j)}$

(iii) Insert back unit $j = 1$ deleted in step (i) .

(iv) Repeat the steps (i)-(iii) for units $j = 1, 2, \dots, n$.

The estimator of variance for the estimator of [5] is obtained as follows:

$$\hat{V}^{(2)} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right) = \frac{n-1}{n} \sum_{i \in s} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG(j)} - \hat{\bar{Y}}_{GREG} \right)^2 \quad (8)$$

where $\hat{\bar{Y}}_{GREG(j)}$ defined in equation (7) and $\hat{\bar{Y}}_{GREG}$ defined in equation (6).

The variance estimator of the linear GREG estimator based on the Rao-Wu bootstrap.

(i) Compute

$$\hat{\bar{Y}}_{GREG} = \frac{1}{N} \sum_{i \in s} \frac{r_i d_i y_i}{p} + \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in s} \frac{d_i x_i}{p} \right]' \left(\sum_{i \in s} r_i d_i c_i x_i y_i \right) \left(\sum_{i \in s} d_i c_i x_i x_i' \right)^{-1}$$

(ii) $z_i = \hat{\bar{Y}}_{GREG} + \sqrt{C}(y_i - \hat{\bar{Y}}_{GREG})$ where $i = 1, 2, \dots, n$, $C = \frac{\tilde{n}(1-f)}{n-1}$, $f = \frac{n}{N}$ and let $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$

(ii) Draw a simple random sample $\tilde{Z} = \{\tilde{z}_1, \tilde{z}_2, \dots, \tilde{z}_{\tilde{n}}\}$ with replacement from $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ and let $\tilde{s} = \{1, 2, \dots, \tilde{n}\}$. Compute,

$$\hat{\bar{Z}}_{GREG(b)} = \frac{1}{N} \sum_{i \in \tilde{s}} \frac{r_i d_i \tilde{z}_i}{p} + \frac{1}{N} \left[\sum_{i \in U} x_i - \sum_{i \in \tilde{s}} \frac{d_i x_i}{p} \right]' \left(\sum_{i \in \tilde{s}} r_i d_i c_i x_i \tilde{z}_i \right) \left(\sum_{i \in \tilde{s}} d_i c_i x_i x_i' \right)^{-1}$$

and let $b = b + 1$.

(iii) If $b = \tilde{B}$ stop process otherwise repeat (iii).

The Rao-Wu bootstrap variance estimator is given by,

$$\hat{V}^{(3)} \left(\hat{\bar{Y}}_{GREG} \right) = \frac{1}{\tilde{B}} \sum_{b \in B} \left(\hat{\bar{Z}}_{GREG(b)} - \hat{\bar{Z}}_{GREG(\cdot)} \right)^2. \quad (9)$$

where $\hat{\bar{Z}}_{GREG(\cdot)} = \frac{1}{\tilde{B}} \sum_{b \in B} \hat{\bar{Z}}_{GREG(b)}$.

2. Simulation studies

In this section, the author have compared the efficiency of the variance estimator of linear GREG estimator with estimated joint inclusion probability $\hat{V}^{(1)}$, Jackknife variance $\hat{V}^{(2)}$ and Rao-Wu Bootstrap $\hat{V}^{(3)}$ through simulation studies. First of all, the study variable of population size 5,000 is obtained by adjusting the model of Cheng, Slud and Hogue [14] as follows:

$$y_i = 5x_i^2 + 2x_i + 20k_i + e_i; i = 1, 2, 3, \dots, 5000, \quad (10)$$

where x and k are auxiliary and size variables respectively. We generate x_i from Gamma $(9, 3/2)$ k_i from $U(1, 5)$ and e_i from $N(0, 9)$. Next, the response probability or p will be consequently defined as constant 0.5, 0.7 and 0.9. In each p , $A_i \sim U(0, 1)$ is generated and it is compared with the p . A result r_i is 1 if $A_i \leq p$; otherwise r_i is 0. Then, the sample s of size $n = 5\%$, 10% , 20% and 30% are selected according to Midzuno [10] scheme. Finally, the efficiency of the proposed variance estimator with the existing variance estimator are compared by using the relative root mean square error defined in Definition 1.

Definition 1. Let $\hat{\theta}$ be the GREG estimators of a population total, $V(\hat{\theta})$ is the variance of $\hat{\theta}$ and $\hat{V}(\hat{\theta})$ are the estimators of $V(\hat{\theta})$. We define $\hat{V}(\hat{\theta})_{(m)}$ as the variance estimator in iteration m^{th} and M is the

Table 1: The root mean square error of the existing variance estimator and proposed variance estimators

P	n	RRMSE of the variance estimators		
		$\widehat{V}^{(1)}(\widehat{Y}_{GREG})$	$\widehat{V}^{(2)}(\widehat{Y}_{GREG})$	$\widehat{V}^{(3)}(\widehat{Y}_{GREG})$
0.5	5%	0.9838	0.6494	0.4846
	10%	0.9815	0.5006	0.3156
	20%	0.9801	0.4853	0.2276
	30%	0.9799	0.4825	0.2003
0.7	5%	0.9703	0.5535	0.4592
	10%	0.9693	0.4892	0.3223
	20%	0.9578	0.4026	0.2201
	30%	0.9476	0.3862	0.1876
0.9	5%	0.94702	0.4454	0.3577
	10%	0.9447	0.4213	0.2757
	20%	0.9434	0.2990	0.2050
	30%	0.9327	0.2808	0.1663

number of replications. The relative root mean square error of ($PRMSE$) given by

$$PRMSE(\widehat{V}(\widehat{\theta})) = \sqrt{\frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M (\widehat{V}(\widehat{\theta})_M - V(\widehat{\theta}))^2}$$

Table 1 demonstrated that the proposed Rao-Wu Bootstrap variance estimator performed admirably at all levels of response probabilities and sample sizes because it has the smallest root mean square error compared to the Jackknife variance estimator and the variance estimator with estimated joint inclusion probability.

3.3 An application to real data

We used air pollution data from Thailand's Phetchabun province to apply proposed variance estimators in this section. The data are from the Air Quality and Noise Management Division Bureau during March 2023. The study variable y is PM2.5 (Mg/m^3), the temperature (Celsius) is auxiliary variable x and The size variable k is fine particulate matter 10 micrometers or less in diameter (PM10 : Mg/m^3). The estimated value of PM2.5 is $63.34 Mg/m^3$. The nonresponse rate for this study is 2%. A sample of size 300 records is chosen from a population of size 741 records using the scheme of [14]. The results are displayed in Table 2.

Table 2: The estimated mean and variance of PM2.5 in Phetchabun province

Estimator	Estimated mean of PM2.5	Variance estimators	Estimated variance of mean of PM2.5
$\hat{\bar{Y}}_{GREG}$	61.46	$\hat{V}^{(1)}(\hat{\bar{Y}}_{GREG})$	1.5333
		$\hat{V}^{(2)}(\hat{\bar{Y}}_{GREG})$	1.0494
		$\hat{V}^{(3)}(\hat{\bar{Y}}_{GREG})$	0.7350

The results from the air pollution data in Thailand's Phetchabun province from Table 2 demonstrate that the Rao-Wu bootstrap variance estimator's estimated variance of the mean of PM 2.5 is the smallest value compared to other estimators.

Conclusion

Jackknife and bootstrap methods are resampling techniques used to estimate the variance of nonlinear estimators, such as the GREG estimator. The jackknife method is more suitable for small datasets, while the bootstrap method produces better results for data with skewed distributions. This paper, the jackknife and Rao-Wu bootstrap methods were used to evaluate the variance estimators of the GREG estimator under UPWOR. The calculated joint inclusion probability or real value are not necessary for the proposed variance estimators. The suggested estimator using Rao-Wu bootstrap outperformed the other variance estimators, according to the simulation results and application to the air pollution data. However, the proposed variance estimators are studied under the assumption that the nonresponse mechanism is MCAR, which is generally unrealistic in practice. Therefore, future work should extend these estimators to account for the MAR mechanism.

Reference

- [1] Ponkaew, C. 2018. Estimation for population total in the presence of nonresponse. [Doctoral thesis, Graduate college king Mongkut's university of technology north Bangkok].
- [2] Horvitz, D.G., and Thompson D.J., A generalization of sampling without replacement from a finite universe. Journal of the American Statistical Association, 47(1952), 663-685.

- [3] Deville, J.-C., and Särndal, C.-E. ,Variance Estimation for the Regression Imputed Horvitz Thompson Estimator. *Journal of Official Statistics*, 10(1994), 381-394.
- [4] Deville, J.-C. and Sarndal, C.-E. (1992) Calibration Estimators in Survey Sampling. *Journal of the American Statistical Association*, 87, 376. <https://doi.org/10.1080/01621459.1992.10475217>
- [5] Särndal, C.E., and Lundström,S., *Estimation in Surveys with Nonresponse*. Wiley, New York, 2005
- [6] Quenouille, M. H. (1949). Approximate Tests of Correlation in Time Series. *Journal of the Royal Statistical Society B* 11, 68–84.
- [7] Efron, B. 1979. Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife. *Annals of Statistics*, 7, 1–26.
- [8] Efron, B. and Tibshirani, R.J. 1994. *An Introduction to the Bootstrap*. Chapman and Hall, New York.
- [9] Haziza, D. 2010. Resampling methods for variance estimation in the presence of missing survey data. *Proceedings of the Annual Conference of the Italian Statistical Society*.
- [10] Midzuno, H., On sampling system with probability proportional to sum of sizes. *Ann. Inst.Statist. Math*, 3 (1952), 99-107.
- [11] Berger, Y. G. 2003. A simple variance estimator for unequal probability sampling without replacement. *Journal of Applied Statistics*. Vol.31 : 305-315.
- [12] Hajek, J. 1981. *Sampling from finite population*. New York, Marcel Dekker.
- [13] Rao, J. N. K. and Wu, C.F.J. (1988), Resampling inference for complex survey data. *Journal of American Statistical Association*, 83, 231-241.
- [14] Cheng, Y., Slud, E., Hogue, C. , Variance Estimation for Decision-based Estimators with Application to the Annual Survey of Public Employment and, *JSM Proceedings*,(2010).

ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดใบอ่อนและใบแก่
ของกาแฟโรบัสต้าเก็บจากสวนกาแฟในอำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร
และสารสกัดใบอ่อนและใบแก่ของกาแฟอาราบิก้า เก็บจากสวนกาแฟในอำเภอ
เมือง จังหวัดตาก

Antioxidant activity and total phenolic compounds in the
extracts of young and mature leaves of Robusta coffee collected
from coffee gardens in Kosamphi Nakhon District, Kamphaeng
Phet Province, and the extracts of young and mature leaves of
Arabica coffee collected from coffee gardens in Mueang District,
Tak Province

จิตรัตน์ พรหมมา¹, ปารिता อาบวารี¹, ชีรศักดิ์ สารรัตน์¹,
อักรินทร์ บุรีรักษ์¹, ศุภวัฒน์ วิสุทธิศิริกุล¹, นเรศ ขำเจริญ² และ ปราณี เลิศแก้ว^{1,*}

¹โปรแกรม วิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²โปรแกรมวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Thidarat Promma¹, Parita Abwaree¹, Therasak Sanrat¹,
Akarin Bureeruk¹, Supawat Wisitsirikul¹, Nares Khamcharoen², and Pranee Lertkaeo^{1,*}

¹General Science Program, Faculty of Education, Kamphaeng Phet Rajabhat University

²Public health Program faculty of science and technology kamphaeng Phet Rajabhat university

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดใบ
กาแฟจากสายพันธุ์โรบัสต้า (ใบอ่อน) สายพันธุ์โรบัสต้า (ใบแก่) สายพันธุ์อาราบิก้า (ใบอ่อน) และสายพันธุ์อาราบิก้า

*Corresponding author : pranee_l@kpru.ac.th

Received : 13/09/2023

Revised : 24/09/2024

Accepted : 15/10/2024

(ใบแก่) โดยสกัดด้วย 65% เอทานอล แล้วนำไประเหยแห้งเอาตัวทำละลายออก สารสกัดสายพันธุ์อาราบิก้า (ใบแก่) มีร้อยละผลผลิตมากที่สุด เท่ากับ 13.23 โดยน้ำหนัก ขณะที่สายพันธุ์โรบัสต้า (ใบอ่อน) มีร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด เท่ากับ 2.44 โดยน้ำหนัก นำไปทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH assay โดยใช้บีเอชที (BHT) เป็นสารมาตรฐาน พบว่า สายพันธุ์โรบัสต้า (ใบแก่) ให้ฤทธิ์สูงสุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 11.397 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม และสารสกัดสายพันธุ์อาราบิก้า (ใบอ่อน) ให้ฤทธิ์ต่ำสุด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 57.053 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม เมื่อศึกษาสารประกอบ ฟีนอลิกรวม พบว่า สารสกัดสายพันธุ์โรบัสต้า (ใบอ่อน) มีปริมาณสูงสุด คือ 558.54 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด

คำสำคัญ : ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ, ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม, กาแฟโรบัสต้า, กาแฟอาราบิก้า

Abstract

This research aimed to study antioxidant activities and total phenolic content in coffee leaf extracts from *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (Young leaves), *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (old leaves), *Coffea arabica* L. (young leaves) and *Coffea arabica* L. (old leaves). The leaves were extracted with 65 % ethanol, and the mixture was concentrated using rotary evaporation. The *Coffea arabica* L. (old leaves) extract provided the highest yield of 13.23%, while *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (Young leaves) extract had the lowest yield of 2.44%. Antioxidant properties using DPPH assays demonstrated that *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (old leaves) extract showed the highest DPPH scavenging activity with IC_{50} 11.397 μ g/ml, while the *Coffea arabica* L. (young leaves) extract showed the lowest value with IC_{50} 57.053 μ g/ml. The highest total phenolic content of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (Young leaves) extract was observed at 558.54 GAE/g extract.

Keywords : Antioxidant activities, Total phenolic content, *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner, *Coffea arabica* L

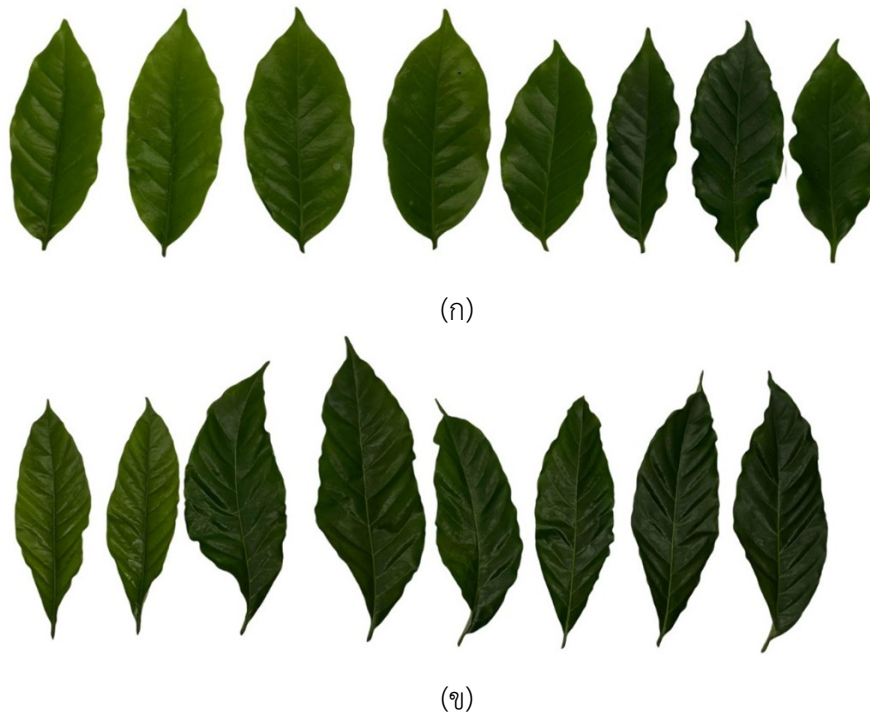
ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายและเข้ามามีบทบาทในทุกกลุ่มของผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นกลุ่มนักเรียน นักศึกษา และโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มคนวัยทำงานที่มีความนิยมในการดื่มกาแฟกันมากขึ้น [1] เนื่องจากในกาแฟมีสารคาเฟอีน ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นหัวใจ ทำให้ร่างกายสดชื่น ขจัดความง่วงซึมและอ่อนล้า กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้มากมาย ปัจจุบันมีการปลูกกาแฟมากกว่า 70 ประเทศทั่วโลก สำหรับประเทศไทยมีการปลูกในหลายพื้นที่ ซึ่งในบริเวณภาคเหนือตอนบนนิยมปลูกสายพันธุ์อาราบิก้าและโรบัสต้า เป็นต้น เนื่องจากมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสม กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า มีชื่อสามัญ Arabian coffee ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coffea arabica* L. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae เป็นไม้พุ่มขนาดเล็ก ไม่ทิ้งใบหรือผลัดใบ มีสีเขียวตลอดปี ลำต้นกาแฟมีข้อปล้อง โคนก้านใบจะมีตา 2 ชนิด ตาบนและตาล่าง ใบมีลักษณะเป็นรูปไข่หรือรูปโล่ ยอดใบแหลมก้านใบอวบสั้น ขอบใบเรียบเป็นคลื่น ผิวใบด้านบนมี

สีเขียวเข้มมันเงาด้านใบได้มีสีเขียวอ่อน (ภาพที่ 1ก) ดอกกาแฟมีกลีบดอกสีขาวหรือสีครีม รูปร่างคล้ายดาว มีผลเดี่ยว รูปร่างค่อนข้างรี ลักษณะเมล็ดมีรูปร่างกลมรียาว [2] ส่วนกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า มีชื่อสามัญ Robusta coffee ชื่อวิทยาศาสตร์ *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner อยู่ในวงศ์ Rubiaceae เป็นไม้พุ่มขนาดกลาง ลำต้นตั้งตรง โคนก้านใบจะมีตา 2 ชนิด ตาบนและตาล่าง ใบเดี่ยว เรียงตรงข้าม ปลายใบแหลม โคนใบแหลม ขอบใบเป็นคลื่น ก้านใบสั้น ผิวใบเรียบ มีหูใบระหว่างก้านใบ (ภาพที่ 1ข) ช่อดอกออกตามข้อบริเวณซอกใบ ผลแบบผลเมล็ดเดี่ยวแข็ง มักออกเป็นคู่ประกบกัน รูปรี ก้านผลสั้น ผลดิบสีเขียว ผลสุกสีส้ม สีแดง หรือสีแดงเข้ม เมล็ดเป็นรูปไข่ยาวหรือกลมรี [3] ในเมล็ดและใบกาแฟมีกรดคลอโรจินิก (Chlorogenic acid, CGA) สูง เป็นสารประกอบฟีนอลิกในพืชที่ได้จากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันระหว่างกรดทรานซินนามิก (trans-cinnamic acids) กับกรดควินิก ((-)-quinic acid) [4,5] ซึ่งพืชที่มี CGA มากที่สุด คือ กาแฟ [6] กรดคลอโรจินิกมีคุณสมบัติที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันต้านมะเร็ง ฤทธิ์ด้านการเจริญของจุลินทรีย์ และมีฤทธิ์ทางชีวภาพอื่น ๆ [7] นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นกาแฟยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์และสร้างผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น ดอกกาแฟ สามารถนำไปขังดื่ม หรือทำชาจากดอกกาแฟได้ ซึ่งในดอกกาแฟมีคาเฟอีน สารประกอบฟีนอลิกรวม และสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยยับยั้งการเกิดโรคมะเร็งของสุภาพสตรี และพบว่าช่วยลดไขมันในเส้นเลือด [8, 9, 10] เมล็ดกาแฟเป็นส่วนที่มีสารคาเฟอีนที่สูงกว่าส่วนอื่น ๆ มีส่วนประกอบ คือ คาเฟอีน สารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิก แทนนิน ไขมันและน้ำมัน แร่ธาตุ กลูโคส และเดกซ์ทริน มีงานวิจัยพบว่าเมล็ดกาแฟมีสารคาเฟอีนที่สูงที่มีฤทธิ์ในการกระตุ้นหัวใจและระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้ตาแข็ง นอนไม่หลับ ร่างกายรู้สึกสดชื่น ขจัดความเชื่องซึมและอ่อนล้า

ใบกาแฟเป็นส่วนที่จะถูกตัดทิ้งเพราะผู้ผลิตกาแฟจะเก็บเฉพาะเมล็ดกาแฟ ซึ่งส่วนใหญ่มักคิดว่าใบกาแฟไม่มีประโยชน์ แต่มีงานวิจัยพบว่าในใบกาแฟมีส่วนประกอบของสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิก ในปริมาณที่สูงกว่าเมล็ดกาแฟ [11, 12] ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารประกอบที่สามารถป้องกันหรือชะลอกระบวนการเกิดออกซิเดชัน โดยมีกลไกในการต้านอนุมูลอิสระหลายรูปแบบ เช่น การดักจับอนุมูลอิสระ การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนที่ขาดอิเล็กตรอน การจับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน การหยุดปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ การเสริมฤทธิ์และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ ซึ่งสารต้านอนุมูลอิสระมีทั้งจากธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบฟลาโวนอยด์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น [13] ซึ่งนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เป็นสาเหตุให้อาหารมีกลิ่น สี และรสชาติที่เปลี่ยนไป ส่วนสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ เช่น วิตามินซี และวิตามินอี ซึ่งสารกลุ่มนี้ได้รับความสนใจและมีการค้นคว้าอย่างมากในปัจจุบันเนื่องจากเชื่อว่าจะมีความปลอดภัยในการบริโภคมากกว่าสารต้านอนุมูลอิสระที่มาจากการสังเคราะห์ [14, 15] สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารที่พบได้ในพืชทุกชนิดเป็นกลุ่มสารทุติยภูมิที่พบได้ทั่วไปในผักผลไม้ สารประกอบฟีนอลิก ส่วนใหญ่จะพบในรูปของอนุพันธ์และหรือไอโซเมอร์ของฟลาโวนส์ ไอโซฟลาโวนส์ ฟลาโวนอลส์ คาร์ทีซิน และกรดฟีนอลิก มีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นวงแหวนที่เป็นอนุพันธ์ของวงแหวนเบนซีนมีหมู่ไฮดรอกซิลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ต่ออยู่สารประกอบฟีนอลพื้นฐานสารประกอบฟีนอลิกมีประโยชน์หลายประการ เช่น มีฤทธิ์เป็นสารต้านออกซิเดชัน ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและเป็นสารต้านการกลายพันธุ์ [16]

ดังนั้นงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าที่ปลูกในพื้นที่ตำบลลานดอกไม้ตก อำเภอโกสัมพินคร จังหวัดกำแพงเพชร และใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่ปลูกในพื้นที่ตำบลแม่ท้อ อำเภอเมือง จังหวัดตาก เพื่อเป็นข้อมูลในการส่งเสริมให้ประชาชน



ภาพที่ 1: (ก) กาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า (ข) กาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า

สนใจ และนำไปกาแฟมาใช้ประโยชน์ เช่น ทำชา หรือผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพอื่น ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มรายได้ และส่งผลดีต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตามปัจจุบันการศึกษาคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระในกาแฟ ยังไม่มีการศึกษาอย่างแพร่หลาย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดของใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์

1.1 การเตรียมใบกาแฟ

ใบอ่อนและแก่ของกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าเก็บจากสวนในตำบลลานดอกไม้ตก อำเภอโกสัมพีนคร จังหวัดกำแพงเพชร และกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าเก็บจากสวนในตำบลแม่ท้อ อำเภอเมือง จังหวัดตาก ในช่วงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2563 ต้นกาแฟมีอายุ 5-15 ปี โดยใบอ่อนจะเก็บนับจากใบยอดลงมาตรงตำแหน่งที่ 1-4 ซึ่งลักษณะใบอ่อนมีสีเขียวอ่อน ผิวเรียบ อ่อน และใบกำลังขยาย ใบแก่จะเก็บนับจากใบยอดลงมาตรงตำแหน่งที่ 5-8 ลักษณะใบแก่มีเนื้อหยาบและมีสีเขียวเข้ม

1.2 การเตรียมสารสกัดจากใบกาแฟ

นำใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าและใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าทั้งอ่อน และแก่ มาทำให้แห้ง โดยการนำเข้าเครื่องตู้อบลมร้อน (Hot air oven; รุ่น WGLL-125BE, LAB CONNECTION COMPANY LIMITED) ที่อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำไปกาแฟมาบดด้วยโม่บดสาร (Mortar and Pestle) แล้วนำมาสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 65% ปริมาตร 800 มิลลิลิตร นำไปเขย่าที่ตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator; รุ่น SI500, Stuart) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนครบ 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางที่พับซ้อนกัน 2 ชั้น และนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 จากนั้นนำเข้าเครื่องระเหยสารแบบหมุนภายใต้สุญญากาศ (Rotary evaporator; รุ่น R-300, BUCHI) ภายใต้ความดัน 175 mbar ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้สารสกัดใบกาแฟ แล้วชั่งน้ำหนักของสารสกัดหยาบที่ได้ เพื่อคำนวณหาผลผลิตร้อยละ (%yield) ของสารสกัดจากใบกาแฟ ดังสมการที่ 1

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของสารสกัดแห้งที่ได้}(g)}{\text{น้ำหนักใบกาแฟแห้งที่ใช้ในการสกัด}(g)} \times 100 \quad (1)$$

2. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดในใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี DPPH assay

การตรวจสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดในใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี DPPH assay ดัดแปลงจาก [17] เตรียมสารละลาย DPPH (ALDRICH, Germany) ความเข้มข้น 0.1 mM หลีกเลียงการถูกแสง จากนั้นดูดสารสกัดตัวอย่างใบกาแฟแก่และอ่อน 2 สายพันธุ์ ที่สกัดไว้ข้างต้น ใส่หลอดละ 1.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย DPPH ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รายงานผลเป็นค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ยับยั้งอนุมูล DPPH จำนวน ดังสมการที่ 2

$$\% \text{inhibition} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

A_{control} = ค่าการดูดกลืนแสงของชุดควบคุม (ไม่มีสารสกัดตัวอย่าง)

A_{sample} = ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดตัวอย่าง

หมายเหตุ สารละลายมาตรฐานปีเอชที ใช้แทนสารสกัดในขั้นตอนการทดลองแบบเดียวกับการทดลองข้างต้น

นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟ เพื่อหาค่า IC_{50} โดยที่ค่า IC_{50} คือ ค่าความเข้มข้นที่สารนั้นมีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระที่ 50% โดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นของสารที่มีความเข้มข้นน้อยจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูง

3. การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดในใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric

ตารางที่ 1: แสดงร้อยละของผลผลิต (%yield) ของสารสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างสารสกัด	น้ำหนักสด (กรัม)	น้ำหนักของสาร สกัด (กรัม)	ร้อยละของผลผลิต
ใบกาแฟแก่สายพันธุ์โรบัสต้า	80.00	3.38	4.23 %
ใบกาแฟอ่อนสายพันธุ์โรบัสต้า	80.00	1.95	2.44 %
ใบกาแฟแก่สายพันธุ์อาราบิก้า	80.00	10.58	13.23 %
ใบกาแฟอ่อนสายพันธุ์อาราบิก้า	80.00	9.58	11.98 %

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric ดัดแปลงจาก [18] ปิเปตต์สารสกัดในใบกาแฟแก่และอ่อนทั้ง 2 สายพันธุ์ ที่สกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 65% ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นปิเปตต์สารละลาย 10% Folin Ciocalteu Reagent ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารสกัดใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยปิเปตต์ตัวอย่างละ 1.5 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน บ่มไว้เป็นเวลา 8 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปิเปตต์สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (7.5% w/v) ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารสกัดใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ โดยปิเปตต์ตัวอย่างละ 1.2 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้เข้ากัน แล้วบ่มไว้เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก โดยรายงานผลเป็นมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด (mg GAE/g extract)

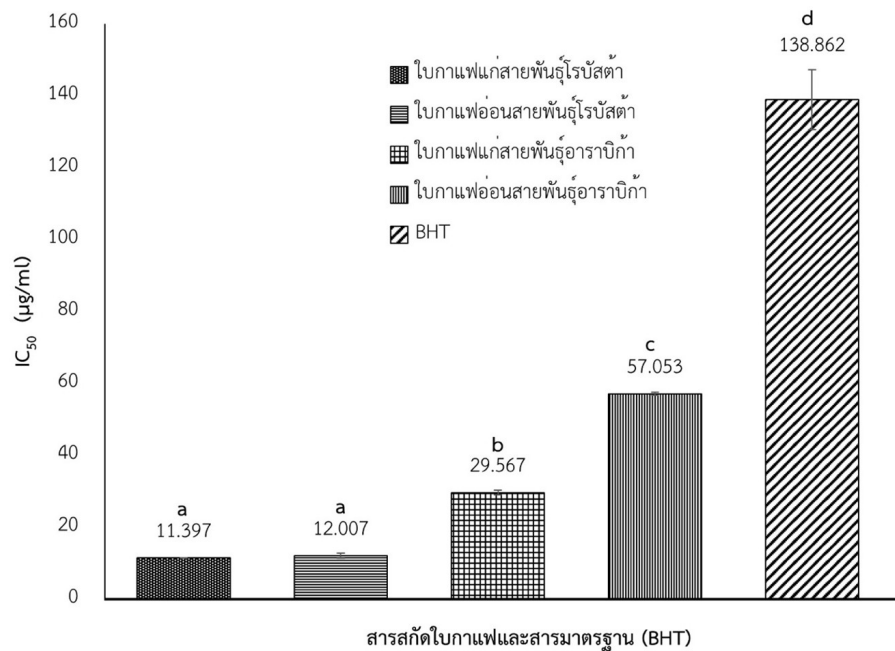
4. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

แสดงผลการศึกษาในรูปแบบของค่าเฉลี่ย (Mean) $\pm$ ความคลาดเคลื่อน (SEM) จากข้อมูลผลการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้ One-way Anova เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ปริมาณร้อยละของผลผลิตของสารสกัดใบกาแฟ

เมื่อพิจารณาจากน้ำหนักสารสกัดจากใบกาแฟตัวอย่าง 4 ประเภท พบว่า น้ำหนักสารสกัดจากใบกาแฟแก่สายพันธุ์อาราบิก้ามีมากที่สุดเท่ากับ 10.58 กรัม (13.23%) รองลงมา คือ น้ำหนักสารสกัดจากใบกาแฟอ่อนสายพันธุ์อาราบิก้ามีน้ำหนักเท่ากับ 9.58 กรัม (11.98%) ถัดมา คือ น้ำหนักสารสกัดจากใบกาแฟแก่สายพันธุ์โรบัสต้ามีน้ำหนักเท่ากับ 3.38 กรัม (4.23%) และลำดับสุดท้าย คือ น้ำหนักสารสกัดจากใบกาแฟอ่อนสายพันธุ์โรบัสต้ามีน้ำหนักเท่ากับ 1.95 กรัม (2.44%) แสดงให้เห็นว่าใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้ามีสารสกัดประเภทชีวสูงมากกว่าใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า นอกจากนี้ประเภทใบแก่ยังให้สารสกัดในปริมาณมากกว่าอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ [19] เมื่อใช้ตัวทำละลายเอทานอล อะซิโตน เฮกเซน และไดคลอโรมีเทน ในการสกัดใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า พบว่า

