



วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Techonology

SCOPE:

Pure/Applied/Educational Sciences

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

Published by

Faculty of Science and Technology
Kamphaeng Phet Rajabhat University

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

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

เจ้าของ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร		
เว็บไซต์	https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/smt		
หัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
รองหัวหน้าบรรณาธิการ	รองศาสตราจารย์ ดร.นิรุทธิ์ พิพรรณจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	นายกฤษณะ จันท	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	นายธาดา พรหมทับ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	นายประทีป เพ็ญแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	

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

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded และผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความมาจากหน่วยงานที่ไม่ใช่หน่วยงานเดียวกับผู้ประพันธ์และผู้ร่วมประพันธ์ จำนวน 3 ท่าน จากหน่วยงานที่ต่างกัน 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.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) จังหวัดกำแพงเพชร

กองบรรณาธิการ	Professor Dr. Boyko	Gyurov	Georgia Gwinnett College USA
	ศาสตราจารย์ ดร.ทศวรรษ	สีตะวัน	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
	ศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์	เพชรโรจน์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	Associate Prof. Dr. Bounphanh	Tonpheng	National University of Laos
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กงบังเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวะกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวดี	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุมนพันธุ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติพันธ์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรีย์	พิมพ์พิมุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธรรพักษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทนายเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์	ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงษ์ศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอนก	หาลี	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์	สวนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วสุนธรา	รตโนภาส	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	ศิรธน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	Dr. Phoui	Souksomvang	National University of Laos
	Dr. Phengxay	Deevanhxay	National University of Laos
	Dr. Somsack	Inthasone	National University of Laos
	Dr. Somphouthone	Phimmachak	National University of Laos

บทบรรณาธิการ

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

วารสารนี้เผยแพร่เป็นปีที่ 4 ฉบับที่ 1 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิชาการและวิจัยทั้งหมด 8 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขาฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ เคมี เทคโนโลยีการอาหาร และวิทยาการคอมพิวเตอร์ ในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ ประยุกต์ และการศึกษา โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนของเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้องทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน พบกันใหม่ในฉบับหน้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ปัญญา

หัวหน้าบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิจัย	
การศึกษาผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลสำเร็จที่มีผลต่อการส่งบอลของนักฟุตบอลระดับเยาวชน	1
▶ วันฉัตร สุวรรณประเสริฐ และคณะ	
แบบจำลองทางฟิสิกส์การคำนวณหาระยะหยุดของวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความเสียดทาน โดยใช้การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัม	13
▶ อาทิตย์ หู่เต็ม	
สมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$	25
▶ สุธน ตาดี	
การพัฒนากระบวนการจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์	37
▶ กนกวรรณ กันยะมี และคณะ	
การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองในกระบวนการผลิตคราฟต์โซดามะเฟือง	51
▶ วชิระ สิงห์คง และคณะ	
การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่องสารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา จังหวัดกำแพงเพชร	65
▶ ฤทธิญา กรอยสรระน้อย และคณะ	
ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาริตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี	79
▶ อชิรญาณ์ ดีงาม และคณะ	
แนวทางการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การหาค่าลอการิทึม ด้วยไม้บรรทัดลอการิทึม	93
▶ ภมรเมษย์ เลหาวิรุฬห์กุล และคณะ	

การศึกษาผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลสำเร็จที่มีผลต่อการส่งบอลของนักฟุตบอลระดับเยาวชน

A Study on the Effect of Power on the Passing Success of Youth Football Players

วันฉัตร สุวรรณประเสริฐ, ปานเลขา เล็กเจริญ, ชลธิชา กล่ำทอง และสรายุทธ์ พานเทียน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี

Wanchat Suwanprasert, Phanlekha Lekjaroen, Chonthicha Klamthong and Sarayut Pantian*

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลต่อประสิทธิภาพการส่งบอลของนักฟุตบอลระดับเยาวชน โดยใช้การวิเคราะห์วิดีโอด้วยภาษาไพธอน (Python-based Video Analysis) ร่วมกับการคำนวณเชิงพีชคณิตในไมโครซอฟต์เอ็กเซล กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยนักฟุตบอลเยาวชนชายจำนวน 22 คน จากศูนย์ฝึกฟุตบอลใจฟ้า อคาเดมี จังหวัดลพบุรี วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน การถดถอยพหุคูณ และการคำนวณขนาดอิทธิพล (Effect Size) ด้วยค่า η^2 และ R^2 ผลการวิจัยพบว่า กำลังที่ใช้ในการส่งบอลไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.58$) แม้จะมีค่า $\eta^2 = 0.143$ ซึ่งบ่งชี้ถึงอิทธิพลในระดับปานกลาง ความเร็วมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ($r = 0.55, p = 0.004$) และสามารถทำนายผลได้อย่างชัดเจน ($\beta = 2.65, p = 0.002, R^2 = 0.62$) ข้อค้นพบนี้แสดงให้เห็นว่าความเร็วของนักกีฬามีบทบาทสำคัญต่อความสำเร็จในการส่งบอลมากกว่าปริมาณพลังงานที่ใช้

คำสำคัญ : กำลัง, การส่งบอล, ฟุตบอลเยาวชน, การวิเคราะห์วิดีโอ, ภาษาไพธอน

Abstract

This study aimed to investigate the effect of work power utilized during passing on the passing success rate of youth football players. A Python-based video analysis technique was employed in combination with physics-based calculations performed using Microsoft Excel. The sample consisted of 22 male youth football players from the Jaifa Football Academy, Lopburi Province, Thailand. Data were analyzed using descriptive statistics, one-way analysis of variance (One-Way ANOVA), Pearson's correlation analysis, multiple regression analysis, and effect size calculations, including η^2 and R^2 values. The results indicated that the work power exerted during passing did not significantly influence the number of successful passes ($p = 0.58$), although the effect size ($\eta^2 = 0.143$) suggested a moderate level of influence. Conversely, speed was found to have a statistically significant positive correlation with passing success ($r = 0.55$, $p = 0.004$) and emerged as a strong predictor of performance outcomes ($\beta = 2.65$, $p = 0.002$, $R^2 = 0.62$). These findings highlight that player speed plays a more critical role in successful passing performance than the amount of work power applied.

Keywords : Power, Passing, Youth Football, Video Analysis, Python Programming

ที่มาและความสำคัญ

ฟุตบอลเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมทั่วโลก และเป็นกีฬาที่ต้องอาศัยทักษะด้านร่างกาย ความสามารถเชิงกลยุทธ์ และการเล่นเป็นทีม หนึ่งในทักษะพื้นฐานที่มีบทบาทสำคัญต่อผลการแข่งขันคือ การส่งบอล (passing skill) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้เล่นส่งลูกฟุตบอลให้กับเพื่อนร่วมทีมเพื่อสร้างโอกาสในการทำประตู หรือเพื่อรักษาการครองบอลไว้ในระหว่างเกม [1]

การส่งบอลที่มีประสิทธิภาพช่วยให้ทีมสามารถควบคุมเกมการแข่งขัน สร้างโอกาสในการรุก และลดโอกาสในการเสียบอลให้กับฝ่ายตรงข้าม นักฟุตบอลที่สามารถส่งบอลได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วจะมีบทบาทสำคัญในการสร้างเกมรุกและสนับสนุนแผนการเล่นของทีม [2] อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จของการส่งบอลยังคงเป็นประเด็นที่ได้รับความสนใจในวงการวิจัย โดยมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความสำเร็จในการส่งบอล เช่น สมรรถภาพทางกาย ความสามารถทางเทคนิค และกลยุทธ์การเล่นของทีม ปัจจุบัน นักวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการส่งบอลของนักฟุตบอลในหลายมิติ เช่น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความแม่นยำในการส่งบอล ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Merlin et al. (2024) [3] ยังพบว่า ปัจจัยเชิงแทคติก (tactical factors) และความสามารถในการตัดสินใจของนักกีฬา มีผลต่อระดับความสำเร็จของการส่งบอลมากกว่าปัจจัยด้านกายภาพ

แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาความแม่นยำในการส่งบอลและกลยุทธ์ของเกมฟุตบอล แต่ยังมีข้อจำกัดในแง่ของการวิเคราะห์เชิงปริมาณเกี่ยวกับ กำลังที่ใช้ในการส่งบอล และความสัมพันธ์กับ ประสิทธิภาพในการส่งบอลสำเร็จ กำลัง (power) เป็นหนึ่งในปัจจัยทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเล่นฟุตบอล โดยเฉพาะการเตะลูกฟุตบอล ซึ่งต้องอาศัยพลังงานจากกล้ามเนื้อขาและกลไกทางชีวกลศาสตร์ (biomechanics) ของร่างกาย งานวิจัยของ Plakias et al. (2024) [4] ระบุว่า การใช้กำลังที่เหมาะสมในการเตะลูกฟุตบอลสามารถเพิ่มความแม่นยำและระยะเวลาในการส่งบอลได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวยังขาดหลักฐานที่ชัดเจนเกี่ยวกับ ความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างกำลังและโอกาสในการส่งบอลสำเร็จ การศึกษาของ Lozano et al. (2024) [5] พบว่า คุณลักษณะของลูกฟุตบอล เช่น น้ำหนัก ขนาด และแรงดันลม มีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมและส่งบอล นอกจากนี้ Dellal et al. (2011) [6] ยังพบว่าความฟิตของร่างกายและอัตราการใช้พลังงานส่งผลต่อความแม่นยำในการส่งบอลและการจ่ายบอลระยะไกลของนักกีฬา

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการศึกษาวิทยาศาสตร์การกีฬา โดยเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลจากเกมฟุตบอล หนึ่งในวิธีการที่ได้รับความนิยมคือ การวิเคราะห์วิดีโอ (video analysis) ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามพฤติกรรมของนักกีฬาและวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของร่างกายได้อย่างละเอียด [7] การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) และแมชชีนเลิร์นนิง (Machine Learning: ML) ในการวิเคราะห์การเล่นฟุตบอล ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น งานวิจัยของ Merlin et al. (2024) [3] ที่ใช้แมชชีนเลิร์นนิงวิเคราะห์ระดับความยากของการส่งบอลโดยพิจารณาตัวแปรทางเทคนิคมากถึง 35 ตัวแปร อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์หรือการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและโอกาสในการส่งบอลสำเร็จ จากข้อเท็จจริงข้างต้น การวิจัยนี้จึงมีความสำคัญ เนื่องจากมุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยี การวิเคราะห์วิดีโอผ่านโปรแกรมภาษาไพธอน (Python-based video analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังที่ใช้ในการส่งบอลและประสิทธิภาพการส่งบอลของนักฟุตบอลเยาวชน ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ที่ยังไม่มีการศึกษาก่อนหน้านี้

จากที่กล่าวมาข้างต้น การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ (1) เพื่อศึกษาผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จของนักฟุตบอลระดับเยาวชน (2) เพื่อวิเคราะห์ผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลโดยใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์วิดีโอบนพื้นฐานภาษาไพธอน (3) เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากภาษาไพธอนกับการคำนวณด้วยตนเองผ่านโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง พร้อมทั้งข้อมูลโดยพื้นฐานในการแข่งขันกีฬาฟุตบอล 11 คน ระดับเยาวชน ดังต่อไปนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาฟุตบอลที่ผ่านการฝึกทักษะกีฬาฟุตบอลพร้อมกันอย่างสม่ำเสมอทุกวันพุธ และพฤหัสบดี อายุระหว่าง 11 - 12 ปี กลุ่มตัวอย่างคือ นักฟุตบอลเยาวชนชาย จำนวน 22 คน จากศูนย์ฝึกฟุตบอลใจฟ้า อคาเดมี จังหวัดลพบุรี ข้อมูลดังตารางที่ 1 โดยใช้การสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ใช้วิดีโอบันทึกการ

ตารางที่ 1. แสดงอายุ ส่วนสูง และมวลของนักกีฬาฟุตบอลของทั้งสองทีมซึ่งเป็นการวัดครั้งเดียวก่อนเริ่มทำการแข่งขัน

นักกีฬาฟุตบอล คนที่	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	มวล (กิโลกรัม)	อายุ (ปี)	ส่วนสูง (เซนติเมตร)	มวล (กิโลกรัม)
ทีมที่ 1				ทีมที่ 2		
1	11	151.0	43.0	11	137.0	30.0
2	11	143.0	33.9	11	137.0	29.0
3	11	140.0	30.1	11	157.0	41.0
4	11	143.0	30.0	11	146.0	34.9
5	12	167.0	41.0	12	146.0	38.7
6	12	164.0	46.2	12	155.0	38.7
7	12	154.0	49.3	12	158.0	48.1
8	12	151.0	45.0	12	151.0	45.0
9	12	161.0	51.0	12	160.0	47.6
10	12	158.0	49.2	12	159.0	50.2
11	12	150.0	43.0	12	156.0	49.7

แข่งขันร่วมกับโปรแกรมภาษา ไพธอนไลบรารี (OpenCV, NumPy, matplotlib) ในการวิเคราะห์ตำแหน่งการส่งบอลแบบเฟรมต่อเฟรม (frame-by-frame) เพื่อนำมาคำนวณหา กำลัง ความเร็ว และความเร่ง

ลักษณะและขนาดของสนาม

การแข่งขันจะจัดขึ้นในสนามฟุตบอลที่มีลักษณะเป็นพื้นหญ้าเทียมทั้งหมด โดยมีขนาดความกว้าง 68 เมตร และยาว 105 เมตร ขนาดประตู กว้าง 7.32 เมตร สูง 2.44 เมตร

รูปแบบที่ใช้ในการแข่งขัน

1. กำหนดให้การแข่งขันแบ่งเป็นครึ่งละ 20 นาที ทั้งนี้ ผู้ฝึกสอนจะทำการวอร์มอัพให้นักกีฬาทั้งสองทีมเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกำหนดรูปแบบการสอนของทั้งสองทีมเหมือนกัน โดยดำเนินการแบบนี้ในทุกวันพุธถึงพฤหัสบดี ตั้งแต่เวลา 15.00 น. เป็นต้นไป ทั้งนี้ การยืนตำแหน่งของนักกีฬาจะยืนแบบ แผน 4-3-3 โดยมีผู้รักษาประตู 1 คน กองหลัง 4 คน กองกลาง 3 คน และกองหน้า 3 คน

2. ทำการบันทึกวิดีโอการแข่งขัน โดยกำหนดตำแหน่งการติดตั้งกล้องให้อยู่ในมุมที่สามารถบันทึกภาพได้ครอบคลุมทั้งสนามแข่งขัน พร้อมทั้งระบุค่ามุมเอียงระหว่างแนวกล้องกับพื้นสนามเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ภายหลัง

3. หลังจากการบันทึกวิดีโอเสร็จสิ้น วิดีโอจะถูกนำเข้ามายังระบบคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดยใช้การคำนวณด้วยตนเองและโปรแกรมภาษาไพธอน โปรแกรมนี้จะใช้ไลบรารี OpenCV สำหรับการติดตามการ

เคลื่อนไหวของเฉพาะลูกฟุตบอลในสนาม โดยจะทำการระบุและติดตามตำแหน่งของลูกฟุตบอลแต่ละเฟรมของวิดีโอ ระบุขนาดเฟรมของวิดีโอโดยใช้เส้นขอบสนามเป็นหลักพร้อมทั้งฉายเงา (Projection) ข้อมูลที่ได้จากวิดีโอให้อยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นสนามเพื่ออ้างอิงตำแหน่งและระยะต่าง ๆ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ในวิดีโอในรูปแบบสองมิติ ในที่นี้กำหนดให้แนวกว้างเป็นแกน x แนวยาวเป็นแกน y ที่มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดกลางสนามฟุตบอล

4. การคำนวณและการกำหนดตัวแปรในภาษาไพธอน ทำโดยการระบุตำแหน่งของลูกฟุตบอลที่เป็นฟังก์ชันขึ้นกับเวลา t , $\vec{r}_i(t)$ โดยอ้างอิงกับจุดกึ่งกลางของสนาม ดังสมการ (1) และ (2)

$$\vec{r}_i(t) = x_i(t)\hat{a}_x + y_i(t)\hat{a}_y \quad (1)$$

หรือ

$$\vec{r}_i(t) = r_i(t)\cos\theta_i(t)\hat{a}_x + r_i(t)\sin\theta_i(t)\hat{a}_y \quad (2)$$

เมื่อ i คือ ตำแหน่งจุดที่สนใจ และ θ คือ มุมที่เบนไปจากแกน x ในขณะ $\hat{a}_x$ และ $\hat{a}_y$ คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยในแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับ

จากนั้น หาความเร็วขณะใดขณะหนึ่งของลูกฟุตบอล, $\vec{v}_i(t)$, จากการเปลี่ยนแปลงเวลา 1 วินาที, $i + 1$, ดังสมการ (3)

$$\vec{v}_i(t) = \frac{\vec{r}_{i+1} - \vec{r}_i}{t_{i+1} - t_i} \quad (3)$$

ในขณะที่ กำลังของลูกฟุตบอลที่นักกีฬาเตะออกไป, $P_i(t)$, ในหน่วยวัตต์ หาได้จากสมการ (4)

$$P_i(t) = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (4)$$

เมื่อ ΔW คือ งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลในหน่วยจูล ซึ่งเป็นผลจากการผลคูณของมวลของลูกฟุตบอล ความเร็วของลูกฟุตบอลและระยะที่ลูกฟุตบอลเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลาเปลี่ยนไป 1 วินาที

5. วิเคราะห์สถิติโดยงานวิจัยนี้ใช้สถิติแบ่งออกเป็น 5 ส่วน [7] ได้แก่

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของนักฟุตบอลเยาวชน เราจะใช้สถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย, $\bar{X}$, และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังสมการ

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (5)$$

เมื่อ $\sum X$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด และ N คือ จำนวนข้อมูล ในขณะที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาได้จากสมการ

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (6)$$

เมื่อ X_i คือ ข้อมูล ณ จุดที่เราให้ความสนใจ

5.2 การวิเคราะห์กำลังที่ใช้ในการส่งบอลโดยสามารถใช้สถิติต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูล การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ (Correlation Analysis, r) การใช้สถิติ Pearson's Correlation Coefficient หรือ Spearman's Rank Correlation เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของรูปทรงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นกับอัตราความสำเร็จในการส่งบอล ดังสมการ

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่าง 2 กลุ่ม (ระหว่างกลุ่มและภายในกลุ่ม) สามารถเขียนได้เป็นรูปแบบของ F-test ดังสมการ

$$F = \frac{MSB}{MSW} \quad (8)$$

เมื่อ MSB (Mean Square Between) คือ ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม และ MSW (Mean Square Within) คือ ค่าความแปรปรวนในกลุ่ม ค่า MSB และ MSW หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$MSB = \frac{ssb}{dfb} \quad (9)$$

และ

$$MSW = \frac{ssw}{dfw} \quad (10)$$

เมื่อ SSB คือ ผลรวมของค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Sum of Squares Between) ค่า SSW คือ ผลรวมของค่าความแปรปรวนในกลุ่ม (Sum of Squares Within) ค่า dfB คือระดับความอิสระของกลุ่ม (จำนวนกลุ่มลบด้วย 1) และ dfW คือ ระดับความอิสระของข้อมูลในกลุ่ม (จำนวนข้อมูลทั้งหมดลบด้วยจำนวนกลุ่ม)

ในขณะที่การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) เป็นสถิติสำหรับการคาดการณ์ผลของความสำเร็จในการส่งบอลที่เป็นผลมาจากความถี่ของรูปทรงเรขาคณิต การวิเคราะห์การถดถอยนี้แสดงความสัมพันธ์ความถี่ของรูปทรงเรขาคณิตใดเพิ่มขึ้นความสำเร็จในการส่งบอลจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร Montgomery et al. (2012) ดังสมการ

$$y = \beta_0 + \beta_1 f_1 + \beta_2 f_2 + \dots + \beta_m f_m + \varepsilon \quad (11)$$

เมื่อ β_0 คือ จุดตัดแกน y และ $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$ คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปร $f_1, f_2, \dots, f_m$ ตามลำดับ และ ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลต่อประสิทธิภาพการส่งบอลของนักฟุตบอลระดับเยาวชน โดยใช้ฟังก์ชันตรรกะจากวิดีโอที่พัฒนาด้วยภาษาไพธอนและการคำนวณด้วยตนเอง ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ผลการประมวลผลด้วยไพธอนและการคำนวณด้วยตัวเองมีความแตกต่างกันร้อยละ 0.64 พบว่า กำลังที่ใช้ในการส่งบอลไม่มีอิทธิพลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Merlin et al. (2024) [3] ที่พบว่า ปัจจัยด้านเทคนิคและความสามารถในการตัดสินใจของนักกีฬาเป็นตัวแปรสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านกายภาพ