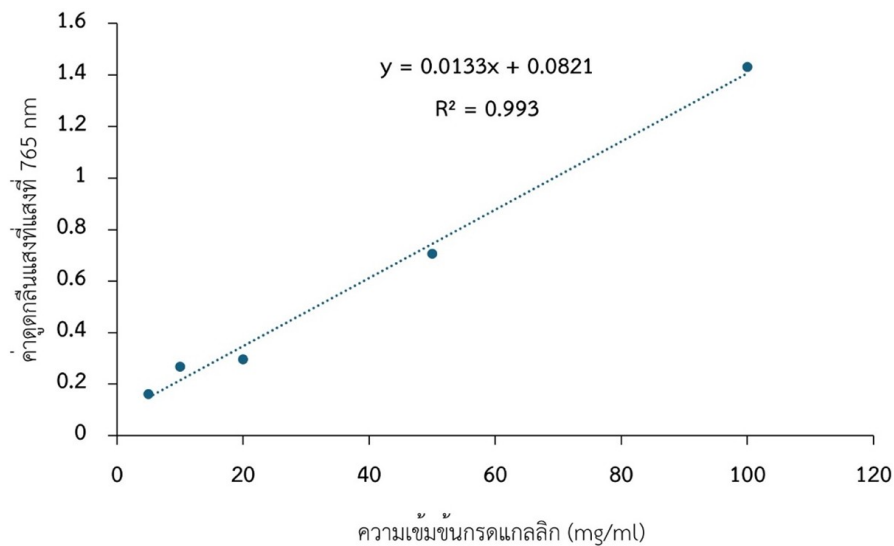


ภาพที่ 2: แผนภูมิแสดงค่า IC₅₀ ของสารสกัดใบกาแฟและสารมาตรฐานบีเอชที, Data express as mean $\pm$ SEM ($n = 3$) ตัวเลขที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

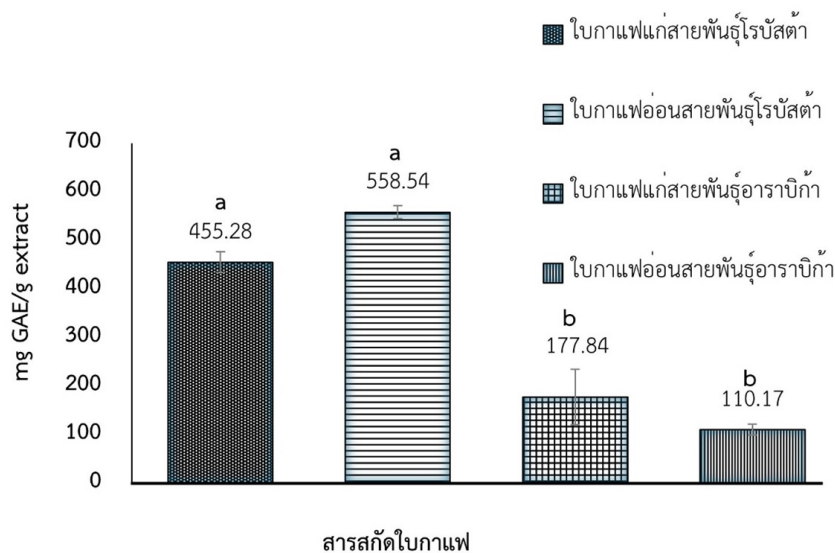
ร้อยละผลผลิตจากสารสกัดหยาบของใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่สกัดด้วยเอทานอลมากที่สุด รองลงมา คือ ร้อยละผลผลิตจากสารสกัดหยาบของใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่สกัดด้วยอะซิโตน นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [20] พบว่า ใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่สกัดด้วยเอทานอล มีปริมาณร้อยละผลผลิต เท่ากับ 24.40

2. การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี DPPH assay

การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เป็นการหาความสามารถในการยับยั้งกระบวนการเกิดอนุมูลอิสระ เพื่อหาความเข้มข้นของตัวอย่างที่ร้อยละ 50 ที่สามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จากการทดลอง พบว่า ใบกาแฟแก่สายพันธุ์โรบัสต้ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เท่ากับ 11.397 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แตกต่างกับสารสกัดใบกาแฟแก่และอ่อนของสายพันธุ์อาราบิก้า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$ และยังพบว่า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าสารมาตรฐานบีเอชที ดังแสดงภาพที่ 2 จากรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ [21] พบว่า ใบกาแฟแก่สารพันธุ์โรบัสต้าที่สกัดด้วยเมทานอล สามารถยับยั้งสารอนุมูลอิสระได้ดีที่สุด เนื่องจากในใบแก่ของกาแฟสารพันธุ์โรบัสต้ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลสูง และยังพบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดเมทานอลจากใบกาแฟ จะเห็นได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกมีส่วนช่วยอย่างมีนัยสำคัญต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ [22] รายงานความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างปริมาณฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 3: กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงของกรดแกลลิกหลังทำปฏิกิริยากับสารละลาย Folin-Fiocalteu



ภาพที่ 4: แผนภูมิแสดงปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดใบกาแฟ, Data express as mean $\pm$ SEM ($n = 3$) ตัวเลขที่มีตัวอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3. ผลการหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี Folin-Ciocateu Colorimetic

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดจากใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า ใบอ่อนกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า ใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า และใบอ่อนกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า ด้วยวิธี Folin-Ciocateu Colorimetic และคำนวณปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดตัวอย่างเทียบกับสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก พบว่า สารสกัดจากใบอ่อนกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด เท่ากับ 558.54 มิลลิกรัม สมมูลของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด แตกต่างกับสารสกัดใบกาแฟแก่และอ่อนของสายพันธุ์อาราบิก้า อย่างมีนัย

สำคัญทางสถิติที่ $p \pm 0.05$ ดังแสดงภาพที่ 4 เนื่องจากสารสกัดใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้ามีสีของสารสกัดที่เข้มกว่าสารสกัดใบกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า และกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้าเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณคาเฟอีนอยู่ 2.2% ส่วนของสายพันธุ์อาราบิก้ามีอยู่ 1.2% [23] และสารประกอบฟีนอลิกรวมบริเวณใบอ่อน และใบแก่ในแต่ละสายพันธุ์มีสีของสารสกัดที่ใกล้เคียงกันสารประกอบฟีนอลิกรวมในบริเวณใบอ่อน และใบแก่จึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ [24] แม้น้ำหนักของสารสกัดจากใบอ่อนและใบแก่ของกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าจะมากกว่าสายพันธุ์โรบัสต้า แต่จากผลการทดลอง พบว่า ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบแก่ของกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้ามีประสิทธิภาพสูงสุดที่ค่า IC_{50} เท่ากับ 11.397 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงว่าในใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้ามีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สารกลุ่มฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแอลคาลอยด์ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานวิจัย [25] ก่อนหน้านี้ พบว่า ใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง เมื่อวิเคราะห์ทางพิษเคมี พบว่า สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า ประกอบด้วยแอลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ เทอร์ปีนอยด์ และฟีนอลิก

สรุปผลการวิจัย

ปริมาณสารสกัดหยาบด้วยเอทานอล 65% ของใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ในส่วนของใบแก่และใบอ่อน พบว่า ใบแก่และใบอ่อนของกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณสารสกัดหยาบที่แตกต่างกัน ปริมาณผลผลิตสารสกัดหยาบที่สูงที่สุด คือ ใบแก่ของสายพันธุ์อาราบิก้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 13.23 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ ด้วยวิธี DPPH โดยใช้บีเอชที เป็นสารมาตรฐาน พบว่า ใบแก่ของสายพันธุ์โรบัสต้า มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด คือ 11.397 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมในสารสกัดของใบกาแฟทั้ง 2 สายพันธุ์ มีปริมาณแตกต่างกัน พบว่า ใบอ่อนของกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้า มีสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด เท่ากับ 558.54 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด ดังนั้นใบกาแฟสายพันธุ์โรบัสต้ามีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถนำมาเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ผงชาสกัดพร้อมดื่ม สบู่จากธรรมชาติ หรือเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร สำหรับการในคำแนะนำ และอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภักดี มนะเวศ. (2560). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อกาแฟที่ใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม. วารสารรัชต์ภาคย์, 11(24), 86-100.
- [2] Clifford, M. N., Johnston, K. L., Knight, S., & Kuhnert, N. (2003). Hierarchical scheme for LC-MSn identification of chlorogenic acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(10), 2900–2911.
- [3] อักษร เสกธีระ และพัฒน์พันธุ์ โพชนันต์. (2537). ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกาแฟ. คู่มือการปลูกและผลิตกาแฟอาราบิก้าบนที่สูง. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] กรมวิชาการเกษตร. (2560, 28 สิงหาคม 2560). ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง คำขอให้ออกหนังสือรับรองพันธุ์พืชขึ้นทะเบียน ตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ. 2518. https://www.doa.go.th/pvp/wp-content/uploads/2019/11/AnnoDOA_Public138.pdf
- [5] Clifford, M.N. (2000). Chlorogenic acids and other cinnamates: nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1), 1033-1042.
- [6] Oestreich-Janzen, S. (2013). Chemistry of coffee. *Molecular sciences and chemical engineering*, 1-28.
- [7] Kabir, F., Katayama, S., Tanji, N., & Nakamura, S. (2014). Antimicrobial effects of chlorogenic acid and related compounds. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 57(3), 359-365.
- [8] ฉันทนา ปาปัดถา. (2566). การศึกษาคุณค่าทางโภชนาการฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระของกาแฟและดอกกาแฟอาราบิก้าของวิสาหกิจชุมชนน้ำหนาวอาราบิก้า จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสารวิชาการรับใช้สังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 7(2). 51-62.
- [9] พัทธชัย ปิ่นนาค, ธัญญ์นรี จิณะไชย, สุพิชญา เกษร และอาลิตา มาคุณ. (2563). ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในเปลือกกาแฟเชอร์รี่และดอกกาแฟในระบบวนเกษตรของจังหวัดอุตรดิตถ์. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 1(1), 61-70.
- [10] Nguyen, T. M. T., Cho, E. J., Song, Y., Oh, C. H., Funada, R., & Bae, H. J. (2019). Use of coffee flower as a novel resource for the production of bioactive compounds, melanoidins, and bio-sugars. *Food chemistry*, 299(1), 1-8.
- [11] เกดริน. (2556, 30 สิงหาคม). ชุมทรัพย์จากต้นกาแฟ. โพสต์ทูเดย์. <https://www.posttoday.com/lifestyle/243855>
- [12] Ratanamarno, S., & Surbkar, S. (2017). Caffeine and catechins in fresh coffee leaf (*Coffea arabica*) and coffee leaf tea. *Maejo International Journal of Science and Technology*, 11(03), 211-218.

- [13] บุهران พันธุ์สุวรรณ. (2556). อนุมูลอิสระสารต้านอนุมูลอิสระและการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 21(3), 277-278.
- [14] Pokorny, J., Yanishlieva, N., & Gordon, M. H. (Eds.). (2001). Antioxidants in food: practical applications. CRC press.
- [15] Yim, H. S., Chye, F. Y., Rao, V., Low, J. Y., Matanjun, P., How, S. E., & Ho, C. W. (2013). Optimization of extraction time and temperature on antioxidant activity of Schizophyllum commune aqueous extract using response surface methodology. Journal of Food Science and Technology, 50(1), 275-283.
- [16] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนูปนนท์. (2561). Phenolic compounds /สารประกอบฟีนอล. ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหาร. <https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2585/>
- [17] Firuzi, O., Miri, R., Asadollahi, M., Eslami, S., & Jassbi, A. R. (2013). Cytotoxic, antioxidant and antimicrobial activities and phenolic contents of eleven Salvia species from Iran. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 12(4), 801-810.
- [18] Kamath, S. D., Arunkumar, D., Avinash, N. G., & Samshuddin, S. (2015). Determination of total phenolic content and total antioxidant activity in locally consumed food stuffs in Moodbidri, Karnataka, India. Advances in Applied Science Research, 6(6), 99-102.
- [19] Delaroza, F., Rakocevic, M., Malta, G. B., Bruns, R. E., & Scarminio, I. S. (2014). Spectroscopic and chromatographic fingerprint analysis of composition variations in Coffea arabica leaves subject to different light conditions and plant phenophases. Journal of the Brazilian Chemical Society, 25(1), 1929-1938.
- [20] Hasanaha, M., & Hilmaa, P. S. (2016). Antioxidant activity of extract and fractions from Coffee arabica L. leaves by DPPH radical scavenging method. Scientific Journal of PPI-UKM, 3(4), 162-165.
- [21] Kristiningrum, N., Cahyanti, Y. N., & Wulandari, L. (2017). Determination of total phenolic content and antioxidant activity in methanolic extract of Robusta and Arabica coffee leaves. UNEJ e-Proceeding, 1(1), 96-99.
- [22] Javanmardi, J., Stushnoff, C., Locke, E., & Vivanco, J.M. (2003). Antioxidant activity and total phenolic content of Iranian Ocimum accessions. Food Chemistry, 83(1), 547-550.
- [23] ชุขณา เมฆโหรา. (2558). กาแฟเพื่อสุขภาพ. อาหาร, 45(4), 15-21.
- [24] เยาวดี รุ่งเรือง และ สุพิชญา จันทะชุม. (2552). กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดคลอโรฟิลล์ด้วยเอทานอลจากผักเหมียง. เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาอุตสาหกรรม

เกษตร. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47. (น. 314-321). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

- [25] Kurang, R. Y., & Kamengon, R. Y. (2021). Phytochemical and antioxidant activities of Robusta coffee leaves extracts from Alor Island, East Nusa Tenggara. In AIP Conference Proceedings, 2349(1). 1-6.

การพัฒนาไข่ขาวต้มพร้อมทานเสริมสารสกัดจากผักแพวแดงสำหรับผู้สูงอายุ Development of ready-to-eat boiled egg white supplemented with *Resine herbstii* extract for the elderly

พรหทัย พุทธรวัน*, จันทรเพ็ญ แซ่หาญ, ธัญญลักษณ์ ปิยะเลิศ

โปรแกรมนวัตกรรมอาหารและการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Pornhathai Putthawan*, Janpen Saehan, Thunyaluk Piyalert

Food Tech & Innovation Program, Faculty of Sciences and Technology, Chiang Rai Rajabhat
University

บทคัดย่อ

ผู้สูงอายุมักมีข้อจำกัดในเรื่องการบริโภคเนื่องจากสภาวะของร่างกาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการพัฒนาอาหารสำหรับผู้สูงอายุจากไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากพืช โดยทำการศึกษาวิธีการสกัดสารสำคัญจากผักแพวแดง ตัวทำละลายที่เหมาะสม วิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส และวิเคราะห์โภชนาการของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าการสกัดด้วยไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟ 300 วัตต์ เวลาในการสกัด 15 นาที และใช้แอลกอฮอล์ 35% เป็นตัวทำละลาย เป็นสภาวะการสกัดที่เหมาะสม มีปริมาณโพลีฟีนอลและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ เท่ากับ 81.97 ± 0.73 $\mu\text{g GAE/ml}$ และ 61.72 ± 0.87 % ตามลำดับ การทำแห้งสารสกัดโดยวิธีทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง การใช้แลคโตส 15% ได้ปริมาณผลผลิตสูงสุด รองลงมาคือ มอลโตเดกซ์ตริน 15% มีผลผลิต เท่ากับ 13.83 ± 0.04 % และ 13.17 ± 0.01 % ตามลำดับ ในขณะที่มอลโตเดกซ์ตริน 15% มี a_w ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.05 ± 0.00 เมื่อนำสารสกัดผักแพวแดงมาเติมในผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มทั้งหมด 4 สูตร ในปริมาณ 5% และทดสอบกับผู้สูงอายุ (60-85) ปี พบว่า สูตรที่มีการเติมสารสกัดและปรุงรสพะโล้ได้รับความนิยมความชอบมากที่สุด จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ พบว่า มีพลังงานต่อ 100 กรัม เท่ากับ 105.95 ± 0.50 กิโลแคลอรี และมีปริมาณโปรตีน 9.24 ± 0.35 % ไขมัน 0.03 ± 0.01 % คาร์โบไฮเดรต 17.18 ± 0.19 % เกลือ 1.41 ± 0.01 % และความชื้น 72.14 ± 0.13 % ตามลำดับ

คำสำคัญ : ผู้สูงอายุ, ไข่ขาว, ผักแพวแดง, สารสกัด, ไมโครเวฟ

*Corresponding author : pornhathai13@yahoo.com

Received : 01/06/2023

Revised : 28/10/2024

Accepted : 25/11/2024

Abstract

Elderly people have limitations in their consumption due to their physical health. Therefore, this research was interested in develop food for the elderly from boiled egg whites supplemented with plant extracts. First, the methods for extracting important bioactive substances from Phaeo Da-eng vegetables and suitable solvent were studied. Then, antioxidant activity, sensory evaluation and nutrition of products were analyzed. The study found that microwave extraction uses a power of 300 watts, an extraction time of 15 minutes, and uses 35% alcohol as a solvent, it is an appropriate extraction condition. The polyphenol content and antioxidant activity were $81.97 \pm 0.73 \mu\text{g GAE/ml}$ and $61.72 \pm 0.87 \%$, respectively. The extract was dried by freeze drying method using 15 % lactose showed the highest yield followed by 15% maltodextrin were $13.83 \pm 0.04\%$ and $13.17 \pm 0.01\%$ respectively, whereas the lowest water activity was found in 15% maltodextrin which was 0.05 ± 0.00 . When adding plant extract into all 4 formulas of boiled egg white products at the level of 5% and tested with elderly people (60-85) years old, it was found that the formulation added extracts and stewed seasoning received the most liking score. Finally, the nutritional value of products was analyzed. It was found that the energy per 100 grams of sample was 105.95 ± 0.50 kilocalories and the protein content was $9.24 \pm 0.35\%$, fat $0.03 \pm 0.01\%$, carbohydrates $17.18 \pm 0.19\%$, ash $1.41 \pm 0.01\%$, and moisture $72.14 \pm 0.13\%$ respectively.

Keywords : Elderly, Egg white, *Resine herbstii*, Extract, Microwave

ที่มาและความสำคัญ

ผู้สูงอายุมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จากจำนวนประชากรของผู้สูงอายุที่มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เรื่องอาหารและโภชนาการของผู้สูงอายุเป็นเรื่องที่สำคัญ และเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสนใจ เพราะผู้สูงอายุมีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ ดังนั้นอาหารที่เหมาะสมสำหรับวัยนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยปัญหาที่พบเมื่อเข้าสู่วัยชรา คือ การเคี้ยวอาหารจะเริ่มมีปัญหา ลิ้นรับรสชาติอาหารได้น้อยลง ร่างกายผลิตน้ำลายลดลงทำให้กลืนอาหารได้ลำบาก ประสิทธิภาพในการย่อยอาหารน้อยลง ทำให้ท้องอืดท้องเฟ้อ อาหารไม่ย่อยและท้องผูกง่าย ดังนั้นผู้สูงอายุจึงเหมาะที่จะบริโภคอาหารอ่อน ย่อยง่าย สารอาหารครบ 5 หมู่ และให้พลังงานต่ำเนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานลดลงนั่นเอง

ไข่ขาว พบว่าเป็นแหล่งของโปรตีน ไม่มีไขมันรวมถึงคอเลสเตอรอลเหมือนกับไข่แดง ไข่ไก่ฟองใหญ่จะให้พลังงานประมาณ 70 แคลอรี จะมีไข่ขาวประมาณ 30 กรัม เป็นโปรตีนประมาณ 3.5 กรัม โปรตีนในไข่ขาวเป็นโปรตีนอัลบูมิน (albumin) โปรตีนในไข่ขาวจะช่วยฟื้นฟูเสริมสร้างกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อต่างๆ ให้แข็งแรงมากขึ้น นอกจากนี้ไข่ขาวยังอุดมไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุหลายชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม แคลเซียม วิตามินบี 12 โฟเลต เป็นต้น

[1]

ผักแพวแดง เป็นพืชท้องถิ่นในจังหวัดเชียงราย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Resine herbstii* Hook. เป็นใบประกอบชนิดมีใบย่อยใบเดียว เรียงตรงข้าม ใบมีสีแดงเข้มออกม่วง มองเห็นเส้นใบสีแดงได้ชัดเจน มีรายงานพบว่า ใบและลำต้นของผักแพวแดง อุดมไปด้วยสารสำคัญที่ดีต่อสุขภาพ ได้แก่ flavonoids, glycosides, alkaloids, carbohydrates, saponins, tannins, phenols, phytosterols, proteins, resins, และ thiols เป็นต้น และมีรายงานว่า ใบถูกนำมาใช้โดยแพทย์แผนโบราณทานเป็นชาเพื่อใช้เป็นยารักษาโรคบิด และเป็นยาลดไข้ [2] มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงสารสกัดจากใบผักแพวแดงที่สกัดด้วยแอกอฮอล์มีผลในการทำลายเซลล์ไลน์มะเร็งปากมดลูก [3]

ปัจจุบันมีการใช้เทคโนโลยีในการสกัดสารสำคัญจากพืชหลายวิธี ที่และกำลังได้รับความนิยม คือ การใช้ตัวทำละลายร่วมกับเทคนิคไมโครเวฟ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการสกัดที่สั้นกว่าวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมที่ใช้เวลานาน โดยหลักการไมโครเวฟ จะเป็นการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปทำให้โมเลกุลของตัวทำละลายเกิดการสั่นสะเทือน ทำให้สารสำคัญหลุดออกจากเซลล์ได้มากขึ้น

จากปัญหาที่พบว่าประเทศไทยมีประชากรผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น และอาหารสำหรับผู้สูงอายุยังค่อนข้างมีจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำไข่ขาวมาเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากเป็นแหล่งของโปรตีนคุณภาพ และนำพืชท้องถิ่น ผักแพวแดงมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในไข่ขาวให้กับผู้สูงอายุ เพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร และเพื่อประโยชน์ทางด้านสุขภาพในการลดความเสี่ยงของโรค

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารสกัดจากพืช

นำใบผักแพวแดง มาล้างทำความสะอาด จากนั้นหั่นลดขนาด และนำไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที ทิ้งให้สะเด็ดน้ำ แล้วนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dry) ที่อุณหภูมิ 60 °C จนมีความชื้นต่ำกว่า 10%

2. การศึกษาชนิดของตัวทำละลายและวิธีการสกัดที่เหมาะสม

ทำการศึกษาตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำกลั่น และแอกอฮอล์ 35% อัตราส่วนพืชต่อตัวทำละลาย 1:15 ร่วมกับวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ สกัดด้วยวิธีดั้งเดิม และ สกัดด้วยไมโครเวฟ โดยการสกัดแบบดั้งเดิม นำตัวอย่างไปแช่ที่อุณหภูมิ 40 °C นาน 4 ชั่วโมง ส่วนการสกัดด้วยไมโครเวฟ ใช้กำลังไฟ 2 ระดับ คือ 300 และ 450 วัตต์ เป็นเวลา 10 15 และ 20 นาที นำไปวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลทั้งหมด ตามวิธีของ Singleton, V.L. et al. (1999) [4] และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตามวิธีของ Brand-William et al. (1995) [5]

3. การศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มสารสกัดที่เหมาะสม

ในการศึกษา ใช้สารห่อหุ้มสารสกัด 2 ชนิด และปริมาณ 2 ระดับ คือ มอลโตเดกซ์ตริน (DE 10) และแลคโตส ที่ปริมาณ 10 และ 15% โดยทำการเติมสารห่อหุ้มลงในสารสกัดแล้วนำไปโฮโมจีไนซ์ ที่ความเร็วรอบ 11,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -35 °C นาน 3 ชั่วโมง และนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบ

แช่เยือกแข็ง (Freeze dryer, Labconco, USA) จนตัวอย่างแห้ง (สภาวะในการทำแห้ง อุณหภูมิ -42 °C ที่ความดัน 0.165 Torr) จากนั้นนำตัวอย่างไปคำนวณปริมาณผลผลิต และวิเคราะห์ a_w ด้วยเครื่อง Dew Point Water activity Meter 4TE และค่าสี $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่อง colorimeter (Reflection Spectrometer Avantes)

4. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมของไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดง

ทำการเตรียมสูตรไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดง ทั้งหมด 4 สูตร ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำบรรจุใส่ของพลาสติกชนิดทนร้อน ปิดผนึก และนำลงไปต้มในน้ำร้อนอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 35 นาทีแล้วนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสกับผู้สูงอายุ (อายุ 60-80 ปี) ทั้งหมด 32 คน ในพื้นที่ตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยใช้แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบเรียงลำดับความชอบ (Ranking Test) 1-4 ชอบมากที่สุดให้ลำดับที่ 1 และชอบน้อยที่สุดคือ ลำดับที่ 4

5. การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต ความชื้น พลังงาน ตามวิธีวิเคราะห์ AOAC (2019) [6]

6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ การวิเคราะห์หาปริมาณโพลีฟีนอล การต้านอนุมูลอิสระ และคุณค่าทางโภชนาการ วางแผนการทดลองแบบ Complete Randomized design (CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบเรียงลำดับ (Ranking Test) โดยลำดับที่ 1 หมายถึง ชอบมากที่สุด และ 3 หมายถึง ชอบน้อยที่สุด วิเคราะห์ผลด้วย Friedman test กำหนดให้คะแนนลำดับความชอบที่เป็นอันดับ 1=4 คะแนน, อันดับ 2=3 คะแนน, อันดับ 3=2 คะแนน และอันดับ 4=1 คะแนน วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 24 (IBM Singapore Pte. Ltd., Changi, Singapore)

ตารางที่ 1: สูตรผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากพืช

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
สารสกัดพืช	5	5	5	5
ไฟเบอร์	5	5	5	5
ไข่ขาว	87.5	84.5	84.1	82.83
ผงปรุงรส	-	3	3	4.55
แป้งมัน	2.5	2.5	2.5	2.27
เกลือ	-	-	0.4	0.35

หมายเหตุ: สูตรที่ 1 คือสูตรควบคุม, สูตรที่ 2 คือรสลาบน้ำตก, สูตรที่ 3 คือรสพะโล้ และสูตรที่ 4 คือรสสาหร่าย

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายและวิธีการสกัดที่เหมาะสม

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารโพลีฟีนอลจากผักแพวแดง ใช้ตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ น้ำกลั่น และแอลกอฮอล์ 35% โดยทำการสกัด 2 วิธี คือ การสกัดแบบดั้งเดิม (สกัดด้วยตัวทำละลาย เขย่าที่ 40 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) และการสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับไมโครเวฟ (MW) กำลังไฟ 300 และ 450 วัตต์ ระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที ให้ผลดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2: ปริมาณโพลีฟีนอลของผักแพวแดงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี และใช้ตัวทำละลายแตกต่างกัน 2 ชนิด

ตัวทำ ละลาย	ปริมาณโพลีฟีนอล (µg GAE/ml)						
	สกัด ดั้งเดิม	MW 300 วัตต์			MW 450 วัตต์		
		10	15	20	10	15	20
น้ำกลั่น	44.82 ±4.22 ^a	76.33 ±1.14 ^b	81.97 ±0.73 ^a	79.64 ±2.48 ^b	77.83 ±0.73 ^a	80.14 ±0.78 ^b	74.23 ±0.98 ^b
แอลกอฮอล์ 35%	73.92 ±0.92 ^b	71.23 ±2.32 ^a	78.85 ±1.62 ^a	73.66 ±1.19 ^a	76.09 ±1.76 ^a	62.40 ±2.23 ^a	54.59 ±1.52 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษร a,b,c,...,z ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 3: ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผักแพวแดงที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี และใช้ตัวทำละลายแตกต่างกัน 2 ชนิด

ตัวทำ ละลาย	DPPH Radical Scavenging (%)						
	สกัด ดั้งเดิม	MW 300 วัตต์			MW 450 วัตต์		
		10	15	20	10	15	20
น้ำกลั่น	53.14 ±1.19 ^a	47.12 ±1.24 ^a	46.80 ±0.36 ^a	53.03 ±0.87 ^a	49.95 ±0.43 ^a	51.66 ±0.34 ^a	54.69 ±0.25 ^a
แอลกอฮอล์ 35%	62.18 ±0.34 ^b	56.78 ±1.68 ^b	61.72 ±0.87 ^b	60.27 ±0.84 ^b	55.45 ±0.76 ^b	62.00 ±1.81 ^b	66.70 ±1.50 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษร a,b,c,...,z ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ชัดเจนว่าในการสกัดด้วยตัวทำละลายน้ำกลั่น การใช้เทคนิคไมโครเวฟในการสกัด มีผลทำให้ได้ปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มสูงขึ้นกว่าวิธีดั้งเดิม เนื่องจาก คลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผ่านไปยังวัสดุหรืออาหารและถูกดูดกลืนจนเกิดการเปลี่ยนไปเป็นคลื่นความร้อน [7] ในขณะที่การสกัดด้วยวิธีดั้งเดิม อาศัยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี ซึ่งเป็นการถ่ายโอนความร้อน ที่ใช้ระยะเวลาที่นานกว่าไมโครเวฟ เนื่องจากมีปัจจัยที่เป็นอุปสรรคในการถ่ายโอนความร้อนจนกว่าอุณหภูมิจะถึงตามเป้าหมาย [8] และยังพบว่าการสกัดโพลีฟีนอลด้วยวิธีดั้งเดิม คือแช่ที่อุณหภูมิห้อง 4 ชั่วโมง ด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 35% มีปริมาณโพลีฟีนอลที่สูงกว่าน้ำกลั่น โดยมีค่าเท่ากับ 73.92 และ 44.82 $\mu\text{g GAE/ml}$ ตามลำดับ เมื่อนำผักแพวแดงที่ใช้น้ำกลั่นเป็นตัวทำละลาย มาสกัดด้วยวิธีไมโครเวฟ พบว่า ที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้นกว่าการสกัดแบบดั้งเดิม เมื่อเพิ่มเวลาการสกัดพบว่า โพลีฟีนอลมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่เมื่อเพิ่มกำลังไฟเป็น 400 วัตต์ พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการสกัดมีผลทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลเพิ่มขึ้น และมีปริมาณลดลงในการสกัดที่ 20 นาที ในส่วนของการใช้แอลกอฮอล์ 35% เป็นตัวทำละลายพบว่า ที่กำลังไฟ 300 วัตต์ ปริมาณโพลีฟีนอลไม่แตกต่างจากวิธีสกัดแบบดั้งเดิมมากนัก และปริมาณโพลีฟีนอลสูงสุดพบในเวลาการสกัดที่ 15 นาที ในขณะที่เพิ่มกำลังไฟเป็น 400 วัตต์ และเพิ่มเวลาในการสกัด ปริมาณโพลีฟีนอลมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกาญจนา นาคประสม และคณะ [9] ที่รายงานว่าการกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลที่สกัดได้มีปริมาณสูงขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง แล้วค่อยๆ ลดระดับลงมา เนื่องจากการเพิ่มกำลังไฟของไมโครเวฟที่สูงขึ้นและเพิ่มระยะเวลาในการสกัดที่นานขึ้นนั้น จะทำให้เกิดความร้อนสะสมและทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลมีการสูญเสียหรือสลายตัว จึงทำให้ปริมาณโพลีฟีนอลมีแนวโน้มที่ลดลง การใช้ไมโครเวฟในการสกัดสารฟีนอลิก มีหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบของสารสำคัญ ประสิทธิภาพของเครื่องมือ เป็นต้น และยังพบว่า การสกัดด้วยไมโครเวฟ ใช้ระยะเวลาที่สั้น ใช้ตัวทำละลายน้อย ใช้อุณหภูมิต่ำและได้ผลผลิตสารสกัดที่สูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสกัดด้วยเทคนิคอัลตราซาวด์ (Ultrasound-assisted extraction, UAE) [10]