ดังนั้น การแสดงผลการวิเคราะห์ต่าง ๆ จะแสดงผลเพียงจากไพธอนเท่านั้น จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ดังตารางที่ 2 พบว่า ความเร็วของนักฟุตบอลมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จในระดับปานกลาง ($r = 0.55, p < 0.05$) ความเร่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จในระดับต่ำ ($r = 0.33, p > 0.05$) กำลังไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ($r = 0.05, p > 0.05$) ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของ Dellal et al. (2011) [6] ที่พบว่า ความเร็วและสมรรถภาพทางกายมีความสำคัญต่อการเล่นฟุตบอลมากกว่าปัจจัยด้านพลังงานที่ใช้ในการเตะ ซึ่งอธิบายได้ว่า นักฟุตบอลที่สามารถเคลื่อนที่เร็วและเร่งความเร็วได้ดีมีแนวโน้มที่จะสามารถหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการส่งบอลและเล่นร่วมกับเพื่อนร่วมทีมได้ดีกว่า ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ตามตารางที่ 3 พบว่า ค่า $F = 0.57$ และค่า $p = 0.58$ ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) และขนาดอิทธิพล (η^2) คำนวณได้เท่ากับ 0.143 (อยู่ในเกณฑ์ปานกลางตาม Hopkins, 2002 [7]) แสดงว่ากำลังที่ใช้ในการส่งบอลไม่ได้ส่งผลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จในเชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ค่า η^2 ที่ปานกลางสะท้อนว่ากำลังอาจยังมีความสำคัญในทางปฏิบัติโดยเฉพาะ

ตารางที่ 2. แสดงผลการคำนวณการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นผลจากการเคลื่อนที่ของลูกฟุตบอลที่ได้จากการเขียนภาษาไพธอน ทั้งนี้ มวลของลูกฟุตบอลที่ใช้ในการคำนวณค่าต่าง ๆ มีค่า 0.45 กิโลกรัม

ตัวแปร	กำลัง (วัตต์)	ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	ความเร่ง (เมตรต่อวินาที ²)	จำนวนครั้งที่ส่ง บอลสำเร็จ (ครั้ง)
กำลัง	1.00	0.28	0.15	0.05
ความเร็ว	0.28	1.00	0.40	0.55
ความเร่ง	0.15	0.40	1.00	0.33
จำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ	0.05	0.55	0.33	1.00

ตารางที่ 3. แสดงผลการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวในกลุ่มต่าง ๆ

แหล่งที่มา	ผลรวม กำลังสอง	องศาอิสระ	ค่า F	ค่า P
ระหว่างกลุ่ม	200.3	2	0.57	0.58
ภายในกลุ่ม	1,203.8	19	-	-

ในบริบทการพัฒนาทักษะทางกายภาพของนักกีฬา สอดคล้องกับแนวคิดของ Plakias et al. (2024) [4] ที่ระบุว่า กำลังส่งผลกระทบต่อระยะทางลูกบอลแต่ไม่ได้สัมพันธ์ตรงกับโอกาสส่งบอลสำเร็จเสมอไป และกำลังมีผลกระทบต่อระยะทางของลูกบอล อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าววิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านพลังงานเชิงกลโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยเชิงเทคนิคของเกมฟุตบอล สามารถอธิบายได้โดย แนวคิดทางชีวกลศาสตร์ (biomechanics) ซึ่งระบุว่า การส่งบอลที่แม่นยำไม่ได้ขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับ ท่าทางการเตะ ทิศทางของขา และตำแหน่งสัมผัสลูกบอล ดังนั้น แม้ว่าการใช้กำลังที่สูงอาจเพิ่มความเร็วของลูกบอล แต่หากไม่มีการควบคุมทิศทางที่ดี โอกาสในการส่งบอลสำเร็จอาจไม่เพิ่มขึ้น

จากผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในตารางที่ 4 พบว่า ความเร็ว ($\beta = 2.65$, $p = 0.002$) และความแรง ($\beta = 1.35$, $p = 0.005$) เป็นตัวแปรที่ทำนายการส่งบอลสำเร็จได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กำลัง ($\beta = 0.02$, $p = 0.09$) ไม่มีนัยสำคัญ แต่มีแนวโน้มเฉียดขอบเขตที่กำหนดโมเดลมีค่า Adjusted R^2 เป็น 0.62 หมายถึงสามารถอธิบายความแปรปรวนของจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จได้ถึงร้อยละ 62 ซึ่งถือว่าโมเดลมีความแข็งแกร่งในระดับสูงตามเกณฑ์ (Cohen, 1988 [8]) สนับสนุนแนวคิดที่ว่า การส่งบอลสำเร็จไม่ได้ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้เพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านความเร็วและการประสานงานทางเทคนิค

ตารางที่ 4. แสดงผลการคำนวณการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ

ตัวแปร	ค่า สัมประสิทธิ์ (β_0)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่า t-value	ค่า p-value
ค่าคงที่	5.23	2.13	2.45	0.02
กำลัง (วัตต์)	0.02	0.01	1.75	0.09
ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)	2.65	0.76	3.49	0.002
ความแรง (เมตรต่อวินาที ²)	1.35	0.45	3.00	0.005

ตารางที่ 5. แสดงผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ไพธอน และการคำนวณด้วยตัวเอง

วิธีการวิเคราะห์	ค่าเฉลี่ย กำลัง (วัตต์)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่า t-value	ค่า p-value
ไพธอน	125.6	45.2	0.95	0.35
คำนวณด้วยตัวเอง	124.8	44.9	0.40	0.55

ตารางที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยกำลังที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยภาษาไพธอนและการคำนวณด้วยตนเอง พบว่า ค่า $p = 0.35$ ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 0.64 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ภาษาไพธอนในการวิเคราะห์มีความแม่นยำเชื่อถือได้ในระดับเทียบเท่ากับการคำนวณด้วยตนเอง

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลต่อประสิทธิภาพการส่งบอลของนักฟุตบอลระดับเยาวชน โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ผ่านฟังก์ชันตรรกะจากวิดีโอที่พัฒนาด้วยภาษาไพธอน และการคำนวณด้วยตนเอง ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลของกำลังที่ใช้ในการส่งบอลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว พบว่า ค่า p -value เท่ากับ 0.58 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) จึงสรุปได้ว่า กำลังที่ใช้ในการส่งบอลไม่มีผลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าปัจจัยอื่น เช่น เทคนิคการเล่น และกลยุทธ์การแข่งขัน อาจมีบทบาทสำคัญมากกว่าปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเตะ

2. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางกายภาพกับประสิทธิภาพการส่งบอล การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) พบว่า กำลังที่ใช้ในการส่งบอล ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ($r = 0.05$, $p = 0.78$) อย่างไรก็ตาม พบว่า ความเร็วมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับปานกลางกับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ($r = 0.55$, $p = 0.004$) ในขณะที่ ความเร่งมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำ ($r = 0.33$, $p = 0.21$) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผลลัพธ์นี้สอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า นักฟุตบอลที่มีความเร็วสูงจะสามารถเข้าสู่ตำแหน่งที่เหมาะสมและสามารถส่งบอลได้สำเร็จมากขึ้น

3. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมภาษาไพธอนและการคำนวณด้วยตนเอง จากการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของเครื่องมือวิเคราะห์โดยใช้ Paired Sample T-test พบว่า ค่า p -value เท่ากับ 0.35 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนด ($\alpha = 0.05$) แสดงว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมภาษาไพธอนและการคำนวณด้วยตนเอง ซึ่งหมายความว่าสามารถใช้โปรแกรมภาษา ไพธอนในการวิเคราะห์ข้อมูลแทนการคำนวณด้วยตนเองได้อย่างแม่นยำ

4. การทำนายปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จ ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ แสดงให้เห็นว่าสมการทำนายจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จเป็นไปตามสมการ

$$\text{การส่งบอลสำเร็จ} = 5.23 + 0.02(\text{กำลัง}) + 2.65(\text{ความเร็ว}) + 1.35(\text{ความเร่ง}) + \epsilon \quad (12)$$

ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยที่พบว่า ความเร็วมีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งที่ส่งบอลสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่กำลังไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าค่าขนาดอิทธิพล (η^2) จะอยู่ในระดับปานกลาง ดังนั้นข้อเสนอแนะในการนำไปใช้และพัฒนางานวิจัยในอนาคตมี ดังนี้

1. ข้อเสนอแนะสำหรับการฝึกซ้อมควรมุ่งเน้นการฝึกซ้อมที่พัฒนาความเร็ว (speed training) และการเร่งความเร็ว (acceleration drills) ของนักฟุตบอลเยาวชน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อโอกาสการส่งบอลสำเร็จอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ควรเสริมการฝึกซ้อมที่พัฒนาทักษะการตัดสินใจภายใต้แรงกดดัน (decision-making under pressure) เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการแข่งขันจริงที่ต้องอาศัยทั้งความเร็วและความแม่นยำเชิงเทคนิค
2. ข้อเสนอแนะสำหรับการฝึกกำลัง แม้ว่ากำลังจะไม่แสดงความสัมพันธ์เชิงสถิติอย่างมีนัยสำคัญกับการส่งบอลสำเร็จ แต่ค่า η^2 ในระดับปานกลางชี้ให้เห็นว่ากำลังยังคงมีบทบาทในเชิงปฏิบัติ ดังนั้น การฝึกซ้อมที่เสริมสร้างกำลังกล้ามเนื้อขา (lower-body strength training) ควบคู่กับการฝึกควบคุมเทคนิคการส่งบอล ควรดำเนินควบคู่กันไปเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการส่งบอลในสถานการณ์การแข่งขันจริง
3. ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตควรขยายขนาดกลุ่มตัวอย่างให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์และความสามารถในการอนุมานผลสู่ประชากรเป้าหมายที่กว้างขึ้น หรือพิจารณาใช้สถิติ non-parametric หากจำนวนตัวอย่างไม่เพียงพอ นอกจากนี้ ควรใช้วิธีการ cross-validation หรือการตรวจสอบความแม่นยำซ้ำหลายครั้ง (repeat-measure validation) โดยเฉพาะในการวิเคราะห์ข้อมูลวิดีโอด้วยภาษาไพธอนหรือปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิเคราะห์
4. ข้อเสนอแนะเชิงเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์ในอนาคต ควรพิจารณาการวัดขนาดอิทธิพล (Effect Size) ควบคู่กับค่า p-value อย่างสม่ำเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดของการใช้ค่า p เพียงอย่างเดียว และนำเสนอการวิเคราะห์ทั้งเชิงสถิติและเชิงปฏิบัติการอย่างสมดุล เพื่อให้สามารถตีความผลการวิจัยได้รอบด้านยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และศูนย์ฝึกฟุตบอลใจฟ้า อคาเดมี จังหวัดลพบุรี ที่สนับสนุนสถานที่และเวลารวมถึงผลักดันให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Reilly, T., Williams, A. M., Nevill, A., & Franks, A. (2003). A multidisciplinary approach to talent identification in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 695–702.

- [2] Ford, P. R., Yates, I., & Williams, A. M. (2010). An analysis of practice activities and instructional behaviours used by youth soccer coaches during practice: Exploring the link between science and application. *Journal of Sports Sciences*, 28(5), 483–495.
- [3] Merlin, J., Smith, R., & Torres, L. (2024). Using machine learning to analyze football passing difficulty. *Journal of Sports Analytics*, 12(3), 45–62.
- [4] Plakias, A., Smith, J., Doe, E., & Brown, L. (2024). Biomechanics in soccer: A bibliometric analysis. *Sports Medicine*, 54(1), 23–45.
- [5] Lozano, M., Garcia, P., & Brown, C. (2024). Football header impact and ball characteristics: A systematic review. *Sports Biomechanics*, 18(2), 89–105.
- [6] Dellal, A., Varliette, C., Owen, A., Chirico, E. N., & Pialoux, V. (2011). Small-sided games versus interval training in amateur soccer players: Effects on the aerobic capacity and the ability to perform intermittent exercises with changes of direction. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(9), 2371–2379.
- [7] Hopkins, W. G. (2002). A scale of magnitudes for effect statistics: A new view of statistics. *Sports Science*, 20(1), 25–39.
- [8] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Lawrence Erlbaum Associates.

แบบจำลองทางฟิสิกส์การคำนวณหาระยะหยุดของวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความเสียดทานโดย
ใช้การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัม

Physics model for calculating the stopping distance of a moving object in
friction surface using simple pendulum motion

อาทิตย์ หู้เต็ม*

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Artit Hutem*

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการคำนวณหาระยะหยุดของวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความเสียดทานโดยใช้การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัม โดยมีวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความเสียดทานมี 3 แบบ คือ ทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ทรงกลมกลวง และทรงกลมตัน โดยใช้การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัมของวัตถุเข้าชนกับวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความเสียดทาน ทั้ง 3 แบบ แล้วใช้กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และทฤษฎีงานและพลังงานเพื่อคำนวณหาระยะหยุดของวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นผิวที่มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

คำสำคัญ : ซิมเปิลเพนดูลัม, ระยะหยุดของวัตถุ, พื้นผิวที่มีความเสียดทาน

Abstract

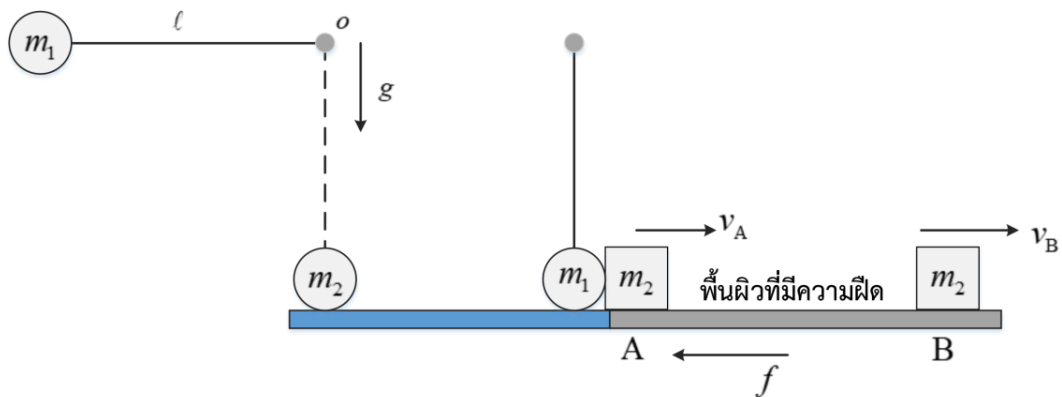
The purpose of this research is to create a model for calculating the stopping distance of a moving object in the friction surface using simple pendulum motion. In this research, there are three types of objects moving in the friction surface : rectangular, hollow, and solid spheres. Using the simple pendulum movement of objects colliding with objects moving in the friction surface, all 3 types, then using the law of conservation of momentum. and work and energy theory. In this research, we want to calculate the stopping distance of a moving object in the sand and relate it to the coefficient of friction.

Keywords: Simple pendulum, Stopping distance of object, Friction surface

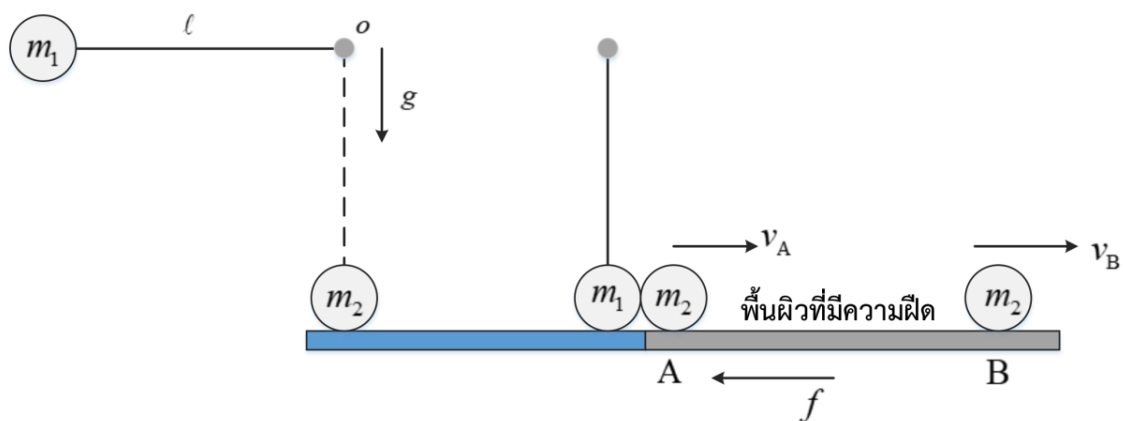
ที่มาและความสำคัญ

เนื้อหาวิชาฟิสิกส์คลาสสิก 1 มีหัวข้อเกี่ยวกับกฎการอนุรักษ์ และการชนของระบบอนุภาค (System of particles : conservation laws and collisions) และหัวข้อเกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มนาฬิกา อย่างง่าย เป็นการเคลื่อนที่แบบซ้ำจุดเดิม คือ การสั่นรอบจุดสมดุล ดังนั้นหลักการดังกล่าวได้มีการนำไปออกเป็นข้อสอบคัดเลือกโอลิมปิกในการสอบแข่งขัน สอวน. [1] ประจำปี พ.ศ. 2538 (รอบที่ 1) วิชาฟิสิกส์ สอบวันอาทิตย์ ที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2548 เวลา 08.00 น.-10.00 น. ได้มีโจทย์เกี่ยวกับการเคลื่อนที่แบบลูกตุ้มนาฬิกาอย่างง่าย ชนกับมวลของวัตถุที่อยู่นิ่งบนพื้นเรียบ [8] โดยการที่ข้อสอบคัดเลือกโอลิมปิกทำการดัดแปลงโจทย์กลายเป็น ปล่อย ลูกตุ้มนาฬิกามวล m_1 ซึ่งผูกกับเชือกยาว l คงที่ จากจุดหยุดนิ่งให้แก่วงลงมาชนวัตถุมวล m_2 แล้วแยกออกจากกัน จงหาว่าวัตถุมวล m_2 เคลื่อนที่ได้ไกลเท่าใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการเพิ่มการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m_2 ให้เคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความเสียดทาน[7] ซึ่งเกิดแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของวัตถุ และพื้นผิวของพื้นทราย และงานวิจัยนี้ได้ถือว่าวัตถุมวล m_2 ให้เป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก และทรงกลมกลวง ทรงกลมตัน โดยมี โมเมนต์ความเฉื่อยของวัตถุทรงกลม โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้เพื่อการคำนวณหาระยะหยุดของวัตถุเคลื่อนที่ในพื้นทรายโดยใช้การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลเพนดูลัม [9,10,11]

วิธีการดำเนินการวิจัย

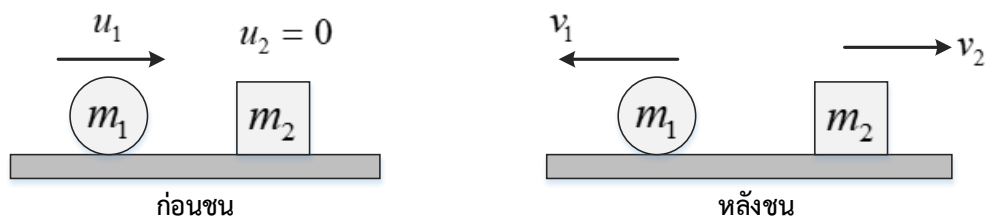


ภาพที่ 1 แสดงการชนของวัตถุมวล m_1 เคลื่อนที่แบบลูกตุ้มนาฬิกา [8] เข้าชนวัตถุก้อนสี่เหลี่ยมมวล m_2 แล้ววัตถุมวล m_2 เคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความเสียดทาน จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B [6,7]



ภาพที่ 2 แสดงการชนของวัตถุมวล m_1 เคลื่อนที่แบบลูกตุ้มนาฬิกา [8] เข้าชนวัตถุก้อนทรงกลมมวล m_2 แล้ววัตถุมวล m_2 เคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความเสียดทาน จากตำแหน่ง A ไปยังตำแหน่ง B [6,7]

จากภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ในช่วงการเคลื่อนที่ของวัตถุมวล m_1 แบบลูกตุ้มนาฬิกาเข้าชนวัตถุมวล m_2 เหมือนกัน เมื่อมวลวัตถุ m_1 ถูกเหวี่ยงลงมาด้วยความเร็วขณะที่เข้าชนมวลวัตถุ m_2 ก็คือ เมื่อทำการแทนค่า $u = 0$ และ $h = l$ ลงในสมการ $v^2 = u^2 + 2gh$ จะได้ $v = \sqrt{2gl}$ จะกลายเป็น $u_1 = \sqrt{2gl}$ [3] กำหนดให้ v_1 เป็นความเร็วหลังชนของมวลวัตถุ m_1 และ v_2 เป็นความเร็วหลังชนของมวลวัตถุ m_2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 แสดงการชนของวัตถุมวล m_1 และวัตถุมวล m_2 สอดคล้องกับกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม

จากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม $m_1 u_1 + m_2 u_2 = -m_1 v_1 + m_2 v_2$ ต่อไปงานวิจัยนี้ทำการแทนค่าของ $u_2 = 0$ ลงในกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม [2] จะได้

$$m_1 \sqrt{2g\ell} = -m_1 v_1 + m_2 v_2 \quad (1)$$

เนื่องจากการชนแบบยืดหยุ่น พลังงานจลน์ของระบบมวลที่พิจารณาจึงถูกอนุรักษ์ไว้

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \quad (2)$$

ทำการแทนค่า $u_1 = \sqrt{2g\ell}$ และ $u_2 = 0$ ลงในสมการที่ (2) จะได้

$$2g\ell m_1 = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 \quad (3)$$

จากสมการที่ (1) เราสามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้ $m_1 \sqrt{2g\ell} + m_1 v_1 = m_2 v_2$,

$$v_2 = \frac{m_1}{m_2} (\sqrt{2g\ell} + v_1) \quad (4)$$

นำสมการที่ (4) แทนลงในสมการที่ (3) จะได้

$$\begin{aligned} 2g\ell m_1 &= m_1 v_1^2 + m_2 \left(\frac{m_1^2}{m_2^2} \right) (\sqrt{2g\ell} + v_1)^2, \\ 2g\ell m_1 m_2 &= m_1 m_2 v_1^2 + m_1^2 (2g\ell + 2\sqrt{2g\ell} v_1 + v_1^2), \\ 2g\ell m_1 m_2 &= m_1 m_2 v_1^2 + m_1^2 v_1^2 + 2m_1^2 \sqrt{2g\ell} v_1 + 2g\ell m_1^2 \\ m_1 (m_1 + m_2) v_1^2 + 2\sqrt{2g\ell} m_1^2 v_1 + 2g\ell m_1 (m_1 - m_2) &= 0 \\ v_1 &= \frac{-2\sqrt{2g\ell} m_1^2 \pm \sqrt{8g\ell m_1^4 - 4m_1 (m_1 + m_2) 2g\ell m_1 (m_1 - m_2)}}{2m_1 (m_1 + m_2)} \\ v_1 &= \frac{-2\sqrt{2g\ell} m_1^2 \pm 2\sqrt{2g\ell} m_1 \sqrt{m_1^2 - (m_1^2 - m_2^2)}}{2m_1 (m_1 + m_2)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 v_1 &= \frac{-2\sqrt{2g\ell}m_1^2 \pm 2\sqrt{2g\ell}m_1\sqrt{m_1^2 - m_1^2 + m_2^2}}{2m_1(m_1 + m_2)} \\
 v_1 &= \frac{-2\sqrt{2g\ell}m_1^2 \pm 2\sqrt{2g\ell}m_1m_2}{2m_1(m_1 + m_2)} \\
 v_1 &= \frac{2\sqrt{2g\ell}(-m_1^2 \pm m_1m_2)}{2m_1(m_1 + m_2)}, \quad v_1 = \frac{m_1\sqrt{2g\ell}(-m_1 \pm m_2)}{m_1(m_1 + m_2)}, \\
 v_1 &= \frac{(-m_1 \pm m_2)}{(m_1 + m_2)}\sqrt{2g\ell} \\
 v_1 &= \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)}\sqrt{2g\ell} \tag{6}
 \end{aligned}$$

จากภาพที่ 1 พิจารณาวัตถุก้อนทรงสี่เหลี่ยมมวล m_2 เคลื่อนที่จากตำแหน่ง $A \rightarrow B$ ใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน

$$\sum W = \sum E_B - \sum E_A$$

$$-fs_k = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$$

เมื่อ $v_B = 0$ และ $v_A = v_1$

$$-\mu m_2 g s_k = \frac{1}{2}m_2(0) - \frac{1}{2}m_2 v_1^2$$

$$-\mu m_2 g s_k = -\frac{1}{2}m_2 v_1^2$$

$$\mu g s_k = \frac{1}{2} \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 2g\ell$$

วัตถุมวล m_2 เป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

$$s_k^r = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 \frac{\ell}{\mu} \tag{7}$$

จากสมการที่ (7) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของวัตถุมวล m_2 เป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากกับระยะหยุดของการเคลื่อนที่วัตถุมวล m_2 เป็น s_k^r สามารถแสดงกราฟได้ในหัวข้อของผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย ต่อมาจากภาพที่ 2 พิจารณาวัตถุก้อนทรงกลมมวล m_2 เคลื่อนที่

จากตำแหน่ง $A \rightarrow B$ ใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน ในงานวิจัยชิ้นนี้แบ่งวัตถุทรงกลมมวล m_2 เป็น 2 กรณี ดังนี้
กรณีที่ 1 คือ วัตถุทรงกลมกลวงมวล m_2 และกรณีที่ 2 คือ วัตถุทรงกลมตันมวล m_2 ตามลำดับ

กรณีที่ 1 พิจารณาวัตถุทรงกลมกลวงมวล m_2 เคลื่อนที่จากตำแหน่ง $A \rightarrow B$ ใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน [4, 5]

$$\begin{aligned}\Sigma W &= \Sigma E_B - \Sigma E_A \\ -fs_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_B^2 + \frac{1}{2} I \omega_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_2 v_A^2 + \frac{1}{2} I \omega_A^2 \right) \\ -\mu m_2 g s_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_B^2 + \frac{1}{2} I \omega_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_2 v_A^2 + \frac{1}{2} I \omega_A^2 \right)\end{aligned}\quad (8)$$

ความเร็ว $v_B = 0$ และความเร็ว $v_A = v_1$ และมีโมเมนต์ความเฉื่อย $I = (2/3) m R^2$ แทนลงในสมการที่ (8)

$$\begin{aligned}-\mu m_2 g s_k &= 0 - \left(\frac{1}{2} m_2 v_1^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{3} m_2 R^2 \right) \left(\frac{v_1^2}{R^2} \right) \right) \\ \mu m_2 g s_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_1^2 + \frac{1}{3} m_2 v_1^2 \right) \\ \mu m_2 g s_k &= \left(\frac{3}{6} m_2 v_1^2 + \frac{2}{6} m_2 v_1^2 \right) \\ \mu g s_k &= \frac{5}{6} v_1^2 \\ s_k^h &= \frac{5}{6 \mu} \frac{v_1^2}{g}\end{aligned}\quad (9)$$

$v_1 = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} \sqrt{2g\ell}$ จากสมการที่ (6) แทนลงในสมการที่ (9) จะได้

วัตถุมวล m_2 เป็นทรงกลมกลวง [7]

$$s_k^h = \frac{5\ell}{3\mu} \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของวัตถุมวล m_2 เป็นทรงกลมกลวงกับระยะหยุดของการเคลื่อนที่วัตถุมวล m_2 เป็น s_k^h [7] สามารถแสดงกราฟได้ในหัวข้อของผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

กรณีที่ 2 พิจารณาวัตถุก้อนทรงกลมตันมวล m_2 เคลื่อนที่จากตำแหน่ง $A \rightarrow B$ ใช้ทฤษฎีงานและพลังงาน

$$\begin{aligned}\sum W &= \sum E_B - \sum E_A \\ -fs_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_B^2 + \frac{1}{2} I \omega_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_2 v_A^2 + \frac{1}{2} I \omega_A^2 \right) \\ -\mu m_2 g s_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_B^2 + \frac{1}{2} I \omega_B^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_2 v_A^2 + \frac{1}{2} I \omega_A^2 \right)\end{aligned}\quad (11)$$

ความเร็ว $v_B = 0$ และความเร็ว $v_A = v_1$ และมีโมเมนต์ความเฉื่อย $I = (2/5) m R^2$ แทนลงในสมการที่ (11)

$$\begin{aligned}-\mu m_2 g s_k &= 0 - \left(\frac{1}{2} m_2 v_1^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{2}{5} m_2 R^2 \right) \left(\frac{v_1^2}{R^2} \right) \right) \\ \mu m_2 g s_k &= \left(\frac{1}{2} m_2 v_1^2 + \frac{1}{5} m_2 v_1^2 \right) \\ \mu m_2 g s_k &= \left(\frac{5}{10} m_2 v_1^2 + \frac{2}{10} m_2 v_1^2 \right) \\ \mu g s_k &= \frac{7}{10} v_1^2 \\ s_k &= \frac{7}{10} \frac{v_1^2}{\mu g}\end{aligned}\quad (12)$$

$v_1 = \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} \sqrt{2g\ell}$ จากสมการที่ (6) แทนลงในสมการที่ (12) จะได้

วัตถุมวล m_2 เป็นทรงกลมตัน [7]

$$s_k^s = \frac{7\ell}{5\mu} \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 \quad (13)$$

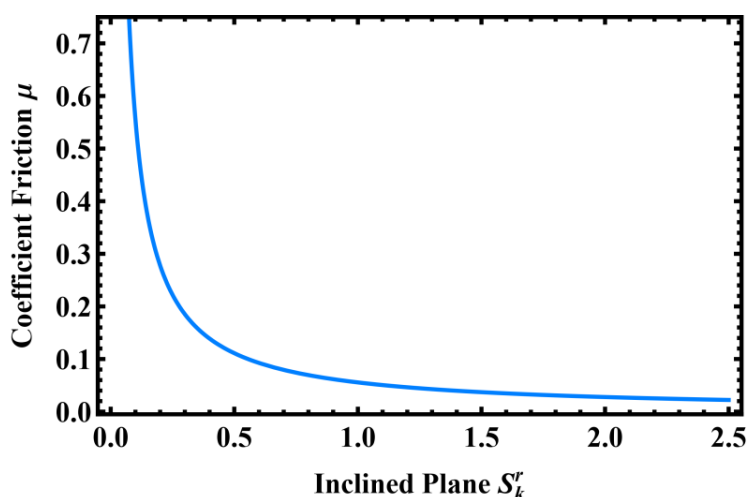
จากสมการที่ (13) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวของวัตถุมวล m_2 เป็นทรงกลมตันกับระยะหยุดของการเคลื่อนที่วัตถุมวล m_2 เป็น s_k^s [7] สามารถแสดงกราฟได้ในหัวข้อของผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย นำสมการที่ (6) แทนลงในสมการที่ (4) จะได้ v_2 เป็นความเร็วหลังชนของมวลวัตถุ m_2 ดังนี้

$$v_2 = \frac{m_1}{m_2} \left(\sqrt{2g\ell} + \frac{(m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)} \sqrt{2g\ell} \right)$$

$$\begin{aligned}
 v_2 &= \frac{m_1}{m_2} \sqrt{2g\ell} \left(\frac{m_1 + m_2 + m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) \\
 v_2 &= \frac{m_1}{m_2} \sqrt{2g\ell} \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2} \right) \\
 v_2 &= \frac{2m_1 \sqrt{2g\ell}}{m_1 + m_2}
 \end{aligned} \tag{14}$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

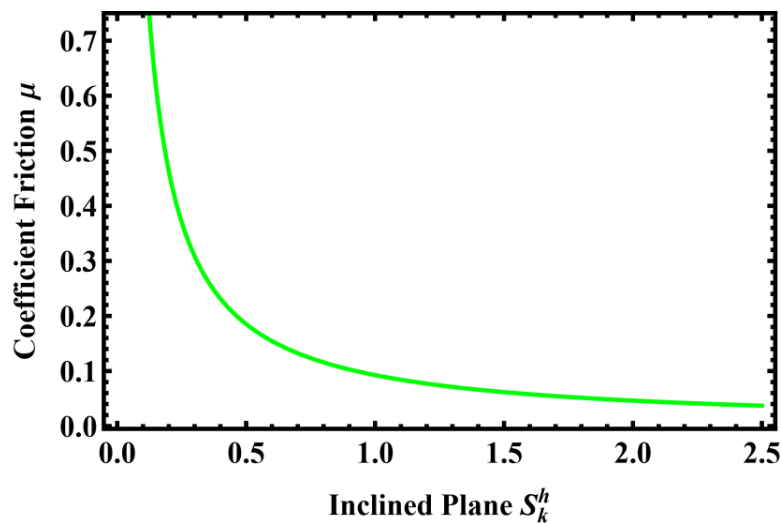
จากสมการที่ (7) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับ ระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก โดยการกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_1 มีขนาดเท่ากับ 0.1 kg . และกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_2 มีขนาดเท่ากับ 0.2 kg . และกำหนดความยาวเส้นเชือกเท่ากับ $\ell = 0.5\text{ m}$.



ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก

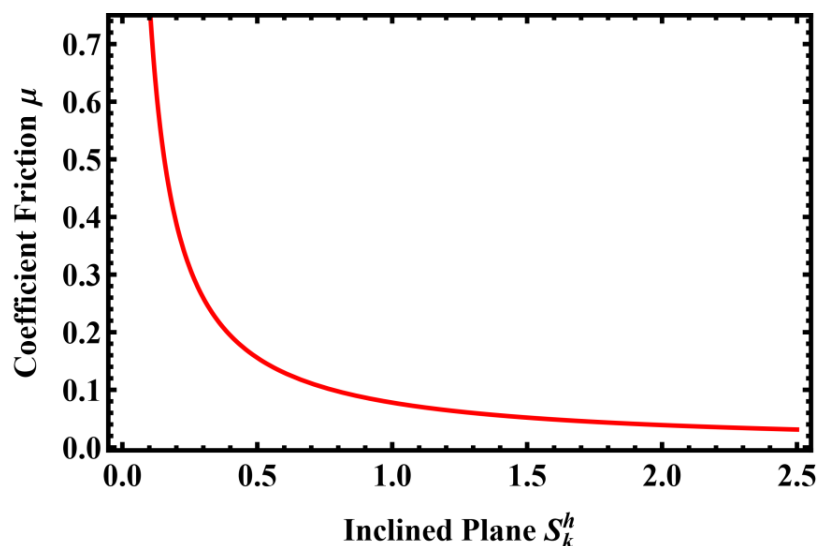
จากภาพที่ 4 แสดงกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานกับระยะหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ถ้าค่าของระยะหยุดมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าเข้าใกล้ 0.015 ต่อมาถ้าพิจารณาระยะหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก 0.5 m จะได้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่า 0.10

จากสมการที่ (10) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง โดยการกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_1 มีขนาดเท่ากับ 0.1 kg . และกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง มีขนาดเท่ากับ 0.2 kg . และกำหนดความยาวเส้นเชือกเท่ากับ $\ell = 0.5\text{ m}$.



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง

จากภาพที่ 5 แสดงกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานกับระยะหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง ถ้าค่าของระยะหยุดมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าเข้าใกล้ 0.02 ต่อมาถ้าพิจารณาระยะหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง 0.5 m จะได้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่า 0.16 จากสมการที่ (13) สามารถนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมตัน โดยการกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_1 มีขนาดเท่ากับ 0.1 kg . และกำหนดขนาดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมตันมีขนาดเท่ากับ 0.2 kg . และกำหนดความยาวเส้นเชือกเท่ากับ $\ell = 0.5\text{ m}$.



ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน กับระยะทางหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมตัน

จากภาพที่ 6 แสดงกราฟระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานกับระยะหยุดของของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมตัน ถ้าค่าของระยะหยุดมีค่ามากขึ้นจะทำให้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าเข้าใกล้ 0.025 ต่อมาถ้าพิจารณาระยะหยุดของวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวง 0.5 m จะได้ค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่า 0.12

สรุปผลการวิจัย

วัตถุมวล m_2 แบบทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวที่มีความเสียดทานกับผิวของทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีค่าน้อยที่สุดคือ 0.015 เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมกลวงที่มีค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าเข้าใกล้ 0.020 และวัตถุมวล m_2 แบบทรงกลมตันค่าของสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานมีค่าเข้าใกล้ 0.025 เมื่อค่าของระยะหยุดมีค่ามากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ให้การสนับสนุนด้านสถานที่ และเวลาในการทำงานวิจัย จนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] วุฑฒิพันธุ์ ปรัชญพฤทธิ, และสุวรรณ คูสำราญ. (2548). ฟิสิกส์ (กลศาสตร์). ใน โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอนวน.: มูลนิธิส่งเสริมโอลิมปิกวิชาการและพัฒนามาตรฐานวิทยาศาสตร์ศึกษา.
- [2] สมพงษ์ ใจดี. (2543). ฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [3] Arya, A. P. (1990). Introduction to classical mechanics. In *Introduction to classical mechanics* (pp. 336–340). Prentice-Hall.
- [4] Riley, K. F., & Hobson, M. P. (2006). *Mathematical methods for physics and engineering* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- [5] Goldstein, H., Poole, C. P., & Safko, J. L. (2002). *Classical mechanics* (3rd ed.). Addison-Wesley.
- [6] Glawtanong, P., Ritphan, S., Sirisathitkul, C., Yaiprasert, C., & Sirisathitkul, Y. (2011). Studies of free falling object and simple pendulum using digital video analysis. *Walailak Journal of Science and Technology*, 8(1), 63–69.

- [7] Narissarawut, K., Suwannapoch, K., Naknayom, S., Seehatrai, T., & Hutem, A. (2024). Creation of experimental equipment finding the coefficient of friction in sand floor and flake stone floor from the solid sphere and hollow sphere. *Journal of Earth Science, Astronomy and Space*, 7(1), 1–12.
- [8] Wanaek, A., & Hutem, A. (2023). Calculation of time-dependent angular displacement angular velocity and tension force of particle in the pendulum motion under air resistance force and cosine external force. *Journal of Earth Science, Astronomy and Space*, 6(1), 14–28.
- [9] Hutem, A. (2023). Calculation of the time-dependent velocity and displacement of particle move under time-dependent external force of damping oscillation. *Journal of Science and Technology CRRU*, 2(1), 1–7.
- [10] Saptip, C., Moonsri, P., & Hutem, A. (2021). Calculation of displacement and velocity of particle perturbation by time-dependent external force of cosine and sine function. *Journal of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University*, 1(2), 1–7.
- [11] Kuaykaew, S., Kerdmee, S., Banyenugam, P., Moonsri, P., & Hutem, A. (2016). The analytical description of projectile motion of cricket ball in a linear resisting medium the storm force. *Applied Mechanics and Materials*, 855, 188–191.

$$\text{สมการไดโอแฟนไทน์ } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$$

$$\text{On The Diophantine Equation } \frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$$

สุธน ตาดี*

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Suton Tadee*

Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มบวก

คำสำคัญ : สมการไดโอแฟนไทน์, ผลเฉลยจำนวนเต็มบวก, อสมการ

Abstract

In this research, we find all positive integer solutions of the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$, where x, y and z are positive integers.