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า แอลกอฮอล์ 35% มีความเหมาะสมในการสกัดสารโพลีฟีนอลจากผักแพวแดง ในวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม ในขณะที่การสกัดด้วยไมโครเวฟ ตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อพิจารณาวิธีการสกัดที่เหมาะสมพบว่า วิธีสกัดโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับไมโครเวฟ ที่สภาวะการสกัด กำลังไฟ 300 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที มีความเหมาะสมเนื่องจากการสกัดใช้เวลาสั้นกว่าและให้ปริมาณโพลีฟีนอลที่สูง

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 35% มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าตัวทำละลายน้ำกลั่น และการสกัดด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพดีกว่ามากกว่าการสกัดแบบดั้งเดิม และสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดผักแพวแดงที่มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH มากที่สุด คือการสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 35 เปอร์เซ็นต์ และใช้วิธีการสกัดไมโครเวฟที่กำลังไฟ 450 วัตต์ เป็นเวลา 20 นาที การสกัดโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ อาจเรียกได้ว่าเป็น Green extraction โดยเป็นเทคนิคการสกัดสารที่ช่วยลดการใช้ตัวทำละลาย ลดระยะเวลาของการสกัด อีกทั้งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ทำให้การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสกัดเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ในการเตรียมสารสกัดสมุนไพรที่มีปริมาณสูง และคุณภาพดี ทดแทนวิธีการสกัดแบบดั้งเดิมได้ [11]

ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า การเพิ่มกำลังไฟจาก 300 วัตต์ เป็น 450 วัตต์ และการเพิ่ม

ระยะเวลาในการสกัดจาก 10 นาที เป็น 20 นาที ของวิธีสกัดด้วยไมโครเวฟ พบว่า ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของผักแพวแดงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น Chaudhuri & Sevanan [2] พบว่า สารสกัดผักแพวแดงที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH ที่สูง และมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูก โดยพบว่ามีฤทธิ์ในการทำลายเซลล์มะเร็งทำให้มีการลดลงมากกว่า 85% ดังนั้นสารสกัดจากผักแพวแดงจึงมีคุณสมบัติเป็นทั้งสารแอนติออกซิแดนท์จากธรรมชาติ รวมถึงเป็นสาร anticancer

จากผลการทดลองตารางที่ 2 และตารางที่ 3 การสกัดด้วยตัวทำละลายร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าผักแพวแดงที่สกัดด้วยน้ำกลั่นมีปริมาณโพลีฟีนอลสูง แต่กลับมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าผักแพวแดงที่สกัดด้วยแอลกอฮอล์ 35 เปอร์เซ็นต์ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัย ของ Wongsat et al. [12] ที่พบว่า ฤทธิ์ในการยับยั้งอนุมูลอิสระอาจไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณโพลีฟีนอลที่สูงเพียงอย่างเดียว อาจขึ้นอยู่กับสาร secondary metabolites อื่นๆ ที่มีฤทธิ์ในการจับอนุมูลอิสระ ในกรณีของผักแพวแดงที่ใช้น้ำกลั่นสกัด ซึ่งน้ำกลั่นเป็นตัวทำละลายที่มีขั้วสูง 100% ดังนั้นอาจสกัดได้เพียงสารสำคัญกลุ่มที่มีขั้วเหมือนกันออกมา ในขณะที่การใช้แอลกอฮอล์ 35% ในการสกัด โครงสร้างของตัวทำละลายประกอบไปด้วยโมเลกุลที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงอาจเป็นผลให้ได้สารกลุ่มอื่นที่ไม่มีขั้วออกมาด้วย และสารกลุ่มนั้นมีผลในการจับอนุมูลอิสระ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 35% ร่วมกับไมโครเวฟใช้กำลังไฟ 300 วัตต์ เวลาในการสกัด 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เนื่องจากมีปริมาณโพลีฟีนอลและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูง และยังใช้กำลังไฟต่ำกว่าที่ 450 วัตต์

4.2 ศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มที่เหมาะสม

ในการศึกษาชนิดของสารห่อหุ้มที่เหมาะสม ได้ใช้สารห่อหุ้ม 2 ชนิด คือ มอลโตเดกซ์ตรินและ แลคโตส ในปริมาณ 10% และ 15% เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมสารห่อหุ้ม) โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) ให้ผลดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณา ปริมาณผลผลิต พบว่า ปริมาณสารห่อหุ้ม 15% จะให้ค่า % ผลผลิต ที่มากกว่าปริมาณสารห่อหุ้ม 10% เนื่องจากปริมาณสารห่อหุ้มที่มากขึ้นสามารถไปจับกับอนุภาคของสารสกัดพืชได้มากขึ้น และสารห่อหุ้มแลคโตสให้ % ผลผลิตสูงสุดคือ 13.83% จะเห็นได้ว่า การใช้สารห่อหุ้มแลคโตสมี % ผลผลิต สูงกว่ามอลโตเดกซ์ตริน อาจเนื่องจาก แลคโตสมีค่า glass transition temperature (T_g) ประมาณ 101 °C ซึ่งสูงกว่ามอลโตเดกซ์ตริน [13] จึงทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่างได้ยากจึงส่งผลถึงการละลายสารสกัด ดังนั้นจึงไม่ระเหิดออกไปพร้อมกับตัวทำละลายในระหว่างขั้นตอนการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง และจากผลการทดลองจะเห็นว่า การใช้สารห่อหุ้มจะไปช่วยยึดเกาะอนุภาคของสารสกัดไว้ ทำให้มี % ผลผลิตที่มากกว่าตัวอย่างควบคุมอย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับการวิจัยของ Putthawan et al. [14] ที่พบว่า การใช้สารห่อหุ้มแลคโตสในการทำแห้งสารสกัดจากเปลือกแก้วมังกร มีปริมาณผลผลิตที่สูงกว่ามอลโตเดกซ์ตริน เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาค่า a_w พบว่า การเพิ่มปริมาณสารห่อหุ้มทั้ง 2 ชนิด มีผลทำให้ค่า a_w ลดต่ำลง โดยสารห่อหุ้มมอลโตเดกซ์ตริน มีค่า a_w ที่ต่ำกว่าสารห่อหุ้มแลคโตส โดยสารห่อหุ้มที่ให้ค่า a_w ต่ำที่สุดคือ มอลโตเดกซ์ตริน 15% ($a_w = 0.05$) อาจเนื่องมาจาก แลคโตสมีความสามารถในการละลายสารสกัดที่ต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากมีค่า T_g ที่สูง

ตารางที่ 4: % ผลผลิต ปริมาณน้ำอิสระ , และ ค่าสี L* a* b* ของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 2 ชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน 2 ระดับ

ชนิดสารห่อหุ้ม	ปริมาณ ผลผลิต	ปริมาณน้ำ อิสระ	ค่าสี		
	(%yield)	(aw)	L*	a*	b*
ตัวอย่างควบคุม	0.14±0.02 ^a	0.35±0.02 ^d	39.28±0.04 ^a	17.14±0.06 ^b	11.02±0.10 ^b
มอลโตเดกซ์ตริน 10%	8.84±0.22 ^b	0.06±0.02 ^{ab}	61.63±0.19 ^b	12.72±0.10 ^{ab}	6.74±0.18 ^a
มอลโตเดกซ์ตริน 15%	13.17±0.01 ^c	0.05±0.00 ^a	61.32±0.05 ^b	8.62±0.03 ^a	8.48±0.02 ^{ab}
แลคโตส 10%	9.22±0.26 ^b	0.16±0.06 ^c	60.97±0.22 ^b	14.17±0.03 ^b	6.04±0.00 ^a
แลคโตส 15%	13.83±0.04 ^d	0.11±0.02 ^{bc}	63.11±0.09 ^b	13.52±0.06 ^{ab}	7.64±0.01 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษร a,b,c,...,z ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

สังเกตได้จากการผสม จะมีการแยกชั้นของแลคโตสบางส่วน ซึ่งต่างจากมอลโตเดกซ์ตรินที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับสารสกัด ดังนั้นสารสกัดบางส่วนจึงไม่ถูกห่อหุ้ม ภายหลังการทำแห้งจึงทำให้สารสกัดมีความชื้นที่มากกว่า

และเมื่อพิจารณาค่าสี ค่า L* แสดงค่าสีความสว่าง 0-100 ยิ่งเข้าใกล้ 100 มากเท่าไรยิ่งสว่างมาก ค่า a* แสดงค่าสีแดงหรือสีเขียว คือ ถ้าค่า a* เป็นบวก จะแสดงค่าสีแดง แต่ถ้าค่า a* เป็นลบ จะแสดงค่าสีเขียว ค่า b* แสดงค่าสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน คือ ถ้าค่า b* เป็นบวก จะแสดงค่าสีเหลือง แต่ถ้าค่า b* เป็นลบ จะแสดงค่าสีน้ำเงิน จากการทดลองพบว่า สารสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดมีค่าสี L* ที่มากกว่าตัวอย่างควบคุมนั้นหมายความว่าสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดมีสีที่สว่างกว่าตัวอย่างควบคุม และค่า a* มอลโตเดกซ์ตริน 15% มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) กับตัวอย่างควบคุม ในขณะที่ค่า b* มอลโตเดกซ์ตริน 15 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

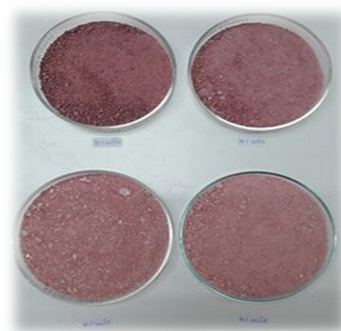
ดังนั้นจึงเลือกใช้สารสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ตริน 15% เนื่องจากมีค่า % ผลผลิต ที่สูงใกล้เคียงกับแลคโตส 15% แต่มี aw ต่ำกว่า มีการกระจายตัวของสีมากกว่าและยังดูความชื้นกลับได้ช้ากว่าสารสกัดที่ถูกห่อหุ้มด้วยแลคโตส

4.3 ศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดง

ในการศึกษาได้ทำสูตรผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดงทั้งหมด 4 สูตร และได้ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้แบบทดสอบลำดับความชอบ (Ranking Test) โดยชอบมากที่สุดลำดับที่ 1 ไปจนถึงชอบน้อยที่สุดคือ ลำดับที่ 4 ทดสอบกับผู้สูงอายุทั้งหมด 32 คน พบว่า สูตรไข่ขาวต้มที่เติมผงปรุงรสพะโล้ สูตรที่ 3 มีคะแนนความชอบเป็นอันดับ 1 มีค่าเฉลี่ยลำดับความชอบ (Mean rank) 3.09 และสูตรที่เติมผงปรุงรสลาบสูตรที่ 2 มีความชอบน้อยที่สุดคือ โดยมีค่า เท่ากับ 2.22 เนื่องมาจากผู้สูงอายุระบุว่า สูตรพะโล้ทานง่าย รสชาติไม่เผ็ดไป เค็มไป อร่อยและหอมกลิ่นพะโล้ ส่วนรสลาบมีความเผ็ดเกินไป ผลดังตารางที่ 5



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1: ก) สารสกัดผักแพวแดง ข) ผงผักแพวแดงสกัดที่ห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ภายหลังจากการทำแห้ง

ตารางที่ 5: การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Ranking Test ของผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดง

คะแนนความชอบ	สูตร			
	1	2	3	4
คะแนนอันดับความชอบ*	75	71	99	75
Mean Rank	2.34	2.22	3.09	2.34

*ความชอบที่เป็นอันดับ 1=4 คะแนน, อันดับ 2= 3 คะแนน, อันดับ 3= 2 คะแนน และอันดับ 4 = 1 คะแนน

4.4 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดง

นำสูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดจากข้อ 4.3 มาทำการวิเคราะห์ ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใย ปริมาณความชื้น และค่าพลังงาน ให้ผลดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6: คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มเสริมสารสกัดจากผักแพวแดงสูตรพะโล้เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติมผงปรุงรส)

ตัวอย่าง	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	เส้นใย (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)	ความชื้น (%)	ค่าพลังงาน (kcal)
สูตร	9.65	0.24	0.63	4.5	14.06	75.42	97.00
(ควบคุม)	$\pm 0.06^a$	$\pm 0.06^a$	$\pm 0.03^a$	$\pm 0.11^a$	$\pm 0.04^a$	$\pm 0.06^b$	$\pm 0.18^a$
สูตรเต็ม	9.24	0.03	1.41	4.5	17.18	72.14	105.95
ผงปรุงรสพะโล้	$\pm 0.35^b$	$\pm 0.01^b$	$\pm 0.01^b$	$\pm 0.06^a$	$\pm 0.19^b$	$\pm 0.13^a$	$\pm 0.50^b$

หมายเหตุ : ตัวอักษร a,b,c,...,z ที่แตกต่างกันในคอลัมน์ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มผงปรุงรสพะโล้ในผลิตภัณฑ์มีผลทำให้มีปริมาณ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ความชื้น และค่าพลังงานแตกต่างจากสูตรควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจาก ในสูตรควบคุม (ตารางที่ 1) มีปริมาณไข่ขาวที่มากกว่า ทำให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน และความชื้นสูงกว่า และการเติมผงปรุงรสพะโล้ มีผลทำให้ปริมาณเหล่านี้เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากส่วนผสมพะโล้ที่มีการใช้วัตถุดิบหลายชนิด

สรุปผลการวิจัย

การใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์ 35% และทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับโครเวฟ กำลังไฟ 300 วัตต์ เวลาในการสกัด 15 นาที มีความเหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากผักแพวแดงมากที่สุด และการทำแห้งสารสกัด ผักแพวแดงด้วยวิธีแช่เยือกแข็ง พบว่า การห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกซ์ตริน ในปริมาณ 15% จะได้ปริมาณผลผลิต (% yield) ที่มาก และมีค่า a_w ต่ำที่สุด เมื่อนำสารสกัดผักแพวแดงมาเติมในผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้ม 5% และนำไปทดสอบชิมกับผู้สูงอายุ พบว่าสูตรที่มีการปรุงรสพะโล้ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด และ ผลิตภัณฑ์ไข่ขาวต้มสูตรพะโล้ มีค่าพลังงานเท่ากับ 105.95 ± 0.50 กิโลแคลอรี มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ 9.24 ± 0.35 , 0.03 ± 0.01 และ $17.18 \pm 0.19\%$ ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การพัฒนาไข่ขาวต้มพร้อมทานเสริมสารสกัดจากผักแพวแดงสำหรับผู้สูงอายุ เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีคุณประโยชน์ทางโภชนาการ โปรตีนสูง ไขมันต่ำ และยังมีสารต้านอนุมูลอิสระจากผักแพวแดงที่ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคสำหรับผู้สูงอายุ และยังเป็นการประยุกต์ใช้และเพิ่มมูลค่าผักท้องถิ่นของจังหวัดเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

- [1] วนิตา เทวฤทธิ์ ชิติสรณ์กุล. ไข่ขาวดีต่อสุขภาพอย่างไร. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สืบค้น 20 เมษายน 2567 จาก Food 47-1 PAGE 1-80 final2.pdf (arda.or.th)
- [2] Capasso, A & Feo, V.A. (2002). Central nervous system pharmacological effects of plants from northern Peruvian Andes: *Valeriana adscendens*, *Iresine herbstii* and *Brugmansia arborea*. *Pharmaceutical Biology*. 40:274-293.
- [3] Chaudhuri, D & Sevanan, M. (2012). Investigation on phytochemicals and antibacterial activity of the leaf and stem extracts of *Iresine herbstii*. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*. 3(4): 697-705.
- [4] Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. & Lester, P. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-ciocalteu reagent. *Method Enzymol*. 229: 152-178.

- [5] Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT*. 28: 25-30.
- [6] AOAC. (2019). *Official Methods of Analysis*. 3rd Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
- [7] Takeuchi, T., Pereira, C., Maróstica, M., Braga, M., Leal, P. & Meireles, A. (2009). Low-pressure solvent extraction (Solid-Liquid Extraction, Microwave Assisted and Ultrasound Assisted) from Condimentary Plants” Chapter 4 in *Extracting Bioactive Compounds for Food Products* 1st Edition. (Edited by Angela Meireles). CRC Press, Boca Raton, FL. ISBN- 13: 978-1-4200-6237-3.
- [8] Meredith, R. (1998). *Engineers’ handbook of Industrial Microwave Heating*, Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom.
- [9] กาญจนา นาคประสม จตุรภัทร วาฤทธิ์ อุมพร อุประ หยาตฝน ทะนงการกิจ และนักรบ นาคประสม. (2560). สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิครวม จากดอกบัวหลวง โดยใช้เทคนิคสกัดด้วยไมโครเวฟวารสารวิทยาศาสตร์ มข. 45(2): 328-342.
- [10] Aourach, M., González-de-Peredo, A. V., Vázquez-Espinosa, M., Essalmani, H., Palma, M., & Barbero, G. F. (2021). “Optimization and comparison of ultrasound and microwave-assisted extraction of phenolic compounds from cotton-lavender (*Santolina chamaecyparissus* L.),” *Agronomy* 11(1), 84. DOI: 10.3390/agronomy11010084
- [11] กรองกาญจน์ กิ่งแก้ว. การสกัดสารด้วยไมโครเวฟ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย วว. สืบค้น 2 พฤษภาคม 2567 จาก [tistr-stjn_3803-04.pdf](#)
- [12] Wongsu, P., Chaiwarit, J. & Zamaludien, A. (2012). In vitro screening of phenolic compounds, potential inhibition against α -amylase and α -glucosidase of culinary herbs in Thailand. *Food Chem*. 131: 964–971.
- [13] Roos, Y. H. (2002), Importance of glass transition and water activity to spray drying and stability of dairy powders. *Lait*. 82: 475-484.
- [14] Putthawan. P., Prompanya. B. & Promnet. S. (2021). Extraction, biological activities and stability of *Hylocereus polyrhizus* peel extract as a functional food colorant and nutraceutical. *TJPR*. 20(8): 1683-1690.

การประยุกต์ใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ในทานตะวัน

Application of Glyphosate as a Pre-Treatment for Mitosis Study in *Helianthus annuus* L.

กฤษฎีพงศ์ ภาษิตวิไลธรรม* และ จารุวรรณ เนื่อทอง

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Kritsaphong Phasitvilaitham* and Jaruwat Nuethong

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตที่เหมาะสมต่อการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันด้วยวิธีการทำพรีทรีตเมนต์ โดยวางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวอย่าง มีปัจจัยศึกษา 1 ปัจจัยคือระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ 4 กรรมวิธี ได้แก่ 0 ชั่วโมง, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง โดยใช้พืชตัวอย่างคือทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) พบว่า ระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ ที่แตกต่างกันมีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยพบว่ากรรมวิธีการพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตเป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันมากที่สุดคือ ร้อยละ 65.00 ± 5.00 ในขณะที่ กรรมวิธีควบคุมซึ่งใช้น้ำกลั่น ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ (ร้อยละ 0) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าคะแนนของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันที่เกิดจากการใช้สารละลายไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในระยะเวลาที่ต่างกันทั้ง 3 กรรมวิธี ให้ค่าที่เท่ากันคือ 3 คะแนน ดังนั้นการวิจัยนี้ จึงสรุปว่า สารไกลโฟเซต สามารถใช้เป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสในทานตะวันได้

*Corresponding author : kritsaphong.pas@crru.ac.th

คำสำคัญ : ไกลโฟเสท, สารพรีทรีตเมนต์, การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส, ทานตะวัน

Abstract

The objective of this studies was to find out the appropriated time for using a glyphosate solution for study of mitotic cell division using pretreatment technique. Completely Randomized Design (CRD) was set up with 3 replicates, 10 samples each of 4 treatments consist of control methods, 1 hour, 2 hours and 3 hours and using the Sunflower (*Helianthus annuus* L.) as example plant. The results indicated that the different of pretreatment with a glyphosate solution had effect on the percentage of inhibiting mitotic cell division in sunflowers at the confidence level of 95%. In addition, it was found that the pre-treatment method with glyphosate solution for 2 hours gave the highest percentage of inhibition of mitotic cell division in sunflowers, which was 65.00 ± 5.00 percent. While the control method uses distilled water as a pre-treatment substance. It does not cause any inhibition of cell division (0 percent). Moreover, it was found that the scores for inhibiting mitotic cell division of sunflowers which caused by using glyphosate solution as a pre-treatment substance in all 3 treatments had values equal is 3 points. Therefore, in this research it is concluded that glyphosate concentration can be used as a pre-treatment substance for studying mitotic cell division in sunflowers.

Keywords : Glyphosate, Pre-treatment, Mitosis study, *Helianthus annuus* L.

ที่มาและความสำคัญ

สารกำจัดวัชพืช (Herbicide) เป็นสารที่ถูกใช้เพื่อกำจัดพืชที่ไม่ต้องการในพื้นที่เกษตรกรรม สารกำจัดวัชพืชถูกใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย และมีให้เลือกใช้หลายชนิดตามความต้องการกำจัดของเกษตรกร เช่น สารกำจัดวัชพืชชนิดเลือกทำลาย ซึ่งจะออกฤทธิ์กำจัดเฉพาะชนิดพืช เช่น 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxy acetic acid) ที่ออกฤทธิ์ทำลายเฉพาะวัชพืชชนิดใบกว้าง เป็นต้น สารกำจัดวัชพืชอีกชนิดคือ สารกำจัดวัชพืชชนิดไม่เลือกทำลายที่ออกฤทธิ์ฆ่าวัชพืชทุกชนิด เช่น สารพาราควอต (Paraquat) [1] สารไกลโฟเสท (Glyphosate) เป็นสารกำจัดวัชพืชอีกชนิดหนึ่งในกลุ่มชนิดไม่เลือกทำลายที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในพื้นที่เกษตรของไทย ตัวสารที่มีสถานะเป็นของแข็งจะมีลักษณะเป็นผงคริสตัลใสหรือสีขาว ขณะที่สารไกลโฟเสทที่เป็นของเหลวจะมีสีเหลืองอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาล และมีกลิ่นเฉพาะตัว กลไกการทำงานของสารไกลโฟเสทต่อพืชจะมีลักษณะเดียวกันกับสารกำจัดวัชพืชชนิดไม่เลือกทำลายชนิดอื่น ๆ กล่าวคือ สารจะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการแบ่งนิวเคลียสของเซลล์พืช โดยสารจะเข้าไปยึดเกาะจับกับทิวบูลินโปรตีนที่อยู่ในไมโครทิวบูล (Microtubule) ทำให้เซลล์ไม่สามารถสร้างไมโครทิวบูลได้ โดยเฉพาะในบริเวณจุดเจริญของราก จึงทำให้เซลล์พืชในบริเวณดังกล่าว ไม่สามารถเกิดการแบ่งและขยายตัวของเซลล์ต่อไปได้ ซึ่งทำให้การพัฒนาของเซลล์ผิดปกติ นอกจากนี้ ยังส่งผลให้การแบ่งเซลล์ในระยะเมทาเฟสเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์หรือผิดปกติไป [1]

ในการศึกษาการแบ่งเซลล์ของพืช ไม่ว่าจะเป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (Mitosis) หรือแบบไมโอซิส (Meiosis)

จำเป็นต้องอาศัยเทคนิควิธีการที่ทำให้เราสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ในแต่ละระยะของการแบ่งเซลล์ได้ง่าย รวมถึงทำให้เราสามารถสังเกตเห็นลักษณะรูปร่าง ขนาดของโครโมโซมที่มีความแตกต่างกันในสิ่งมีชีวิตแต่ละสิ่งมีชีวิตได้ โดยเทคนิคในการศึกษาการแบ่งเซลล์นั้น เราสามารถทำได้ 2 แบบ คือ การศึกษาการแบ่งเซลล์โดยไม่ผ่านการทำพรีทรีตเมนต์และการศึกษาโดยผ่านการทำพรีทรีตเมนต์ ในการศึกษาที่ต้องการเห็นลักษณะของโครโมโซมในแต่ละระยะได้ชัดเจน เรามักนิยมใช้วิธีการศึกษาโดยการทำพรีทรีตเมนต์ ซึ่งต้องอาศัยสารเคมีที่มีฤทธิ์ยับยั้งเส้นใยสปินเดิล (Spindle fiber) ในกระบวนการทำ เราเรียกสารที่มีฤทธิ์ดังกล่าวว่า “สารพรีทรีตเมนต์” และด้วยวิธีการดังกล่าวทำให้เราสามารถทำให้เราศึกษาลักษณะรูปร่างของโครโมโซม และนับจำนวนโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นสารพรีทรีตเมนต์ ได้แก่ โคลชิซิน (Colchicine) 8-ไฮดรอกซีควิโนลีน (8-Hydroxyquinoline) และ พาราไดคลอโรเบนซีน (Paradichlorobenzene) [2]

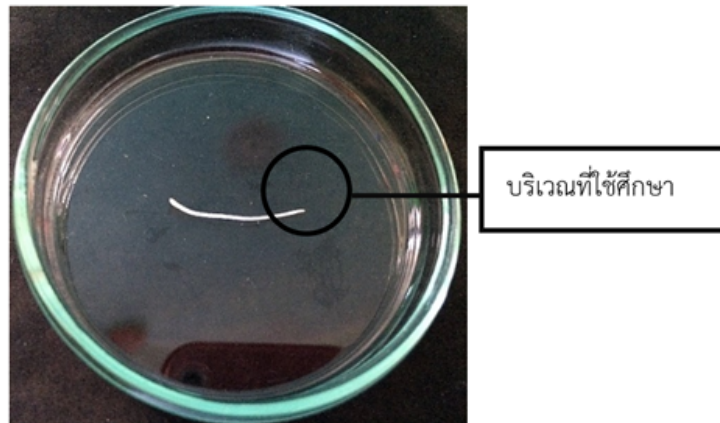
ที่ผ่านมา มีรายงานการวิจัยที่ผ่านมาว่า สารกำจัดวัชพืชบางชนิดมีฤทธิ์แบบเดียวกับสารพรีทรีตเมนต์ ตัวอย่างเช่น สารกลุ่มไดไนโตรอนิลิน (Dinitroaniline) เช่น ออริไซลิน (Oryzalin) เป็นต้น โดยสารชนิดดังกล่าว มีการนำมาใช้ประโยชน์ในงานปรับปรุงพันธุ์พืช ในขณะที่สารไกลโฟเซต (Glyphosate) มีรายงานการวิจัยเช่นกันว่า มีฤทธิ์ในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของพืชได้ [3, 4] อย่างไรก็ตาม การนำสารไกลโฟเซตที่เป็นสารกำจัดวัชพืชราคาถูกไปใช้เพื่อการศึกษาการแบ่งเซลล์มีรายงานในประเทศไทยไม่มากนัก การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ หาระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น ที่เหมาะสมต่อการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน โดยวิธีการทำพรีทรีตเมนต์ เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่ง ในการใช้ไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ทดแทนที่มีราคาสูงในท้องตลาด

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาศึกษาการประยุกต์ใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มีปัจจัยศึกษาจำนวน 1 ปัจจัยคือ ระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ จำนวน 4 กรรมวิธี ได้แก่ 0 ชั่วโมง (ชุดควบคุม; ใช้น้ำกลั่นเป็นสารพรีทรีตเมนต์), 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง และเลือกใช้ด้วยสารละลายไกลโฟเซตที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (v/v) ซึ่งได้จากการคัดเลือกความเข้มข้นที่ดีที่สุดในการทำการทดลองก่อนหน้านี้ ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวอย่าง (เมล็ด) และในการวิจัยในครั้งนี้เลือกใช้พืชตัวอย่างคือ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) มีรายละเอียดวิธีการวิจัยดังนี้

การเตรียมตัวอย่างพืช

นำเมล็ดทานตะวันไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำเมล็ดไปเพาะในวัสดุเพาะเมล็ด โดยมีการให้น้ำทุกวันจนเมล็ดทานตะวันมีรากเกิดขึ้น ทำการเตรียมตัวอย่างรากทานตะวัน โดยเลือกทำในช่วงเวลาเช้า 8.00 ถึง 9.00 นาฬิกา โดยนำตัวอย่างทานตะวันที่เกิดรากไปล้างทำความสะอาดอย่างระมัดระวังไม่ให้ส่วนปลายรากเกิดความเสียหาย จากนั้นทำการตัดรากให้ได้ความยาว 0.5 เซนติเมตร โดยให้ได้ส่วนของปลายรากติดไปด้วย (ภาพที่