Keywords: Diophantine equation, Positive integer solution, Inequality

ที่มาและความสำคัญ

ในปี ค.ศ. 2013 Sándor [1] ได้ศึกษาและค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{2}$ ต่อมาในปี ค.ศ. 2019 Pakapongpun [2] ได้ศึกษาและค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{2}$ หลังจากนั้นในปี ค.ศ. 2021 Zhao et al. [3] ได้แสดง

*Corresponding author: suton.t@lawasri.tru.ac.th

Received : 18/11/2024 Revised : 24/04/2025 Accepted : 23/06/2025

เงื่อนไขการมีผลเฉลยจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{a}{p}$ เมื่อ a เป็นจำนวนเต็มบวก และ p เป็นจำนวนเฉพาะ ในขณะเดียวกัน Sándor and Atanassov [4] ได้ศึกษาผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{u}{u+1}$ เมื่อ u เป็นจำนวนเต็มบวก

ต่อมาในปี 2022 Atri [5] ได้หาผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{4}$ ในปีเดียวกัน Chinram et al. [6] ได้พบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{3}$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมด จำนวน 236 ผลเฉลยและ Srimud et al. [7] ได้ค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{2}{x} + \frac{3}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$ และในปี ค.ศ. 2023 Tadee and Poopra [8] ได้ค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{3}$ ในปี ค.ศ. 2023 Taher [9] ได้ค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{3}{y} + \frac{5}{z} = \frac{3}{4}$ และเมื่อไม่นานมานี้ ในปี ค.ศ. 2024 Sudsanguan, P. and Sudsanguan, W. [10] ได้ค้นพบผลเฉลยจำนวนเต็มบวกทั้งหมดของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$

จากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวข้างต้นทำให้ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลเฉลยจำนวนเต็มบวกของสมการไดโอแฟนไทน์

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2} \quad (1)$$

เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มบวก

วิธีการดำเนินการวิจัย

ให้ x, y, z เป็นจำนวนเต็มบวกและเป็นผลเฉลยของสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} < \frac{1}{2}, \frac{2}{y} < \frac{1}{2} \text{ และ } \frac{4}{z} < \frac{1}{2}$$

ดังนั้น $x \geq 3, y \geq 5$ และ $z \geq 9$ ตามลำดับ

ในงานวิจัยนี้จะแยกพิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

1. $x \leq y \leq z$ หรือ $x \leq z < y$
2. $y < x \leq z$ หรือ $y \leq z < x$

3. $z < x \leq y$ หรือ $z < y < x$

ในลำดับต่อไปจะหาผลเฉลยของแต่ละกรณี

กรณีที่ 1: $x \leq y \leq z$ หรือ $x \leq z < y$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า $\frac{7}{x} \geq \frac{1}{2}$ นั่นคือ $x \leq 14$ และจาก $3 \leq x$ เพราะฉะนั้นสามารถแยกพิจารณาจำนวนเต็มบวก x โดยที่ $3 \leq x \leq 14$ ได้ดังนี้

กรณีที่ 1.1 $x = 3$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{6} \quad (2)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (2) จะได้ว่า $3 \leq y \leq 36$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (2) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(3, 13, 312)$, $(3, 14, 168)$, $(3, 15, 120)$, $(3, 16, 96)$, $(3, 18, 72)$, $(3, 20, 60)$, $(3, 21, 56)$, $(3, 24, 48)$, $(3, 28, 42)$, $(3, 30, 40)$ และ $(3, 36, 36)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (2) จะได้ว่า $3 \leq z \leq 35$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (2) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(3, 300, 25)$, $(3, 156, 26)$, $(3, 108, 27)$, $(3, 84, 28)$, $(3, 60, 30)$, $(3, 48, 32)$ และ $(3, 44, 33)$

กรณีที่ 1.2 $x = 4$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4} \quad (3)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (3) จะได้ว่า $4 \leq y \leq 24$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (3) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(4, 9, 144)$, $(4, 10, 80)$, $(4, 12, 48)$, $(4, 16, 32)$ และ $(4, 24, 24)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (3) จะได้ว่า $4 \leq z \leq 23$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (3) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(4, 136, 17)$, $(4, 72, 18)$ และ $(4, 40, 20)$

กรณีที่ 1.3 $x = 5$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{10} \quad (4)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (4) จะได้ว่า $5 \leq y \leq 20$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (4) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(5, 7, 280)$, $(5, 8, 80)$, $(5, 10, 40)$, $(5, 12, 30)$, $(5, 15, 24)$ และ $(5, 20, 20)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (4) จะได้ว่า $5 \leq z \leq 19$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (4) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(5, 140, 14)$, $(5, 60, 15)$ และ $(5, 40, 16)$

กรณีที่ 1.4 $x = 6$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{3} \quad (5)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (5) จะได้ว่า $6 \leq y \leq 18$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (5) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(6, 7, 84)$, $(6, 8, 48)$, $(6, 9, 36)$, $(6, 10, 30)$, $(6, 12, 24)$, $(6, 14, 21)$, $(6, 15, 20)$ และ $(6, 18, 18)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (5) จะได้ว่า $6 \leq z \leq 17$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (5) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(6, 78, 13)$, $(6, 42, 14)$, $(6, 30, 15)$ และ $(6, 24, 16)$

กรณีที่ 1.5 $x = 7$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{5}{14} \quad (6)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (6) จะได้ว่า $7 \leq y \leq 16$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (6) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(7, 7, 56)$ และ $(7, 12, 21)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (6) จะได้ว่า $7 \leq z \leq 16$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (6) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(7, 84, 12)$ และ $(7, 28, 14)$

กรณีที่ 1.6 $x = 8$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{8} \quad (7)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (7) จะได้ว่า $8 \leq y \leq 16$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (7) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(8, 8, 32)$ และ $(8, 16, 16)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (7) จะได้ว่า $8 \leq z \leq 15$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (7) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(8, 176, 11)$ และ $(8, 48, 12)$

กรณีที่ 1.7 $x = 9$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{7}{18} \quad (8)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (8) จะได้ว่า $9 \leq y \leq 15$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (8) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(9, 9, 24)$ และ $(9, 12, 18)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (8) จะได้ว่า $9 \leq z \leq 15$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (8) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (9, 36, 12)$

กรณีที่ 1.8 $x = 10$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{2}{5} \quad (9)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (9) จะได้ว่า $10 \leq y \leq 15$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (9) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(10, 10, 20)$ และ $(10, 15, 15)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (9) จะได้ว่า $10 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (9) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(10, 55, 11)$ และ $(10, 30, 12)$

กรณีที่ 1.9 $x = 11$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{9}{22} \quad (10)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (10) จะได้ว่า $11 \leq y \leq 14$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (10) จะได้ว่า ไม่มีค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (10) จะได้ว่า $11 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (10) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (11, 44, 11)$

กรณีที่ 1.10 $x = 12$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{5}{12} \quad (11)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (11) จะได้ว่า $12 \leq y \leq 14$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (11) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (12, 12, 16)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (11) จะได้ว่า $12 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (11) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (12, 24, 12)$

กรณีที่ 1.11 $x = 13$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{11}{26} \quad (12)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (12) จะได้ว่า $13 \leq y \leq 14$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (12) จะได้ว่า ไม่มีค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (12) จะได้ว่า $13 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (12) จะได้ว่า ไม่มีค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 1.12 $x = 14$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{3}{7} \quad (13)$$

ถ้า $x \leq y \leq z$ และจากสมการ (13) จะได้ว่า $y = 14$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (13) แล้วทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (14, 14, 14)$

ถ้า $x \leq z < y$ และจากสมการ (13) จะได้ว่า $14 \leq y < 14$ ซึ่งเป็นไปไม่ได้ ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 2: $y < x \leq z$ หรือ $y \leq z < x$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า $\frac{7}{y} > \frac{1}{2}$ นั่นคือ $y \leq 13$ และจาก $5 \leq y$ เพราะฉะนั้นสามารถแยกพิจารณาจำนวนเต็มบวก y โดยที่ $5 \leq y \leq 13$ ได้ดังนี้

กรณีที่ 2.1 $y = 5$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{10} \quad (14)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (14) จะได้ว่า $6 \leq x \leq 50$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (14) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(11, 5, 440)$, $(12, 5, 240)$, $(14, 5, 140)$, $(15, 5, 120)$, $(18, 5, 90)$, $(20, 5, 80)$, $(26, 5, 65)$, $(30, 5, 60)$, $(35, 5, 56)$ และ $(50, 5, 50)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (14) จะได้ว่า $5 \leq z \leq 49$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (14) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(410, 5, 41)$, $(210, 5, 42)$, $(110, 5, 44)$, $(90, 5, 45)$ และ $(60, 5, 48)$

กรณีที่ 2.2 $y = 6$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{6} \quad (15)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (15) จะได้ว่า $7 \leq x \leq 30$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (15) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(7, 6, 168)$, $(8, 6, 96)$, $(9, 6, 72)$, $(10, 6, 60)$, $(12, 6, 48)$, $(14, 6, 42)$, $(15, 6, 40)$, $(18, 6, 36)$, $(22, 6, 33)$, $(24, 6, 32)$ และ $(30, 6, 30)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (15) จะได้ว่า $6 \leq z \leq 29$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (15) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(150, 6, 25)$, $(78, 6, 26)$, $(54, 6, 27)$ และ $(42, 6, 28)$

กรณีที่ 2.3 $y = 7$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{3}{14} \quad (16)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (16) จะได้ว่า $8 \leq x \leq 23$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (16) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(10, 7, 35)$, $(14, 7, 28)$ และ $(21, 7, 24)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (16) จะได้ว่า $7 \leq z \leq 23$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (16) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(266, 7, 19)$, $(70, 7, 20)$ และ $(42, 7, 21)$

กรณีที่ 2.4 $y = 8$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4} \quad (17)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (17) จะได้ว่า $9 \leq x \leq 20$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (17) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(12, 8, 24)$ และ $(20, 8, 20)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (17) จะได้ว่า $8 \leq z \leq 19$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (17) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(68, 8, 17)$ และ $(36, 8, 18)$

กรณีที่ 2.5 $y = 9$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{5}{18} \quad (18)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (18) จะได้ว่า $10 \leq x \leq 18$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (18) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (18, 9, 18)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (18) จะได้ว่า $9 \leq z \leq 17$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (18) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(90, 9, 15)$ และ $(36, 9, 16)$

กรณีที่ 2.6 $y = 10$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{3}{10} \quad (19)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (19) จะได้ว่า $11 \leq x \leq 16$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (19) จะได้ว่า ไม่มีค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (19) จะได้ว่า $10 \leq z \leq 16$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (19) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(70, 10, 14)$, $(30, 10, 15)$ และ $(20, 10, 16)$

กรณีที่ 2.7 $y = 11$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{7}{22} \quad (20)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (20) จะได้ว่า $12 \leq x \leq 15$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (20) จะได้ว่า ไม่มีค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (20) จะได้ว่า $11 \leq z \leq 15$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (20) จะได้ว่า ไม่มีค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 2.8 $y = 12$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{1}{3} \quad (21)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (21) จะได้ว่า $13 \leq x \leq 15$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (21) แล้วพิจารณาค่า z ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (15, 12, 15)$

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (21) จะได้ว่า $12 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (21) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(39, 12, 13)$ และ $(21, 12, 14)$

กรณีที่ 2.9 $y = 13$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{4}{z} = \frac{9}{26} \quad (22)$$

ถ้า $y < x \leq z$ และจากสมการ (22) จะได้ว่า $x = 14$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (22) จะได้ว่า z ไม่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $y \leq z < x$ และจากสมการ (22) จะได้ว่า $13 \leq z \leq 14$ และเมื่อแทนค่า z ในสมการ (22) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (26, 13, 13)$

กรณีที่ 3: $z < x \leq y$ หรือ $z < y < x$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า $\frac{7}{z} > \frac{1}{2}$ นั่นคือ $z \leq 13$ และจาก $9 \leq z$ เพราะฉะนั้นสามารถแยกพิจารณาจำนวนเต็มบวก z โดยที่ $9 \leq z \leq 13$ ได้ดังนี้

กรณีที่ 3.1 $z = 9$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{18} \quad (23)$$

ถ้า $z < x \leq y$ และจากสมการ (23) จะได้ว่า $10 \leq x \leq 54$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (23) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(19, 684, 9)$, $(20, 360, 9)$, $(21, 252, 9)$, $(22, 198, 9)$, $(24, 144, 9)$, $(26, 117, 9)$, $(27, 108, 9)$, $(30, 90, 9)$, $(36, 72, 9)$, $(42, 63, 9)$, $(45, 60, 9)$ และ $(54, 54, 9)$

ถ้า $z < y < x$ และจากสมการ (23) จะได้ว่า $10 \leq y \leq 53$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (23) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(666, 37, 9)$, $(342, 38, 9)$, $(234, 39, 9)$, $(180, 40, 9)$, $(126, 42, 9)$, $(99, 44, 9)$, $(90, 45, 9)$ และ $(72, 48, 9)$

กรณีที่ 3.2 $z = 10$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{10} \quad (24)$$

ถ้า $z < x \leq y$ และจากสมการ (24) จะได้ว่า $11 \leq x \leq 30$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (24) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(11, 220, 10)$, $(12, 120, 10)$, $(14, 70, 10)$, $(15, 60, 10)$, $(18, 45, 10)$, $(20, 40, 10)$ และ $(30, 30, 10)$

ถ้า $z < y < x$ และจากสมการ (24) จะได้ว่า $11 \leq y \leq 29$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (24) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(210, 21, 10)$, $(110, 22, 10)$, $(60, 24, 10)$, $(50, 25, 10)$ และ $(35, 28, 10)$

กรณีที่ 3.3 $z = 11$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{3}{22} \quad (25)$$

ถ้า $z < x \leq y$ และจากสมการ (25) จะได้ว่า $12 \leq x \leq 22$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (25) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย $(x, y, z) = (22, 22, 11)$

ถ้า $z < y < x$ และจากสมการ (25) จะได้ว่า $12 \leq y \leq 21$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (25) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(330, 15, 11)$ และ $(88, 16, 11)$

กรณีที่ 3.4 $z = 12$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{1}{6} \quad (26)$$

ถ้า $z < x \leq y$ และจากสมการ (26) จะได้ว่า $13 \leq x \leq 18$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (26) แล้วพิจารณาค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(14, 21, 12)$, $(15, 20, 12)$ และ $(18, 18, 12)$

ถ้า $z < y < x$ และจากสมการ (26) จะได้ว่า $13 \leq y \leq 17$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (26) แล้วพิจารณาค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ทำให้ได้ผลเฉลย (x, y, z) ดังต่อไปนี้ $(78, 13, 12)$, $(42, 14, 12)$, $(30, 15, 12)$ และ $(24, 16, 12)$

กรณีที่ 3.5 $z = 13$ ดังนั้นจากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{y} = \frac{5}{26} \quad (27)$$

ถ้า $z < x \leq y$ และจากสมการ (27) จะได้ว่า $14 \leq x \leq 15$ และเมื่อแทนค่า x ในสมการ (27) จะได้ว่า ไม่มีค่า y ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

ถ้า $z < y < x$ และจากสมการ (27) จะได้ว่า $14 \leq y \leq 15$ และเมื่อแทนค่า y ในสมการ (27) จะได้ว่า ไม่มีค่า x ที่เป็นจำนวนเต็มบวก ดังนั้น จึงไม่มีผลเฉลย

สรุปผลการวิจัย

จากวิธีการดำเนินการวิจัยดังกล่าว ทำให้ทราบว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$ มีผลเฉลยจำนวนเต็มบวก (x, y, z) ทั้งหมด จำนวน 158 ผลเฉลย ได้แก่ $(3, 13, 312)$, $(3, 14, 168)$, $(3, 15, 120)$, $(3, 16, 96)$, $(3, 18, 72)$, $(3, 20, 60)$, $(3, 21, 56)$, $(3, 24, 48)$, $(3, 28, 42)$, $(3, 30, 40)$, $(3, 36, 36)$, $(3, 300, 25)$, $(3, 156, 26)$, $(3, 108, 27)$, $(3, 84, 28)$, $(3, 60, 30)$, $(3, 48, 32)$, $(3, 44, 33)$, $(4, 9, 144)$, $(4, 10, 80)$, $(4, 12, 48)$, $(4, 16, 32)$, $(4, 24, 24)$, $(4, 136, 17)$, $(4, 72, 18)$, $(4, 40, 20)$, $(5, 7, 280)$, $(5, 8, 80)$, $(5, 10, 40)$, $(5, 12, 30)$, $(5, 15, 24)$, $(5, 20, 20)$, $(5, 140, 14)$, $(5, 60, 15)$, $(5, 40, 16)$, $(6, 7, 84)$, $(6, 8, 48)$, $(6, 9, 36)$, $(6, 10, 30)$, $(6, 12, 24)$, $(6, 14, 21)$, $(6, 15, 20)$, $(6, 18, 18)$, $(6, 78, 13)$, $(6, 42, 14)$, $(6, 30, 15)$, $(6, 24, 16)$, $(7, 7, 56)$, $(7, 12, 21)$, $(7, 84, 12)$, $(7, 28, 14)$, $(8, 8, 32)$, $(8, 16, 16)$, $(8, 176, 11)$, $(8, 48, 12)$, $(9, 9, 24)$, $(9, 12, 18)$, $(9, 36, 12)$,

(10, 10, 20), (10, 15, 15), (10, 55, 11), (10, 30, 12), (11, 44, 11), (12, 12, 16), (12, 24, 12), (14, 14, 14), (11, 5, 440), (12, 5, 240), (14, 5, 140), (15, 5, 120), (18, 5, 90), (20, 5, 80), (26, 5, 65), (30, 5, 60), (35, 5, 56), (50, 5, 50), (410, 5, 41), (210, 5, 42), (110, 5, 44), (90, 5, 45), (60, 5, 48), (7, 6, 168), (8, 6, 96), (9, 6, 72), (10, 6, 60), (12, 6, 48), (14, 6, 42), (15, 6, 40), (18, 6, 36), (22, 6, 33), (24, 6, 32), (30, 6, 30), (150, 6, 25), (78, 6, 26), (54, 6, 27), (42, 6, 28), (10, 7, 35), (14, 7, 28), (21, 7, 24), (266, 7, 19), (70, 7, 20), (42, 7, 21), (12, 8, 24), (20, 8, 20), (68, 8, 17), (36, 8, 18), (18, 9, 18), (90, 9, 15), (36, 9, 16), (70, 10, 14), (30, 10, 15), (20, 10, 16), (15, 12, 15), (39, 12, 13), (21, 12, 14), (26, 13, 13), (19, 684, 9), (20, 360, 9), (21, 252, 9), (22, 198, 9), (24, 144, 9), (26, 117, 9), (27, 108, 9), (30, 90, 9), (36, 72, 9), (42, 63, 9), (45, 60, 9), (54, 54, 9), (666, 37, 9), (342, 38, 9), (234, 39, 9), (180, 40, 9), (126, 42, 9), (99, 44, 9), (90, 45, 9), (72, 48, 9), (11, 220, 10), (12, 120, 10), (14, 70, 10), (15, 60, 10), (18, 45, 10), (20, 40, 10), (30, 30, 10), (210, 21, 10), (110, 22, 10), (60, 24, 10), (50, 25, 10), (35, 28, 10), (22, 22, 11), (330, 15, 11), (88, 16, 11), (14, 21, 12), (15, 20, 12), (18, 18, 12), (78, 13, 12), (42, 14, 12), (30, 15, 12) และ (24, 16, 12) ซึ่งจากขั้นตอนในการหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูปแบบคล้ายกันได้

ข้อเสนอแนะ

สิ่งที่น่าสนใจในการศึกษาค้นคว้าต่อไป คือ การหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{n}$ เมื่อ x, y, z และ n เป็นจำนวนเต็มบวก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sándor, J. (2013). A note on a Diophantine equation. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 19(4), 1-3.
- [2] Pakapongpun, A. (2019). Integral solutions of the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{2}$. *Mathematical Journal by the Mathematical Association of Thailand under the Patronage of His Majesty the King*, 64(699), 36-43.
- [3] Zhao, W., Lu, J. and Wang, L. (2021). On the integral solutions of the Egyptian fraction equation $\frac{a}{p} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$. *AIMS Mathematics*, 6(5), 4930-4937.

- [4] Sándor, J. and Atanassov, K. (2021). On a Diophantine equation arising in the history of mathematics. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 27(1), 70-75.
- [5] Atri, R. (2022). On the Diophantine equations $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{4}$ and $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} + \frac{1}{t} = \frac{1}{4}$. *International Journal of Science and Research*, 11(1), 573-574.
- [6] Chinram, R., Sirikantisophon, K. and Kaewchay, S. (2022). Positive integer solutions of the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{3}{z} = \frac{1}{3}$. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 17(3), 1051-1059.
- [7] Srimud, K., Makate, N., Ampawa, T. and Jantree, T. (2022). On the Diophantine equation $\frac{2}{x} + \frac{3}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{2}$. *Progress in Applied Science and Technology*, 12(1), 11-16.
- [8] Tadee, S. and Poopra, S. (2023). On the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} + \frac{1}{z} = \frac{1}{n}$. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 18(2), 173-177.
- [9] Taher, H.S. (2023). On the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{3}{y} + \frac{5}{z} = \frac{3}{4}$. *Advances in Mathematics: Scientific Journal*, 12(1), 63-71.
- [10] Sudsanguan, P. and Sudsanguan, W. (2024). The positive integer solutions of the Diophantine equation $\frac{1}{x} + \frac{2}{y} + \frac{4}{z} = \frac{1}{4}$. *PBRU Science Journal*, 21(1), 75-89. (in Thai)

การพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ Development of a Chemical Inventory Management System in Science Laboratories

จำรูญ จันทร์กฤษณ์¹, กนกวรรณ กันยะมี^{1,*}, จุฬาลักษณ์ มหาวาน¹, สิทธิชัย ฐานะ², อภิญญา ปาละวงศ์²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

²สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

Jumroon Chankulchorn¹, Kanokwan Kanyamee^{1,*}, Julalug Mahawan¹, Sittichai Thana²,
Apinya Palawong²

¹Information Technology Major, Faculty of Sciences and Technology, Uttaradit Rajabhat
University

²Computer Science Major, Faculty of Sciences and Technology, Uttaradit Rajabhat University

บทคัดย่อ

การบริหารสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมการจัดการเรียนการสอน และการวิจัยให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม การบันทึกข้อมูลด้วยวิธีการแมนวลหรือ กิ่งอัตโนมัติมักประสบปัญหาด้านความถูกต้อง ความล่าช้า และเสี่ยงต่อการใช้สารเคมีที่หมดอายุ อีกทั้งยังขาด ข้อมูลที่สนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการจัดสารเคมีที่หมดอายุหรือผ่านการใช้งานแล้ว งานวิจัยนี้มี วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ โดยออกแบบเป็นเว็บแอป พลิเคชันสำหรับบริหารจัดการข้อมูลสารเคมีและการเบิกจ่ายในห้องปฏิบัติการเคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ระบบที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการติดตาม ข้อมูลสารเคมีแบบเรียลไทม์ (Real-Time) แจ้งเตือนปริมาณสารคงคลังที่เหลือน้อยหรือใกล้วันหมดอายุโดย อัตโนมัติ กำหนดสิทธิ์การใช้งานตามบทบาท และจัดทำรายงานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้วางแผนการการจัดสารเคมี อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน ระบบดังกล่าวพัฒนาขึ้นโดยใช้โครงสร้าง เอ็มเอ็มวีซี (Module - Model - View - Controller: MMVC) บนเฟรมเวิร์ก คชสาร พีเอชพี (Kotchasan PHP Framework) ร่วมกับฐานข้อมูล มายเอส คิวแอล (MySQL) เพื่อรองรับกระบวนการบริหารจัดการคลังสารเคมีอย่างครบวงจร ครอบคลุมทั้งการรับเข้า การ เบิกจ่าย การติดตามการใช้งาน และการรายงานข้อมูลสารเคมี ผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบ จากกลุ่ม ตัวอย่าง 40 คน ซึ่งประกอบด้วยอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา พบว่าอยู่ในระดับดีมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.63 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 สะท้อนถึงระบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการยกระดับการบริหาร

*Corresponding author : kanokwan@uru.ac.th

Received : 16/05/2025 Revised : 02/06/2025 Accepted : 12/06/2025

จัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพิ่มความปลอดภัย และสนับสนุนการบริหารทรัพยากรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ : ระบบบริหารจัดการ, สารเคมี, เบิกจ่าย, ห้องปฏิบัติการ, คลังสารเคมี

Abstract

Chemical management in science laboratories plays a crucial role in enhancing the effectiveness and safety of both teaching and research activities. However, manual or semi-automated data recording methods often face challenges in terms of accuracy, timeliness, and the risk of using expired chemicals. Furthermore, the lack of integrated data hinders decision-making for the proper disposal of expired or unused chemicals. This study aims to develop a chemical inventory management system for science laboratories. The system is designed as a web application to manage chemical information and disbursement processes within the Chemistry, Biology, Physics, and Environmental Science laboratories of the Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University. The developed system features real-time chemical inventory tracking, automated alerts for low stock levels and approaching expiration dates, role-based access control, and report generation tools that support efficient and sustainable chemical disposal planning. The system was built using a Module- Model- View- Controller (MMVC) architecture on the Kotchasan PHP Framework, integrated with a MySQL database. This architecture enables comprehensive chemical inventory management, including chemical intake, disbursement, usage tracking, and reporting. The user satisfaction assessment, conducted with a sample group of 40 participants comprising lecturers, staff, and students, revealed a very high satisfaction level, with an average score of 4.63 and a standard deviation of 0.61. This indicates that the developed system possesses strong potential to enhance the efficiency of chemical inventory management in science laboratories, improve safety, and support sustainable resource management.

Keywords : management system, chemical, disbursement, laboratory, chemical inventory

ที่มาและความสำคัญ

ในยุคดิจิทัล เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มีบทบาทสำคัญในการยกระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานอย่างมีนัยสำคัญ ในหลากหลายภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นด้านสาธารณสุข การอุตสาหกรรม การศึกษา ตลอดจนการวิจัยทางวิทยาศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ที่ต้องดำเนินการให้มีความปลอดภัย [1] และสอดคล้องกับมาตรฐานสากล ในที่นี้รวมถึงการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการด้วย โดยที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการที่น่าสนใจ เช่น งานวิจัยการพัฒนาสารบบสารเคมีในห้องปฏิบัติการทันตวัสดุ [2] ที่ได้พัฒนาโปรแกรมจัดการสารเคมีโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access) เน้นการทำงานแบบเดสก์ท็อปแอปพลิเคชัน (Desktop Application) ซึ่งอาจมีข้อจำกัดในการรองรับการ

ใช้งานผ่านระบบคลาวด์ หรืองานวิจัยการพัฒนากระบวนการจัดการสารเคมีของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ [3] ที่ได้จัดทำฐานข้อมูลสารเคมีในรูปแบบไฟล์เอกสารเอ็กเซล (Excel) และแชร์ไฟล์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทั้งนี้ระบบไม่ได้ออกแบบมาสำหรับรองรับการทำงานกับผู้ใช้หลายคนพร้อมกัน (Multi-User) และไม่รองรับการเชื่อมต่อแบบออนไลน์แอปพลิเคชันเต็มรูปแบบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวเป็นพื้นฐานสำคัญในการต่อยอดสู่การพัฒนาาระบบที่มีความสามารถในการทำงานแบบออนไลน์ รองรับการใช้งานแบบเรียลไทม์ และบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในบริษัทที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ มีห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ สำหรับ 4 สาขาวิชา ประกอบด้วย ห้องปฏิบัติการเคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีการจัดเก็บสารเคมีหลากหลายชนิดของแต่ละสาขาวิชา เพื่อใช้ในกิจกรรมการเรียนการสอนและการวิจัย บางโอกาสจำเป็นต้องบริหารจัดการใช้สารเคมีร่วมกันระหว่างสาขา ส่งผลให้การบริหารคลังสารเคมีในรูปแบบเดิมที่อาศัยการบันทึกข้อมูลแบบเอกสารหรือไฟล์กึ่งแมนนวล มักประสบปัญหา และมีข้อจำกัดในการจัดการข้อมูลของสารเคมีในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ (1) ความถูกต้องของข้อมูล คือ การจดบันทึกข้อมูลปริมาณ วันหมดอายุผิดพลาด ข้อมูลสารเคมีไม่เป็นปัจจุบันเมื่อมีการเบิกจ่ายหรือรับเข้า (2) การค้นหาและเบิกจ่ายสารเคมีล่าช้า ใช้เวลานานในการค้นหาข้อมูล ทำให้การเบิกจ่ายสารเคมี ไม่ทันต่อการทดลอง (3) การจัดเก็บและใช้งาน คือ ขาดการแจ้งเตือนสำหรับสารเคมีที่หมดอายุ (4) ขาดข้อมูลติดตามการใช้สารเคมีย้อนหลัง คือ ไม่มีระบบบันทึกประวัติการเบิกจ่าย ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบการใช้สารเคมีย้อนหลัง และ (5) ขาดข้อมูลสนับสนุนการวางแผนจัดการสารเคมีหมดอายุ เนื่องจากไม่มีรายงานเกี่ยวกับสารเคมีในประเด็นที่สำคัญและจำเป็น

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการพัฒนาระบบที่ทันสมัย เพื่อบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน จึงได้ดำเนินงานวิจัยนี้ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วย เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อมผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ที่ทำงานแบบเรียลไทม์ โดยใช้โครงสร้าง โมดูล-โมเดล-วิว-คอนโทรลเลอร์ (MMVC) [4] บนเฟรมเวิร์ก คชสาร พีเอชพี (Kotchasan PHP Framework) [5, 6] ซึ่งเป็นโอเพนซอร์ส (Open Source) ที่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการใช้งานไม่ว่าจะใช้เพื่อการศึกษาหรือเชิงพาณิชย์ ร่วมกับฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) [7] เพื่อรองรับกระบวนการรับเข้าสารเคมี การเบิกจ่าย การติดตามการใช้งาน และการออกรายงานอย่างเป็นระบบ

จุดเด่นของระบบที่พัฒนาขึ้น คือ การจัดการข้อมูลสารเคมีที่สะดวกผ่านเทคโนโลยีที่ทันสมัย การติดตามปริมาณสารเคมีและวันหมดอายุแบบอัตโนมัติ การแจ้งเตือนล่วงหน้าเมื่อสารเคมีมีปริมาณต่ำหรือใกล้หมดอายุ การกำหนดสิทธิ์ผู้ใช้งานตามบทบาท และการสรุปรายงานข้อมูลการเบิกจ่ายเชิงวิเคราะห์ เพื่อสนับสนุนการวางแผนจัดการสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย โดยมุ่งเน้นการสร้างระบบที่ตอบสนองความต้องการของห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ซึ่งสามารถขยายผลในสถาบันการศึกษา ช่วยเพิ่มความถูกต้อง ความแม่นยำ และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรสารเคมีอย่างเป็นรูปธรรม ช่วยส่งเสริมแนวทางการบริหารจัดการอย่างยั่งยืน ลดข้อผิดพลาดจากการใช้กระดาษสู่ระบบดิจิทัล [8]

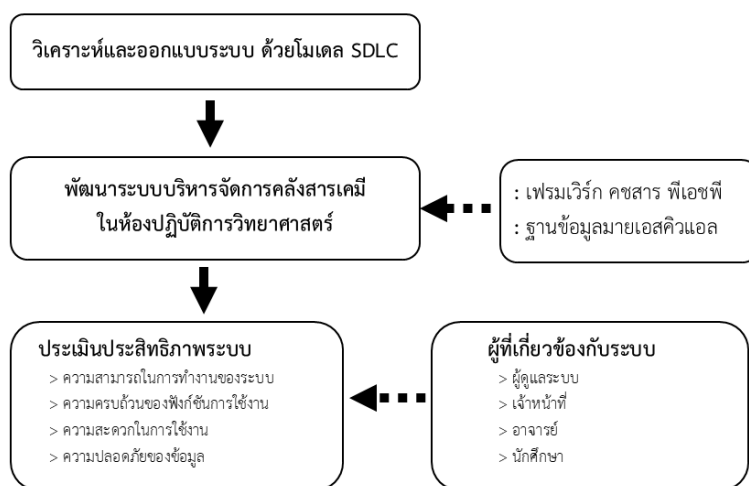
วิธีการดำเนินการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการคลังสารเคมี และการเบิกจ่ายสารเคมี ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์อย่างครบวงจร

2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบในด้าน ความสามารถในการทำงานของระบบ ความครบถ้วนของฟังก์ชันการใช้งาน ความสะดวกในการใช้งาน และความปลอดภัยของข้อมูล

กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้แนวทางการวิจัยและพัฒนา โดยมีเป้าหมายในการพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ผ่านเฟรมเวิร์ก คชสาร พีเอชพี โดยวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยโมเดลวงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์ (Software Development Life Cycle หรือ SDLC) [9] ระบบออกแบบให้รองรับการใช้งานตามสิทธิ์การเข้าถึงตามหน้าที่อย่างเหมาะสม ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ เจ้าหน้าที่ อาจารย์ และนักศึกษา จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ 4 ด้าน ดังแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1: กรอบแนวคิดงานวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัย ใช้แนวทางพัฒนาระบบตามวงจรชีวิตการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) ทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1.1 การวิเคราะห์ปัญหา โดยได้ศึกษาข้อจำกัดในกระบวนการเบิกจ่ายสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ขอบเขตของปัญหา และประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาระบบ ทั้งในแง่เทคนิคและการนำไปใช้งานจริง ร่วมกับผู้ใช้งานระบบ คือ เจ้าหน้าที่ อาจารย์ และนักศึกษาที่เกี่ยวข้อง

1.2 การวิเคราะห์ความต้องการ ทำการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อกำหนดขอบเขตและฟังก์ชันของระบบ ที่จำเป็นอย่างเหมาะสมต่อการทำงาน

1.3 การออกแบบระบบ ได้ออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล ฝั่งการทำงานของระบบ และรูปแบบหน้าจอ การนำเสนอข้อมูล ให้สอดคล้องต่อความต้องการของผู้ใช้

1.4 การพัฒนาระบบ ดำเนินการเขียนโปรแกรม โดยใช้เครื่องมือและภาษาคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม เช่น คชสาร พีเอชพี เฟรมเวิร์ก ภาษา PHP ฐานข้อมูล MySQL เพื่อสร้างระบบต้นแบบที่สมบูรณ์

1.5 การทดสอบการทำงานของระบบทั้งในระดับหน่วยย่อย (Unit Test) และการทำงานร่วมกันของระบบโดยรวม (Integration Test) รวมถึงการทดสอบการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมของผู้ใช้ เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถตอบสนองความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.6 การนำระบบไปใช้งานและติดตั้งระบบให้พร้อมใช้งานจริง พร้อมจัดอบรมแนะนำการใช้งาน

1.7 การบำรุงรักษาระบบ ตรวจสอบ แก้ไข และปรับปรุงระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองความต้องการที่เปลี่ยนแปลงในอนาคตอย่างเหมาะสม

2. ขอบเขตการวิจัย

2.1 ขอบเขตด้านระบบ พัฒนาระบบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) โดยใช้ภาษา PHP และฐานข้อมูล MySQL ผ่านคชสาร พีเอชพี เฟรมเวิร์ก

2.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา ระบบครอบคลุมการทำงาน 4 หมวดหลัก คือ

(1) การจัดการผู้ใช้งาน ประกอบด้วย ผู้ดูแลระบบ เจ้าหน้าที่ อาจารย์ นักศึกษา

(2) การจัดการข้อมูลสารเคมี ประกอบด้วย ประเภทสารเคมี รายการสารเคมี ห้องปฏิบัติการ หลักสูตร และข้อมูลอ้างอิง

(3) การเบิก-จ่ายสารเคมี ประกอบด้วย การรับเข้า เบิกจ่าย ปรับปรุงข้อมูล

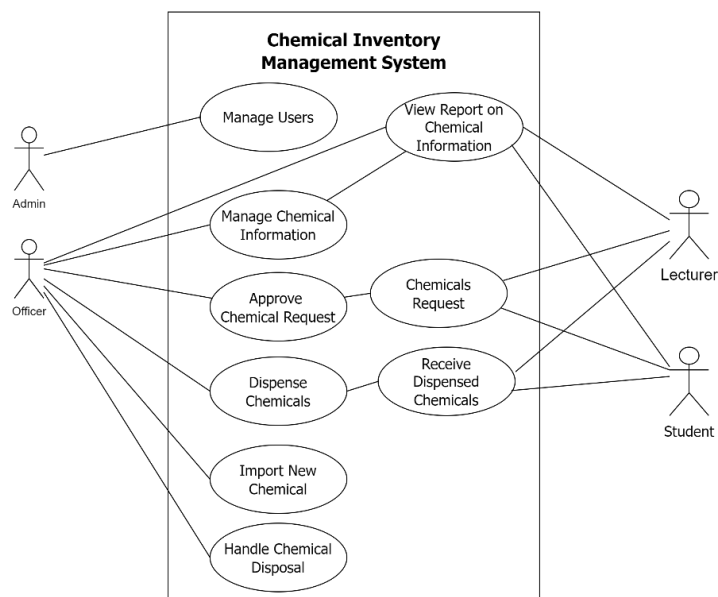
(4) การออกรายงาน ประกอบด้วย รายงานผู้ใช้ รายงานเบิก-จ่าย รายงานคลังสารเคมี

2.3 ขอบเขตด้านประชากร กลุ่มเป้าหมายหรือกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ได้แก่ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ อาจารย์ และนักศึกษา ในสาขาวิชาฟิสิกส์ ชีววิทยา เคมี และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

2.4 ขอบเขตด้านพื้นที่ คือ ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

3. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

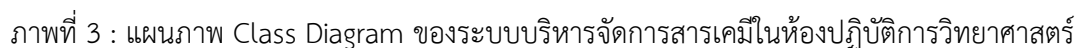
การพัฒนาระบบนี้ใช้การวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิงวัตถุ (Object-Oriented Analysis and Design หรือ OOAD) [10] โดยแสดงให้เห็นบทบาทความสัมพันธ์ระหว่าง ผู้ใช้งาน (Actors) กับ ฟังก์ชันการใช้งาน (Use Cases) ของระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 : แผนภาพ Use Case ระบบบริหารจัดการสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

จากภาพที่ 2 อธิบายบทบาทของผู้ใช้งานระบบได้ดังต่อไปนี้ (1) ผู้ดูแลระบบ มีสิทธิ์จัดการผู้ใช้งานในระบบ (2) เจ้าหน้าที่ รับผิดชอบการจัดการสารเคมี เช่น การนำเข้า จ่าย และกำจัดสารเคมี รวมทั้งอนุมัติการขอเบิกสารเคมี (3) อาจารย์ ทำหน้าที่ ขอเบิกสารเคมี และดูรายงาน และ(4) นักศึกษา ทำหน้าที่ ขอเบิกสารเคมี

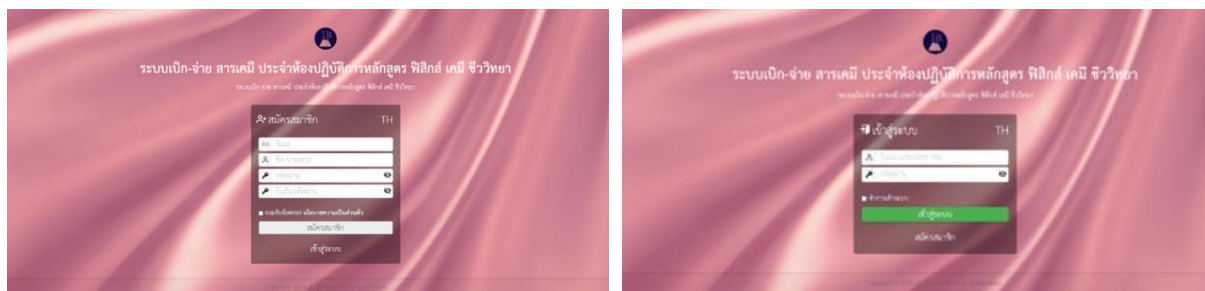
ทั้งนี้ได้ออกแบบคลาสไดอะแกรม (Class Diagram) เพื่อแสดงโครงสร้างของระบบ โดยจะแสดงคลาส (Classes) และ ความสัมพันธ์ (Relationships) ระหว่างคลาสต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3



การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลสารเคมี รวมถึงการเบิก-จ่ายสารเคมี ของห้องปฏิบัติการเคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม โดยเน้นการออกแบบให้รองรับการบริหารจัดการข้อมูลสารเคมีอย่างครบวงจร ตั้งแต่การรับเข้า จัดเก็บ การเบิกจ่าย ไปจนถึงการรายงานข้อมูล รวมถึงการแจ้งเตือนสารเคมีหมดอายุแบบเรียลไทม์ โดยเลือกใช้ เฟรมเวิร์ค คซซาร์ พีเอชพี ในการพัฒนา เพื่อเสริมประสิทธิภาพด้านความเร็ว ความปลอดภัย และรองรับการทำงานบนสภาพแวดล้อมภาษาไทยได้อย่างเหมาะสม

1.1 การสมัครสมาชิก และการเข้าสู่ระบบ กำหนดให้ผู้ใช้ลงทะเบียนสมัครสมาชิกด้วยข้อมูล

จำรูญ จันทรกุลญชร และคณะ



ภาพที่ 4 : หน้าจอการสมัครสมาชิก และ เข้าสู่ระบบ

1.2 การอนุมัติสิทธิ์การใช้งานระบบ โดยผู้ดูแลระบบ

ผู้ดูแลระบบมีสิทธิ์เข้าถึงเมนูเพื่อจัดการอนุมัติสิทธิ์การใช้งานและรายงานต่าง ๆ ของระบบ

ดังนี้

(1) อนุมัติและให้สิทธิ์ผู้ใช้งานระบบ แสดงดังภาพที่ 5

ระบบเบิก-จ่าย สารเคมี ประจำห้องปฏิบัติการหลักสูตร พิสิกส์ เคมี ชีววิทยา				
หน้าหลัก	คลังสารเคมี	เบิก	สมาชิก	รายงาน
สมาชิก >> สิทธิ์การใช้งาน				
สิทธิ์การใช้งาน				
แสดง 30 รายการ	สถานะสมาชิก ทั้งหมด	ค้นหา	Go	
ทั้งหมด 10 รายการ, แสดง 1 ถึง 10, หน้า 1 จากทั้งหมด 1 หน้า				
ชื่อ นามสกุล	สามารถตั้งระบบได้	สามารถดูประวัติการใช้งานระบบได้	สามารถจัดการ คลังสารเคมี	สามารถอนุมัติได้ (เบิก)
นักศึกษา	✓	✓	✓	✓
เจ้าหน้าที่	✓	✓	✓	✓
กณกรวรรณ กันยะณี	✓	✓	✓	✓
จารย์ จันทร์กฤษ	✓	✓	✓	✓
อภิญญา ปาละวงศ์	✓	✓	✓	✓
เจ้าหน้าที่	✓	✓	✓	✓
สิทธิชัย ฐานะ	✓	✓	✓	✓
เมธาวี พราหมณ์แก้ว	✓	✓	✓	✓

ภาพที่ 5 : หน้าจอการอนุมัติและให้สิทธิ์ผู้ใช้งานระบบ

(2) ตรวจสอบรายชื่อและสถานะตามสิทธิ์ของสมาชิก แสดงดังภาพที่ 6

ระบบเบิก-จ่าย สารเคมี ประจำห้องปฏิบัติการหลักสูตร พิสิกส์ เคมี ชีววิทยา

หน้าหลัก คลังสารเคมี เบิก สมาชิก รายการตั้งค่า

สมาชิก >> รายชื่อสมาชิก

รายชื่อสมาชิก

แสดง 30 รายการ สถานะสมาชิก ทั้งหมด ค้นหา

ทั้งหมด 11 รายการ, แสดง 1 ถึง 11, หน้า 1 จากทั้งหมด 1 หน้า

☐ อีเมล/ชื่อผู้ใช้	ชื่อ นามสกุล	การอนุญาตเข้าระบบ	โทรศัพท์	สร้างเมื่อ	สถานะสมาชิก	
☐ user@test	นักศึกษา	✓		02 มี.ค. 2568	สมาชิก	แก้ไข
☐ urugstaff	เจ้าหน้าที่	✓		05 มี.ค. 2568	เจ้าหน้าที่	แก้ไข
☐ OrJaew	คนกวรณ กันยธม	✓		27 ธ.ค. 2567	สมาชิก	แก้ไข
☐ jumroong@uru.ac.th	จํรูญ จันทรกุลอุธร	✓		16 ธ.ค. 2567	อาจารย์	แก้ไข
☐ u64042380121@uru.ac.th	อศัญญา ปาลวงค์	✓		16 ธ.ค. 2567	สมาชิก	แก้ไข
☐ urug@worker	เจ้าหน้าที่	✓		16 ธ.ค. 2567	เจ้าหน้าที่	แก้ไข
☐ u64042380117@uru.ac.th	สิทธิตย ฐานะ	✓		16 ธ.ค. 2567	สมาชิก	แก้ไข