ภาพที่ 1: แสดงลักษณะรากทานตะวันที่ใช้ในการวิจัย

1) เมื่อครบจำนวนรากที่ต้องการแล้ว นำไปทดลองการใช้สารไกลโฟเซตในขั้นตอนต่อไป

การทดลองการใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ในขั้นตอนนี้ ดำเนินการต่อเนื่องจากขั้นตอนแรก โดยนำรากทานตะวันความยาว 0.5 เซนติเมตร ที่มีอายุเท่ากัน ไปล้างด้วยน้ำสะอาดด้วยวิธีผ่านน้ำไหล (Running tap water) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้น ซับน้ำบริเวณรากออกด้วยความระมัดระวัง นำรากไปตัดเอาส่วนของหนวกราก (Root cap) ออก (ประมาณ 0.2 เซนติเมตร นับจากส่วนปลายรากขึ้นไป) จากนั้นทำการตัดส่วนของปลายราก (Root tip) (ถัดจากส่วนหนวกรากประมาณ 0.2 เซนติเมตร) นำไปเข้าขั้นตอนของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตที่มีความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (v/v) ตามแผนการทดลอง ที่ศึกษาระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตที่แตกต่างกัน จำนวน 4 กรรมวิธี คือ 0 ชั่วโมง (ใช้น้ำกลั่นเป็นสารพรีทรีตเมนต์), 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง จากนั้น นำตัวอย่างปลายรากของทุกกรรมวิธี ไปล้างด้วยน้ำกลั่นอีกจำนวน 3 ครั้ง ต่อด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรอีกจำนวน 2 ครั้ง จากนั้นนำตัวอย่างรากทานตะวันรากทั้งหมด ไปแช่ในน้ำยาคงสภาพ (Fixative) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังครบกำหนดเวลา 24 ชั่วโมง นำรากทานตะวันของแต่ละกรรมวิธีมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 2 ครั้ง จากนั้น ทำให้น้ำเยื่อปลายรากอ่อนตัวด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ความเข้มข้น 1 N ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำรากทานตะวันของแต่ละพรีทรีตเมนต์ไปวางบนสไลด์ ทำการย้อมสีโครโมโซมด้วยสียอะซิโตนอร์ซิน โดยหยดสียลงบนสไลด์ที่มีตัวอย่างรากประมาณ 1-2 หยด ทิ้งไว้ 2 นาที ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ จากนั้น ทำการสควอช (Squash) ปลายรากเพื่อให้เซลล์กระจายออกจากกัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถสังเกตโครโมโซมได้ง่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากนั้นทำการสังเกตโดยใช้กล้องขยายภาพ 400 เท่าตามลำดับ และการบันทึกผลการทดลองค่าคะแนนตามเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินต่อไป

การประเมิน การบันทึกผล และการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ก. ค่าร้อยละของการยับยั้งการเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน

ค่าร้อยละของการยับยั้งการเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน ทำได้โดยการสังเกต และบันทึกผลค่าความถี่ของการเกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของทานตะวัน โดยสังเกตการแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากทานตะวันของ

ตารางที่ 1: หลักเกณฑ์การพิจารณาการเกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ลักษณะที่พบภายใต้กล้องจุลทรรศน์	ยับยั้ง*	ไม่มีการยับยั้ง
เซลล์มีขนาดใหญ่ เห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจน ไม่เห็นโครโมโซมมีรูปร่างเป็นแท่งชัดเจน	✓	
เซลล์มีขนาดใหญ่ ไม่เห็นขอบเขตของนิวเคลียส เห็นโครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่ง (โครมาทิด) ตำแหน่งของโครมาทิดกระจายอยู่ภายในเซลล์แบบไม่มีทิศทางแน่นอนจากการการสควอช	✓	
เซลล์มีขนาดใหญ่ ไม่พบ การเคลื่อนตัวของโครมาทิดไปยังแต่ละขั้วของเซลล์ หรือลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่างคล้ายอักษรตัววี (V) ตัวเจ (J) และตัวไอ (I)	✓	
เซลล์มีขนาดใหญ่ ไม่เห็นขอบเขตของนิวเคลียส เห็นโครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่งจากการหดสั้น มองเห็นเป็นแท่งชัดเจนมีลักษณะการเรียงตัวเข้าสู่แนวกึ่งกลางเซลล์		✓
พบการเคลื่อนตัวของโครมาทิดไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หรือลักษณะของโครโมโซมที่มีรูปร่างคล้ายอักษรตัววี (V) ตัวเจ (J) และตัวไอ (I)		✓
โครมาทิดแยกออกจากกันไปอยู่ที่แต่ละขั้วของเซลล์อย่างสมบูรณ์ เห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจน เห็นเซลล์เพลทหรือเห็นเป็นสองเซลล์ที่มีขนาดเล็กกว่าเซลล์เริ่มต้น		✓

ยับยั้ง* หมายถึง การยับยั้งกลไกการแบ่งเซลล์ในระยะก่อนการแบ่งเซลล์ระยะเมตาเฟสจนถึงระยะเมตาเฟส โดยเกณฑ์การชี้วัดบางส่วน อ้างอิงมาจากการวิจัยของ Kevin และ Larry ปี 1991 [1] ที่วิจัยการยับยั้งการแบ่งเซลล์ที่มีผลมาจากสารกำจัดวัชพืช

แต่ละกรรมวิธีภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า พิจารณาการพบและไม่พบการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของทานตะวัน โดยใช้หลักเกณฑ์การพิจารณาดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ในส่วนของการบันทึกผล ทำการบันทึกจำนวน 2 บริเวณ (Field) ต่อ 1 ตัวอย่าง

บันทึกผลค่าความถี่ของการยับยั้งการแบ่งเซลล์ของกรรมวิธีการพรีทรีตเมนต์ของแต่ละกรรมวิธี จากนั้น นำค่าความถี่ในแต่ละซ้ำของแต่ละกรรมวิธี ไปคำนวณหาค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบ ไมโทซิส (ดัดแปลงจาก Gomes, R. et al. (2010)) [5] ดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของการยับยั้ง} = \frac{\text{ความถี่ที่พบการยับยั้งของแต่ละกรรมวิธี}}{\text{ความถี่ทั้งหมดที่สังเกตในแต่ละกรรมวิธี}} \times 100 \quad (1)$$

หมายเหตุ

- ค่าความถี่ของการยับยั้ง คือ จำนวนการพบการยับยั้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ที่ตรงตามเกณฑ์ ในตารางที่ 1 ในแต่ละบริเวณสังเกต (field) และในแต่ละซ้ำของกรรมวิธี

- ค่าความถี่ทั้งหมดของแต่ละกรรมวิธี คือ จำนวนความถี่ทั้งหมด ทั้งที่พบและไม่พบในแต่ละกรรมวิธี

ข. ค่าคะแนนการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน

การให้ค่าคะแนนการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันของงานวิจัยนี้ พิจารณาจากเกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2: หลักเกณฑ์การให้ค่าคะแนนการเกิดการยับยั้งกระบวนการเกิดไมโทซิส

ลักษณะที่พบภายใต้กล้องจุลทรรศน์*	ค่าคะแนน**
พบระยะที่เซลล์มีขนาดใหญ่ มองเห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจนแต่ไม่เห็นโครโมโซมมีรูปร่างเป็นแท่ง และเป็นระยะที่ไม่สามารถสังเกตเห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจน แต่สามารถสังเกตเห็นโครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่ง (โครมาทิด) โดยที่ตำแหน่งของโครมาทิด กระจายอยู่ภายในเซลล์แบบไม่มีทิศทางแน่นอนอันเกิดจากการการทำสควอช และไม่พบระยะที่ภายในเซลล์มีการเคลื่อนตัวของโครมาทิดไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หรือลักษณะของโครโมโซมมีที่รูปร่างคล้ายอักษรตัววี (V), ตัวเจ (J) และตัวไอ (I)	5
พบแบบเดียวกันกับลักษณะที่พบในระยะข้างต้น แต่ พบตำแหน่งของโครมาทิด อยู่บริเวณใกล้แนวกึ่งกลางเซลล์หรือมีลักษณะการเรียงตัวเข้าสู่แนวกึ่งกลางเซลล์หรือเซลล์มีขนาดใหญ่ ไม่เห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจน เห็นโครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่งจากการหดสั้น มองเห็นเป็นแท่งชัดเจนมีลักษณะการเรียงตัวเข้าสู่แนวกึ่งกลางเซลล์ แต่ไม่พบระยะที่มีการเคลื่อนตัวของโครมาทิดไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หรือลักษณะของโครโมโซมมีที่รูปร่างคล้ายอักษรตัววี (V), ตัวเจ (J) และตัวไอ (I)	3
พบแบบเดียวกันกับลักษณะที่พบในระยะก่อนหน้า แต่ พบตำแหน่งของโครมาทิดอยู่บริเวณใกล้แนวกึ่งกลางเซลล์ หรือมีลักษณะการเรียงตัวเข้าสู่แนวกึ่งกลางเซลล์ หรือเซลล์มีขนาดใหญ่ ไม่เห็นขอบเขตของนิวเคลียส เห็นโครโมโซมมีลักษณะเป็นแท่งจากการหดสั้น มองเห็นเป็นแท่งชัดเจนมีลักษณะการเรียงตัวเข้าสู่แนวกึ่งกลางเซลล์ แต่ไม่พบระยะที่มีการเคลื่อนตัวของโครมาทิดไปยังแต่ละขั้วของเซลล์หรือลักษณะของโครโมโซมมีที่รูปร่างคล้ายอักษรตัววี (V), ตัวเจ (J) และตัวไอ (I) และพบโครมาทิดแยกออกจากกันไปอยู่ที่แต่ละขั้วของเซลล์อย่างสมบูรณ์ เห็นขอบเขตของนิวเคลียสชัดเจน เห็นเซลล์เพลทหรือเห็นเป็นสองเซลล์ที่มีขนาดเล็กกว่าเซลล์เริ่มต้น	1
ไม่พบลักษณะใด ๆ เนื่องจากเซลล์ตายหรือไม่สามารถสังเกตเห็นเซลล์ได้ชัดเจน	0

หมายเหตุ

* หมายถึง ลักษณะภาพโดยรวมในแต่ละบริเวณ (Field)

** หมายถึง ค่าคะแนนลักษณะของการยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่เกิดจากการทำพริทริตเมนต์ด้วยสารไกลโฟเซต โดยพิจารณาลักษณะที่พบตามเกณฑ์ในตารางที่ 1 และพิจารณาให้ค่าคะแนนศักยภาพของสารไกลโฟเซตในการเป็นสารพริทริตเมนต์ในการวิจัย การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสในการทดลองครั้งนี้

การพิจารณา 2 บริเวณ (Field) ต่อ 1 สไลด์ หรือ (จำนวน 20 บริเวณต่อ 1 กรรมวิธีต่อครั้ง ในการทดลองนี้) ทำการบันทึกผลความถี่ที่พบของแต่ละเกณฑ์ค่าคะแนนของแต่ละกรรมวิธี จากนั้น เลือกค่าคะแนนการยับยั้งที่มีความถี่สูงสุด นำค่าความถี่ไปคำนวณเป็นค่าร้อยละของการยับยั้งที่ดีที่สุดของแต่ละกรรมวิธีของการทดลอง จะได้เป็นค่าคะแนนที่ดีที่สุดของกรรมวิธีและร้อยละการยับยั้งที่ดีที่สุดของกรรมวิธีเพื่อนำไปเปรียบเทียบทางสถิติต่อไป

$$\text{ร้อยละของการยับยั้งที่ดีที่สุด} = \frac{\text{ความถี่ที่พบมากที่สุดของค่าคะแนนของแต่ละกรรมวิธี}}{\text{ความถี่ทั้งหมด}} \times 100 \quad (2)$$

การวิเคราะห์การทดลองทางสถิติ

วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลการทดลองโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนแบบ Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ก. ผลการวิจัย

การวิจัยการประยุกต์ใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน วางแผนการทดลองแบบแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) มีปัจจัยศึกษาจำนวน 1 ปัจจัยคือ ระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (v/v) จำนวน 4 กรรมวิธี ได้แก่ 0 ชั่วโมง (ชุดควบคุม), 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง จำนวน 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัวอย่าง (เมล็ด) โดยเลือกใช้พืชตัวอย่างคือ ทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ในการทำวิจัย ได้ผลการวิจัยดังนี้

ก). ค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน

ผลของระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตต่อการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันโดยวิธีการทำพรีทรีตเมนต์พบว่า ระยะเวลาของการทำพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซตที่แตกต่างกัน มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 3

โดยจากผลการวิจัยพบว่า กรรมวิธีที่ 3 การพรีทรีตเมนต์ด้วยสารละลายไกลโฟเซต 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมงให้ค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันมากที่สุดคือ ร้อยละ 65.00 ± 5.00 รองลงมาได้แก่ กรรมวิธีที่ 2 และ กรรมวิธีที่ 4 คือ กรรมวิธีการพรีทรีตเมนต์เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง ที่ให้ผลค่าเฉลี่ยร้อยละของการยับยั้งรองลงมาคือร้อยละ 56.67 ± 2.89 และร้อยละ 53.33 ± 2.89 ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ กรรมวิธีควบคุมที่ใช้น้ำกลั่นในการทำพรีทรีตเมนต์ไม่ทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์แต่อย่างใด โดยให้ค่าร้อยละการยับยั้งเท่ากับร้อยละ 0

ข). ค่าคะแนนการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน

จากผลการวิจัยข้างต้น เมื่อให้คะแนนการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันโดยพิจารณาจากเกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ผลการวิจัยพบว่า หากพิจารณาค่าความถี่ของการยับยั้งการแบ่งเซลล์

ตารางที่ 3: แสดงค่าเฉลี่ยร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน

กรรมวิธีที่	ระยะเวลาการทำ		ค่าเฉลี่ยร้อยละ การยับยั้ง $\pm$ S.D.
	พรีทรีเมนต์ (ชั่วโมง)	เกณฑ์คะแนน*	
1	0 (น้ำกลั่น)	1	0.00 ^c
2	1	3	56.67 ^b $\pm$ 2.89
3	2	3	65.00 ^a $\pm$ 5.00
4	3	3	53.33 ^b $\pm$ 2.89

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันหมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P > 0.05$) และ $CV = 7.38$

หมายเหตุ

$\pm$ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

* หมายถึง ค่าคะแนนที่มีความถี่ที่พบมากที่สุดของกรรมวิธี

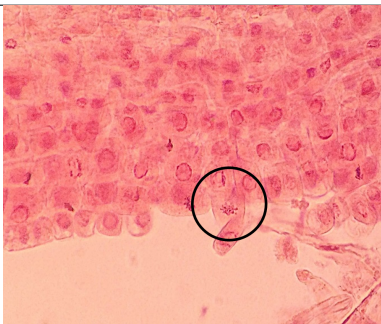
** หมายถึง ค่าเฉลี่ยร้อยละการยับยั้งที่มากที่สุด

แบบไมโทซิส ร่วมกับผลการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า พบว่า กรรมวิธีที่ 3 ให้ผลค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสมากที่สุดจากการพบความถี่ของการยับยั้งการแบ่งเซลล์มากที่สุด โดยเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การให้คะแนนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 แล้ว กรรมวิธีที่ 3 นี้จะให้ค่าคะแนนของการเกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเท่ากับ 3 คะแนน ซึ่งไม่แตกต่างจากกรรมวิธีที่ 2 และกรรมวิธีที่ 4 ที่มีค่าคะแนนการเกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสเท่ากับ 3 คะแนนเช่นกัน ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาจากตัวอย่างภาพถ่ายการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ปลายรากของทานตะวันที่เกิดขึ้นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายภาพ 400 เท่า ของทั้ง 3 กรรมวิธีที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า เราพบลักษณะของโครโมโซมที่มีลักษณะเป็นแท่ง อยู่บริเวณกลางเซลล์ โดยที่ไม่ปรากฏเห็นขอบเขตของเยื่อหุ้มนิวเคลียส ในกรรมวิธีทั้ง 3 คือ กรรมวิธีที่ 2 3 และ 4 ซึ่งสามารถสังเกตและเปรียบเทียบความแตกต่างกับการติดสีย้อมของนิวเคลียสในระยะอินเตอร์เฟส (Interphase) ของเซลล์ข้างเคียงได้ ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ดังปรากฏตามภาพของแต่ละกรรมวิธี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยทั้ง 3 กรรมวิธีให้ผลที่แตกต่างจากกรรมวิธีควบคุมที่มีค่าคะแนนของการยับยั้งเท่ากับ 1 คะแนน (ไม่มีการยับยั้ง)

ข. อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย การประยุกต์ใช้สารละลายไกลโฟเซตเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเป็นสารพรีทรีเมนต์ และศึกษาผลของระยะเวลาการทำพรีทรีเมนต์ที่แตกต่างกันต่อการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวัน 4 กรรมวิธี คือ 0 ชั่วโมง (น้ำกลั่น), 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง สามารถอภิปรายผลการวิจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 4: แสดงค่าคะแนนของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันพร้อมภาพประกอบ

ระยะเวลาการ กรรมวิธีที่ ทำพรีทรีตเมนต์ ค่าคะแนน ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า (ชั่วโมง)			
1	0 (น้ำกลั่น)	1	
2	1	3	
3	2	3	
4	3	3	

จากผลการวิจัยที่พบว่า สารละลายไกลโฟเซตที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร สามารถใช้เป็นสารพรีทรีตเมนต์สำหรับการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสโดยวิธีการทำพรีทรีตเมนต์ของทานตะวันได้ มีคล้ายคลึงกับรายงานวิจัยของ *Acar et al.* (2010) [3] ที่ได้ทำการวิจัยผลของสารละลายไกลโฟเซต ไอโซโพรพิลามีน (Glyphosate isopropylamine) ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน ได้แก่ 0.5, 1, 2 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ต่อกิจกรรมการแบ่งเซลล์บริเวณ

เซลล์บริเวณปลายราก (root tip) ของหอมหัวใหญ่ (*Aulium cepa* L.) และพบว่า สารละลายไกลโฟเซต ไอโซโพรพิลามีน เพียงระดับเดียวคือ 5 เปอร์เซ็นต์ที่มีผลต่อการเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของหอมหัวใหญ่ที่ลดลงอย่างไรก็ตาม ในการวิจัยของ *Acar et al.* (2010) นั้น เป็นการแช่รากหอมหัวใหญ่ที่มีความยาว 1.5 - 2.5 เซนติเมตร เป็นระยะเวลาถึง 48 ชั่วโมง จะแตกต่างจากการวิจัยในครั้งนี้ที่ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าคือ 1 - 3 ชั่วโมง แต่กลับให้ผลการวิจัยไปในทางเดียวกัน กล่าวคือ กรรมวิธีที่มีการใช้สารละลายไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์ทำให้การแบ่งเซลล์บริเวณปลายรากของทานตะวันมีค่าลดลง โดยดูได้จากการที่พบค่าร้อยละของการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม นอกจากนี้ ผลการวิจัยนี้ ยังมีความคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยของ Swamy และ Jagannath ในปี 2012 [4] ที่ศึกษาผลสารกำจัดวัชพืช Oxadiargyl ซึ่งเป็นสารกำจัดวัชพืชที่ใช้ในกระบวนการปลูกอ้อยที่มีผลต่อเซลล์เนื้อเยื่อเจริญของทานตะวัน ที่พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสาร Oxadiargyl ส่งผลต่อค่าความถี่ของการเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสบริเวณเนื้อเยื่อเจริญปลายรากของทานตะวันในทิศทางที่ลดลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gomes, R. et al. (2010) [5] ที่ศึกษาการตอบสนองของทานตะวันต่อการกระตุ้นการสัมผัสสารไกลโฟเซต (glyphosate) และไตรเนกซาแพก-เอทิล (trinexapac-ethyl) ที่พบว่า การตอบสนองต่อการสัมผัสพิษของสารไกลโฟเซต (glyphosate) และไตรเนกซาแพก-เอทิล (trinexapac-ethyl) ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารที่ส่งผลต่อการเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของทานตะวัน ด้วยเหตุนี้ จากผลการวิจัยที่ได้ทำให้สามารถยืนยันว่า สารละลายไกลโฟเซตที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรมีคุณสมบัติของการเป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสโดยวิธีการทำพรีทรีตเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถการยับยั้งการเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันได้เช่นเดียวกันกับคุณสมบัติของสารพรีทรีตเมนต์อย่าง โคลชิซิน (Colchicine) พาราไดคลอโรเบนซีน (Paradichlorobenzene) และ 8 ไฮดรอกซีควิโนลีน (8-hydroxyquinoline) ที่ใช้โดยทั่วไปในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสโดยวิธีการพรีทรีตเมนต์ของพืช แต่มีราคาที่ถูกกว่ามาก นอกจากนี้ ระยะเวลาของการทำ พรีทรีตเมนต์ มีผลต่อการยับยั้งการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสที่แตกต่างกันของทานตะวันเป็นการยืนยันได้ว่า หากต้องการนำเอาสารไกลโฟเซตไปประยุกต์ใช้เพื่อการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของพืชชนิดอื่น ผู้ใช้จำเป็นต้องหาความเข้มข้นของสารที่เหมาะสม รวมไปถึงระยะเวลาในการทำพรีทรีตเมนต์ที่เหมาะสมเช่นเดียวกัน เพื่อให้การศึกษาเกิดประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้สามารถนำไปปรับกับการเรียนการสอนในหัวข้อการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของพืชได้ในการศึกษาระดับต่าง ๆ เนื่องจากสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการซื้อสารพรีทรีตเมนต์ซึ่งมีราคาสูงได้

สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้สรุปได้ว่า การใช้สารละลายไกลโฟเซตที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรสามารถใช้เป็นสารพรีทรีตเมนต์ในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของทานตะวันได้ โดยกรรมวิธีการพรีทรีตเมนต์ เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลการยับยั้งการเกิดไมโทซิสได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 65 ± 5.00 ในขณะที่กรรมวิธีควบคุมที่ไม่มีการใช้สารไกลโฟเซตเป็นสารพรีทรีตเมนต์แต่ใช้น้ำกลั่นแทนนั้น ให้ค่าคะแนนน้อยที่สุดเท่ากับ 1 คะแนน คือ ไม่สามารถยับยั้งกระบวนการแบ่งเซลล์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ได้เอื้อเฟื้อเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทศพล พรพรม. (2547). สารป้องกันกำจัดวัชพืช : หลักการและกลไกการทำลายพืช. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แสงแดด.
- [2] อติสร กระแสชัย. (2539). บทปฏิบัติการ Cytogenetics in Agriculture. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- [3] Okan Acar, .Sefer Demirbas,, Dogan Ilhan and Nagme Ozdinc. (2010). The Effects Of Glyphosate Isopropylamine on Mitotic Activity, Superoxide Dismutase and Peroxidase Activities of Allium cepa L. Root Tip Cells. Fresenius environmental bulletin, 19(3), 522-525.
- [4] N.N. Swamy and Shobha Jagannath (2012). Cytological studies on the effect of a herbicide, oxadiazyl on root meristemlls of sunflower, Helianthus annuus L.. Nature Environment and Pollution Technology, 11(3), 511-514.
- [5] Roberto Gomes Vital, Adriano Jakelaitis, Alan Costa and F.B. SILVA. (2017). Sunflower plant response to simulated drift of glyphosate and trinexapac-ethyl. Planta Daninha, 35, 1-13.

การพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)

The Development of a Virtual Reality Museum for the Kamphaeng Phet Provincial Museum, Chaloe Phrakiat (Thai House Museum)

สิทธิพงษ์ สุวรรณ, ชัยวัฒน์ เหลืองเพชรรัตน์, พณรินทร์ สายกลิ่น*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Sittipong Suwan, Chainawat Reuangpetcharat, Ponnarin Saiklin*

Information Technology, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) เพื่อเพิ่มการเข้าถึงข้อมูลทางด้านวัฒนธรรม วิธีการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการสัมภาษณ์ผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทย 2) การออกแบบระบบ โดยใช้แบบจำลองข้อมูลและกระบวนการ (Data and Process Model) และการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (UI/UX) 3) การพัฒนาระบบด้วยโปรแกรม Autodesk Maya ในการสร้างโมเดล 3 มิติ และโปรแกรม Unity ในการพัฒนาสภาพแวดล้อมเสมือนจริงของพิพิธภัณฑ์เรือนไทย 4) การทดสอบและประเมินผลจากผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์ 5 คน และกลุ่มเยาวชนจังหวัดกำแพงเพชร อายุ 15-24 ปี จำนวน 30 คน โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ และคำถามปลายเปิดสำหรับรวบรวมความคิดเห็นเพิ่มเติม และ 5) การวิเคราะห์และสรุปผลด้วยสถิติพรรณนา

ผลการวิจัยพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับ "มาก" (ค่าเฉลี่ย 3.81) โดยเฉพาะในด้านเนื้อหาและ ความชัดเจนของภาพ 3 มิติ อย่างไรก็ตาม ด้านความสมจริงของภาพยังต้องการการปรับปรุงเพิ่มเติม ข้อเสนอแนะจาก การวิจัย ได้แก่ การเพิ่มฟังก์ชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ เช่น หน้าต่างแสดงข้อมูลพร้อมเสียงบรรยาย และกิจกรรมในรูปแบบ เกม เพื่อเสริมการมีส่วนร่วมของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ ควรพัฒนาระบบให้รองรับอุปกรณ์พกพา เช่น สมาร์ทโฟนและ

*Corresponding author : ponnarin_s@kpru.ac.th.com

แท็บเล็ต เพื่อเพิ่มการเข้าถึงและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานในยุคดิจิทัล

คำสำคัญ : สามมิติ, ความเป็นจริงเสมือน, พิพธิภัณฑ์, พิพธิภัณฑ์เสมือนจริง, พิพธิภัณฑ์เรือนไทย, กำแพงเพชร

Abstract

This study aimed to develop a virtual museum system using Virtual Reality (VR) technology to enhance access to cultural information. The research methodology consisted of five steps: (1) Preliminary data collection, which included reviewing relevant documents, research studies, and interviewing curators of the Thai-style house museum; (2) System design, utilizing Data and Process Models and designing user interfaces (UI/UX); (3) System development, using Autodesk Maya to create 3D models and Unity to develop the virtual environment for the Thai-style house museum; (4) Testing and evaluation, conducted with five museum curators and 30 youth participants aged 15–24 years from Kamphaeng Phet Province. Data were collected using a 5-point Likert scale questionnaire and open-ended questions to gather additional feedback; and (5) Analysis and conclusion using descriptive statistics.

The findings revealed that users were "highly satisfied" with the system (mean score = 3.81), particularly regarding the content and clarity of 3D visuals. However, the realism of the visuals requires further improvement. Recommendations from this study include integrating interactive features such as pop-up windows with audio descriptions and gamified activities to enhance user engagement. Additionally, it is suggested to develop the system to be compatible with mobile devices such as smartphones and tablets to improve accessibility and meet the needs of users in the digital age.

Keywords : 3D, Virtual Reality, Museum, Virtual Reality Museum, Thai House Museum, Kamphaeng Phet

ที่มาและความสำคัญ

พิพิธภัณฑสถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ หรือที่รู้จักกันในชื่อ "พิพิธภัณฑเรือนไทย" เป็นโครงการที่จัดตั้งขึ้นเพื่อเฉลิมฉลองในวโรกาสพระราชพิธีกาญจนาภิเษก ฉลองสิริราชสมบัติครบ 50 ปี ในรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร (รัชกาลที่ 9) โดยมีบทบาทสำคัญในการอนุรักษ์และเผยแพร่วัฒนธรรมไทย โดยเน้นการนำเสนอวิถีชีวิต ประเพณี และความรู้เกี่ยวกับชนพื้นเมืองในรูปแบบที่น่าสนใจและครอบคลุม เป็นแหล่งเรียนรู้ด้านประวัติศาสตร์และมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญของจังหวัดกำแพงเพชร โดยจัดแสดงเนื้อหาที่หลากหลาย เช่น ศีรษะครูในการประกอบพิธีไหว้ครูนาฏศิลป์ ดนตรีไทย หุ่นนาฏศิลป์ หุ่นระบำชากราวแบบจำลองเรื่องราวเกี่ยวกับวิถีชีวิต ประเพณี วัฒนธรรมของชนกลุ่มน้อยและชาติพันธุ์พื้นถิ่น รวมถึงประวัติศาสตร์และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่จังหวัด พิพิธภัณฑเปิดให้บริการทุกวันตั้งแต่เวลา 09.00-16.00 เพื่อรองรับนักท่องเที่ยวทั้งชาว

ไทยและชาวต่างชาติ [1-3]

แม้พิพิธภัณฑ์จะมีการจัดแสดงข้อมูลผ่านสื่อหลากหลาย เช่น ภาพถ่าย หุ่นจำลอง และคอมพิวเตอร์จอสัมผัส แต่ยังมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึง เช่น ความไม่สะดวกในการเดินทาง ค่าใช้จ่าย และเวลาทำการที่ไม่เหมาะสมกับกลุ่มเป้าหมายบางกลุ่ม เช่น นักเรียนหรือผู้ทำงาน นอกจากนี้ การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ยิ่งเพิ่มข้อจำกัดดังกล่าว เนื่องจากมาตรการควบคุมการแพร่ระบาดส่งผลให้พิพิธภัณฑ์ไม่สามารถเปิดให้บริการได้ตามปกติ ส่งผลให้จำนวน ผู้เยี่ยมชมลดลงอย่างมาก และการเข้าถึงข้อมูลทางวัฒนธรรมถูกจำกัดมากขึ้น

เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) เป็นนวัตกรรมที่สร้างสภาพแวดล้อมสามมิติซึ่งจำลองโลกจริงหรือโลกสมมติ โดยผู้ใช้งานสามารถมีปฏิสัมพันธ์กับองค์ประกอบในพื้นที่ดังกล่าวได้ เช่น วัตถุ เสียง และแสง เพื่อเสริมประสบการณ์การเรียนรู้หรือสร้างความบันเทิง เทคโนโลยีนี้ยังสามารถปรับใช้ในบริบทหลากหลาย อาทิ การศึกษา วัฒนธรรม และอุตสาหกรรม เพื่อสร้างการมีส่วนร่วมและการรับรู้ที่ลึกซึ้งขึ้น VR ได้รับการประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขา ตัวอย่างโครงการที่ประสบความสำเร็จ ได้แก่ British Museum ที่ใช้ VR ในการนำเสนอวัตถุโบราณจากอียิปต์โบราณ ทำให้ผู้ใช้งานเข้าถึงประสบการณ์ที่เสมือนจริงทางด้านวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ได้โดยไม่ต้องเดินทางไปสถานที่จริง [4-5] ในด้านการศึกษา VR มีบทบาทสำคัญในการสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่น่าสนใจ โดยเฉพาะในยุคดิจิทัลที่เยาวชนเติบโตมาพร้อมกับเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น การใช้ VR เพื่อศึกษากายวิภาคมนุษย์ในรูปแบบสามมิติ ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาที่ซับซ้อนได้ง่ายขึ้น [6] อีกทั้ง VR ยังตอบสนองต่อรูปแบบการเรียนรู้ ที่หลากหลาย เช่น การเรียนรู้เชิงภาพและการเรียนรู้เชิงสร้างสรรค์ ซึ่งส่งผลให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมและจดจำข้อมูลได้ดียิ่งขึ้น [7] การนำ VR มาใช้ในด้านนี้จึงไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ แต่ยังส่งเสริมทักษะสำคัญในศตวรรษที่ 21 อาทิ การคิดเชิงวิพากษ์และการแก้ปัญหา [8] ดังนั้น VR จึงถือเป็นเครื่องมือสำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาการเรียนรู้และอนุรักษ์วัฒนธรรม โดยเฉพาะในพิพิธภัณฑ์ที่มีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงในสถานการณ์ปัจจุบัน เช่น การระบาดของโรคโควิด-19 ที่ส่งผลต่อจำนวนผู้เยี่ยมชมพิพิธภัณฑ์ การสร้างพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงจึงเป็นโอกาสสำคัญในการลดข้อจำกัดเหล่านี้ และช่วยเปิดโอกาสให้ผู้คนทั่วโลกสามารถเข้าถึงข้อมูลเชิงวัฒนธรรมได้อย่างเท่าเทียม