ภาพที่ 6 : หน้าจอแสดงรายชื่อและสถานะตามสิทธิ์ของสมาชิก
(3) ตรวจสอบประวัติการเข้าใช้งานระบบ แสดงดังภาพที่ 7

ประวัติการใช้งาน

ตั้งค่าเว็บไซต์ แม่แบบเว็บไซต์ หน้าเข้าสู่ระบบ ตั้งค่าอีเมล ตั้งค่าไลน์ API โหลด ภาษา

นโยบายคุกกี้ ประวัติการใช้งาน ตั้งค่า เบิก คลังสารเคมี

แสดง 30 รายการ จาก 1 ถึง 30, หน้า 1 จากทั้งหมด 15 หน้า

วันที่	☐ รายละเอียด	ชื่อ นามสกุล	โหลด	Action
02 มี.ค. 2568 15:06	☐ เข้าสู่ระบบ IP: 27.55.74.218	แอดมิน	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:48	☐ เข้าสู่ระบบ IP: 27.55.74.218	เจ้าหน้าที่	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:48	☐ เข้าสู่ระบบ ID: 10	แอดมิน	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:48	☐ เข้าสู่ระบบ IP: 27.55.74.218	แอดมิน	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:48	☐ เบิก 6 คืน ทำรายการเบิก	นักศึกษา	borrow	บันทึก
02 มี.ค. 2568 14:45	☐ เข้าสู่ระบบ IP: 27.55.74.218	นักศึกษา	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:45	☐ เข้าสู่ระบบ ID: 11	แอดมิน	index	สมาชิก
02 มี.ค. 2568 14:35	☐ ลบ คลังสารเคมี ID: 97	แอดมิน	inventory	ลบ
02 มี.ค. 2568 14:27	☐ ลบ เบิก ID: 16, 16, 16, 11, 11, 9	แอดมิน	borrow	ลบ

ภาพที่ 7 : หน้าจอแสดงประวัติการเข้าใช้งานระบบ

1.3 การจัดการข้อมูลสารเคมี และการอนุมัติการเบิกจ่ายสารเคมี โดยเจ้าหน้าที่

เจ้าหน้าที่ที่มีสิทธิ์ในการจัดการข้อมูลของสารเคมี พร้อมทั้งอนุมัติการเบิกจ่ายสารเคมี และดูรายงานข้อมูลสารเคมี และรายการเบิกจ่ายสารเคมีแบบเรียลไทม์หรือย้อนหลัง ดังต่อไปนี้

(1) แสดงรายการสารเคมี และนำเข้าข้อมูลสารเคมี ดังแสดงใน ภาพที่ 8 - 9 ตามลำดับ

ระบบเบิก-จ่าย สารเคมี ประจำห้องปฏิบัติการหลักสูตร พิสสิส เคมี ชีววิทยา

หน้าหลัก คลังสารเคมี เบิก รายการ ตั้งค่า

ตั้งค่า >> คลังสารเคมี >> รายการ

รายการ คลังสารเคมี

ประวัติการใช้งาน คลังสารเคมี

แสดง: 30 รายการ SDS ทั้งหมด สถานที่เก็บ ทั้งหมด ผู้ผลิต ทั้งหมด จำนวนที่ stock น้อยกว่า 40% ทั้งหมด ค้นหา

ทั้งหมด 96 รายการ, แสดง 1 ถึง 30, หน้า 1 จากทั้งหมด 4 หน้า

รูปภาพ	สารเคมี	รหัสภาชนะบรรจุ (Bottle ID)	SDS	สถานที่เก็บ	ผู้ผลิต	คงเหลือ	ขนาดบรรจุ	ต้องการใช้	
	☐ Zinc Oxide		TRUE	STC208	Loba chemie PVT.LTD.	280 กรัม(g/gm)	500 กรัม(g/gm)	✓	
	☐ Zinc chloride dry		TRUE	STC208	Loba chemie PVT.LTD.	1 เทวไปแลร์	0 เทวไปแลร์	✓	
	☐ tri-SODIUM ORTHOPHOSPHATE		TRUE	STC208	Ajax Finechem Pty.Ltd	450 กรัม(g/gm)	0 กรัม(g/gm)	✓	
	☐ Tri-sodium citrate dibutylate		TRUE	STC208	Loba chemie	200 กรัม(g/gm)	500 กรัม(g/gm)	✓	

ภาพที่ 8 : หน้าจอแสดงรายการสารเคมี

รายละเอียดของ สารเคมี

รหัสภาชนะบรรจุ (Bottle ID) ชื่อสารเคมี (Chemical name) CAS no.

 ตัวอย่าง abc-123 *ต้องมี -  ชื่อของ สารเคมี 

รายละเอียด

 รายละเอียดความเป็นอันตราย

SDS สถานที่เก็บ

ผู้ผลิต ผู้ขาย

Color UN Class เกรด ขนาดบรรจุ

คงเหลือ หน่วย วันที่รับเข้า Lab

๓๓ 1  

หมายเหตุ

☒ ต้องการใช้



รูปภาพ



เลือกูปภาพอัปโหลด ชนิด: jpg, jpeg, png, webp (ปรับขนาดอัตโนมัติ)

 บันทึก

ภาพที่ 9 : หน้าจอการนำเข้าข้อมูลสารเคมี

(2) แสดงรายการขอเบิกสารเคมี และการจัดการอนุมัติเบิกจ่ายสารเคมี ดังแสดงในภาพ

ที่ 10

รายการเช็คของ ผู้ขอเบิก
ผู้ขอเบิก : นักศึกษา

รายละเอียดการทำรายการ
เลขที่การทำรายการ : B6803-0001 วันที่ทำการ : 02 มี.ค. 2568
วันที่ขอเบิก : 04 มี.ค. 2568

รายละเอียด	จำนวน	อนุมัติ	สถานะ	อนุมัติ	คืน	ปรับปรุงสถานะ
COPPER SULFATE PENTAHYDRATE (CHEM_021)	60	0	รอดำเนินการ	อนุมัติ	คืน	ปรับปรุงสถานะ
Potassium dihydrogen orthophosphate anhydrous (CHEM_070)	30	0	รอดำเนินการ	อนุมัติ	คืน	ปรับปรุงสถานะ
L-methionine (CHEM_052)	15	0	รอดำเนินการ	อนุมัติ	คืน	ปรับปรุงสถานะ

บันทึก

ภาพที่ 10 : หน้าจอแสดงรายการขอเบิกสารเคมี และการอนุมัติเบิกจ่าย

1.4 การเบิกจ่ายสารเคมี โดยนักศึกษาและอาจารย์

นักศึกษาและอาจารย์ สามารถตรวจสอบรายการคงเหลือของสารเคมี และทำการเบิกจ่ายสารเคมีได้ดังต่อไปนี้

(1) รายการสารเคมี และจำนวนคงเหลือทั้งหมดในระบบ แสดงในภาพที่ 11

ระบบเบิกจ่าย สารเคมี ประจำห้องปฏิบัติการหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์

หน้าหลัก | คลังสารเคมี | เบิกจ่าย

รายการ คลังสารเคมี

แสดง 30 รายการ | 505 รายการ | แสดงเป็น ตาราง | 1 รายการ | 1 รายการ

ทั้งหมด 64 รายการ, หน้า 1 ถึง 30, หน้า 1 จากทั้งหมด 3 หน้า

รูปถ่าย	สารเคมี	รหัสสารเคมี (Bottle ID)	สถานะ	สถานะเดิม	ผู้ผลิต	คงเหลือ	ดำเนินการ
	Zinc Oxide	0401-001	TRUE	STC208	Loba Chemie Pvt.Ltd.	280 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
	Tri-sodium orthophosphate	0401-002	TRUE	STC208	Alga Finechem Pvt.Ltd.	430 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
	Tri-sodium citrate dihydrate	0401-003	TRUE	STC208	Loba Chemie Pvt.Ltd.	400 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
	Trimethylamine	0401-004	TRUE	STC208	Merck	80 ลิตร(ลิตร)	ดำเนินการ
	Titanium dioxide	0401-005	TRUE	STC208	Alga Finechem Pvt.Ltd.	500 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
	Sulfuric acid	0401-006	TRUE	STC208	ICI LABSCAN LIMITED	1995 ลิตร(ลิตร)	ดำเนินการ
	Sodium thiosulfate(pentahydrate)	0401-007	TRUE	STC208	ICI LABSCAN LIMITED	1000 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
	SODIUM HYDROXIDE	0401-008	TRUE	STC208	ICI LABSCAN LIMITED	1000 กรัม(กรัม)	ดำเนินการ

ภาพที่ 11 : หน้าจอแสดงรายการสารเคมี และจำนวนคงเหลือ

(2) การทำรายการเบิกสารเคมี แสดงในภาพที่ 12

ทำรายการเบิก

รายละเอียดการทำรายการ
เลขที่การทำรายการ : B6803-0001 วันที่ทำการ : 02 มี.ค. 2568
วันที่ขอเบิก : 06 มี.ค. 2568

จำนวน : 1 รายการ

รายละเอียด	รหัสสารเคมี (Bottle ID)	จำนวน	หน่วย	ดำเนินการ
COPPER SULFATE PENTAHYDRATE	CHEM_021	300	กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
Ammonium molybdate tetrahydrate	CHEM_016	500	กรัม(กรัม)	ดำเนินการ
EDTA magnesium disodium salt	CHEM_030	100	กรัม(กรัม)	ดำเนินการ

บันทึก

ภาพที่ 12 : หน้าจอการทำรายการเบิกสารเคมี

2. การประเมินความพึงพอใจ ที่มีต่อระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน ประกอบด้วย อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา โดยใช้เครื่องมือการประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) คือ 1 - 5 คะแนน แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน คือ (1) ประสิทธิภาพของระบบ (2) ฟังก์ชันการใช้งาน (3) ความสะดวกในการใช้งาน และ (4) ความปลอดภัยของข้อมูล ผลการประเมินดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ผลการประเมินความพึงพอใจ

การประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับ
ความสามารถในการทำงานของระบบ	4.65	0.69	ดีมาก
ความครบถ้วนของฟังก์ชันการใช้งาน	4.70	0.51	ดีมาก
ความสะดวกในการใช้งาน	4.55	0.63	ดีมาก
ความปลอดภัยของข้อมูล	4.60	0.62	ดีมาก
คะแนนเฉลี่ยรวม	4.63	0.61	ดีมาก

จากตารางที่ 1 ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบอยู่ในระดับ "ดีมาก" โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.63 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.61 โดยด้านฟังก์ชันการใช้งาน ได้รับคะแนนสูงที่สุด ส่วนด้านความสะดวกในการใช้งาน ได้คะแนนน้อยที่สุด เท่ากับ 4.55 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.63 เนื่องจากระบบมีฟังก์ชันการทำงานแบบครบวงจร จึงมีกระบวนการทำงานในระบบค่อนข้างซับซ้อน เพื่อความถูกต้องของข้อมูล และความมั่นคงปลอดภัยของระบบ

3. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า ระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีที่พัฒนาขึ้นในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพหลายด้าน ทั้งในด้านการจัดเก็บข้อมูลสารเคมี การเบิกจ่าย การตรวจสอบปริมาณคงเหลือ รวมถึงการออกรายงานอย่างเป็นระบบ เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พัฒนาระบบเพื่อการบริหารจัดการสารเคมี โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์แอคเซส [2] และระบบที่พัฒนาโดยใช้รูปแบบไฟล์เอกสารอิเล็กทรอนิกส์ ในการจัดเก็บข้อมูลสารเคมี [3] ซึ่งไม่สนับสนุนการทำงานแบบออนไลน์แอปพลิเคชันเต็มรูปแบบ การประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 40 คน พบว่า ระบบมีคะแนนความพึงพอใจในระดับดีมากในทุกด้าน สะท้อนให้เห็นถึงการออกแบบระบบที่สามารถรองรับกระบวนการบริหารจัดการสารเคมีได้อย่างครบถ้วน ตอบโจทย์การจัดการข้อมูลสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้อย่างแท้จริง ทั้งนี้ ผลการวิจัยสอดคล้องกับงานวิจัยของจรรยา ชื่นอารมย์ [2] และงานวิจัยของบังอร ละเอียดอง และคณะ [11] ที่ระบุว่า การนำฐานข้อมูลคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยจัดเก็บข้อมูลสารเคมี ช่วยลดเวลาและขั้นตอนการทำงาน สะดวกในการค้นหาสารเคมี ได้ข้อมูลสารเคมีที่ถูกต้อง แม่นยำ เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน อีกทั้งยังสอดคล้องกับแนวทางของ วริญดา ประทุมวัลย์ [12] ที่ได้กล่าวว่า การนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์มาช่วยจัดเก็บข้อมูลสารเคมีทำให้ข้อมูลเป็นระเบียบและสะดวกยิ่งขึ้นในการทำงาน และงานวิจัยของธันยรัศมี สุริจันทร์ และคณะ [13] ได้กล่าวว่าการใช้ฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล สามารถบริหารจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการทำงานด้วยเอกสาร และเพิ่มความแม่นยำในการดำเนินงาน

จุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ การจัดการข้อมูลสารเคมีที่สะดวกในรูปแบบออนไลน์อย่างครบวงจร สามารถติดตามปริมาณสารเคมีและวันหมดอายุแบบอัตโนมัติ มีฟังก์ชันการแจ้งเตือนเมื่อสารเคมีมีปริมาณต่ำหรือใกล้หมดอายุ มีรายงานสรุปข้อมูลการเบิกจ่าย เพื่อสนับสนุนการวางแผนจัดการสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย ลดข้อผิดพลาดจากการใช้กระดาษ สู่ระบบดิจิทัล รองรับการแสดงผลภาษาไทยอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลและดำเนินการต่าง ๆ ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องมากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานการศึกษาหรือองค์กรอื่นที่มีความต้องการบริหารจัดการสารเคมีในบริบทที่ใกล้เคียงกันได้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านการประยุกต์ใช้ระบบกับการจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เนื่องจากเฟรมเวิร์กคชสารเหมาะสมกับการพัฒนาระบบขนาดเล็กถึงขนาดกลาง หากต้องรองรับผู้ใช้งานจำนวนมากในเวลาเดียวกัน หรือขยายระบบให้สามารถทำงานในระดับองค์กรขนาดใหญ่ (หลักพันคนขึ้นไป) อาจพิจารณาใช้สถาปัตยกรรมที่มีความยืดหยุ่นและรองรับการปรับขยายของจำนวนผู้ใช้ได้ในอนาคต

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายในการพัฒนาระบบบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เคมี ชีววิทยา ฟิสิกส์ และสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน ที่เน้นความรวดเร็ว ถูกต้อง ปลอดภัย และรองรับการใช้งานภาษาไทยได้อย่างเต็มรูปแบบ โดยอาศัยเฟรมเวิร์ก คชสาร ฟือเอชพี เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาระบบ โดยมีจุดเด่นคือ ความสามารถในการจัดการสารเคมีตั้งแต่กระบวนการรับเข้า จัดเก็บ เบิกจ่าย และตรวจสอบปริมาณคงเหลือ รวมถึงการสร้างรายงานสรุปข้อมูลต่าง ๆ และมีการบูรณาการขั้นตอนการอนุมัติการเบิกจ่าย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการควบคุมการใช้สารเคมี และมีการแจ้งเตือนวันหมดอายุของสารเคมี นอกจากนี้ยังออกแบบให้รองรับการใช้งานทั้งบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์พกพา เพื่อเพิ่มความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 40 คน พบว่าความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับ ดีมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.63 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนการประเมินด้านฟังก์ชันการใช้งานสูงสุด คือ 4.70 สะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อความสามารถของระบบที่ทำงานได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน กล่าวคือ ช่วยสนับสนุนกระบวนการทำงานต่าง ๆ ในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีนัยสำคัญ และสอดคล้องกับความต้องการในการปฏิบัติงานจริง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสารเคมีในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สร้างความสะดวกในการเบิกจ่ายสารเคมีของห้องปฏิบัติการเพิ่มขึ้น อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีการจัดการสารเคมีได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปวีณา เครือนิล และ ปัทมา นพรัตน์. (2564). แนวทางการจัดการด้านความปลอดภัยของห้องปฏิบัติการและสารเคมี. *วารสารผลงานวิชาการ กรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 10(10), 16-29.
- [2] จรรยา ชื่นอารมณ. (2565). การพัฒนาสารบบสารเคมีในห้องปฏิบัติการทันตวัสดุ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. *Mahidol R2R e-Journal*, 9(1), 29-42.

- [3] วริญดา ประทุมวัลย์. (2566). การพัฒนาระบบการจัดการสารเคมีของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วารสารวิชาการ ปชมท, 12(1), 185–195.
- [4] คชสาร. (2560). ความหมายของ MMVC และโมดูลของคชสาร. สืบค้นเมื่อ 21 มีนาคม 2568, จาก https://www.kotchasan.com/docs/ความหมายของ_mmvc_และโมดูลของคชสาร.html
- [5] คชสาร. (2560). เอกสารประกอบการใช้งาน Kotchasan PHP Framework. สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2568, จาก <https://www.kotchasan.com/docs/1.html>
- [6] Kotchasan. (2017). Kotchasan Framework. สืบค้นเมื่อ 22 มีนาคม 2568, จาก <https://docs.kotchasan.com/>
- [7] Vaswani, V. (2009). *MySQL Database Usage & Administration*. McGraw-Hill.
- [8] นวพล แก้วสุวรรณ, ัญญลักษณ์ ใจเที่ยง และสิริกร บำรุงกิจ. (2563). การจัดการความรู้เพื่อก้าวสู่องค์กรดิจิทัลในยุคเทคโนโลยีพลิกผัน. วารสารมหาวิทยาลัยศิลปกร, 40(4), 120–135.
- [9] Langer, A. M. (2016). *Guide to Software Development: Designing and Managing the Life Cycle* (2nd ed.). Springer.
- [10] Booch, G., Maksimchuk, R. A., Engle, M. W., Young, B. J., Conallen, J., & Houston, K. A. (2007). *Object-oriented analysis and design with applications* (3rd ed.). Addison-Wesley Professional.
- [11] บังอร ละเอียดอง และ ันยร์ศม์ ุรุจิจันทร์. (2567). การพัฒนาระบบเบิกจ่ายสารเคมี สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา, 7(21), 68–79.
- [12] วริญดา ประทุมวัลย์. (2566). การพัฒนาระบบการจัดการสารเคมีของห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. วารสารวิชาการ ปชมท, 12(1), 185–195.
- [13] ันยร์ศม์ ุรุจิจันทร์ และ บังอร ละเอียดอง. (2567). การพัฒนาระบบเบิกจ่ายวัสดุสำหรับงานวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วารสารเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มทร.พระนคร, 9(2), 85–100.

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองในกระบวนการผลิตคราฟต์โซดามะเฟือง Study on the Optimal Proportion in the Production Process of Starfruit Craft Soda

วชิระ สิงห์คง^{1*}, กฤษดา กาวิวงศ์², นิธิภัทร์ หวังปัด², พรสวรรค์ ฤดีทัย², บุญยกฤต รัตนพันธุ์¹, พงศกร แสงหงษ์³

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

³ศูนย์ส่งเสริมและตรวจสอบการผลิตตามมาตรฐานความปลอดภัยทางอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Wachira Singkong^{1*}, Kritsda Kaweewong², Nitipat Wingpat², Phonsawan Ruedeethai²,

Boonyakrit Rattanapun¹, Phongsakorn Saenghong³

¹Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

²Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna

Phitsanulok

³Food Safety and Inspection Service Center, Kamphaeng Phet Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตคราฟต์โซดาจากมะเฟืองและวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์คราฟต์โซดาจากมะเฟือง ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพทางเคมีของคราฟต์โซดาผลไม้ในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ และทำการทดสอบชิมเพื่อหาความชอบ พบว่าคราฟต์โซดาในท้องตลาดตัวอย่าง B มีความชอบรวมสูงที่สุด โดยมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุด 1.54 % และปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงสุด 8.70 °Brix และการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองในกระบวนการผลิต และตรวจสอบคุณลักษณะของคราฟต์โซดา มะเฟือง พบว่าคราฟต์โซดาที่ใช้ส่วนผสมในสัดส่วนต่อน้ำตาลมากที่สุด คือ 125 : 175 กรัม ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงที่สุด 7.13 โดยมีปริมาณกรดทั้งหมดน้อยที่สุด 0.8 % แต่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงที่สุด 15.4 °Brix เมื่อเปรียบเทียบกับคราฟต์โซดาตัวอย่าง B มีความใกล้เคียงกันในค่า pH และ ค่าสี L*, a*, b* คราฟต์โซดาทุกตัวอย่างผ่านตามาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 2/2546)

คำสำคัญ : คราฟต์โซดา, ซอร์ฟัดรี้ง, อาหารหมัก, แบคทีเรียแลคติก, เครื่องดื่มสุขภาพ

*Corresponding author : champingsing@hotmail.com

Received : 23/03/2025 Revised : 03/06/2025 Accepted : 25/06/2025

Abstract

This research aims to study the production process of craft soda from starfruit and analyze its quality. The analysis of the physical and chemical characteristics of three commercial fruit craft soda brands, along with a sensory evaluation for consumer preference, revealed that sample B had the highest overall preference. Sample B also had the highest total acidity at 1.54% and the highest total soluble solids at 8.70 °Brix. The study on the optimal ratio of starfruit in the production process and the evaluation of the characteristics of the starfruit craft soda found that the formulation with the highest starfruit-to-sugar ratio (125:175 grams) received the highest overall preference score of 7.13. This formulation had the lowest total acidity at 0.8% but the highest total soluble solids at 15.4 °Brix. When compared to sample B, the craft soda shows similar values in pH and color parameters L*, a*, and b*. All craft soda samples meet the community product standard (TIS 2/2546).