ดังนั้น การนำเทคโนโลยี VR มาพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ จะช่วยลดข้อจำกัดด้านการเข้าถึงข้อมูลประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม พร้อมทั้งเสริมศักยภาพ การนำเสนอข้อมูลในรูปแบบทันสมัยให้กับผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทย นอกจากนี้ VR ยังตอบสนองความต้องการของกลุ่มเยาวชนในจังหวัดกำแพงเพชร ที่มีศักยภาพด้านเทคโนโลยีและสนใจเรียนรู้ข้อมูลเชิงวัฒนธรรมผ่านประสบการณ์เสมือนจริง อันจะส่งเสริมการเรียนรู้และการอนุรักษ์วัฒนธรรมในยุคดิจิทัลอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมความต้องการของระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)
2. เพื่อพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์



ภาพที่ 1: พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)

ที่มา: [https:// acc.kpru.ac.th/ acc/ museum/](https://acc.kpru.ac.th/acc/museum/) (ซ้าย) [https:// khunnaiver.blogspot.com/ 2021/09/ kamphaeng-phet-ruanthai-museum.html](https://khunnaiver.blogspot.com/2021/09/kamphaeng-phet-ruanthai-museum.html) (ขวา)

เรือนไทย) โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality)

3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจและความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อการใช้งานพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย)

จากการศึกษาข้อมูลพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) และลงพื้นที่สำรวจ พบว่า พิพิธภัณฑ์สถานมีลักษณะเป็นเรือนไทยหมู่แบบเรือนไทยภาคกลาง ซึ่งประกอบด้วย ใต้ถุนโถงสูง ด้านล่างจัดวางโต๊ะแสดงชนบทประเพณีวิถีไทย ส่วนด้านบนเป็นเรือนชานกว้างที่มี 3 เรือนเชื่อมต่อกัน ดังภาพที่ 1

โดยด้านบนแบ่งเป็นห้องจัดแสดงจำนวน 4 ห้อง [1-3] ได้แก่

1) ห้องเฉลิมพระเกียรติ เป็นที่ประดิษฐานของพระพุทธรูปหล่อปิดทองคำเปลวสมเด็จพระสังฆราช องค์ที่ 19 แห่งกรุงรัตนโกสินทร์ และพระพุทธรูปหล่อปิดทองคำเปลวพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร

2) ห้องมรดกไทย เป็นห้องจัดแสดงมรดกดีเด่นของจังหวัดกำแพงเพชร และข้อมูลศิระศรุกรในการประกอบพิธีไหว้ครุนาฏศิลป์ ดนตรีไทย จัดแสดงหุ่นนาฏศิลป์ไทย หุ่นการแต่งกายสวัสดีรักษา หุ่นระบำชาวกังวาระบำประจำจังหวัดกำแพงเพชร

3) ห้องภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา จัดแสดงข้อมูลภาพหุ่นจำลองและคอมพิวเตอร์สัมผัสจอภาพ (Computer touch screen) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนกลุ่มน้อยที่ตั้งถิ่นฐานในจังหวัดกำแพงเพชร ได้แก่ กลุ่มชนม้ง เย้า กระเหรี่ยง ลีซู

นอกจากนี้ยังนำเสนอข้อมูลเรื่องราวเกี่ยวกับชาติพันธุ์และชนพื้นถิ่นในจังหวัดกำแพงเพชร ประเพณีและการดำเนินชีวิตของผู้คน

4) ห้องภาควิชาประวัติศาสตร์เมือง จัดแสดงข้อมูลภาพ หุ่นจำลอง และแสดงเรื่องเกี่ยวกับลักษณะทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ธรรมชาติวิทยา ประวัติศาสตร์ความเป็นมาของเมืองกำแพงเพชร

2. เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual reality : VR)

ความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality : VR) เกิดจากสภาพแวดล้อมที่สร้างด้วยคอมพิวเตอร์ โดยจำลองสภาพแวดล้อมให้มีความเหมือนจริง โดยผู้ใช้จะถูกตัดขาดออกจากสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน เช่น เกมจำลองการบังคับโดรน (Drone Racing) การฝึกอบรมพนักงานเสมือนจริง (VR Training) ทั้งนี้สามารถใช้อุปกรณ์แสดงภาพเสมือน อย่างเช่น แว่น VR หรือ VR Headset เพื่อเข้าถึงประสบการณ์ในโลกเสมือนจริง (Virtual Experience) หรือเข้าถึงผ่านการจำลองสภาพแวดล้อมเข้าไปให้เสมือนจริงแบบ 3 มิติ และ 360 องศา ผ่านตัวกลางอย่างคอมพิวเตอร์ และ สมาร์ทโฟน ที่เป็นการจำลองสภาพแวดล้อมเสมือนจริงขึ้นมาได้ [9] ซึ่งแตกต่างจากความเป็นจริงเสริม (Augmented Reality : AR) ที่ผสานเอาโลกแห่งความเป็นจริง (Real) เข้ากับโลกเสมือน (Virtual) ทำให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นภาพที่มีลักษณะเป็นวัตถุเสมือนจริง บนตำแหน่งของพื้นที่โลกความจริง เช่น เกม Pokémon Go การจำลองการจัดวางตำแหน่งของเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ ในพื้นที่ห้องที่ต้องการ [10] ดังนั้นการนำแนวคิดเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือนเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยลดข้อจำกัดในการเดินทางและระยะเวลาในการเยี่ยมชม อาทิเช่น นิทรรศการเสมือนจริงของศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา [11] พิพิธภัณฑ์เสมือนจริงของพิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร [12] โดยประเภทของระบบความจริงเสมือน (VR) ในด้านการศึกษา แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) Non-immersive หรือ Desktop VR หรือ Window on World System (WoW) คือ ใช้จอภาพคอมพิวเตอร์ทั่วไปในการแสดงภาพเสมือนจริง และ 2) Immersive VR เป็นการแสดงภาพเสมือนจริง โดยใช้จอภาพสวมศีรษะ (Head-Mounted Display: HMD) ในการแสดงภาพและเสียงโลกเสมือน [13] ซึ่งการปฏิสัมพันธ์หรือการโต้ตอบกับระบบความจริงเสมือนที่กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้และเพิ่มทักษะทางการปฏิบัติ สามารถแบ่งระดับการควบคุมเป็น 3 ระดับ คือ 1) Passive Level เป็นการปฏิสัมพันธ์ของผู้ใช้กับสภาพแวดล้อมแบบ 3 มิติ ผู้ใช้ไม่สามารถควบคุมสิ่งที่เกิดขึ้นได้ แต่มีอิสระในการเลือกจุดมองและโต้ตอบกับประสาทสัมผัสหลายอย่าง เช่น การมองเห็น การได้ยิน และการสัมผัส (รู้สึกว้าวุ่นขึ้นรอบตัว) ตัวอย่างที่พบมากที่สุดของ VR แบบ Passive คือวิดีโอ 360 องศา 2) Exploratory Level เป็นระดับการปฏิสัมพันธ์ในซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนา 6) ออกแบบและสร้างสภาพแวดล้อมเสมือนจริงตามความต้องการ 7) ประเมินสภาพแวดล้อมเสมือนกับกลุ่มนำร่องขนาดเล็ก 8) ปรับปรุงสภาพแวดล้อมเสมือนตามผลประเมิน ทำซ้ำขั้นตอน 7) -8) จนเป็นที่พอใจ 9) ประเมินสภาพแวดล้อมเสมือนกับกลุ่มเป้าหมายจริง และ 10) ปรับปรุงสภาพแวดล้อมเสมือนตามผลประเมิน ทำซ้ำขั้นตอน 9)-10) จนได้ระบบที่สมบูรณ์ [14]

3. การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface Design – UI Design)

การออกแบบ UI หรือ User Interface Design เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบกับผลิตภัณฑ์หรือบริการดิจิทัลได้อย่างง่ายดายและมีประสบการณ์ที่ดี ซึ่งประกอบด้วยหลายองค์ประกอบที่ทำงานร่วมกันเพื่อสร้างประสบการณ์ผู้ใช้ที่ดีที่สุด องค์ประกอบเหล่านี้ ได้แก่ 1) การออกแบบข้อมูล (Information Design) โดยคำนึงถึงการนำเสนอเพื่อสร้างความเข้าใจและเรียงลำดับข้อมูล 2) การออกแบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งาน (Interaction De-



ภาพที่ 2: การเปรียบเทียบมุมมองในเกม (Video Game Perspectives)

ที่มา: <https://potboiler.itch.io/28-pixels-later>

sign) เป็นการพิจารณาการรับรู้ถึงการกระทำของผู้ใช้ หรือการดำเนินการของระบบที่ตอบสนอง เช่น กดปุ่มลดเสียง แล้วเสียงเบาลง ดาวนโหลตแล้วขึ้นแถบสถานะ นอกจากนี้ยังรวมถึงการใช้คำที่สื่อความหมายให้ผู้ใช้ทำอะไร 3) การออกแบบสถาปัตยกรรมข้อมูล (Information Architecture) เป็นการจัดระเบียบข้อมูล โดยทำให้ผู้ใช้งาน รู้ลำดับการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว 4) การออกแบบภาพ (Visual Design) โดยอาศัยการจัดวางตำแหน่ง การใช้สี การใช้ตัวอักษร การใช้ภาพประกอบและกราฟิก เพื่อสร้างความประทับใจให้กับผู้ใช้งาน 5) การออกแบบปฏิสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ (Human Computer Interaction) เป็นพื้นฐานของการออกแบบที่ดี ควรเน้นทั้ง ความสวยงาม และความสะดวกสบายในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้โดยไม่รู้สึกรำคาญหรือ ความยุ่งยาก นอกจากนี้ยังควรมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองต่อความต้องการและความคาดหวังของผู้ใช้ ที่เปลี่ยนแปลงไป [15]

มุมมองในการควบคุมสภาพแวดล้อมเสมือน สามารถพิจารณาได้จากมุมมองในเกม (Video Game Perspectives) หรือมุมมองการเล่น แบ่งเป็น 4 ประเภท 1) first-person เป็นมุมมองที่ผู้เล่นมองผ่านสายตาของ ตัวละครที่เรา กำลังควบคุม ทำให้รับรู้สภาพแวดล้อมและสิ่งต่างๆ เช่นเดียวกับการมองโลกในชีวิตจริง ตัวอย่างเกม เช่น Battlefield, Call of Duty, Far Cry, Mirror's Edge Portal 2) second-person เป็นมุมมองที่ผู้เล่นมองเห็นผ่านตาของเพื่อนร่วมทาง และควบคุมตัวละครหลัก (ซึ่งก็คือผู้เล่น) ที่อยู่ข้างหน้าเพื่อนร่วมทาง ทั้งนี้ผู้เล่นไม่สามารถควบคุมเพื่อนร่วมทางได้ ตัวอย่างเกม เช่น Mario 64, Siren 3) third-person เป็นมุมมองที่ผู้เล่นควบคุมตัวละคร โดยมองเห็นทั้งร่างกายของ ตัวละครจากด้านหลัง ตัวอย่างเกม เช่น Uncharted, Tomb, Raider Assassin's, Creed, Grand Theft Auto, Red Dead Redemption 2 และ 4) top-down/isometric เป็นมุมมองด้านบนของผู้เล่นโดยตรง หรือมุมเอียง ซึ่งช่วยให้ผู้เล่น เห็นภาพรวมทั้งหมดของเกมได้ ตัวอย่าง เช่น เกม Diablo เกม Metal Gear Solid เกม Overcooked นอกจากนี้ยังมี เกม Grand Theft Auto ที่เริ่มต้นด้วยมุมมอง Top-Down แล้วเปลี่ยนไปเป็นมุมมอง Third-Person เมื่อปี พ.ศ.2544 หรือเกม Japanese Role-Playing ในอดีตที่มักจะมีมุมมอง Top-Down อย่างเดียว แต่ปัจจุบันนี้ได้มีการเปลี่ยนไป ใช้มุมมอง Third-Person กับเกม Final Fantasy VII Remake และ Persona 5 ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมาก [9] นอกจากนี้เกม 3 มิติส่วนใหญ่ จะใช้ปุ่ม W, S, A, D หรือปุ่มลูกศร หรือการคลิกเมาส์ซ้ายขวา (Drag Mouse) ในการ ควบคุมการเคลื่อนที่ [16-17]

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาแอปพลิเคชันพิพิธภัณฑ์เสมือนปฏิสัมพันธ์โดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนใน

มุมมอง 360 องศาและการสแกนภาพ 3 มิติ: กรณีศึกษา 10 พิพิธภัณฑ์ของไทย (2564) พบว่า นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา ที่ใช้งานแอปพลิเคชันและเว็บไซต์ VR Siam มีความพึงพอใจในระดับมาก แอปพลิเคชันช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ และสนุกสนานในการเรียนรู้ [18]

รายงานการวิจัยเรื่องการส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานทางวัฒนธรรม โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (2562) ผลการวิจัยพบว่า 1) บริบทแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน มีความคิดเห็นมากที่สุด คือ เป็นโบราณสถาน เฉพาะท้องถิ่น ร้อยละ 95.83 ด้านความต้องการส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน มีความคิดเห็นมากที่สุด คือ ต้องการมีเทคโนโลยีในการส่งเสริมที่ใช้งานและเข้าถึงง่าย ร้อยละ 97.50 ด้านความต้องการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี มีความคิดเห็นมากที่สุด คือ สามารถใช้งานได้ในอุปกรณ์ที่หลากหลาย ร้อยละ 98.33 และองค์ประกอบของสื่อโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน มีส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ การนำเข้าข้อมูล การจัดการสื่อเสมือนจริง และการแสดงผล ข้อมูล ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อความเหมาะสมขององค์ประกอบอยู่ในระดับมากที่สุด 2) สื่อส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานทางวัฒนธรรมโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน ประกอบด้วย หน้าหลัก หน้ารายการแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน ทั้ง 4 จังหวัด โดยมีเมนูสำหรับการดูสถานที่ในลักษณะเสมือนจริงผ่านอุปกรณ์ Virtual box และหน้าเมนูแสดงแผนที่ของโบราณสถานในแต่ละจังหวัด ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อ ความเหมาะสมของสื่อส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน อยู่ในระดับมากที่สุด รูปแบบการส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานทางวัฒนธรรม ประกอบด้วย 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นวางแผนร่วมกัน ชั้นเรียนรู้โบราณสถาน ชั้นสังเกตการณ์ สะท้อนผล ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นต่อ ความเหมาะสมรูปแบบการส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน อยู่ในระดับมากที่สุด 3) ผู้เข้าร่วมกิจกรรมมีคะแนนการวัดความรู้หลังการจัดกิจกรรม โดยรวมอยู่ในระดับสูง ร้อยละ 84.86 ความพึงพอใจที่มีต่อสื่อส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน อยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจที่มีต่อรูปแบบ การส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถาน อยู่ในระดับมากที่สุด และการยอมรับสื่อส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานทางวัฒนธรรมโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ทั้งนี้ได้มีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารั้งต่อไป คือให้พัฒนาสื่อในลักษณะภาพสามมิติ และสามารถเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งอื่นได้ เนื่องจากสื่อส่งเสริมโบราณสถานทางวัฒนธรรม เน้นการนำภาพจากสถานที่จริงมาเชื่อมต่อให้สามารถมองได้รอบทิศทางในจุดเดียว [19]

งานวิจัยเรื่องศึกษาแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมความเป็นจริงเสมือน (2566) พบว่า องค์ประกอบ ที่เหมาะสมเพื่อนำมาออกแบบสภาพแวดล้อมความเป็นจริงเสมือน ประกอบด้วย 1) ลักษณะภาพ (Image) ที่มีลักษณะเรียบง่าย ไม่ซับซ้อน หรือ โมเดลที่มีจำนวน Polygon น้อย เหมาะสำหรับทำงานร่วมกับโปรแกรมสร้างภาพเสมือนจริง 2) รูปแบบการเล่าเรื่อง (Narrative mode) มีการเชื่อมโยงลำดับเหตุการณ์จริงเข้าด้วยกัน หรือจัดหาลำดับองค์ประกอบเสริมให้เข้าใจ 3) วัตถุ คน สิ่งของ ฉาก (Virtual reality graphical elements) เป็นการจำลองจากสถานที่จริง 4) สภาพแวดล้อม (Simulate environment) โดยการออกแบบเสียงให้เข้ากับสภาพแวดล้อม และ 5) บทบาทและกติกา (Roles and rules) มีการออกแบบให้เข้ากับพฤติกรรมรับรู้ของผู้มีส่วนร่วม โดยการประเมินสภาพแวดล้อม ความเป็นจริงเสมือน ด้านการเรียนรู้ของมนุษย์ (Learning Style) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการรับรู้ทางสายตาโดยการมองเห็น รองมาคือการรับรู้โดยการได้ยิน และการรับรู้ทางร่างกายโดยการเคลื่อนไหวและการรู้สึก ตามลำดับ ส่วนด้าน องค์ประกอบเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Elemental properties of virtual reality) พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีปฏิสัมพันธ์ด้านภาพและสภาพแวดล้อมมากที่สุด [20]



ภาพที่ 3: แผนผังพิพิธภัณฑ์เรือนไทยและห้องจัดแสดง

ที่มา: จัดทำโดยผู้วิจัย (2565)

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้วิธีการวิจัยและพัฒนา (Research and Development: R&D) เพื่อสร้างระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality) และออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (User Interface: UI) และประสบการณ์ผู้ใช้ (User Experience: UX) เพื่อกำหนดกรอบแนวคิดในการพัฒนาระบบ ทั้งนี้ การศึกษาใช้ข้อมูลจากแหล่งที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น งานวิจัยในด้านการพัฒนา VR เพื่อการเรียนรู้และการท่องเที่ยว

1.2 เก็บข้อมูลจากพิพิธภัณฑ์เรือนไทย

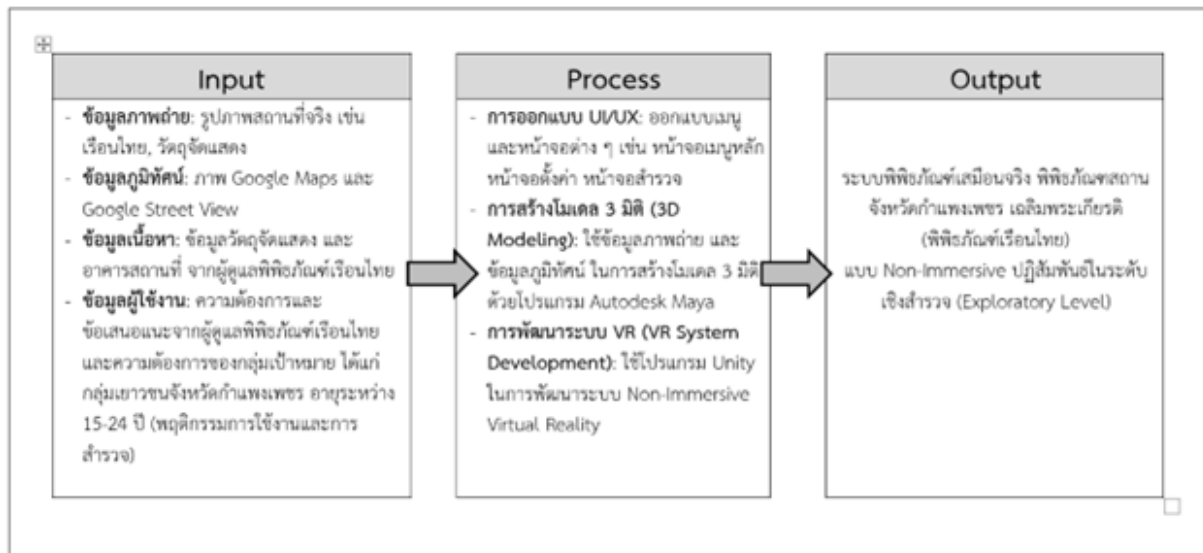
ดำเนินการสัมภาษณ์ผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทย โดยใช้คำถามปลายเปิด เช่น เนื้อหาที่ควรจัดแสดง วัตถุสำคัญที่มีเรื่องราวเฉพาะ ลักษณะของกลุ่มเป้าหมายที่มักมาเยี่ยมชม เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงลึก แล้วรวบรวมเนื้อหา ที่ต้องการนำเสนอ เช่น วัตถุจัดแสดง ประเพณีท้องถิ่น และประวัติศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

เก็บข้อมูลเกี่ยวกับภูมิทัศน์และโครงสร้างของเรือนไทย โดยใช้การถ่ายภาพทั้งภายในและภายนอก พร้อมบันทึกมุมมองที่สำคัญ เพื่อนำมาออกแบบโมเดล 3 มิติและสร้างความสมจริงในระบบ VR

ใช้ข้อมูลจาก Google Maps และ Google Street View เพื่อระบุรายละเอียดของพื้นที่โดยรอบ เช่น ตำแหน่งทางเข้าหลัก ต้นไม้ และองค์ประกอบภูมิทัศน์อื่น ๆ ที่มีผลต่อการออกแบบ

1.3 การวิเคราะห์ความต้องการของระบบ

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมได้เพื่อกำหนดคุณสมบัติที่จำเป็นของระบบ เช่น การออกแบบ UI ที่ง่ายต่อการใช้งาน ฟังก์ชันการนำทางในสภาพแวดล้อม VR และการแสดงผลภาพ 3 มิติที่มีความละเอียดสูง



ภาพที่ 4: โครงสร้างกระบวนการทำงานของระบบ

2. การออกแบบระบบ (System Design)

ใช้ Data & Process Model เพื่อกำหนดโครงสร้างกระบวนการทำงานของระบบ ตั้งแต่การนำเข้าข้อมูล เช่น ภาพถ่าย ข้อมูลเนื้อหา ไปจนถึงการสร้างโมเดล 3 มิติ และการพัฒนาระบบ VR โดยใช้โปรแกรม Unity ซึ่งมีรายละเอียด ดังภาพที่ 4 ดังนี้

2.1 การออกแบบโมเดลข้อมูล (Data Model)

ในการจัดเก็บและเชื่อมโยงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบ โดยมีหน่วยข้อมูลหลัก (Entities) ดังนี้

เมนู (Menu) ทำหน้าที่เป็นตัวนำทางให้ผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกห้องจัดแสดงที่ต้องการสำรวจหรือเลือกปรับแต่งค่าระบบ แต่ละเมนูประกอบด้วยรหัสเมนู (MenuID), ชื่อเมนู (MenuName) และลิงก์ไปยังเป้าหมายที่ระบุไว้ (TargetRoom) เช่น ห้องเรือนไทยหรือหน้าต่างค่า

ห้องจัดแสดง (Room) แต่ละห้องแสดงเนื้อหาที่แตกต่างกันไป พร้อมทั้งประกอบด้วยรายละเอียดสำคัญ เช่น รหัสห้อง (RoomID), ชื่อห้อง (RoomName), รายการวัตถุที่จัดแสดง (ObjectList) และเพลงประกอบบรรยากาศ (BackgroundMusic) ซึ่งช่วยเสริมประสบการณ์การสำรวจห้องจัดแสดงในรูปแบบเสมือนจริง

วัตถุจัดแสดง (Object) วัตถุภายในห้องจัดแสดงมีตำแหน่งที่กำหนดไว้อย่างชัดเจน โดยแต่ละวัตถุจะมีข้อมูลตำแหน่ง (ObjectPosition) ในรูปแบบพิกัด (X, Y, Z) และมีฟังก์ชันตรวจสอบการชน (Collision Detection) เพื่อป้องกันการชนระหว่างผู้ใช้งานกับวัตถุ

2.2 การออกแบบโมเดลกระบวนการ (Process Model)

ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบตั้งแต่การเริ่มต้นใช้งานจนถึงการสำรวจพื้นที่จัดแสดง โดยออกแบบเป็นขั้นตอนดังนี้

2.1.1 เมื่อผู้ใช้งานเริ่มต้นระบบ ระบบจะแสดง หน้าจอเมนูหลัก เพื่อให้ผู้ใช้งานเลือกห้องจัดแสดงที่สนใจหรือเลือกปรับแต่งการตั้งค่า ซึ่งสามารถควบคุมระดับเสียง ความละเอียด และโหมดการแสดงผลได้

2.1.2 หลังจากเลือกห้องจัดแสดง ระบบจะแสดง หน้าจอโหลด (Loading Screen) ก่อนเข้าสู่การสำรวจห้องเสมือนจริง ซึ่งระบบจะทำการโหลดโมเดล 3 มิติของห้องและวัตถุที่จัดแสดง พร้อมแสดงผลตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ในข้อมูลโมเดล

2.1.3 ผู้ใช้งานสามารถสำรวจห้องจัดแสดงได้อย่างอิสระ โดยควบคุมการหมุนมุมมองผ่านการลากเมาส์ (Drag Mouse) และใช้ปุ่ม W/A/S/D หรือปุ่มลูกศรในการเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังสามารถกดปุ่ม Space bar เพื่อเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน

2.1.4 ระบบมีการทำงานของ ฟังก์ชันตรวจสอบการชน (Collision Detection) ซึ่งช่วยป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานชนกับวัตถุในห้องจัดแสดง ทำให้ประสบการณ์การสำรวจเป็นไปอย่างสมจริงและราบรื่น

2.1.5 ระหว่างการใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่ม ESC เพื่อหยุดชั่วคราว (Pause) โดยระบบจะแสดงเมนู ให้เลือก ได้แก่ การกลับเข้าสู่การใช้งาน (Resume) การปรับตั้งค่า (Settings) หรือการออกจากระบบ (Exit)

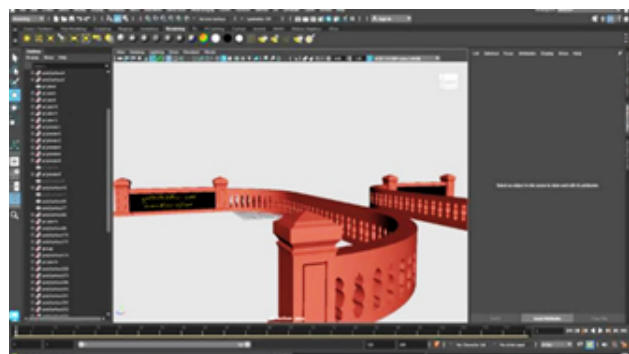
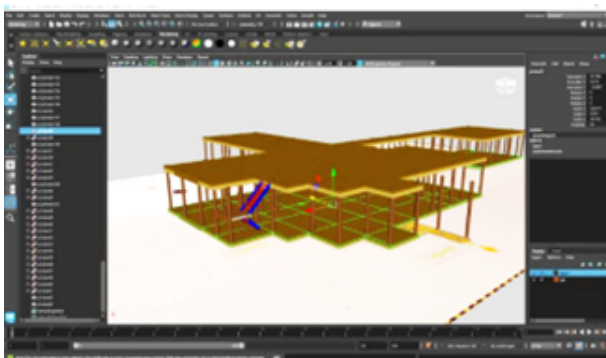
2.3 การออกแบบโครงสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI/UX)

ส่วนติดต่อผู้ใช้มีหน้าจอสำคัญ เช่น หน้าจอเมนูหลัก หน้าจอตั้งค่า หน้าจอโหลด และหน้าสำรวจห้องและบริเวณรอบพิพิธภัณฑ์ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 ดังนี้

3. การพัฒนาระบบ (System Development)

3.1 การพัฒนาโมเดล 3 มิติ

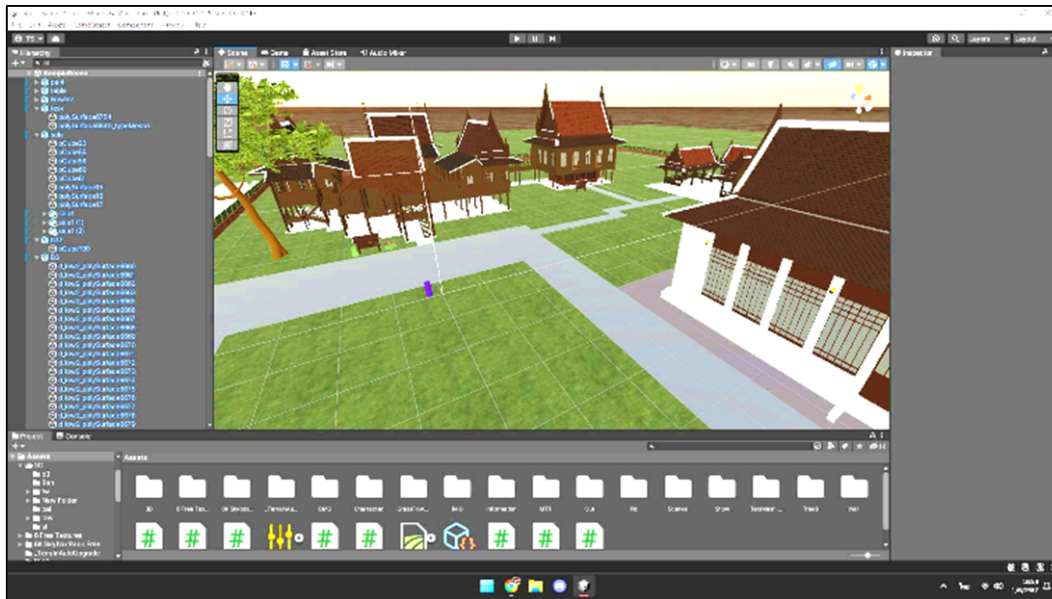
เริ่มต้นด้วยการเก็บข้อมูลวัตถุจริงและถ่ายภาพเพื่อนำมาสร้างต้นแบบในโปรแกรม Autodesk MAYA โดยใช้เครื่องมือสร้างโมเดล เช่น Polygon หรือ NURBS จากนั้นกำหนด UV Mapping ปรับแต่งพื้นผิว (Textures) และแสง (Lighting) ให้สมจริง พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลและแก้ไขรายละเอียด เช่น สัดส่วน ความคมชัด และการเชื่อมต่อวัตถุ ก่อนส่งออกในรูปแบบไฟล์ FBX เพื่อเตรียมใช้งานในโปรแกรม Unity



ภาพที่ 5: ตัวอย่างการออกแบบพิพิธภัณฑ์เรือนไทยในโปรแกรม Autodesk MAYA

ตารางที่ 1: ระบบการทำงานของหน้าจอทั้งหมด

ลำดับ	หน้าจอ	ลักษณะ/วัตถุประสงค์	การควบคุม	ปุ่ม/ฟังก์ชันเพิ่มเติม
1	หน้าจอเมนูหลัก	ให้ผู้ใช้งานเลือกห้องหรือส่วนต่าง ๆ เช่น ห้องมรดกไทย, ห้องภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา, ห้องภาควิชาประวัติศาสตร์เมือง	คลิกเมาส์เพื่อเลือกตัวเลือก	ปุ่ม ตั้งค่า, หน้าถัดไป
2	หน้าจอตั้งค่า	สำหรับปรับแต่งการตั้งค่าระบบ เช่น Volume, Fullscreen, Resolution	คลิกเมาส์เพื่อเลือก	ปุ่ม "Back", ปรับแต่งเสียง/ความละเอียด/โหมดจอ
3	หน้าจอโหลด	แสดงสถานะการโหลดข้อมูลก่อนเข้าสู่หน้าสำรวจ	ไม่มี	ข้อความ "Loading..." และแถบสถานะโหลด
4	หน้าจอสำรวจ ห้องมรดกไทย	พื้นที่ 3 มิติแสดงวัตถุทางวัฒนธรรมไทย เช่น ศิระขะครูในการประกอบพิธีไหว้ครุนาฏศิลป์ หุ่นนาฏศิลป์ไทย (หุ่นกระบอก) หุ่นการแต่งกายสวัสดีรักษา หุ่นระบำชาวกังราว	Drag Mouse: หมุนมุมมอง 360° W/A/S/D หรือ ลูกศร: เคลื่อนที่ด้านหน้า/ซ้าย/หลัง/ขวา Space bar: ขึ้นข้างบน	ปุ่ม ESC: หยุดชั่วคราว (Resume, Settings, Exit)
5	หน้าจอสำรวจห้อง ภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา	พื้นที่ 3 มิติแสดงวัตถุและข้อมูลเกี่ยวกับชาติพันธุ์วิทยา เช่น ชนกลุ่มน้อยที่ตั้งถิ่นฐานในจังหวัดกำแพงเพชร ประเพณีและการดำเนินชีวิตผู้คนในจังหวัดกำแพงเพชร	Drag Mouse: หมุนมุมมอง 360° W/A/S/D หรือ ลูกศร: เคลื่อนที่ด้านหน้า/ซ้าย/หลัง/ขวา Space bar: ขึ้นข้างบน	ปุ่ม ESC: หยุดชั่วคราว (Resume, Settings, Exit)
6	หน้าจอสำรวจห้อง ภาควิชาประวัติศาสตร์ เมือง	พื้นที่ 3 มิติแสดงวัตถุหรือสิ่งแสดงที่เกี่ยวข้องกับประวัติศาสตร์ท้องถิ่น เช่น ธรณีวิทยา เศรษฐกิจ สภาพแวดล้อมตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน	Drag Mouse: หมุนมุมมอง 360° W/A/S/D หรือ ลูกศร: เคลื่อนที่ด้านหน้า/ซ้าย/หลัง/ขวา Space bar: ขึ้นข้างบน	ปุ่ม ESC: หยุดชั่วคราว (Resume, Settings, Exit)
7	หน้าจอสำรวจ บริเวณโดยรอบ พิพิธภัณฑ์เรือนไทย	พื้นที่ 3 มิติที่แสดงอาคารพิพิธภัณฑ์เรือนไทย หมู่แบบเรือนไทยภาคกลาง ศาลา อาคาร พระสังฆราชานุสรณ์ สมเด็จพระสังฆราชเจ้า กรมหลวงวชิรญาณสังวร (เจริญ สุวฑฺฒโน) และสภาพแวดล้อมรอบ ๆ	Drag Mouse: หมุนมุมมอง 360° W/A/S/D หรือ ลูกศร: เคลื่อนที่ด้านหน้า/ซ้าย/หลัง/ขวา Space bar: ขึ้นข้างบน	ปุ่ม ESC: หยุดชั่วคราว (Resume, Settings, Exit)



ภาพที่ 6: ตัวอย่างการพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงด้วยโปรแกรม Unity

3.2 การพัฒนาระบบ VR

นำโมเดล 3 มิติจาก Autodesk MAYA เข้าสู่โปรแกรม Unity โดยปรับตั้งค่าฉาก (Scene) และ จัดวางโมเดลตามแผนผังพิพิธภัณฑ์ ตั้งค่ามุมมอง First-Person Perspective (FPP) พร้อมพีเจอร์ควบคุมการเคลื่อนที่ (W, A, S, D) เคลื่อนขึ้นข้างบน (Space bar) และการหมุนมุมมอง (Mouse Drag) พัฒนาเมนูหลักและการตั้งค่า (Settings) เพื่อรองรับการทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows และ Mac

ทดสอบการทำงานเบื้องต้นเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาด แล้วนำระบบสาธิตให้ผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทยตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและความเหมาะสมของ UI พร้อมเก็บข้อเสนอแนะไปแก้ไขปรับปรุง เช่น เพิ่มการแสดงชื่อห้องในหน้าสำรวจ การเพิ่มความสว่างภายในห้อง การเพิ่มคำแนะนำการใช้งานเรื่องปุ่มควบคุม และแก้ไขชื่อปุ่มต่างๆ ให้ถูกต้อง

4. การทดสอบและประเมินผล (Testing and Evaluation)

การทดสอบและประเมินผลในงานวิจัยนี้ดำเนินการเพื่อประเมินความพึงพอใจและความเหมาะสมของระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทยและเยาวชนในจังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเลือกตามหลักการเจาะจงและสะดวก (Purposive and Convenience Sampling) เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายการวิจัยและทรัพยากรที่มีจำกัด โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.1 การทดสอบกับผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทย

ผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทยจำนวน 5 คน ถูกเลือกโดยวิธีการเจาะจง เนื่องจากมีความรู้และประสบการณ์ตรงเกี่ยวกับเนื้อหาและลักษณะของพิพิธภัณฑ์ ระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงถูกนำเสนอผ่านการสาธิตการใช้งาน โดยขอให้ผู้ดูแลประเมินความเหมาะสมในด้านต่อไปนี้ 1) ความถูกต้องของข้อมูล ตรวจสอบว่าเนื้อหาในระบบตรงกับความเป็นจริง

ทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม 2) ความสมจริงของภาพ ประเมินระดับความใกล้เคียงของภาพ 3) มิติกับของจริง และ 3) ความสมบูรณ์ของภาพ ประเมินความคมชัดและการจัดวางองค์ประกอบของภาพ นอกจากนี้ยังรวบรวมข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากผู้ดูแลเพื่อใช้ปรับปรุงระบบ

4.2 การทดสอบกับกลุ่มเยาวชน

เยาวชนในจังหวัดกำแพงเพชรอายุระหว่าง 15–24 ปี จำนวน 30 คน ถูกเลือกโดยวิธีการสุ่มแบบสะดวก เพื่อทดลองใช้งานระบบผ่านลิงก์ที่แชร์ให้ติดตั้งโปรแกรมในคอมพิวเตอร์ส่วนตัว หลังการใช้งาน ผู้เข้าร่วมทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจใน 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านการออกแบบ และ 3) ด้านการใช้งาน

4.3 การเก็บข้อมูล

แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วยมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) สำหรับการวัดความพึงพอใจเชิงปริมาณ และคำถามปลายเปิดสำหรับรวบรวมความคิดเห็นเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลายและครอบคลุม

4.4 การวิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา (Mean, Standard Deviation) และเชิงคุณภาพจากข้อเสนอแนะ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสำเร็จของการพัฒนาระบบ

5. การวิเคราะห์และสรุปผล (Analysis and Conclusion)

การวิเคราะห์และสรุปผลมุ่งเน้นการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลจากการทดสอบระบบเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพและความเหมาะสมของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานในด้านเนื้อหา การออกแบบ และการใช้งานระบบ พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพจากข้อเสนอแนะที่ได้รับ เพื่อระบุจุดเด่นและปัญหาที่ต้องการการปรับปรุง เช่น การเพิ่มความสมจริงของโมเดล 3 มิติหรือการปรับปรุงฟังก์ชันการใช้งาน สุดท้ายจึงสรุปผลการพัฒนา โดยระบุถึงความสำเร็จของระบบ



ภาพที่ 7: การสาธิตวิธีการใช้งาน

เช่น การตอบสนองต่อวัตถุประสงคที่ต้งไว้ และข้อจำกัดที่พบ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางการพัฒนาระบบในอนาคต เช่น การเพิ่มฟังก์ชันใหม่ การใช้เทคโนโลยีขั้นสูง หรือการขยายการใช้งานระบบให้ครอบคลุมกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลายมากขึ้น

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ความต้องการของระบบพหิธิภณท์เสมือนจริงแบ่งออกเป็น ความต้องการเชิงหน้าที่ (Functional Requirements) และ ความต้องการเชิงไม่ใช่หน้าที่ (Non-Functional Requirements) ดังนี้

1. ความต้องการเชิงหน้าที่ (Functional Requirements)

ระบบต้องมีฟังก์ชันที่รองรับการสำรวจและโต้ตอบในพื้นที่ 3 มิติ พร้อมสร้างประสบการณ์ที่ดึงดูดและเสริมสร้างการเรียนรู้ ดังนี้

1.1 เมื่อนำทาง (Navigation Menu) ระบบต้องมีเมนูหลักที่ช่วยให้ผู้ใช้งานเลือกส่วนต่าง ๆ ของพหิธิภณท์ได้แก่ ห้องมรดกไทย ห้องภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา ห้องภาควิชาประวัติศาสตร์เมือง และบริเวณโดยรอบพหิธิภณท์

1.2 การสำรวจพื้นที่ 3 มิติ (3D Exploration) ผู้ใช้งานสามารถหมุนมุมมอง 360 องศาโดยใช้เมาส์ (Drag Mouse) และเคลื่อนที่ในพื้นที่ด้วยปุ่ม W/A/S/D หรือปุ่มลูกศร และปุ่ม Space bar เคลื่อนขึ้นข้างบน

1.3 การตรวจสอบการชน (Collision Detection) ระบบต้องป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานชนกับวัตถุจัดแสดงในพื้นที่ 3 มิติ เพื่อคงความสมจริงในการสำรวจ

1.4 การตั้งค่าระบบ (System Settings) มีหน้าจอการตั้งค่าเพื่อปรับแต่งเสียง (Volume) ความละเอียดของภาพ (Resolution) และโหมดการแสดงผล (Fullscreen)

1.5 เสียงเพลงประกอบ (Background Music) ระบบต้องมีเสียงเพลงที่สร้างบรรยากาศเหมาะสมระหว่างการสำรวจ

1.6 ฟังก์ชันการหยุดชั่วคราว (Pause Function) ระบบต้องรองรับฟังก์ชันหยุดชั่วคราว (Pause) พร้อมเมนู Resume, Settings, และ Exit

2. ความต้องการเชิงไม่ใช่หน้าที่ (Non-Functional Requirements)

ระบบต้องรองรับประสิทธิภาพและคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ยั่งยืนและเข้าถึงง่าย ดังนี้

2.1 ความถูกต้องของข้อมูลในเนื้อหา เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการใช้งาน ความน่าเชื่อถือ และการบรรลุวัตถุประสงค์ของระบบ จึงต้องผ่านการตรวจสอบข้อมูลจากผู้ดูแลพหิธิภณท์เรือนไทย เพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ของเยาวชนให้มีคุณภาพและสอดคล้องกับความเป็นจริงทางวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์

2.2 ความสมจริงและความสมบูรณ์ของภาพ (Visual Realism) โมเดล 3 มิติ จะต้องมีรายละเอียดของวัตถุ สี พื้นผิว และตำแหน่งการจัดวาง สอดคล้องกับความเป็นจริง เพื่อสร้างประสบการณ์ที่สมจริงยิ่งขึ้น

2.3 ความสะดวกในการเข้าถึง (Accessibility) ระบบต้องติดตั้งและใช้งานได้ทั้งบน Windows และ Mac ใช้งานไม่ซับซ้อน และไม่ต้องลงทุนอุปกรณ์เพิ่ม

2.4 การออกแบบ UI/UX ต้องเหมาะสมกับเยาวชน อายุ 15-24 ปี

ในส่วนของการพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมได้ที่ <https://arit.kpru.ac.th/sh/4c4ce5> ซึ่งผลการพัฒนาเป็น ดังนี้



ภาพที่ 8: หน้าจอเมนูหลักพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง



ภาพที่ 9: หน้าจอโหลดพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง



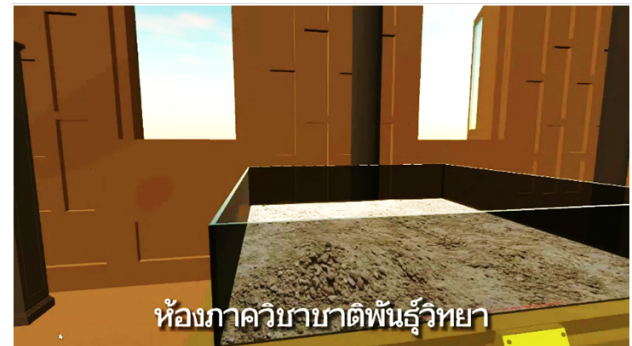
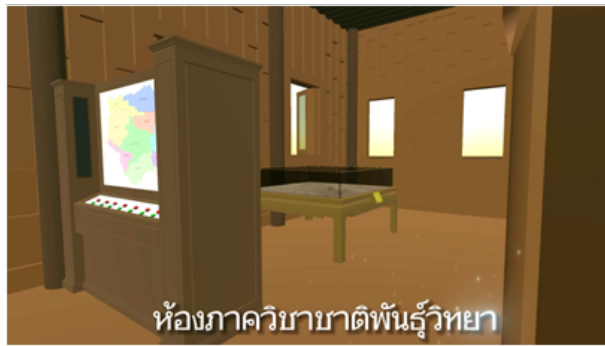
ภาพที่ 10: ตัวอย่างพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง บริเวณโดยรอบนอกอาคารพิพิธภัณฑ์



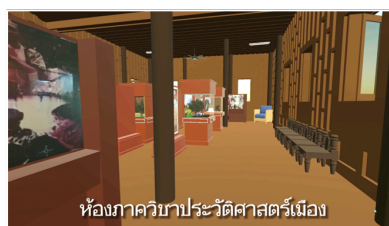
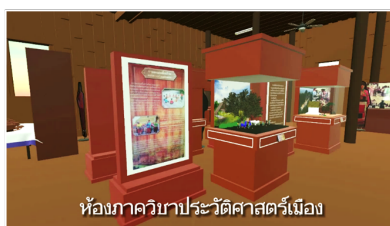
ภาพที่ 11: ตัวอย่างพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง บริเวณภายในพิพิธภัณฑ์



ภาพที่ 12: ตัวอย่างหน้าจอสำรวจพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง ห้องมรดกไทย



ภาพที่ 13: ตัวอย่างหน้าจอสำรวจพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง ห้องภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา



ภาพที่ 14: ตัวอย่างหน้าจอสำรวจพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง ห้องภาควิชาประวัติศาสตร์เมือง

จากการประเมินผลความพึงพอใจที่มีต่อพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง จึงสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2: ผลสรุปการประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลพิพิธภัณฑ์เรือนไทยที่มีต่อพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง

รายการประเมิน	ความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1. ความถูกต้องของข้อมูล	4.20	0.45	มาก
2. ความชัดเจนของภาพ 3 มิติ	4.20	0.45	มาก
3. มุมมองในการแสดงภาพ 3 มิติ	4.20	0.45	มาก
4. ความสวยงามของภาพ 3 มิติ	4.00	0.71	มาก
5. การออกแบบปุ่มการใช้งานบนหน้าจอ	3.60	1.14	มาก
6. การออกแบบการควบคุมปุ่มการเคลื่อนที่	3.60	0.55	มาก
7. ความสมจริงของภาพ 3 มิติ	3.20	0.45	ปานกลาง
8. ความสมบูรณ์ของภาพ 3 มิติ	3.00	0.71	ปานกลาง
เฉลี่ยรวม	3.75	0.61	มาก

จากตาราง ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ดูแลเรือนไทยที่มีต่อพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง โดยรวมอยู่ในระดับ "มาก" ($\bar{X}=3.75$, S.D.=0.61) รายการประเมินที่ได้รับคะแนนสูงสุด ได้แก่ ความถูกต้องของข้อมูล ความชัดเจนของภาพ 3 มิติ และมุมมองในการแสดงภาพ 3 มิติ ($\bar{X}=4.20$, S.D.=0.45) ซึ่งอยู่ในระดับ "มาก" ขณะที่รายการที่ได้รับคะแนนต่ำสุดได้แก่ ความสมจริงของภาพ 3 มิติ ($\bar{X}=3.20$, S.D.=0.45) และความสมบูรณ์ของภาพ 3 มิติ ($\bar{X}=3.00$, S.D.=0.71) ซึ่งอยู่ในระดับ "ปานกลาง" ผลการประเมินดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบมีความพึงพอใจในระดับที่ดีในด้านความถูกต้องและการแสดงผลของภาพ 3 มิติ แต่ควรพัฒนาปรับปรุงในด้านความสมจริงและความสมบูรณ์ของภาพให้ดียิ่งขึ้น

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเยาวชนจังหวัดกำแพงเพชร อายุระหว่าง 15-24 ปี ที่มีต่อพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง โดยรวมอยู่ในระดับ "มาก" ($\bar{X}=3.81$, S.D.=0.68) โดยมีความพึงพอใจในด้านเนื้อหา ($\bar{X}=3.97$, S.D.=0.83) มากที่สุด ซึ่งห้องมรดกไทยได้รับคะแนนสูงสุด ($\bar{X}=4.19$, S.D.=0.82) สะท้อนถึงความเหมาะสมของ การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับมรดกทางวัฒนธรรม ด้านการออกแบบ ($\bar{X}=3.66$, S.D.=0.74) ผู้ใช้งานพึงพอใจในความสมจริงและความสวยงามของภาพ 3 มิติ อย่างไรก็ตาม ควรปรับปรุงในส่วนของการแสดงผลข้อมูลแบบสมบูรณ์ ($\bar{X}=3.42$, S.D.=0.79) ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง ด้านการใช้งาน ($\bar{X}=3.81$, S.D.=0.75) ได้รับการประเมินในระดับมาก โดยเฉพาะในเรื่องการควบคุมการเคลื่อนไหว ($\bar{X}=3.88$, S.D.=0.75) และการจัดตำแหน่งโปรแกรม ($\bar{X}=3.91$, S.D.=0.64) ผลการประเมินนี้แสดงให้เห็นถึงจุดเด่นของพิพิธภัณฑ์ในด้านเนื้อหาและการออกแบบภาพ 3 มิติ แต่ยังมีพื้นที่สำหรับการพัฒนาความสมบูรณ์ของการแสดงผลข้อมูลให้ดียิ่งขึ้น

สรุปผลการวิจัย

ตารางที่ 3: ผลสรุปการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเยาวชนจังหวัดกำแพงเพชร อายุระหว่าง 15-24 ปี ที่มีต่อพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง

รายการประเมิน	ความพึงพอใจ		
	$\bar{X}$	S.D.	แปลความหมาย
1. ด้านเนื้อหา	3.97	0.83	มาก
1.1 ห้องมรดกไทย (จัดแสดงข้อมูลศิระศิระครูในการประกอบพิธีไหว้ครุนาฏศิลป์ ดนตรีไทย จัดแสดงหุ่นนาฏศิลป์ไทย หุ่นการแต่งกายสวัสดีรักษา หุ่นระบำชาวกักราว ระบำประจำจังหวัดกำแพงเพชร)	4.19	0.82	มาก
1.2 ห้องภาควิชาชาติพันธุ์วิทยา (จัดแสดงข้อมูลชนพื้นถิ่นและชนกลุ่มน้อยที่ตั้งถิ่นฐานในจังหวัดกำแพงเพชร เรื่องราวเกี่ยวกับชาติพันธุ์ ประเพณี และการดำเนินชีวิตของผู้คนจังหวัด กำแพงเพชร)	3.84	0.81	มาก
1.3 ห้องภาควิชาประวัติศาสตร์เมือง (จัดแสดงข้อมูลลักษณะทางภูมิศาสตร์ ธรณีวิทยา ธรรมชาติวิทยา ประวัติศาสตร์ความเป็นมาของเมืองกำแพงเพชร)	3.88	0.87	มาก
2. ด้านการออกแบบ	3.66	0.74	มาก
2.1 ความน่าสนใจของพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง	3.94	0.56	มาก
2.2 ความสมจริงของภาพ 3 มิติ	3.72	0.73	มาก
2.3 ความเหมาะสมของเมนูและปุ่มต่างๆบนหน้าจอ	3.47	0.80	ปานกลาง
2.4 ความสวยงามของการจัดวางภาพหน้าจอ	3.56	0.84	มาก
2.5 ความเหมาะสมของเสียง	3.63	0.75	มาก
3. ด้านการใช้งาน	3.81	0.75	มาก
3.1 การติดตั้งโปรแกรม	3.91	0.64	มาก
3.2 การควบคุมการเคลื่อนที่	3.88	0.75	มาก
3.3 มุมมองในการแสดงภาพ 3 มิติ	3.84	0.81	มาก
3.4 ความเร็วในการตอบสนอง	3.91	0.73	มาก
3.5 ตัวเลือกการตั้งค่า (ปรับระดับเสียง,ความละเอียดของภาพ)	3.53	0.80	มาก
เฉลี่ยรวม	3.81	0.68	มาก

การพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) โดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน (Virtual Reality: VR) เพื่อเพิ่มการเข้าถึงข้อมูลทางวัฒนธรรมและเสริมประสบการณ์การเรียนรู้ โดยผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่าระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสามารถตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานได้ดี โดย

เฉพาะในด้านความถูกต้องของข้อมูล ความชัดเจนของภาพ 3 มิติ และความสะดวกในการใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ว่า VR ช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาและสถานที่ รวมถึงเพิ่มประสบการณ์เชิงลึกในสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ [6, 21-22]

ผลการประเมินจากกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าระบบมีการออกแบบเมนูและฟังก์ชันที่ใช้งานง่าย เช่น การสำรวจแบบ First-Person และการคลิกเพื่อดูข้อมูลเพิ่มเติม อย่างไรก็ตาม ควรปรับปรุงความสมจริงของภาพ 3 มิติ เช่น เพิ่มความละเอียดและปรับพื้นผิววัตถุเพื่อให้ใกล้เคียงของจริง ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะในงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ระบุว่าความสมจริงของภาพและการออกแบบที่สะท้อนบริบททางวัฒนธรรมมีผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน [23-24]

ในส่วน of ข้อเสนอแนะจากผู้ใช้งาน กลุ่มเป้าหมายเสนอให้เพิ่มฟังก์ชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ เช่น การแสดงข้อมูล Pop-Up พร้อมเสียงบรรยาย และกิจกรรมแบบเกม (Gamification) เพื่อกระตุ้นความสนใจ โดยเฉพาะกลุ่มเยาวชน รวมถึงการพัฒนาระบบให้รองรับการสำรวจในรูปแบบ Google Street View เพื่อเพิ่มการเข้าถึงผู้ใช้งานที่ไม่คุ้นเคยกับ VR เช่น นักท่องเที่ยวและผู้สูงอายุ [24]

โดยสรุป ระบบพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มการเข้าถึงและตอบโจทย์ความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาเพิ่มเติมในด้านความสมจริงของภาพและฟังก์ชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ เช่น การเพิ่มกิจกรรมแบบเกมหรือการสำรวจเชิงโต้ตอบ จะช่วยเพิ่มคุณค่าและขยายการยอมรับในกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลายยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ เช่น การสแกนโมเดล 3 มิติ หรือการออกแบบฟังก์ชันโต้ตอบที่เหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้งานต่างวัย จะช่วยให้พิพิธภัณฑ์เสมือนจริงกลายเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพสูงสำหรับการอนุรักษ์และเผยแพร่วัฒนธรรมในยุคดิจิทัล [23-24]

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้พัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงสำหรับพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร โดยผลการประเมินชี้ว่าผู้ใช้งานพึงพอใจในด้านความถูกต้องของข้อมูลและการออกแบบภาพ 3 มิติที่ชัดเจน แต่ยังมีข้อเสนอให้ปรับปรุงความสมจริงและเพิ่มฟังก์ชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ เช่น การสำรวจเชิงโต้ตอบ (Pop-Up) และกิจกรรมแบบเกมเพื่อกระตุ้นความสนใจ อีกทั้งควรพัฒนาโหมดสำรวจแบบ Google Street View เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงในการเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการอนุรักษ์และถ่ายทอดวัฒนธรรมไทย ผลการศึกษาชี้ว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับสูงต่อความถูกต้องของข้อมูลและความชัดเจนของภาพ 3 มิติ แต่ยังมีข้อเสนอแนะในการปรับปรุงความสมจริงและเพิ่มฟังก์ชันแบบอินเทอร์แอคทีฟ การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้จึงควรมุ่งเน้นการพัฒนาที่เสริมประสบการณ์การใช้งานและการตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลาย

การเพิ่มฟังก์ชันอินเทอร์แอคทีฟ เช่น หน้าต่างแสดงข้อมูล (Pop-Up) พร้อมเสียงบรรยาย และภารกิจแบบ

เกม สามารถช่วยเพิ่มความน่าสนใจและสร้างการมีส่วนร่วมกับผู้ใช้งาน โดยเฉพาะกลุ่มเยาวชนที่คุ้นเคยกับเทคโนโลยี ดิจิทัล การสร้างภารกิจในรูปแบบเกมจะช่วยกระตุ้นให้เกิดความสนใจและเสริมการเรียนรู้ผ่านการสำรวจและปฏิสัมพันธ์

นอกจากนี้ การปรับปรุงรายละเอียดของโมเดล 3 มิติ เช่น พื้นผิววัสดุและองค์ประกอบของสภาพแวดล้อม จะช่วยเพิ่มความสมจริงของพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง การใช้เทคโนโลยีการสแกนวัตถุจริงและการออกแบบที่เน้นความละเอียดในทุกองค์ประกอบจะช่วยให้ผู้ใช้งานได้รับประสบการณ์ที่ใกล้เคียงกับการเยี่ยมชมสถานที่จริง

เพื่อเพิ่มการเข้าถึง ควรพัฒนาโหมดสำรวจที่คล้ายกับ Google Street View หรือแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้นอกรัศมีพหุ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสำรวจพิพิธภัณฑ์จากทุกที่ การพัฒนานี้จะช่วยลดข้อจำกัดด้านเวลาและการเดินทาง และเปิดโอกาสให้ผู้คนหลากหลายกลุ่มสามารถเข้าถึงข้อมูลทางวัฒนธรรมได้ง่ายขึ้น

สุดท้าย ควรขยายการใช้งานพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงในบริบทการศึกษา โดยนำไปใช้ในโรงเรียนหรือกิจกรรมส่งเสริมการเรียนรู้ที่เกี่ยวข้องกับวัฒนธรรมและประวัติศาสตร์ นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีนี้ไปประยุกต์ใช้กับพิพิธภัณฑ์หรือแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ ในประเทศไทย จะช่วยเสริมสร้างการอนุรักษ์และเผยแพร่วัฒนธรรมอย่างยั่งยืนในยุคดิจิทัล

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาการเปรียบเทียบเทคโนโลยีอื่นที่สามารถสนับสนุนการเรียนรู้และการถ่ายทอดวัฒนธรรม เช่น การใช้เทคโนโลยี AR (Augmented Reality) ที่ผสานโลกจริงและโลกเสมือนเข้าด้วยกัน เพื่อศึกษาความเหมาะสมและประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มเป้าหมายที่หลากหลาย การเปรียบเทียบนี้จะช่วยให้สามารถเลือกเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับการพัฒนาต่อไป

การเพิ่มขอบเขตของกลุ่มตัวอย่างให้หลากหลายยิ่งขึ้นเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สำคัญ กลุ่มตัวอย่างในอนาคตควรครอบคลุมผู้ใช้งานที่แตกต่างกันในด้านอายุ การศึกษา และความสนใจ เช่น นักเรียนระดับประถม นักเรียนมัธยม นักท่องเที่ยว และผู้สูงอายุ เพื่อให้ข้อมูลที่ได้สะท้อนมุมมองและความต้องการที่หลากหลายมากขึ้น

ควรมีการพัฒนาเนื้อหาที่ตอบโจทย์กลุ่มเป้าหมายเฉพาะกลุ่ม เช่น การออกแบบข้อมูลเชิงลึกสำหรับผู้สนใจด้านประวัติศาสตร์ หรือการสร้างสื่อการเรียนรู้แบบเข้าใจง่ายสำหรับนักเรียน การพัฒนาเนื้อหาเฉพาะกลุ่มนี้จะช่วยเพิ่มคุณค่าและประสิทธิภาพของพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงในการถ่ายทอดวัฒนธรรม

อีกประเด็นสำคัญคือการศึกษผลกระทบในระยะยาวของการใช้พิพิธภัณฑ์เสมือนจริงต่อการเรียนรู้และการอนุรักษ์วัฒนธรรม การวิจัยควรประเมินว่าการใช้เทคโนโลยีนี้สามารถส่งผลต่อการเรียนรู้ การจดจำเนื้อหา และทัศนคติที่มีต่อการอนุรักษ์วัฒนธรรมในระยะเวลาที่ยาวนานอย่างไร

สุดท้าย ควรมีการศึกษาการพัฒนาฟังก์ชันขั้นสูง เช่น การจำลองสถานการณ์แบบสมจริง (Immersive VR) หรือการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) เพื่อปรับปรุงประสบการณ์ของผู้ใช้งาน ระบบขั้นสูงเหล่านี้สามารถเพิ่มความสมจริงและความมีส่วนร่วม รวมถึงทำให้ระบบสามารถตอบสนองต่อการใช้งานแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องการพัฒนาพิพิธภัณฑ์เสมือนจริง พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) นี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ คุณชนิกา ศรีวรรณศิลป์ ผู้จัดการพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย) ในการให้ข้อมูลและตรวจสอบความถูกต้อง รวมถึงบุคลากรที่เกี่ยวข้องและขอขอบคุณบุคลากรสำนักศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขจนสำเร็จ และขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์มานุษยวิทยาสิรินธร (องค์การมหาชน). (ไม่ปรากฏปี). พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชรเฉลิมพระเกียรติ (พิพิธภัณฑ์เรือนไทย). เข้าถึงได้จาก <https://db.sac.or.th/museum/museum-detail/488>
- [2] สำนักศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. (2562, 26 เมษายน). ประวัติพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัด กำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ. เข้า ถึง ได้ จาก [https:// acc.kpru.ac.th/ rtmuseum /? page_id=1&lang=TH](https://acc.kpru.ac.th/rtmuseum/?page_id=1&lang=TH)
- [3] พิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ - เรือนไทย. (2565, กันยายน 19). ประวัติความเป็นมาและข้อมูลของพิพิธภัณฑ์สถานจังหวัดกำแพงเพชร เฉลิมพระเกียรติ สำนักศิลปะและวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร. เผยแพร่บน Facebook. เข้าถึงได้จาก https://www.facebook.com/photo?fbid=2972843879675217&set=pcb.2972844093008529&locale=th_TH
- [4] The British Museum. (n.d.). British Museum home. Retrieved December 15, 2022, from <https://www.britishmuseum.org/british-museum-home>
- [5] Virtual Reality Society. (n.d.). Virtual Reality and Education. Retrieved from <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-education/>
- [6] Chwalba, A., & Pankiewicz, A. (2021). Realism in virtual reality learning environments. *Journal of Virtual Environments and Learning*, 15(3), 123-135.
- [7] Deary, V., & Wilson, R. (2020). Developmental stages in digital learning environments. *Journal of Child Development Research*, 45(3), 289-305.
- [8] Kavanagh, S., Luxton-Reilly, A., Wuensche, B., & Plimmer, B. (2017). Creating functional virtual reality applications for education: Design challenges and lessons learned. *Interactive Learning Environments*, 27(1), 1-15.
- [9] Any i media. (2565). ทำความรู้จักกับเทคโนโลยี AR - VR - MR ที่จะเข้ามาเติมเต็มประสบการณ์แปลกใหม่ในอนาคต. เข้าถึงจาก <https://www.anyimedia.com/ar-vr-mr>

- [10] เบญจา ภูริพงษ์ธร. (2565). เทคโนโลยี AR & VR กับการศึกษา. Walailak University. เข้าถึงจาก <https://library.wu.ac.th/km/>
- [11] ศูนย์วิทยาศาสตร์เพื่อการศึกษา. (2564). นิทรรศการเสมือนจริง. SciPlanet. เข้าถึงจาก <https://sciplanet.org/content/8198>
- [12] พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ พระนคร. (2559). พิพิธภัณฑ์เสมือนจริง. Bangkok National Museums Virtual Tour. เข้าถึงจาก <http://www.virtualmuseum.finearts.go.th/bangkoknationalmuseums/360/siwa-mok2016.html>
- [13] Vergara, D., Rubio, M. P., & Lorenzo, M. (2017). On the design of virtual reality learning environments in engineering. *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(2), 1-12. <https://doi.org/10.3390/mti1020004>
- [14] จีระศักดิ์ นำประดิษฐ์ และสุธิดา ชัยชมชื่น. (2562). องค์ประกอบและขั้นตอนการพัฒนาระบบความจริงเสมือนทางการศึกษา. *วารสารศึกษาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 42(2), 1-18.
- [15] สุนันท์ทิพย์ คำจันทร์ และประภาพร กุลลิมรัตน์ชัย. (2565). การประยุกต์ใช้ User Interface (UI) และ User Experience (UX) ในการออกแบบแพลตฟอร์ม. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 16(2), 63-77.
- [16] Disney. (n.d.). What are the keyboard controls for the game?. Retrieved from <https://app-support.disney.com/hc/en-us/articles/360000754226-What-are-the-keyboard-controls-for-the-game>
- [17] BlueStacks. (n.d.). Game Controls. Retrieved from <https://www.bluestacks.com/features/game-controls.html>
- [18] สุชาติ แสนพิช พัฒนา ศิริกุลพัฒน์ และพิสิษฐ์ ญัฐประเสริฐ. (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันพิพิธภัณฑ์เสมือนปฏิสัมพันธ์โดยใช้เทคโนโลยีสภาพแวดล้อมเสมือนในมุมมอง 360 องศา และการสแกนภาพสามมิติ: กรณีศึกษา 10 พิพิธภัณฑ์ของไทย. *วารสารสารสนเทศศาสตร์*. 38(1), 42-57.
- [19] อภิชาติ เหล็กดี ญัฐพงศ์ พลสยม อุมารณ เหล็กดี. (2562). การส่งเสริมแหล่งท่องเที่ยวโบราณสถานทางวัฒนธรรมโดยใช้เทคโนโลยีความเป็นจริงเสมือน. *รายงานวิจัยทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*.
- [20] ขวลิต ดวงอุทา และตติยา เทพพิทักษ์. (2566). ศึกษาแนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมความเป็นจริงเสมือน. *วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*. 14(1), 150-164.
- [21] Vergara, D., Rubio, M. P., & Lorenzo, M. (2019). On the design of virtual reality learning environments in engineering. *Multimodal Technologies and Interaction*, 3(2), 1-12.

- [22] Richardson, A. E., Kosslyn, S. M., & Morrison, J. B. (2021). The impact of virtual reality on student learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 33(3), 937-973. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09592-z>
- [23] Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1141–1164. <https://doi.org/10.1007/s11423-018-9581-2>
- [24] Mayer, R. E. (2020). *Multimedia learning* (3rd ed.). Cambridge University Press.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยการ
เรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Development of Learning Outcomes on Volume Measurement
Problem Solving through Cooperative Learning with STAR
Strategies for 1st Year Secondary School Students at Thepsatri
Rajabhat University Demonstration School

อารีรัตน์ ชะนู¹, ปิยดา โพธิ์ศรี^{2,*}, รุ่งอรุณ พยอมหอม³, และ วราภรณ์ สุ่มมาตย์⁴

¹โรงเรียนวัดเกาะวิมุตตาราม อำเภอเมืองท่าวัง จังหวัดลพบุรี

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี

³โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี

⁴หมวดศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยธนบุรี กรุงเทพมหานคร

Areerat Chanu¹, Piyada Phosri^{2,*}, Rungarun Payomhom³, and Waraporn Summart⁴

¹Watkhawimuttaram School, Mueang Tha Wung, Lopburi,

²Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi

³The Demonstration School of Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi

⁴General Education Affair, Thonburi University, Bangkok

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ระหว่างก่อนและหลังจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR และเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้น

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

Received : 29/09/2024

Revised : 15/12/2024

Accepted : 23/12/2024

มัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70 ส่งเสริมการมีส่วนร่วม การคิดวิเคราะห์ และการแก้ปัญหาาร่วมกัน กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี เลือกลุ่มตัวอย่างอย่างง่ายจำนวน 45 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้การสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบแบ่งกลุ่มทำงาน และแบบทดสอบเรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบที

ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR โดยมีคะแนนเฉลี่ย อยู่ที่ 11.98 คะแนน ซึ่งเพิ่มขึ้น 3.62 คะแนน คิดเป็นร้อยละที่เพิ่มขึ้น 22.63% และมีค่า t-test ที่เป็นไปตามเกณฑ์ และความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 11.98 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.96

คำสำคัญ : การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, การแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์, การเรียนรู้แบบร่วมมือ, รายวิชาคณิตศาสตร์, กลวิธี STAR

Abstract

This research aims to 1) compare the mathematics learning outcomes on volume measurement problem-solving for first year secondary school students at Thepsatri Rajabhat University Demonstration School before and after implementing cooperative learning with STAR strategies. 2) To compare the students' problem-solving abilities in mathematics before and after the cooperative learning with STAR strategies against the 70% criterion, promoting participation, analytical thinking, and collaborative problem-solving. The sample consisted of forty-five secondary school students in the first year, selected through purposive sampling. The research instruments included a lesson plan using group work methods and a test on volume measurement problem-solving. The statistics for data analysis included mean, standard deviation, and t-test.

The results of the research were as follows 1) The students' mathematics learning outcomes on volume measurement problem-solving after the cooperative learning with STAR strategies were higher than before the intervention, with a mean score of 11.98, which increased by 3.62 points, representing a percentage increase of 22.63%. The t-test results met the criteria. 2) The students' ability to solve mathematical problems after the cooperative learning with STAR strategies exceeded the 70% criterion, with a mean score of 11.98 and a standard deviation of 1.96.

Keywords : Development of Learning Outcomes, Ability to Solve Mathematical Problem, Cooperative Learning, Mathematics, STAR Strategy

ที่มาและความสำคัญ

การแก้ปัญหาคือทักษะที่ต้องอาศัยกระบวนการในการแก้ปัญหาเข้ามาช่วย กระบวนการแก้ปัญหา นั้นจะต้อง ประกอบไปด้วย ขั้นตอนทำความเข้าใจปัญหา ขั้นตอนวางแผนการแก้ปัญหา ขั้นตอนดำเนินการตามแผน ขั้นตอนตรวจสอบผล ตามขั้นตอนในการแก้ปัญหาของโพลยา จะช่วยให้นักเรียนรู้จักคิดอย่างมีเหตุผล ใช้ความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์ที่หลากหลาย หาวีธีการต่าง ๆ ที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาวงคณิตศาสตร์นั้นเป็นเนื้อหาที่เรียนและสอนได้ยากที่สุดในจำนวนเนื้อหาต่าง ๆ ของคณิตศาสตร์จึงต้องมีการจัดการเรียนการสอนให้ผู้เรียนมีความสามารถทำความเข้าใจปัญหา คิดวิเคราะห์ วางแผนแก้ปัญหาและเลือกใช้วิธีการที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงความสะดวกเหมาะสมของคำตอบพร้อมทั้ง ตรวจสอบความถูกต้อง [1] กระบวนการแก้ปัญหานี้สามารถเชื่อมโยงให้นักเรียนแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องและการจัดการเรียนรู้ ที่สามารถพัฒนาทักษะการแก้ปัญหารูปแบบหนึ่ง คือการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผู้เรียนมีความรู้ความสามารถ ต่างกัน ได้ร่วมมือกันทำงานกลุ่มด้วยความตั้งใจและเต็มใจรับผิดชอบในบทบาทหน้าที่ในกลุ่มของตน ทำให้งานของกลุ่มดำเนินไปสู่เป้าหมายของงานได้ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ ให้ผู้เรียนมีการทำงานเป็นกลุ่มย่อย สมาชิกในกลุ่ม มี ความสามารถแตกต่างกัน แบ่งเป็นกลุ่มกลุ่มละ 4-5 คน สมาชิกภายในกลุ่มต้องช่วยเหลือกันภายในกลุ่ม และ มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกัน เพื่อให้งานบรรลุเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ โดยอาศัยกระบวนการกลุ่ม ผู้เรียนได้มีโอกาสทำงานร่วมกันเพื่อผลประโยชน์และความสำเร็จของกลุ่ม การแก้ปัญหาคือทักษะที่ต้องอาศัยกระบวนการ ในการแก้ปัญหาเข้ามาช่วย กระบวนการแก้ปัญหา นั้นจะต้องประกอบไปด้วย ขั้นตอนทำความเข้าใจปัญหา ขั้นตอนวางแผน การแก้ปัญหา ขั้นตอนดำเนินการตามแผน ขั้นตอน ตรวจสอบผล ตามขั้นตอนในการแก้ปัญหาของโพลยา จะช่วยให้นักเรียนรู้จักคิดอย่างมีเหตุผล ใช้ความรู้และทักษะทางคณิตศาสตร์ที่หลากหลาย หาวีธีการต่าง ๆ ที่ถูกต้องเหมาะสมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา การแก้ปัญหาวงคณิตศาสตร์นั้นเป็นเนื้อหาที่เรียนและสอนได้ยากที่สุดในจำนวนเนื้อหาต่างๆ ของคณิตศาสตร์ จึงต้องมีการจัดการเรียนการสอนให้ผู้เรียนมีความสามารถ Maccini (1998 as cited in Maccini & Gagnon, 2011) ได้พัฒนาการสอนแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ โดยใช้กลวิธี STAR (STAR strategy steps) เป็นกลวิธีที่ใช้ตัวอักษรตัวแรกๆ ที่ช่วยให้นักเรียนสามารถจำ ขั้นตอนการแก้โจทย์ปัญหา 4 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นที่ 1S (Search the word problem) การศึกษาโจทย์ปัญหา ขั้นที่ 2T (Translate the problem) การแปลงโจทย์ ขั้นที่ 3A (Answer the problem) หาคำตอบของโจทย์ ปัญหาขั้นที่ 4R (Review the solution) ทบทวนคำตอบ ดังนั้น การสอนแก้ปัญหาวงคณิตศาสตร์โดยใช้ กลวิธี STAR เป็นกลวิธีสอนรูปแบบหนึ่งที่สามารถช่วยให้นักเรียนใช้กระบวนการแก้ปัญหาในการหา คำตอบได้อย่างดียิ่ง ส่งผลให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นและมีความสามารถ ในการแก้ปัญหาทาง คณิตศาสตร์ได้ดี

กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ได้มีการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ผู้วิจัยซึ่งเป็นผู้สอนได้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางหลักสูตรสถานศึกษา ยึดตามหลักสูตรการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2560) การจัดการเรียนรู้โดยเน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ จากการสังเกตพฤติกรรมการเรียนรู้ของ ผู้เรียนอย่างต่อเนื่องพบปัญหาคือ นักเรียนส่วนใหญ่สามารถแก้ปัญหาได้ตามแบบที่ครูสอนในห้องเรียนเท่านั้น แต่เมื่อพบปัญหาที่แตกต่างจากในห้องเรียน นักเรียนจะไม่สามารถแก้ปัญหาได้ และยังมีนักเรียนที่มีปัญหา เกี่ยวกับการสื่อสารและการนำเสนอ

ทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนไม่สามารถสื่อสารหรือนำเสนอความรู้ของตนเองให้ผู้อื่นรับรู้หรือเข้าใจได้ และมีนักเรียนที่เขียนสื่อความหมายโดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ นักเรียนส่วนใหญ่ไม่ประสบผลสำเร็จในการเรียนเรื่องโจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ขาดทักษะ กระบวนการคิดวิเคราะห์โจทย์ปัญหา ทำให้สัมฤทธิ์ทางการเรียนในรายวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติมอยู่ในเกณฑ์ไม่ เป็นที่น่าพอใจ ผู้วิจัยคิดว่าควรจะนำเทคนิคการจัดการเรียนการสอนรูปแบบใหม่เข้ามาช่วย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้เรียน ได้มีทักษะในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษาเทคนิควิธีการจัดการเรียนการสอนแบบต่าง ๆ ทั้งในตำราและงานวิจัยหลายๆ เทคนิค และเทคนิคการจัดการเรียนการสอน ที่ผู้วิจัยสนใจ คือ การจัดการเรียนแบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR เพื่อพัฒนาทักษะกระบวนการในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะส่งผลให้ผู้เรียนมี ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน คณิตศาสตร์เพิ่มเติม เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR สำหรับ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ประชากรที่ใช้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 4 ห้องเรียน มีนักเรียนจำนวน 185 คน โดยกลุ่มตัวอย่างในวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี เลือกจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายมา เป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/3 มีนักเรียนจำนวน 45 คน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้การสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบแบ่งกลุ่มทำงาน และแบบทดสอบเรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร ซึ่งมีขั้นตอนการสร้าง ดังนี้

1. วิธีการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้การสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบแบ่งกลุ่มทำงาน

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาการจัดการเรียนรู้การสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบร่วมมือและเทคนิคการ สอนด้วยกลวิธี STAR อย่างละเอียด

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้วิธีการสอนแบบร่วมมือและเทคนิคการสอนด้วย กลวิธี STAR เพื่อนำมาใช้ในการจัดการเรียนการสอน

ขั้นตอนที่ 3 ลงมือสร้างแผนการจัดการเรียนรู้รูปแบบการสอนโดยใช้วิธีการสอนแบบร่วมมือ และเทคนิค การสอนด้วยกลวิธี STAR

ขั้นตอนที่ 4 เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบพิจารณาความสอดคล้องกับจุดประสงค์และเนื้อหา โดยมีเกณฑ์ ดังนี้

+ 1 หมายถึง ตรงตามวัตถุประสงค์และเนื้อหา

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา

- 1 หมายถึง ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา

ขั้นตอนที่ 5 นำผลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแผนการจัดการเรียนรู้ โดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.5 – 1.00

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามคำแนะนำของ ผู้เชี่ยวชาญจนได้ฉบับสมบูรณ์ก่อนที่จะนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่ประชากรที่เราได้เลือกไว้

2. วิธีการสร้างเครื่องมือแบบทดสอบเรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาเนื้อหาการจัดการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ในส่วนของโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตรในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเครื่องมือแบบทดสอบเรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยมีข้อสอบปรนัย จำนวน 10 ข้อ ข้อสอบอัตนัยจำนวน 2 ข้อ

ขั้นตอนที่ 3 นำเครื่องมือแบบทดสอบเรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตรไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ ความสอดคล้องกับจุดประสงค์และเนื้อหา โดยมีเกณฑ์ดังนี้

+ 1 หมายถึง ตรงตามวัตถุประสงค์และเนื้อหา

0 หมายถึง ไม่แน่ใจว่าตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา

- 1 หมายถึง ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา

ขั้นตอนที่ 4 นำผลที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของเครื่องมือ แบบทดสอบเรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยค่าดัชนีความสอดคล้องที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.5 – 1.00

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือแบบทดสอบเรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร จนได้ฉบับสมบูรณ์ก่อนที่จะนำไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช่ประชากรที่เราได้เลือกไว้ และนำผลที่ได้มาทดสอบความเชื่อมั่นสัมประสิทธิ์แอลฟา (α – Coefficient)

ขั้นตอนที่ 6 หลังจากนั้นนำผลที่ได้มาหาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (R) โดย ค่าความยากง่าย (P) ที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.20 – 0.80 และค่าอำนาจจำแนกที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.20

ตารางที่ 1: แสดงคะแนนจากการทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้ – หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR และผลต่างร้อยละที่เพิ่มขึ้นของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1/3 จำนวน 45 คน

การทดสอบ	คะแนน เต็ม	$\bar{X}$	ร้อยละของ คะแนนที่เพิ่มขึ้น	s	t
ก่อนจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR เนื้อหา	16	8.36	22.63	2.62	12.18
หลังจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR	16	11.98		1.96	

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
2. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR โดยการทดสอบที (t-test for Dependent Samples)
3. เปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่องอัตราส่วน ของนักเรียนชั้น มัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยการทดสอบ ที (t-test for one-sample)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยผู้วิจัยขอนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลเป็น 2 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR

ในการวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 1 ผู้วิจัยนำคะแนนก่อนจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR ไปเทียบ กับคะแนนหลังการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1

ผลการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือที่ผานกลวิธี STAR แสดงให้เห็นถึงพัฒนาการทางการเรียนรู้ของนักเรียนอย่างชัดเจน โดยคะแนนเฉลี่ยก่อนการเรียนรู้เท่ากับ 8.36 คะแนน และเพิ่มขึ้นเป็น 11.98 คะแนนหลังการจัดการเรียนรู้ ซึ่งแสดงถึงการพัฒนาเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.62 คะแนน หรือคิดเป็นร้อยละ 22.63

ผลการวิเคราะห์โดยใช้ t-test พบว่ามีความแตกต่างของคะแนนก่อนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่ากลวิธี STAR มีผลในเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน นอกจากนี้ การลดลงของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานยังสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีการพัฒนาที่สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 2: ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนหลังจากได้รับ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70

การทดสอบ	n	คะแนนเต็ม	μ_0	$\bar{X}$	s	t
			(ร้อยละ 70)			
ความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์	45	16	11.2	11.98	1.96	12.18

สรุปได้ว่า การใช้กลวิธี STAR ในการเรียนรู้แบบร่วมมือมีประสิทธิภาพสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากลยุทธ์การสอนในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์เรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตรของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70

ในการวิเคราะห์ข้อมูลตอนที่ 2 ผู้วิจัยนำคะแนนความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของ นักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR ไปเทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 ซึ่งสรุปผลได้ดัง ตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่า ความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 11.98 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.96 และเมื่อทดสอบสมมติฐาน พบว่า คะแนนเฉลี่ยของความสามารถในการแก้ปัญหทางคณิตศาสตร์ของ นักเรียนหลังได้รับ การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือกับกลวิธี STAR สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทาง สถิติที่ระดับ .05

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัย เรื่อง การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง โจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ผู้วิจัยขอเสนอการอภิปรายผลการวิจัย ดังนี้

1. การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนมีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการใช้วิธีการดังกล่าว พบว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนอยู่ที่ 8.36 คะแนน และหลังเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 11.98 คะแนน หรือมีพัฒนาการเพิ่มขึ้น 3.62 คะแนน ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.63 โดยผู้วิจัยสังเกตพบว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการเรียนมากขึ้น สามารถคิดเป็นลำดับขั้นตอน และพัฒนาทักษะการแก้ปัญหได้ดียิ่งขึ้น การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือส่งเสริมให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ ช่วยกันค้นหาคำตอบ และแลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน ทำให้การเรียนรู้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR ส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนในเรื่องโจทย์ปัญหาการวัดปริมาตร โดยมีพัฒนาการที่ชัดเจนทั้งในแง่คะแนนเฉลี่ยและพฤติกรรมการเรียนรู้ ผลคะแนนเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจาก 8.36 คะแนนก่อนเรียน เป็น 11.98 คะแนนหลังเรียน (เพิ่มขึ้น 3.62 คะแนน หรือร้อยละ 22.63) แสดงให้เห็นว่ากลวิธี STAR ซึ่งเน้นการแก้ปัญหาเป็นลำดับขั้นตอนและการทำงานแบบมีส่วนร่วม ช่วยให้นักเรียนสามารถเข้าใจบทเรียนได้ลึกซึ้งขึ้น และนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ นุตริยา จิตตารมย์ (2548) และ ประจบ แสงสืบบ (2556) ที่แสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือและการใช้กลวิธี STAR สามารถช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากวิธีการดังกล่าวช่วยกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งและสามารถเชื่อมโยงความรู้กับสถานการณ์จริงได้

2. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนหลังได้รับการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR กับเกณฑ์ร้อยละ 70 พบว่าคะแนนเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ที่ 11.98 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 74.88 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีนี้ช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาของนักเรียน เนื่องจากกระบวนการ STAR ช่วยให้นักเรียนเข้าใจโจทย์ปัญหามากขึ้น คิดวิเคราะห์เป็นขั้นตอน และสามารถเชื่อมโยงความรู้ใหม่กับความรู้เดิมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเรียนแบบร่วมมือยังเสริมสร้างการทำงานเป็นทีม การแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการช่วยเหลือกันในกลุ่ม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความสำเร็จของการเรียน

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือร่วมกับกลวิธี STAR มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนที่ 11.98 คะแนน (ร้อยละ 74.88) สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จของวิธีการนี้ในการยกระดับการเรียนรู้ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ระบุว่ากลวิธี STAR และการเรียนรู้แบบร่วมมือสามารถพัฒนาทั้งความสามารถในการแก้ปัญหาและผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน งานของปจวีย์ เยาดำ (2552) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมและการเชื่อมโยงความรู้เดิมกับสถานการณ์ใหม่ ช่วยให้นักเรียนเกิดความเข้าใจและทักษะการแก้ปัญหาที่ลึกซึ้งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ผู้วิจัยเลือกใช้เกณฑ์ร้อยละ 70 เนื่องจากถือเป็นมาตรฐานขั้นต่ำที่ยอมรับได้สำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในบริบทการศึกษาไทย โดยร้อยละ 70 แสดงถึงระดับความเข้าใจเนื้อหาที่เพียงพอ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้จริง อย่างไรก็ตาม เกณฑ์ร้อยละ 80 ไม่ได้ถูกเลือกใช้ เนื่องจากเป็นระดับความสำเร็จที่สูงและเหมาะสมกับการประเมินผู้เรียนที่มีพื้นฐานการเรียนรู้ที่แข็งแกร่งมาก่อน แต่กลุ่มตัวอย่าง ในงานวิจัยนี้เป็นนักเรียนที่ต้องพัฒนาทักษะและความเข้าใจเพิ่มขึ้นในระดับพื้นฐาน จึงเลือกใช้เกณฑ์ร้อยละ 70 เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการเรียนรู้และผลลัพธ์ที่คาดหวัง ในการทำการวิจัยในครั้งหน้าควรมีการทดลองใช้เกณฑ์ที่สูงขึ้น เช่น ร้อยละ 75 หรือ 80 ในอนาคต เพื่อท้าทายความสามารถและสร้างแรงจูงใจให้นักเรียนมากขึ้น

2. การเสริมกิจกรรมกลุ่มที่มีความซับซ้อน เช่น การประยุกต์โจทย์คณิตศาสตร์ในชีวิตจริง หรือการทำโครง

งานกลุ่ม อาจช่วยพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาและทักษะอื่น ๆ ของนักเรียนได้อย่างรอบด้าน

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ คณะผู้บริหาร และ ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [2] ธนะชาติ ถนอมกุลบุตร. (2552). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์เรื่อง “การแปรผกผัน” โดยใช้กลวิธี STAR ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนบางบัวทอง จังหวัดนนทบุรี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ไม่ได้รับการตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [3] นฎกัญญา เจริญเกียรติบุตร. (2547). การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง ฟังก์ชัน ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นปีที่ 2 โดยใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือ (สารนิพนธ์ กศ.ม. การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. (ถ่ายเอกสาร).
- [4] นุตริยา จิตตารมย์. (2548). ผลของการสอนแก้ปัญหาคณิตศาสตร์โดยใช้กลวิธี STAR ที่มีต่อความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาและความคงทนในการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จังหวัดสุราษฎร์ธานี (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ไม่ได้รับการตีพิมพ์). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- [5] ประจวบ แสงสีบบ. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือโดยใช้กลวิธี STAR เรื่อง โจทย์ปัญหาสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียวและการแปรผันที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหา และทักษะการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียน ชั้น มัธยมศึกษา ปี ที่ 2 (วิทยานิพนธ์ ปริญญา มหา บัณฑิต, ไม่ ได้ รับ การ ตี พิมพ์). มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.
- [6] ปาจริย เยาดำ. (2552). การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง “การประยุกต์ของสมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว”โดยใช้กลวิธี STAR ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนสวัสดิ์รัตนากิมุข จังหวัดตรัง (วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต การสอนคณิตศาสตร์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] พิเชิต ฤทธิ์จรรณ. (2552). หลักการวัดประเมินผลการศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: แฮสออฟเคอร์มิสท์.

- [8] เมธิญา กาญจนรัตน์. (2552). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 โดยการใช้การเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค STAR (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, ไม่ได้รับการตีพิมพ์). มหาวิทยาลัยทักษิณ, สงขลา.
- [9] สำนักงานปฏิรูปการศึกษา. (2545). แนวทางการบริหารและการจัดการศึกษาในเขตพื้นที่การศึกษาและสถานศึกษา (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักงานปฏิรูปการศึกษา.

การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ เชิงรุกร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนปทุมวิไล

The Development of Learning Achievement using Active Learning Combined with the Desmos Application on Quadratic Function Graphs for Grade 9 Students at Pathumwilai School

หฤทัย ทองพันธ์¹, ปิยดา โพธิ์ศรี^{2,*}, และ พนมจรสกาญจน์ ฤกษ์ฤทธิ์³

¹กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนบัวแก้วเกษร อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี

³กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนปทุมวิไล อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี

Haruthai Thongpan¹, Piyada Phosri^{2,*}, and Phanomjaraskarn Roekrit³

¹Learning Area of Mathematics Buakaew Kesorn School, Lat Lum Kaeo, Pathum Thani

²Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi

³Learning Area of Mathematics Pathumwilai School, Meung, Pathum Thani

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียน โดยใช้กระบวนการวิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในการเรียนรู้กราฟของฟังก์ชันกำลังสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 และ 2) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ที่มีต่อการเรียนรู้ผ่าน วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในหัวข้อเดียวกัน กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยประกอบด้วยนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 จำนวน 45 คน จากโรงเรียนปทุมวิไล สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา ปทุมธานี เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ 1) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจำนวน 10 ข้อ และ 2) แบบสอบถาม ความพึงพอใจจำนวน 21 ข้อ โดยใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

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

ผลการวิจัยพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยมีค่าเฉลี่ย 95.3% และระดับความพึงพอใจเฉลี่ยของนักเรียนอยู่ที่ 4.49 (S.D. = 0.69) ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก สำหรับคำถามที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ การเรียนรู้วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชันเดสโมสเหมาะสมกับเนื้อหาวิชา โดยมีระดับความพึงพอใจอยู่ที่ 4.68 (S.D. = 0.60) ขณะที่คำถามที่มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ การช่วยให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นมากขึ้น โดยมีระดับความพึงพอใจ 4.26 (S.D. = 0.77) ซึ่งแสดงถึงความพึงพอใจในระดับมากแต่ยังมีพื้นที่สำหรับการพัฒนา การวิจัยนี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชันเดสโมสการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักเรียน ซึ่งอาจส่งผลดี ต่อการพัฒนาวิธีการสอนในอนาคต

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้เชิงรุก, การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, แอปพลิเคชัน Desmos

Abstract

The purpose of this research is to 1) compare the learning achievements before and after the learning process using Active Learning combined with the Desmos application in understanding the graphs of quadratic functions among Grade 9 students, and 2) examine the satisfaction levels of Grade 9 students regarding learning through Active Learning with the Desmos application on the same topic. The sample consisted of 45 Grade 9 students from Pathumwilai School, under the Secondary Education Area Office of Pathum Thani. The tools used in this study included a 10-item achievement test and a 21-item satisfaction questionnaire. Statistical analysis involved calculating means and standard deviations.

The research findings revealed that students' learning achievements after the intervention were significantly higher than before, with an average score of 95.3%. The average satisfaction level of students was 4.49 (S.D. = 0.69), indicating a high overall satisfaction level. The question with the highest average satisfaction pertained to the appropriateness of the Active Learning format combined with the Desmos application in relation to the subject matter, achieving a satisfaction level of 4.68 (S.D. = 0.60). In contrast, the question regarding whether the activities helped students feel more confident in expressing their opinions received the lowest average score of 4.26 (S.D. = 0.77), indicating satisfaction at a high level but with room for improvement. This research highlights the effectiveness of integrating Active Learning with the Desmos application in enhancing learning achievements and student satisfaction, which may positively impact future teaching methodologies.

Keywords : Active Learning, Learning Achievement Development, Desmos Application

ที่มาและความสำคัญ

กระทรวงศึกษาธิการได้ทบทวนหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551 ในกลุ่มสาระคณิตศาสตร์ เพื่อให้ทันสมัยและสอดคล้องกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยมุ่งเน้นการส่งเสริมทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (3Rs8Cs) ตามแผนการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2560-2579 ซึ่งมีวิสัยทัศน์ว่า “คนไทยทุกคนได้รับการศึกษาและเรียนรู้ตลอดชีวิตอย่างมีคุณภาพ ดำรงชีวิตอย่างเป็นสุข” โดยมุ่งพัฒนาทักษะ 3Rs ได้แก่ Reading (การอ่าน), (W)riting (การเขียน), และ (A)rithmetics (การคำนวณ) และ 8Cs ได้แก่ Critical Thinking and Problem Solving (การคิดอย่างมีวิจารณญาณและการแก้ปัญหา) Creativity & Innovation (การสร้างสรรค์และนวัตกรรม) Cross-cultural Understanding (ความเข้าใจความเข้าใจความแตกต่างวัฒนธรรม) Collaboration, Teamwork and Leadership (ความร่วมมือ การทำงานเป็นทีม และภาวะผู้นำ) Communications Information and Media Literacy (การสื่อสารสารสนเทศและการรู้เท่าทันสื่อ) Computing & ICT Literacy (ความรู้ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ) Career & Learning Skills (ทักษะอาชีพและการเรียนรู้) Compassion (ความมีเมตตาและกรุณา) การพัฒนาทักษะเหล่านี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถปรับตัวและประสบความสำเร็จในโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว [1] การพัฒนาทักษะเหล่านี้จะช่วยให้ผู้เรียนสามารถปรับตัวในยุคดิจิทัลได้ และสนับสนุนการคิดเชิงคำนวณเพื่อแก้ปัญหาในสาขาวิชาต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [2]

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากช่วยพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ การคิดอย่างเป็นระบบ และความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหา นอกจากนี้ยังช่วยในการวางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา และใช้ในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพ คณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งเป็นรากฐานในการพัฒนาทรัพยากรบุคคลและเศรษฐกิจของชาติ การศึกษาคณิตศาสตร์จึงต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้ทันสมัยและสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงในยุคโลกาภิวัตน์ [4] การจัดการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพจำเป็นต้องเหมาะสมกับศักยภาพของผู้เรียน โดยเฉพาะเมื่อจบการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาปีที่ 3 ควรมีความเข้าใจเกี่ยวกับกราฟของฟังก์ชันกำลังสองในการสื่อสารทางคณิตศาสตร์

การจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) เป็นแนวทางที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีบทบาทในการรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตนเอง โดยผู้เรียนจะได้ลงมือทำและมีส่วนร่วมในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การอ่าน พูด ฟัง คิดเขียน อภิปราย และแก้ปัญหา [3] การเรียนรู้เชิงรุกจะช่วยเชื่อมโยงความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ ทำให้ผู้เรียนสามารถสร้างความรู้ขึ้นมาเอง และถ่ายทอดออกมาได้ด้วยถ้อยคำของตนเอง ส่งผลให้ผู้เรียนมีความเข้าใจลึกซึ้งและจดจำเนื้อหาได้ดีขึ้น [5] Bonwell & Eison [6] กล่าวเกี่ยวกับ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ว่าการเรียนรู้แบบนี้ทำให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริงมากกว่าการฟัง ผู้เรียนจะต้องอ่าน เขียน อภิปราย และมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการเรียนรู้ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน 3 ส่วนได้แก่ ความรู้ ทักษะต่าง ๆ และทัศนคติ การจัดกลุ่มพฤติกรรมการเรียนรู้นี้ถือได้ว่าเป็นจุดหมายของกระบวนการจัดการเรียนรู้ การสอนแบบนี้จะทำให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติและการคิดเกี่ยวกับจุดประสงค์ หรืองาน หรือกิจกรรมที่กำลังทำ

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุกมีผลกระทบต่อการพัฒนาทักษะการเรียนรู้ของนักเรียน โดยเฉพาะในระดับชั้นมัธยมศึกษา จากการศึกษาค้นคว้าของ สุคนธ์ ธารธรรมพุทโธ [7] ที่เน้น การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการเชิงวิธีการโดยใช้กระบวนการกลุ่ม เพื่อพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ในเรื่อง ความ

น่าจะเป็น พบว่าการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยนักเรียนสามารถแก้ปัญหาได้มากกว่า 70% ที่ระดับนัยสำคัญ .01 ซึ่งบ่งชี้ว่าแนวทางการสอนนี้มีผลกระทบในเชิงบวกต่อการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์ เชิดศักดิ์ ภักดีวิโรจน์ [8] ศึกษาผลของ การจัดการเรียนรู้เชิงรุกในเรื่องทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ พบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงกว่าเกณฑ์ 65% และมีความสามารถในการคิดอย่างมีวิจารณญาณ รวมถึงความเชื่อมั่นในตนเองสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 Mcalpine (2000) [9] ศึกษาเกี่ยวกับการเรียนการสอนแบบออนไลน์ร่วมกับวิธีการเรียนรู้แบบร่วมกันสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาบริหารธุรกิจ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มทักษะในด้านการวิเคราะห์ การติดต่อสื่อสาร การเจรจาต่อรอง และการทำงานร่วมกัน ผลการวิจัยพบว่า ผู้เรียนส่วนใหญ่ มีความรู้สึกที่ดีต่อการทำงานร่วมกัน โดยเฉพาะการได้เรียนรู้จากผู้เรียนคนอื่น ซึ่งถือเป็นข้อมูลที่มีคุณค่าส่งผลให้เกิดความเข้าใจในการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นการพัฒนาทักษะในการแก้ปัญหาและการใช้ประสบการณ์และความรู้ในการทำงาน ที่ได้รับมอบหมายผู้เรียนส่วนใหญ่มีการพัฒนาตนเองเพิ่มขึ้น และจากงานวิจัยของ Nam Ju Kim. (2017) [10] ได้ทำการศึกษาในเรื่อง Enhancing Students' Higher Order Thinking Skills through Computer - based Scaffolding in Problem Based Learning ซึ่งเป็นการเสริมสร้างทักษะการคิดขั้นสูงของนักเรียนผ่านการใช้คอมพิวเตอร์เป็นฐานความช่วยเหลือในการเรียนแบบใช้ปัญหาเป็นฐาน วัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาปัญหา ที่เกิดขึ้น เรียนรู้จากปัญหา และแก้ไขปัญหามาภายใต้คำแนะนำจากระบบฐานความช่วยเหลือผลการศึกษาพบว่า ระบบฐานความช่วยเหลือช่วยเพิ่มความสามารถของผู้เรียนในการค้นคว้าและแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เรียนสามารถปรับแต่งโครงสร้างของฐานความช่วยเหลือให้สอดคล้องกับความต้องการและความแตกต่างกัน การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ Metadata แบบ Bayesian พบว่า มีผลต่อความเข้าใจ ($\beta = 0.385$) ในการเรียนแบบใช้ปัญหาเป็นฐานสำหรับการศึกษา STEM สนับสนุนการแก้ปัญหาในลักษณะ Just-in-Time จะเห็นได้ว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุกไม่เพียงแต่ช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและการคิดวิเคราะห์ แต่ยังส่งเสริมการทำงานร่วมกันและการเรียนรู้จากกันและกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญในการเตรียมความพร้อมให้นักเรียนสำหรับการเผชิญกับความท้าทายในอนาคต

จากผลการทดสอบ O-NET วิชาคณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 263-2564 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนปทุมวิไล มีค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ต่ำที่ 32.40 และ 27.31 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่านักเรียนมีข้อบกพร่องในด้านกระบวนการคำนวณและการประยุกต์ใช้คณิตศาสตร์ โดยเฉพาะในสาระที่ 4 พีชคณิต ซึ่งรวมถึงหัวข้อกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง [11] ผลการทดสอบนี้ชี้ให้เห็นว่า นักเรียนยังขาดความเข้าใจในหลักการพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมทั้งในด้านทักษะการคำนวณและการตีความกราฟของฟังก์ชันกำลังสองให้มีความชัดเจนและแม่นยำยิ่งขึ้น นักเรียนประสบปัญหาในการสรุปความคิดรวบยอด อีกทั้งยังขาดทักษะในการใช้แกน x และ y รวมถึงการลงจุดบนกราฟ นอกจากนี้ การจัดการเรียนการสอนไม่สามารถตอบสนองความสนใจของนักเรียนที่ชื่นชอบการเรียนรู้เชิงปฏิบัติ ส่งผลให้นักเรียนรู้สึกเบื่อหน่ายและขาดความตั้งใจเรียน [12] สาเหตุเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์อยู่ในระดับต่ำ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงกระบวนการจัดการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักเรียนให้มากขึ้น

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงความสำคัญของการเรียนการสอนวิชาคณิตศาสตร์ และได้เลือกใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ผสานกับแอปพลิเคชัน Desmos เพื่อสอนหัวข้อ "กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง" สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 รูปแบบการเรียนการสอนนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยมุ่งเน้นให้นักเรียนมีความรู้และ ความเข้าใจ

ในเนื้อหาอย่างลึกซึ้ง นอกจากนี้ การจัดการเรียนการสอนที่ผสมผสานเทคโนโลยีและกิจกรรมเชิงปฏิสัมพันธ์ ยังช่วยให้นักเรียนรู้สึกสนุกสนาน มีแรงจูงใจในการเรียนรู้ และสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเสริมสร้างศักยภาพของนักเรียนให้พร้อมสำหรับการพัฒนาตนเองและการมีส่วนร่วมสร้างสรรค์สังคมในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาความเปลี่ยนแปลงของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ในหัวข้อ กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยเปรียบเทียบระหว่าง ผลสัมฤทธิ์ก่อนการเรียน และ ผลสัมฤทธิ์หลังการเรียน ผ่านกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ผสมผสานการใช้งานแอปพลิเคชัน Desmos
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนต่อกระบวนการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ผสมผสานการใช้แอปพลิเคชัน Desmos ในการเรียนการสอนหัวข้อกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง โดยมุ่งเน้นวิเคราะห์ความรู้สึกรักของนักเรียน ต่อประสิทธิภาพของการเรียนรู้ในรูปแบบนี้ รวมถึงความสนุกสนาน ความเข้าใจในเนื้อหา และแรงจูงใจที่เกิดขึ้นระหว่างการเรียน

กรอบแนวคิดของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดหลักที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับศักยภาพของผู้เรียนใน ยุคศตวรรษที่ 21 โดยผสมผสานระหว่างการจัดการเรียนรู้เชิงรุก และการใช้เทคโนโลยีอย่าง แอปพลิเคชัน Desmos เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนการสอนในวิชาคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะหัวข้อ กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ซึ่งมีความสำคัญในแง่ของการวางพื้นฐานทางคณิตศาสตร์และการพัฒนาทักษะ การคิดวิเคราะห์ แนวคิดหลักที่เป็นกรอบการดำเนินการวิจัย การจัดการเรียนรู้เชิงรุก เป็นกระบวนการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมอย่างกระตือรือร้นในกระบวนการเรียนรู้ ส่งเสริมให้ผู้เรียนลงมือปฏิบัติจริง (hands-on learning) และมีปฏิสัมพันธ์ที่กระตือรือร้นระหว่างครูและนักเรียน รวมถึงการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นในชั้นเรียน ครูมีบทบาทสำคัญในฐานะผู้อำนวยความสะดวกในการเรียนรู้ (facilitator) โดยการสร้างแรงบันดาลใจ การให้คำปรึกษา และการแนะนำอย่างเหมาะสมการผสมผสานเทคโนโลยีในการเรียนรู้ (แอปพลิเคชัน Desmos) Desmos เป็นเครื่องมือ ที่ช่วยแสดงภาพกราฟและสมการเชิงคณิตศาสตร์อย่างเป็นรูปธรรม ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาเกี่ยวกับ กราฟของฟังก์ชันกำลังสองได้อย่างชัดเจน มีคุณสมบัติอินเทอร์แอกทีฟที่ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านการทดลอง การปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ และการเห็นผลลัพธ์ทันที ซึ่งเหมาะสมกับการเรียนรู้ในลักษณะการจัดการเรียนรู้เชิงรุก การพัฒนาทักษะที่จำเป็น ในศตวรรษที่ 21 การจัดการเรียนรู้รูปแบบนี้ช่วยพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ (critical thinking) การแก้ปัญหา (problem-solving) และการสื่อสาร (communication) ผู้เรียนได้รับการสนับสนุนให้สร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการปฏิบัติจริงและการประเมินความเข้าใจด้วยการวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดลองใน Desmos ผลลัพธ์ที่เน้นผู้เรียน เป็นศูนย์กลางกระบวนการนี้คาดหวังให้นักเรียนพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้ดีกว่าการเรียนการสอนแบบเดิมสร้างความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ ซึ่งจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนมีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนคณิตศาสตร์

การเชื่อมโยงแนวคิดกับการวิจัย การวิจัยนี้ออกแบบขึ้นภายใต้ความเชื่อที่ว่า การผสมผสานการจัดการเรียน

รู้เชิงรุก กับแอปพลิเคชัน Desmos จะช่วยกระตุ้นการมีส่วนร่วมและการเรียนรู้ที่มีความหมายของผู้เรียน โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการประเมิน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และ ความพึงพอใจของผู้เรียน เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของแนวทางนี้ ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงวิธีการจัดการเรียนรู้ที่ตอบสนองความต้องการของผู้เรียนในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยใช้ วิธีการจัดการเรียนรู้แบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ของโรงเรียนปทุมวิไล สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา ปทุมธานี ในภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 45 คน กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 ห้องเรียนที่ 6 ของโรงเรียนปทุมวิไล จำนวน 45 คน ซึ่งได้มา โดยการเลือกตัวอย่างมาจากการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos จำนวน 1 แผน การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์เรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง จำนวน 10 ข้อ เพื่อวัดความเข้าใจและความสามารถของนักเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้ จำนวน 21 ข้อ เพื่อวิเคราะห์ความคิดเห็นและความรู้สึกของนักเรียนที่มีต่อกระบวนการเรียนรู้ โดยใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos

สถิติที่ใช้ในการวิจัย มีการทดสอบก่อนและหลังการจัดการเรียนคณิตศาสตร์ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos เรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง และทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนรู้การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos วิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ย $\bar{x}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D.$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยใช้ วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับ แอปพลิเคชัน Desmos ในหัวข้อกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โดยการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนสำคัญดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดลองใช้วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos นักเรียนได้รับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการมีส่วนร่วมและการปฏิบัติจริงผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก การใช้แอปพลิเคชัน Desmos เพื่อช่วยอธิบายแนวคิดและสร้างความเข้าใจในหัวข้อกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง โดยนักเรียนสามารถสำรวจและทดลองเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ในสมการฟังก์ชันกำลังสอง และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกราฟได้แบบเรียลไทม์ มีการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการเรียน เพื่อประเมินความก้าวหน้าทางการเรียนรู้ของนักเรียน

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาความพึงพอใจของนักเรียน นักเรียนตอบแบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจ

ตารางที่ 1: แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้ โดยการจัดการเรียนรู้เชิงรุก รวมกับแอปพลิเคชัน Desmos

คนที่	คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน		ผลต่าง D
	ก่อนเรียน (10 คะแนน)	หลังเรียน (10 คะแนน)	
1	3	9	6
2	5	10	5
3	2	9	7
4	4	8	4
5	2	10	8
6	4	9	5
7	3	9	6
8	2	8	6
9	4	10	6
10	2	9	7
11	3	10	7
12	4	10	6
13	5	9	4
14	5	10	5
15	3	10	7
16	1	10	9
17	4	10	6
18	6	10	4
19	4	8	4
20	1	10	9
21	3	10	7
22	4	10	6
23	1	10	9
24	2	10	8
25	4	10	6
26	3	8	5
27	2	10	8
28	2	10	8

ตารางที่ 2: แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนและหลังการเรียนรู้ โดยการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos (ต่อ)

คนที่	คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน		ผลต่าง D
	ก่อนเรียน (10 คะแนน)	หลังเรียน (10 คะแนน)	
29	1	10	9
30	3	9	6
31	2	10	8
32	1	10	9
33	2	10	8
34	1	10	9
35	3	9	6
36	4	10	6
37	2	10	8
38	1	10	9
39	2	9	7
40	1	8	7
41	3	10	7
42	4	9	5
43	3	9	6
44	1	10	9
45	3	10	7
$\sum x$	125	429	304
$\bar{x}$	2.77	9.53	6.75
(S.D.)	1.31	0.69	

ในการเรียนรู้ โดยวัดจากประสบการณ์การเรียนรู้ผ่านการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ที่ผสมเทคโนโลยี Desmos เน้นวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจในแง่ของความเหมาะสมของวิธีการเรียนรู้ ความเข้าใจในเนื้อหา และการมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียน

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนที่ 1 การทดลองใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3

จากผลการวิจัยที่แสดงในตารางที่ 1 พบว่า ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนการใช้ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วม

ตารางที่ 3: แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง

รายการ	$\bar{x}$	(S.D.)	การแปลผล
1 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีความเหมาะสมกับเนื้อหาวิชา	4.68	0.60	มากที่สุด
2 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับครูผู้สอนมากขึ้น	4.42	0.68	มาก
3 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนมีปฏิสัมพันธ์กับเพื่อนมากขึ้น	4.50	0.34	มาก
4 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นมากยิ่งขึ้น	4.26	0.77	มาก
5 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีเนื้อหาที่ทันสมัย	4.47	0.77	มาก
6 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีการประยุกต์สาระที่สอนให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในปัจจุบัน	4.55	0.66	มากที่สุด
7 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos กระตุ้นความสนใจในการเข้าเรียนของนักเรียน	4.47	0.66	มาก
8 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยลดระยะเวลาในการเรียนมากขึ้น	4.55	0.66	มากที่สุด
9 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ซักถามข้อสงสัย	4.36	0.82	มาก

ตารางที่ 4: แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง (ต่อ)

รายการ	$\bar{x}$	(S.D.)	การแปลผล
10 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนมีสมาธิและตั้งใจเรียน	4.42	0.68	มาก
11 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนเข้าใจบทเรียนมากขึ้น เห็นภาพชัดเจน	4.63	0.55	มากที่สุด
12 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยทบทวนเนื้อหา และสอบถามความเข้าใจของนักเรียน	4.44	0.79	มาก
13 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos สามารถเรียนทบทวนได้ด้วยตนเองทุกที่ ทุกเวลา	4.44	0.79	มาก
14 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีขั้นตอนการสอนที่เหมาะสมเข้าใจเนื้อหาได้มากขึ้น	4.53	0.65	มากที่สุด
15 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้บริการภาคในห้องเรียนน่าเรียนขึ้น	4.42	0.79	มาก
16 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos นักเรียนมีความพร้อมในการใช้แอปพลิเคชัน	4.60	0.67	มากที่สุด
17 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos นักเรียนมีความสนุกสนานในการร่วมกิจกรรม	4.55	0.66	มากที่สุด
18 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้กับชิ้นงานได้	4.44	0.86	มาก

ตารางที่ 5: แสดงผลการประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง (ต่อ)

รายการ	$\bar{x}$	(S.D.)	การแปลผล
19 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos เป็น การเรียนที่ง่ายกว่าการเรียนรู้ด้วยวิธีอื่น	4.50	0.64	มาก
20 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนได้ฝึกทักษะได้อย่างเต็มที่	4.55	0.61	มากที่สุด
21 กิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุกที่ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ช่วยให้นักเรียนรู้สึกชอบในความสะดวกสบายต่อการวาดกราฟ	4.50	0.79	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.49	0.69	มาก

กับแอปพลิเคชัน Desmos มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.77 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.31 ซึ่งสะท้อนว่านักเรียนมีความเข้าใจในหัวข้อกราฟของฟังก์ชันกำลังสองในระดับหนึ่งก่อนเริ่มการเรียนการสอนด้วยวิธีนี้ หลังจากการเรียนรู้ด้วย การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับ แอปพลิเคชัน Desmos ค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเพิ่มขึ้นเป็น 9.53 โดย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงเหลือ 0.69 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ก่อนและหลังการเรียนรู้เรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง ข้อมูลดังกล่าวยืนยันว่า การใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีประสิทธิภาพในการช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น และช่วยลดความแปรปรวนของผลการเรียนรู้นักเรียนในชั้นเรียน อีกด้วย.

ขั้นตอนที่ 2 ผลการศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในเรื่อง กราฟของฟังก์ชันกำลังสอง

จากผลการวิจัยที่แสดงในตารางที่ 2 พบว่า การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ได้รับความพึงพอใจจากนักเรียนในระดับสูง โดยคำถามที่นักเรียนให้ความพึงพอใจสูงสุดคือ กิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos เหมาะสมกับเนื้อหาวิชา โดยมีค่าเฉลี่ย 4.68 (S.D. = 0.60) ซึ่งแสดงให้เห็นว่านักเรียนรู้สึกว่าการเรียนดังกล่าวเข้ากับเนื้อหาวิชาได้ดีมากที่สุด ในทางกลับกัน คำถามที่นักเรียนให้ความพึงพอใจน้อยที่สุดคือ กิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวช่วยให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นมากขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ย 4.26 (S.D. = 0.77) ซึ่งยังคงอยู่ในระดับที่ดี แต่แสดงให้เห็นว่ายังมีประเด็นที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้ จากผลการประเมินทั้ง 21 ข้อ พบว่าค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.49 (S.D. = 0.69) ซึ่งสะท้อนถึงความพึงพอใจในระดับค่อนข้างสูง โดยสรุปผลการวิจัย

ชี้ว่า การจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในการเรียนการสอนเกี่ยวกับกราฟของฟังก์ชันกำลังสองได้รับความพึงพอใจสูงจากนักเรียน และถือเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการจัดการเรียนรู้.

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับการใช้วิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในการสอนเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง สามารถสรุปและขยายความผลการศึกษาดังนี้:

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้นอย่างชัดเจนหลังจากใช้วิธีการเรียนการสอนนี้ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญหลังจากการเรียนรู้อยู่ด้วยวิธีการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos โดยผลสัมฤทธิ์หลังเรียนมีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าก่อนเรียน ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของ การใช้วิธีการนี้ในการเพิ่มพูนความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง การที่ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเพิ่มสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากลักษณะของการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ที่เน้นการมีส่วนร่วมของผู้เรียนเป็นหลัก นักเรียนได้ลงมือทำและคิดวิเคราะห์ร่วมกับการใช้แอปพลิเคชัน Desmos ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการสร้างและเข้าใจกราฟได้ดี ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจเนื้อหาเชิงลึกได้มากขึ้นและเห็นภาพรวมของฟังก์ชันกำลังสองได้ชัดเจนขึ้น

2. นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ในรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในระดับมาก โดยนักเรียนรู้สึกว่าการจัดการเรียนรู้เหล่านี้เหมาะสมกับเนื้อหาวิชาฟังก์ชันกำลังสอง ซึ่งทำให้การเรียนรู้อันเป็นไปอย่างราบรื่นและมีความสนุกสนานในการศึกษา นอกจากนี้การใช้ Desmos ยังช่วยให้กระบวนการสร้างกราฟฟังก์ชันกำลังสองเป็นเรื่องง่ายขึ้นสำหรับนักเรียน ทำให้พวกเขาเข้าใจแนวคิดและความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ดีขึ้น สิ่งนี้อาจช่วยลดความเครียดและเพิ่มความมั่นใจในความสามารถของนักเรียน ส่งผลให้พวกเขามีทัศนคติที่ดีต่อการเรียนรู้

จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดการเรียนรู้แบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos มีประสิทธิภาพทั้งในด้านการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและการสร้างความพึงพอใจแก่ผู้เรียน นักเรียนสามารถเข้าใจเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสองได้อย่างลึกซึ้งและแสดงออกถึงความพึงพอใจในการเรียนการสอนวิธีนี้ในระดับที่สูง นี่แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เมื่อร่วมกับการใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม สามารถพัฒนาทั้งผลการเรียนและความชอบในการเรียนของนักเรียนได้อย่างมีนัยสำคัญ

อภิปรายผล

จากผลการวิจัยเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos ในการเรียนเรื่องกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง พบว่า

1. ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับแอปพลิเคชัน Desmos โดยค่าเฉลี่ยผลสัมฤทธิ์ก่อนการเรียนอยู่ที่ 2.77 (S.D. = 1.31) และหลังการเรียนค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 9.53 (S.D. = 0.69) การเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสะท้อนถึงประสิทธิภาพของการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ซึ่งเน้นการมีส่วนร่วมและการปฏิบัติจริง ผ่านการใช้งานแอปพลิเคชัน

Desmos ที่ช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างกราฟ วิเคราะห์ และทดลองเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง การได้ตอบเชิงปฏิบัตินี้ช่วยเสริมสร้างความเข้าใจที่ลึกซึ้งเกี่ยวกับกราฟของฟังก์ชันกำลังสอง

การจัดการเรียนรู้ดังกล่าวยังช่วยให้นักเรียนสามารถเชื่อมโยงทฤษฎีกับการใช้งานในสถานการณ์จริงได้ดีขึ้น โดยเฉพาะในด้านการวิเคราะห์และการแก้ปัญหา การเพิ่มขึ้นของผลสัมฤทธิ์นี้สามารถอธิบายได้ว่า นักเรียนได้รับ การเรียนรู้ที่มีความหมายและสามารถจดจำเนื้อหาได้อย่างยั่งยืน งานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาโดย McAlpine [9] ซึ่งพบว่าการเรียนการสอนที่ผสมผสานการทำงานร่วมกันและการเรียนรู้จากประสบการณ์ตรงช่วยเสริมสร้างทักษะ การวิเคราะห์และแก้ปัญหาได้ดีขึ้น เช่นเดียวกับในกรณีของนักเรียนที่ใช้ Desmos ในการสำรวจและวิเคราะห์กราฟที่ช่วย สร้างความเข้าใจที่ชัดเจนและความมั่นใจในการเรียน การใช้ Desmos ยังช่วยให้นักเรียนมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียน รู้มากขึ้น และทำให้เรื่องของการสร้างและวิเคราะห์กราฟที่ซับซ้อนกลายเป็นเรื่องง่ายและน่าสนใจ ซึ่ง ส่งผลเชิงบวกต่อ ความเข้าใจและความพึงพอใจในกระบวนการเรียนรู้ของนักเรียน.

2. จากการประเมินความพึงพอใจของนักเรียน พบว่า ค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจอยู่ที่ 4.49 (S.D. = 0.69) ซึ่งเพิ่มขึ้นในระดับที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยเริ่มต้นและจัดอยู่ในระดับที่ดีมาก คิดเป็น 89.8 ในขณะเดียวกัน ข้อ คำถามที่ได้คะแนนความพึงพอใจต่ำที่สุดคือ การช่วยให้นักเรียนกล้าแสดงความคิดเห็นมากขึ้น ซึ่งได้ค่าเฉลี่ย 4.26 (S.D. = 0.77) แม้จะยังคงอยู่ในระดับที่ดี แต่บ่งชี้ว่ายังมีโอกาสปรับปรุงเพิ่มเติม การส่งเสริม ให้นักเรียนมีความมั่นใจในการ แสดงออกและการแสดงความคิดเห็นอย่างอิสระในชั้นเรียนควรได้รับการพัฒนา เพื่อสนับสนุนทักษะการคิดวิเคราะห์ และความเชื่อมั่นในตนเอง ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุคนธ์ ธารธรรมพุทโธ [7] ที่ระบุว่า การจัดการเรียนรู้ แบบบูรณาการที่เน้นการทำงานร่วมกันในกลุ่มช่วยพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้มากกว่า 70 การพัฒนา ทักษะการคิดวิเคราะห์อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ งานวิจัยของ เชิดศักดิ์ รักศิริโรจน์ [8] ยังยืนยันถึงผลของการเรียนรู้ เชิงรุกที่มีต่อการพัฒนาทักษะทางคณิตศาสตร์ โดยนักเรียนที่เรียนผ่านวิธีการดังกล่าวมีความสามารถในการแก้ปัญหา และคิดอย่างมีวิจารณญาณสูงขึ้น พร้อมทั้งแสดงความเชื่อมั่นในตนเองที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งตรงกับ ผลการศึกษานี้ที่ แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับ Desmos ช่วยให้นักเรียนพัฒนาความสามารถเชิงลึกด้านการแก้ปัญหา และสร้างความเข้าใจในหัวข้อที่เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ.

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับ Desmos จึงควรมีการ ศึกษาเพิ่มเติมในหลายประเด็น:

1. การขยายการใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับ Desmos ควรส่งเสริมให้มีการนำการเรียนการสอนแบบ การจัดการเรียนรู้เชิงรุกร่วมกับ Desmos ไปใช้ในวิชาอื่น ๆ และในระดับชั้นที่หลากหลายยิ่งขึ้น เนื่องจากเห็นได้ชัดว่า เป็นวิธีที่ช่วยพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ส่งเสริมบรรยากาศการแสดงความคิดเห็น ควรพัฒนากลยุทธ์ในการสร้างบรรยากาศการเรียนที่เปิดกว้าง ส่งเสริมให้นักเรียนทุกคนมีความมั่นใจในการแสดงความคิดเห็น โดยอาจเน้นกิจกรรมกลุ่มที่กระตุ้นให้เกิด การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและเสริมสร้างความมั่นใจในตัวเอง

3. การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาและคิดวิเคราะห์ควรมีการวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะ การแก้ปัญหา การคิดเชิงวิเคราะห์ และความเชื่อมั่นในตนเองในบริบทของการใช้การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ร่วมกับเครื่องมือเทคโนโลยีการเรียนรู้ใหม่ ๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ คณะผู้บริหาร และ ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนปทุมวิไล จังหวัดปทุมธานี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งใน การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงศึกษาธิการ.
- [2] กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2020). หลักสูตรฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การส่งเสริมการเรียนรู้เพื่อพัฒนา ทักษะด้านโค้ดดิ้งสู่สังคมดิจิทัลในอนาคต. แหล่งที่มา: ออนไลน์.
- [3] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงศึกษาธิการ.
- [4] ศิริพร มโนพิเชฐวัฒนา. (2547). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์บูรณาการที่เน้นผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ที่กระตือรือร้น เรื่อง ร่างกายมนุษย์. ปรินญาณินพนธ์ กส.ค. (วิทยาศาสตร์ศึกษา), กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย.
- [5] จรรยา ดาสา. (2552). 15 เทคนิคในการจัดการเรียนรู้ที่เน้นการเรียนรู้เชิงรุก. วารสาร สสวท., 36(163), 72-76.
- [6] Bonwell, C.C., & Eison, J.A. (1991). Active learning: Creative excitement in the classroom. ASHE-ERIC Higher Education Reports No. 1. Washington, D.C.
- [7] สุคนธ์ธำ ธรรมพุดธ. (2552). ผลการจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการเชิงวิธีการที่เน้นกระบวนการกลุ่มเพื่อพัฒนาทักษะ การแก้ปัญหา ทักษะการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ และพฤติกรรมการทำงานกลุ่มของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 3. ปรินญาณินพนธ์ กส.ม. (การมัธยมศึกษา). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [8] ชิดศักดิ์ ภักดีวิโรจน์. (2556). ผลการจัดการเรียนรู้เชิงรุก เรื่อง ทักษะกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่มีต่อ ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และความเชื่อมั่นในตนเอง ของ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (ปรินญาณินพนธ์ กส.ม. (การมัธยมศึกษา)).

- [9] McAlpine, I. (2000). Collaborative learning online. Distance Education, 21(1), 66-80.
- [10] Kim, N. J. (2017). Enhancing students' higher order thinking skills through computer-based scaffolding in problem-based learning (A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree). Utah State University.
- [11] กระทรวงศึกษาธิการ. (2552). หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. ออนไลน์.
- [12] ยุพิน พิพิธกุล. (2545). การเรียนการสอนคณิตศาสตร์ยุคปฏิรูปการศึกษา. กรุงเทพฯ: บพิธการพิมพ์.

SMT_{KPRU}

ปีที่ 3 ฉบับ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567
Vol.3, Issue 2, July - December 2024
ISSN 2822-0196 (Print), ISSN 2822-020X (Online)



วารสาร มรภ.กฟ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

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