Keywords : Craft soda, Soft drink, Fermented foods, Lactic acid bacteria, Health drinks

ที่มาและความสำคัญ

คราฟต์โซดา (Craft Soda) เป็นเครื่องดื่มชอฟต์ดริงประเภทหนึ่งผลิตด้วยกระบวนการทำมือ โดยมีจุดเด่นที่ความพิถีพิถันในการเลือกสรรวัตถุดิบและการปรุงแต่งรสชาติอย่างสร้างสรรค์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว และรสชาติที่แตกต่างจากน้ำอัดลมทั่วไป ปัจจุบันตลาดคราฟต์โซดาทั่วโลกมีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยในปี 2567 มีมูลค่าตลาดถึง 742.8 ล้านดอลลาร์สหรัฐ [1, 2] เนื่องจากผู้บริโภคกลุ่มวัยทำงานช่วงอายุ 25 ถึง 60 ปี เริ่มมองหาเครื่องดื่มที่ดีต่อสุขภาพมากขึ้นและต้องการลดการบริโภคเครื่องดื่มที่มีน้ำตาลสูงและสารเคมีปรุงแต่ง คราฟต์โซดาจึงกลายเป็นทางเลือกใหม่ที่ตอบโจทย์กลุ่มผู้บริโภควัยทำงานที่ใส่ใจสุขภาพ เนื่องจากอุดมด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidants) ซึ่งมีบทบาทในการชะลอความเสื่อมของเซลล์และเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน บางสูตรของคราฟต์โซดาผลิตโดยผ่านกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ เช่น ยีสต์หรือแบคทีเรียกรดแลคติก ทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่ช่วยในการปรับสมดุลระบบทางเดินอาหาร [3]

จากการศึกษาโดยพบว่า การใช้เปลือกกาแฟในการผลิตคราฟต์โซดามีแนวโน้มที่น่าสนใจ โดยนำเปลือกกาแฟผ่านการตากแห้งมาทำการต้มและหมักร่วมกับน้ำผึ้งและยีสต์จนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติที่น่าสนใจและได้รับความนิยมจากผู้บริโภค [4, 5] นอกจากนี้ Haruki [6] ยังได้ทดลองผลิตคราฟต์โซดาสีดำรสเบอร์รี่ด้วยการใช้ราสเบอร์รี่ น้ำตาล และกรดแลคติกจากจึงเจอร์บัต พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์และได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภคเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าการใช้วัตถุดิบธรรมชาติที่มีคุณค่าและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และสร้างความน่าสนใจในตลาดได้

ในส่วนของวัตถุดิบ "มะเฟือง" (*Averrhoa carambola* Linn) ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีรูปร่างลักษณะเฉพาะ และมีชื่อสามัญว่า Star fruit อยู่ในวงศ์ Averrhoaceae โดยมีแหล่งเพาะปลูกเป็นสวนมะเฟืองที่ใหญ่ระดับประเทศแห่งหนึ่งอยู่ที่อำเภอเนินมะปราง จังหวัดพิษณุโลก โดยมีจำนวนมากถึง 2,800 ต้น มะเฟืองมีสารอาหาร

ที่หลากหลาย เช่น วิตามินซี วิตามินเอ โพแทสเซียม แมกนีเซียม และไฟเบอร์ ซึ่งมีส่วนช่วยในการส่งเสริมสุขภาพ เช่น การเสริมสร้างกระดูกและฟันให้แข็งแรง ควบคุมการเต้นของหัวใจและกล้ามเนื้อ ช่วยในการแข็งตัวของเลือด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรังต่าง ๆ นอกจากนี้ มะเฟืองยังมีสารที่ช่วยในการขับสารพิษออกจากร่างกายและช่วยในการบำรุงระบบทางเดินอาหาร [7] ปัจจุบัน มีการนำมะเฟืองไปแปรรูปในหลากหลายรูปแบบ เช่น มะเฟืองแช่อิ่ม มะเฟืองตากแห้ง แยมมะเฟือง และน้ำมะเฟือง เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีรายงานการศึกษากระบวนการผลิตคราฟต์โซดาจากมะเฟืองอย่างเป็นระบบ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญในการศึกษากระบวนการผลิตคราฟต์โซดาจากมะเฟือง เพื่อสร้างความหลากหลายในการเลือกใช้วัตถุดิบสำหรับผลิตคราฟต์โซดา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตมะเฟืองในอนาคต อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการบริโภคเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมจากธรรมชาติ ลดการพึ่งพาเครื่องดื่มที่มีสารปรุงแต่งและน้ำตาลสูง และเป็นทางเลือกใหม่ให้กับผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อคัดเลือกผลิตภัณฑ์ต้นแบบคราฟต์โซดาผลไม้จำหน่ายในท้องตลาด
2. เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คราฟต์โซดามะเฟืองโดยศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองและการตรวจสอบ

คุณภาพ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และทางเคมีของคราฟต์โซดาผลไม้ในท้องตลาด และทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อหาความชอบ

1.1 วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะและวัดค่าสีของคราฟต์โซดาในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ เพื่อใช้เปรียบเทียบคุณลักษณะของคราฟต์โซดา คุณลักษณะที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ การวัดค่า Total Titratable Acidity โดยเทียบกับกรดแลคติก [8] การตรวจสอบค่า pH โดยเครื่อง pH meter การวัดค่า Total soluble solid โดยใช้เครื่อง Hand refractometer การวัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Hunter lab (L*, a*, b*) การวัดความดัน โดยเครื่องวัดความดันภายในขวด

1.2 ทดสอบชิมเพื่อหาความชอบโดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-Point hedonic scale คุณลักษณะที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสได้แก่ สี กลิ่นหอม รสหวาน รสเปรี้ยว ความซ่า และความชอบรวม วางแผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 30 คน วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย เพื่อคัดเลือกสูตรที่นิยมของคราฟต์โซดาผลไม้ในท้องตลาด

ตอนที่ 2 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองในกระบวนการผลิตและตรวจสอบคุณลักษณะของคราฟต์โซดามะเฟือง

2.1 การศึกษากระบวนการผลิตคราฟต์โซดามะเฟืองโดยใช้สูตรพื้นฐานจาก Haruki [6] ผลมะเฟืองเปรี้ยวสายพันธุ์พื้นเมือง อำเภอนีนมะปราง จังหวัดพิษณุโลก ความสูงในสัปดาห์ที่ 11 หลังติดผล ล้างทำความสะอาดมะเฟือง และปอกแยกเม็ดออก นำมะเฟืองไปคั้นด้วยเครื่องแยกกาก ซึ่งน้ำมะเฟืองพร้อมกากมะเฟืองตามสูตรคือ สูตรพื้นฐาน: 200 กรัม, สูตรที่ 1: 175 กรัม, สูตรที่ 2: 150 กรัม และสูตรที่ 3: 125 กรัม ซึ่งน้ำตาลทรายขาวตามสูตรคือ สูตรพื้นฐาน: 100 กรัม, สูตรที่ 1: 125 กรัม, สูตรที่ 2: 150 กรัม และสูตรที่ 3: 175 กรัม เติมน้ำสะอาดปริมาณ 1,000 กรัม เท่ากันทุกสูตร นำน้ำมะเฟืองพร้อมกากมะเฟือง น้ำตาลทรายขาว และน้ำสะอาดใส่หม้อหลังจากนั้นต้มให้เดือดที่อุณหภูมิ 99.5 – 100 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที และพักทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยผ้าขาวบางและบรรจุใส่ขวดพลาสติกชนิด PET 300 มิลลิลิตร และเติมหัวเชื้อจิงเจอร์บัค (จิงหันแว่นหนา 3 มิลลิเมตร 60 กรัม น้ำตาลทรายขาว 20 กรัม น้ำสะอาด 300 มิลลิลิตร หมักที่อุณหภูมิห้อง 25 – 35 องศาเซลเซียส 6 วัน) 6 มิลลิลิตร หมักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยไม่ถูกแสงแดดเป็นเวลา 4 วัน หลังหมักครบเป็นเวลา 4 วัน นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส 1 วันเพื่อหยุดการหมักคราฟต์โซดาจากมะเฟือง เกณฑ์การคัดตัวอย่างที่เหมาะสมในการศึกษาคือ คะแนนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส และความใกล้เคียงกับคราฟต์โซดาผลไม้ในท้องตลาดที่ได้ความยอมรับสูงสุด

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะของคราฟต์โซดามะเฟืองและการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

2.2.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของคราฟต์โซดามะเฟือง เพื่อบ่งบอกคุณลักษณะของคราฟต์โซดามะเฟืองที่ผลิตได้ ได้แก่ วิเคราะห์หาค่า Total Titratable Acidity โดยเทียบกับกรดแลคติก [8] วิเคราะห์หาค่า pH โดยเครื่อง pH meter วิเคราะห์หาค่า Total soluble solid โดยเครื่อง Hand refractometer วิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด แบคทีเรียกรดแลคติก โดยตรวจสอบ ทุก 2 วันเป็นเวลา 4 วัน วิเคราะห์จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยตรวจสอบทุก 2 วันเป็นเวลา 4 วัน [9] การวัดค่าสี โดยใช้เครื่อง Hunter lab (L^* , a^* , b^*) การวัดความดัน โดยเครื่องวัดความดันภายในขวด

2.2.2 การทดสอบชิมโดยใช้วิธีการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale คุณลักษณะที่ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส ได้แก่ สีเหลือง กลิ่นมะเฟือง รสหวาน รสเปรี้ยว ความซ่า และความชอบรวม วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) ใช้ผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 30 คน วิเคราะห์ความแปรปรวน ทางสถิติโดยใช้วิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสมของคราฟต์โซดามะเฟือง

2.2.3 คัดเลือกสูตรที่มีสัดส่วนของมะเฟืองที่เหมาะสมในการผลิตคราฟต์โซดามะเฟือง โดยพิจารณาจากเกณฑ์ความชอบโดยรวมเป็นหลักและเปรียบเทียบ คุณลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลินทรีย์กับคราฟต์โซดาในท้องตลาดที่ทำการศึกษาไว้ในตอนที่ 1

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของคราฟต์โซดาในท้องตลาด และทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาความชอบ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ และเคมีของคราฟต์โซดาในท้องตลาด 3 ยี่ห้อ มีดังนี้

ตารางที่ 1 : ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมี

คุณลักษณะทางกายภาพ/ ทางเคมี	คราฟต์โซดาตัวอย่าง		
	A	B	C
Total Titratable Acidity (%)	0.65±0.01 ^b	1.54±0.01 ^a	0.17±0.01 ^c
pH	2.86±0.01 ^c	3.42±0.01 ^b	3.74±0.01 ^a
Total soluble solid (°Brix)	8.50±0.12 ^b	8.70±0.12 ^a	1.00±0.00 ^c
ความดันภายในขวด (psi)	1.00±0.00 ^c	39.00±0.58 ^a	12.00±1.15 ^b
ค่าสี L*	24.61±4.41 ^b	22.40±1.51 ^b	28.97±1.78 ^a
ค่าสี a*	1.73±0.51 ^a	-0.78±0.25 ^b	-0.38±0.04 ^b
ค่าสี b*	20.97±1.95 ^a	-2.96±0.65 ^b	-0.75±0.06 ^b

หมายเหตุ : ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ

a b c ตัวอักษรที่แตกต่างที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และทางเคมี พบว่าคราฟต์ โซดาตัวอย่างมีค่า Total Titratable Acidity เท่ากับ 0.65 , 1.54 และ 0.17 % ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง B มีค่าสูงสุด ต่างจากตัวอย่าง A และ C ที่มีค่าน้อยสุด ค่า pH มีค่าเท่ากับ 2.86 , 3.42 และ 3.74 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง A มีค่าน้อยสุด ต่างจากตัวอย่าง B และตัวอย่าง C แสดงถึงความเป็นกรดที่รุนแรงกว่าซึ่งสอดคล้องกับหลักการทางเคมีของกรดอินทรีย์ในเครื่องดื่มที่สามารถมีผลต่อรสชาติและความเสถียรของผลิตภัณฑ์ได้ [10] และ Total soluble solid มีค่าเท่ากับ 8.50 , 8.70 และ 1.00 °Brix ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง B มีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ตัวอย่าง A ส่วนตัวอย่าง C มีค่าน้อยที่สุด และพบว่าคราฟต์โซดาทั้ง 3 ตัวอย่างไม่มีแอลกอฮอล์ [10, 11] ความดันภายในขวดมีค่าเท่ากับ 1 , 39 และ 12 psi ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง B มีค่าสูงสุด รองลงมาจะเป็นตัวอย่าง C และค่าความดันต่ำสุดเป็นตัวอย่าง A โดยค่าที่สูงของตัวอย่าง B อาจเกิดจากการใช้วัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำตาลธรรมชาติสูงหรือการเติมสารให้ความหวานมากกว่า ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความรู้สึกหวานของผู้บริโภค และมีผลต่อการพัฒนาเนื้อสัมผัสของ

ฟองอากาศในเครื่องต้มซึ่งเกี่ยวข้องกับความดันภายในขวด [11] การวัดค่าสี L^* มีค่าเท่ากับ 24.61 , 22.40 และ 28.97 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) พบว่าตัวอย่าง A , B และ C มีค่าความสว่าง เป็นบวก ซึ่งอยู่ในโทนสีขาว ค่าสี a^* มีค่าเท่ากับ 1.73 , -0.78 และ -0.38 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสี a^* ที่ติดลบจะมีสีเขียวในส่วนของคุณค่าที่ไม่ติดลบจะมีสีแดง และค่าสี b^* มีค่าเท่ากับ 20.97 , -2.96 และ -0.75 ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสี b^* ที่ติดลบจะมีสีน้ำเงินซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้ผลไม้หรือสมุนไพรบางชนิดที่มีแอนโทไซยานินเป็นองค์ประกอบ ส่วนในค่าที่เป็นบวกจะมีสีเหลืองซึ่งอาจเกิดจากการใช้ผลไม้ที่มีสารสีธรรมชาติ กลุ่มแคโรทีนอยด์หรือฟลาโวนอยด์ [12]

ตารางที่ 2 : ผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมกราฟต์โซดาผลไม้ในท้องตลาด

คุณลักษณะ	กราฟต์โซดาตัวอย่าง		
	A	B	C
สี	5.50±1.91 ^b	6.33±1.71 ^a	6.43±1.43 ^a
กลิ่นหอม	5.43±1.91 ^b	6.90±1.45 ^a	5.87±2.26 ^b
รสหวาน ^{ns}	5.93±1.98	6.30±1.66	5.27±2.16
รสเปรี้ยว	6.00±1.76 ^b	6.97±1.59 ^a	4.93±2.23 ^c
ความซ่า	5.33±2.04 ^b	6.97±1.96 ^a	6.23±1.98 ^{ab}
ความชอบรวม	6.40±1.69 ^{ab}	7.20±1.27 ^a	5.87±2.22 ^b

หมายเหตุ : $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

a b c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสของกราฟต์โซดาตัวอย่างตามท้องตลาด คะแนนความชอบสีเท่ากับ 5.50 , 6.33 และ 6.43 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง B และ C มีคะแนนความชอบรวมที่ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากตัวอย่าง A ที่มีคะแนนชอบเล็กน้อย ซึ่งอาจสะท้อนถึงโทนสีสดใส หรือมีความเป็นธรรมชาติที่สอดคล้องกับความคาดหวังของผู้บริโภคในกลุ่มสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตลาดกราฟต์โซดาที่ผู้บริโภคมักให้ความสำคัญกับลักษณะทางสายตาเป็นอันดับต้น [13] ในส่วนของคะแนนความชอบกลิ่นหอม เท่ากับ 5.43 , 6.90 และ 5.87 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง A และ C มีคะแนนความชอบกลิ่นที่ไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากตัวอย่าง B ที่มีคะแนนความชอบมาก และมีแนวโน้มสอดคล้องกับคะแนนความชอบรวม จึงอาจเป็นผลจากความกลมกลืนขององค์ประกอบทางกลิ่นกับรสสัมผัสอื่นๆ และคะแนนความชอบรสหวานเท่ากับ 5.93 , 6.30 และ 5.27 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยตัวอย่าง A B และ C มีคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง [13]

คะแนนความชอบรสเปรี้ยวเท่ากับ 6.00 , 6.97 และ 4.93 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง A B และ C มีคะแนนความชอบรสเปรี้ยวที่ที่แตกต่างกัน สำหรับคะแนนความชอบความซ่าเท่ากับ 5.33 , 6.97 และ 6.23 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง A B และ C มีคะแนนความซ่าที่แตกต่างกัน และตัวอย่าง C มีคะแนนความซ่าใกล้เคียงกับตัวอย่าง A และ B รสเปรี้ยวและความซ่ากลับเป็นปัจจัยที่สร้างความแตกต่างอย่างเด่นชัด โดยตัวอย่าง B ได้คะแนนสูงสุดในทั้งสองด้าน สะท้อนถึงการผสมผสานระหว่างกรดธรรมชาติและคาร์บอนเนชั่นที่เหมาะสม ซึ่งมีผลต่อความสดชื่นและความซาบซ่าในขณะดื่ม ตรงตามแนวโน้มของตลาดที่ผู้บริโภคให้ความสำคัญกับเครื่องดื่มที่มีความเปรี้ยวและซ่าในระดับพอดี [13] และคะแนนความชอบรวมเท่ากับ 6.40 , 7.20 และ 5.87 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยตัวอย่าง A B และ C มีคะแนนความชอบรวมที่ต่างกัน และตัวอย่าง A มีคะแนนความชอบรวมใกล้เคียงกับตัวอย่าง B และ C ซึ่งผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมพบว่าตัวอย่าง B มีแนวโน้มการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมมากที่สุด จึงนำผลคะแนนความชอบที่ได้นำไปเป็นเปรียบเทียบกับคราฟต์โซดามะเฟืองในตอนที่ 2

ตอนที่ 2 การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของมะเฟืองในกระบวนการผลิตคราฟต์โซดามะเฟืองและตรวจสอบคุณภาพมาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตร

ตารางที่ 3 : ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมี

คุณลักษณะทางกายภาพ/ ทางเคมี	คราฟต์โซดาจากมะเฟือง			
	สูตรพื้นฐาน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
Total Titratable Acidity (%)	1.10±0.01 ^a	1.00±0.02 ^b	0.90±0.01 ^c	0.80±0.02 ^c
pH	2.55±0.24 ^c	2.58±0.21 ^{bc}	2.64±0.23 ^b	2.80±0.17 ^a
Total soluble solid (°Brix)	10.60±0.23 ^d	11.80±0.00 ^b	15.00±0.00 ^c	15.40±0.23 ^a
ความดันภายในขวด (psi)	0	0	0	0
ค่าสี L*	15.40±0.23 ^a	22.82±0.28 ^b	23.66±0.03 ^b	19.16±0.01 ^b
ค่าสี a* ^{ns}	-2.28±0.24	-2.43±0.17	-2.49±0.17	-2.29±0.09
ค่าสี b*	0.68±1.20 ^a	-0.59±0.14 ^{ab}	-0.50±0.14 ^b	-1.22±0.15 ^b

หมายเหตุ: ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

a b c ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ โดยทำการวิเคราะห์คุณลักษณะของคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตร โดยสูตรพื้นฐาน สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีค่า Total Titratable Acidity เท่ากับ 1.10 , 1.00 , 0.90 และ 0.80 % ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดย

สูตรพื้นฐานมีค่าสูงสุด 1.10 % และสูตรที่ 3 มีค่าต่ำสุด 0.80 % และค่า pH เท่ากับ 2.55 , 2.58 , 2.64 และ 2.80 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 มีค่าสูงสุด 2.80 และสูตรพื้นฐานมีค่าต่ำสุด 2.55 สะท้อนถึงความสมดุลของกรดอินทรีย์ในระบบที่ส่งผลต่อรสเปรี้ยวและเสถียรภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ โดยระดับความเป็นกรดดังกล่าวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการผลิตเครื่องดื่มหมักจากพืชที่เน้นความปลอดภัยของผู้บริโภค [14] ในส่วนของค่า Total soluble solid เท่ากับ 10.60 , 11.80 , 15.00 และ 15.40 °Brix ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 มีค่าสูงสุด 15.40 °Brix และสูตรพื้นฐานมีค่าต่ำสุด 10.60 °Brix สำหรับความดันภายในขวดของคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตรมีค่าเท่ากับ 0 psi เนื่องจากเครื่องวัดความดันภายในขวดไม่สามารถวัดความดันได้ เพราะมีความดันน้อยกว่าคราฟต์โซดาตัวอย่าง แต่จากการสังเกตลักษณะภายนอกที่สังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าคราฟต์โซดาจากมะเฟืองมีความดันภายในขวดมีปริมาณความดันในปริมาณที่น้อย จึงทำให้เครื่องวัดความดันไม่สามารถวัดปริมาณความดันที่เกิดขึ้นได้ โดยอาจเป็นผลมาจากการหมักที่ไม่สมบูรณ์ หรือสภาวะการหมักที่ไม่เหมาะสม (เช่น อุณหภูมิไม่เพียงพอ หรือยีสต์ไม่มีความสามารถในการสร้างก๊าซ) แม้จะมีการสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่ามีความดันเล็กน้อย การขาดความดันนี้จึงอาจกระทบต่อความรู้สึกซ่าที่คาดหวังในเครื่องดื่มประเภทคราฟต์โซดา และควรมีการปรับปรุงกระบวนการหมักในขั้นตอนต่อไปให้เกิดการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ได้อย่างเหมาะสม [14]

ค่าสี L^* เท่ากับ 15.40 , 22.82 , 23.66 และ 19.16 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยทั้ง 4 สูตรมีค่าความสว่างเป็นบวก จึงทำให้มีสีไปในโทนสีขาว ส่วนค่าสี a^* เท่ากับ -2.28 , -2.43 , -2.49 และ -2.29 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยค่าสี a^* เมื่อติดลบจะมีสีเขียว และค่าสี b^* เท่ากับ 0.68 , -0.59 , -0.50 และ -1.22 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยค่าสี b^* ในค่าที่ติดลบจะมีสีไปในโทนสีน้ำเงิน ส่วนค่าที่เป็นบวกจะมีสีในโทนสีเหลือง ในการวิเคราะห์ค่าสีผลการวิเคราะห์ที่ได้จะแตกต่างกัน ซึ่งต่างจากสี ที่เห็นด้วยตาเปล่าที่เห็นคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตรมีสีที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากคราฟต์โซดาจากมะเฟืองที่ได้นั้นมีสีเหลืองและสีที่เห็นด้วยตาเปล่ากลับใกล้เคียงกันทั้งหมดในโทนสีเหลือง ซึ่งอาจเกิดจากความเข้มข้นของสารสีในมะเฟือง หรือการสะท้อนแสงของตัวอย่างในสภาพแวดล้อมจริงไม่สัมพันธ์กับการวัดด้วยเครื่องมือ ทำให้ผลวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของสีเชิงตัวเลขไม่สอดคล้องกับการรับรู้ทางสายตา [13]



ภาพที่ 1: คราฟต์โซดาจากมะเฟือง

ตารางที่ 4 : ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์

ชนิดจุลินทรีย์	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในคราฟต์โซดามะเฟือง (log CFU/ml)			
	สูตรพื้นฐาน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
จุลินทรีย์ทั้งหมด	6.14	5.16	4.67	4.54
แบคทีเรียกรดแลคติก (LAB)	6.21	5.30	3.81	4.32

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของคราฟต์โซดาจากมะเฟือง พบว่าคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตร มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria; LAB) ลดลงตามปริมาณของน้ำมะเฟืองที่ลดลง โดยมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 6.14 , 5.16 , 4.67 และ 4.54 (log CFU / ml) ตามลำดับ และปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก สูตรพื้นฐานมีปริมาณสูงสุด 6.21 (log CFU / ml) และสูตรที่ 2 มีปริมาณต่ำสุด 3.81 (log CFU / ml) เนื่องจากในคราฟต์โซดาจากมะเฟืองทั้ง 4 สูตร มีการใช้ปริมาณน้ำมะเฟืองและน้ำตาลในปริมาณที่ต่างกัน จึงทำให้ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกบนจานอาหารเกิดโคโลนีต่างกัน และความแตกต่างดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากคุณสมบัติของน้ำมะเฟืองซึ่งเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต วิตามิน และสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะ LAB ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ประจำในทางเดินอาหารของสัตว์ประเภทย่อยโปรไบโอติก [15, 16]

การที่ LAB มีจำนวนลดลงในสูตรที่มีน้ำมะเฟืองน้อย สะท้อนถึงข้อจำกัดของแหล่งอาหารในระบบการหมัก ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการหมักและการสร้างกรดอินทรีย์ต่างๆ เช่น กรดแลคติก ที่มีผลต่อรสชาติ ความปลอดภัย และคุณค่าทางสุขภาพของเครื่องดื่ม นอกจากนี้ ปริมาณน้ำตาลที่ต่างกันในแต่ละสูตรยังมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เช่นกัน โดยน้ำตาลในระดับที่เหมาะสมจะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ แต่หากมีน้อยเกินไปอาจจำกัดการสร้างพลังงานของจุลินทรีย์ และหากมีมากเกินไปอาจยับยั้งการเจริญเติบโตด้วยแรงออสโมติก [16]

ตารางที่ 5 : ผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมคราฟต์โซดามะเฟือง

คุณลักษณะ	คราฟต์โซดาจากมะเฟือง			
	สูตรพื้นฐาน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
สี ^{ns}	6.10±1.32	5.80±1.71	5.97±1.40	5.73±1.83
กลิ่นมะเฟือง	5.33±1.58 ^a	3.93±2.02 ^b	6.23±1.55 ^a	6.03±1.73 ^a
รสหวาน	5.40±1.65 ^b	5.53±1.46 ^b	6.47±1.63 ^a	6.63±1.45 ^a
รสเปรี้ยว ^{ns}	5.63±1.59	5.40±1.73	5.80±1.67	6.10±1.81
ความซ่า	5.43±1.50 ^a	4.30±1.8 ^b	5.73±1.6 ^a	6.33±1.97 ^a
ความชอบรวม	6.40±1.04 ^a	5.30±2.07 ^b	6.60±1.79 ^a	7.13±1.36 ^a

หมายเหตุ: ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองทั้ง 3 ซ้ำ

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P > 0.05)

a b c ตัวอักษรที่แตกต่างที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P ≤ 0.05)

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมกราฟต์โซดา จากมะเฟืองทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรพื้นฐาน สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 พบว่ากราฟต์โซดา จากมะเฟืองทั้ง 4 สูตรได้คะแนนจากผู้ทดสอบชิมดังนี้ คะแนนความชอบอยู่ที่ 6.10 , 5.80 , 5.97 และ 5.73 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) สีของกราฟต์โซดาจากมะเฟืองแต่ละสูตรนั้นไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนักจึงทำให้ได้คะแนนที่ ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์ทางกายภาพที่แสดงให้เห็นว่าสีของกราฟต์โซดาทั้ง 4 สูตรมีความคล้ายคลึงกันเมื่อมองด้วยตาเปล่า แม้ว่าค่าพิกัดสีจากเครื่องมือจะมีความแตกต่าง ซึ่งเป็นลักษณะทั่วไปที่พบในการรับรู้สีของผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ [17] ในส่วนคะแนนความชอบกลิ่นมะเฟืองอยู่ที่ 5.33 , 3.93 , 6.23 และ 6.30 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) จากคะแนนความชอบกลิ่นพบว่า ไม่แตกต่างกันมากนักแต่จะมีสูตรที่ 1 ที่ได้คะแนนต่างจากสูตรอื่นเนื่องจากมีคะแนนความชอบน้อย สะท้อนถึงความสามารถในการคงกลิ่นหอมเฉพาะตัวของมะเฟืองที่อาจลดลงในบางสูตรจากปัจจัยด้านความเข้มข้นของวัตถุดิบหรือกระบวนการหมัก ซึ่งกลิ่นมีบทบาทสำคัญต่อการรับรู้ความสดใหม่และความน่าดื่มของเครื่องดื่ม

คะแนนความชอบรสหวานอยู่ที่ 5.40 , 5.53 , 6.47 และ 6.33 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) คะแนนความชอบรสหวานพบว่าสูตรพื้นฐาน และสูตรที่ 1 ได้คะแนนที่ใกล้เคียงกัน และสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 ได้คะแนนความชอบรสหวานที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่า Total Soluble Solids ที่สูงในสูตรดังกล่าว แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำตาลกับการยอมรับในรสชาติ โดยที่น้ำตาลในระดับปานกลางสามารถเพิ่มความชอบได้โดยไม่ทำให้หวานเกินไป และคะแนนความชอบรสเปรี้ยวอยู่ที่ 5.63 , 5.40 , 5.80 และ 6.10 ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) เนื่องจากในแต่ละสูตรมีการปรับการใช้ปริมาณมะเฟืองที่ใช้ในปริมาณที่ต่างกัน แต่คะแนนความชอบรสเปรี้ยวไม่ได้ต่างกันมากนักในแต่ละสูตร ซึ่งอาจสะท้อนว่าระดับความเปรี้ยวที่ได้จากกรดอินทรีย์ตามธรรมชาติของมะเฟืองในแต่ละสูตรยังคงอยู่ในช่วงที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคโดยทั่วไป

คะแนนความชอบความซ่าอยู่ที่ 5.43 , 4.30 , 5.73 และ 6.33 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 ได้คะแนนสูงสุด ขณะที่สูตรที่ 1 ได้คะแนนต่ำที่สุด ปัจจัยนี้สัมพันธ์กับกระบวนการหมักหรือปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสูตร ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อความรู้สึกสดชื่นของกราฟต์โซดา สำหรับคะแนนความชอบรวมอยู่ที่ 6.40 , 5.30 , 6.60 และ 7.13 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยกราฟต์โซดามะเฟืองสูตรที่ 3 เป็นสูตรที่ถูกคัดเลือก เนื่องจากเป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดเช่นเดียวกับกราฟต์โซดาตามท้องตลาดตัวอย่าง B ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในการประเมินก่อนหน้า การที่สูตรที่ 3 ได้คะแนนรวมสูงสุดสะท้อนถึงความกลมกลืนของคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่น รสหวาน ความซ่า และสมดุลรสเปรี้ยว ซึ่งสามารถใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพในการยอมรับเชิงพาณิชย์ต่อไป [17]

ตารางที่ 6 : ผลการเปรียบเทียบคราฟต์โซดาจากห้องตลาดตัวอย่าง B และคราฟต์โซดามะเฟืองสูตรที่ 3 โดยคัดเลือกจากผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม

คุณลักษณะทางกายภาพ/ ทางเคมี	คราฟต์โซดา	
	คราฟต์โซดาจากห้องตลาด ตัวอย่าง B	คราฟต์โซดามะเฟืองสูตรที่ 3 ที่ผ่านการคัดเลือก
Total Titratable Acidity (%)	1.54	0.80
pH	3.24	2.80
Total soluble solid (°Brix)	8.70	15.40
ความดันภายในขวด (psi)	39	0
ค่าสี L*	22.40	19.16
ค่าสี a*	-0.78	-2.29
ค่าสี b*	-2.96	-1.22

จากตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบของคราฟต์โซดาตัวอย่างตอนที่ 1 และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองตอนที่ 2 โดยคัดเลือกจากผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิม โดยคัดเลือกจากคะแนนความชอบรวมของผู้ทดสอบชิมคราฟต์โซดาตัวอย่างในตอนที่ 1 และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองตอนที่ 2 พบว่าผลการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของคราฟต์โซดาตัวอย่าง B และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองสูตรที่ 3 มีค่า Total Titratable Acidity ของคราฟต์โซดาตัวอย่าง B มีค่าสูงกว่าคราฟต์โซดาจากมะเฟืองสูตรที่ 3 ซึ่งบ่งชี้ถึงความเปรี้ยวที่เด่นชัดกว่า อาจเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมความรู้สึกสดชื่นในเครื่องดื่ม และค่า pH ของคราฟต์โซดาตัวอย่าง B และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองสูตรที่ 3 ค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงถึงความสามารถในการควบคุมความเป็นกรดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์และความปลอดภัยจากจุลินทรีย์ และค่า Total soluble solid ของคราฟต์โซดาจากมะเฟืองในสูตรที่ 3 มีค่าความหวานสูงกว่าคราฟต์โซดาตัวอย่าง B เนื่องจากคราฟต์โซดาจากมะเฟืองในสูตรที่ 3 มีการใช้ปริมาณน้ำตาลในปริมาณที่เยอะจึงทำให้ได้ค่า Total soluble solid สูงกว่า โดยน้ำตาลนอกจากจะส่งผลต่อรสชาติ ยังเป็นแหล่งพลังงานสำคัญที่อาจส่งเสริมกระบวนการหมักได้ หากควบคุมอย่างเหมาะสม และในคราฟต์โซดาตัวอย่าง B และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองสูตรที่ 3 พบว่าไม่มีปริมาณแอลกอฮอล์ และค่าความดันภายในขวดของคราฟต์โซดาตัวอย่าง B มีค่าความดันภายในขวดสูงกว่า และค่าความดันภายในขวดของคราฟต์โซดาจากมะเฟืองในสูตรที่ 3 มีความดันเป็น 0 เนื่องจากการหมักจึงเจอร์บักของกรดแลคติกจากธรรมชาติ (Lactic Acid Fermentation) ที่ไม่สร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในระดับสูง หรือมีการควบคุมเวลาและอุณหภูมิไม่เพียงพอ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความซ่าต่ำกว่าที่คาดหวัง ทั้งนี้ยังควรพัฒนาเทคนิคการหมักให้สามารถเพิ่มแรงดันภายในขวดอย่างปลอดภัยเพื่อให้ได้ลักษณะเฉพาะของคราฟต์โซดาที่มีความสดชื่นและมีสัมผัสที่ดี และค่าสี L*, a*, b* ของคราฟต์โซดาตัวอย่าง B และคราฟต์โซดาจากมะเฟืองสูตรที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน และคุณสมบัติโดยรวมทางกายภาพและทางเคมีผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน [18, 19]

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์คราฟต์โซดาตัวอย่างจากท้องตลาด 3 ยี่ห้อ พบว่าคราฟต์โซดาตัวอย่าง B มีค่า Total Titratable Acidity 1.54 % สูงกว่า คราฟต์โซดาตัวอย่าง A และ C และค่า pH ใกล้เคียงกับค่า C 3.42 และ 3.74 และค่า Total soluble solid 8.70 °Brix แต่ไม่มีแอลกอฮอล์ทั้ง 3 ยี่ห้อ และคราฟต์โซดาตัวอย่าง B มีค่าความดันสูงสุดถึง 39 psi และในการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดอยู่ที่ 7.20

คราฟต์โซดาจากทั้ง 4 สูตร ได้แก่ สูตรพื้นฐาน สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีการใช้ปริมาณน้ำมะเฟือง และน้ำตาลที่แตกต่างกันในแต่ละสูตร จึงทำให้ผลการวิเคราะห์และผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมที่ได้รับคะแนนความชอบรวมสูงสุดได้แก่ สูตรที่ 3 จึงนำมาเปรียบเทียบกับคราฟต์โซดาตัวอย่าง B พบว่าการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้ต่ำลงใกล้เคียงกับคราฟต์โซดาจากท้องตลาดตัวอย่าง B รวมทั้งการเพิ่มปริมาณกรดทั้งหมด อาจทำให้คะแนนการยอมรับของผู้ทดสอบชิมคราฟต์โซดามะเฟืองสูงขึ้นได้

แนวทางการต่อยอดผลิตภัณฑ์คราฟต์โซดามะเฟืองเพื่อเข้าสู่กระบวนการขอมาตรฐานผลิตภัณฑ์สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบให้มีความสม่ำเสมอในด้านสูตร ส่วนผสม และกระบวนการผลิต เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแต่ละรอบการผลิต รวมถึงการประเมินคุณภาพทางกายภาพและเคมี เช่น ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และค่าสี (L^* , a^* , b^*) ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ควบคู่กับการศึกษาอายุการเก็บรักษาภายใต้สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เพื่อประเมินความคงตัวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้การวิเคราะห์ความปลอดภัยด้านจุลชีววิทยา เช่น การตรวจหาจุลินทรีย์ปนเปื้อน รวมถึงการวิเคราะห์สารปนเปื้อนที่อาจมีอยู่ในวัตถุดิบ เช่น สารตกค้างจากยาฆ่าแมลง หรือโลหะหนัก ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยสร้างความมั่นใจแก่ผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

- [1] Future Market Insights. (2025). Craft soda market outlook (2023 to 2033).
<https://www.futuremarketinsights.com/reports/craft-soda-market>
- [2] Domnick Thailand. (2025). Get to know craft soda. <https://www.domnickthailand.com/th/get-to-know-craft-soda/>
- [3] Lusk, J. L., & McCluskey, J. J. (2018). Understanding the implications of consumer preference for “natural” and “organic” products. *Agribusiness*, 34(1), 27–43.
<https://doi.org/10.1002/agr.21661>
- [4] Food Intelligence Center. (2023, September 1). Craft soda: A market trend to watch in the health-conscious era. https://fic.nfi.or.th/technologyandinnovation_detail.php?smid=1833

- [5] The Momentum. (2022, August 9). The Chair: The Craft Bangsakao – A soda made from farmers’ spirit. <https://themomentum.co/thechair-thecraft-bangsakao/>
- [6] Haruki, B. (2021, September 23). Raspberry Craft soda: The next generation of beverages | Hillary Baron | TEDxSeattleU [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=iCBwJS2Y1Qk>
- [7] Hanumant, P. (2018). Plant-based probiotic beverages: A healthy drink alternative. *Journal of Industrial Education*, 17(1), 1–10.
- [8] AOAC International. (2023). Official methods of analysis of AOAC International (22nd ed.) [Online version]. <https://www.aoac.org/>
- [9] U.S. Food and Drug Administration. (2025). Bacteriological analytical manual (BAM) online. Center for Food Safety and Applied Nutrition. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bacteriological-analytical-manual-bam>
- [10] Ashurst, P. R. (Ed.). (2016). *Chemistry and technology of soft drinks and fruit juices* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- [11] Ashurst, P. R., Hargitt, R., & Palmer, F. (2017). *Soft drink and fruit juice problems solved* (2nd ed.). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100918-5.00001-1>
- [12] Verma, S. (2018). Fruit based carbonated soft drinks for nutritional security and value chain development – A review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 3084–3095. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.354>
- [13] Abdullahi, I. D., Zakiyya, M. Y., Yepshak, N. B., Umar, D., Abbas, A. H., Ben-Musa, A. S., & Aisha, A. M. (2021). Physicochemical and sensory properties of fruit drink produced from African fan palm (*Borassus aethiopum*) in Kano metropolis. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 9, 290–296. <https://doi.org/10.26765/DRJAFS10855563>
- [14] Wanla, S., et al. (2023). A semi-automatic kraft soda beverage production machine. Northern Vocational Education Institute Region 2, Phrae Technical College. (Supported by the Office of the Permanent Secretary, Ministry of Higher Education, Science, Research and Innovation.)

- [15] Pan-uthai, W., Pornpakdeewatana, S., Adam, M., Romrattapan, R., & Yodbamrung, C. (2023). Kefir: A fermented beverage product for health. *Journal of Food Research and Product Development*, 53(2), 43–55. <https://kuojs.lib.ku.ac.th/index.php/JFRPD>
- [16] Joshita, L., G., Sangeeta, & Saxena, S. K. (2019). Study the lactic acid bacteria content in traditional fermented Indian drink: Kanji. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 19(16), 100–143.
- [17] Nanuch, T., Foithongsuk, K., & Niyomwong, N. (2021). Consumer acceptance of pineapple soda beverage. In *Proceedings of the 3rd National Conference on Science, Technology and Innovation: Creative Science and Technology for Communities* (pp. 128–136). Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University.
- [18] National Electronics and Computer Technology Center. (n.d.). Thai OTOP product standards: TCPS 2/46 Fruit Wine [PDF]. https://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/siamculture/otop-tis/tcps2_46.pdf
- [19] National Electronics and Computer Technology Center. (n.d.). Thai OTOP product standards: TCPS 481/47 fermented beverage from plants products [PDF]. https://www.nkw.ac.th/courseware/www.nectec.or.th/courseware/siamculture/otop-tis/tcps481_47.pdf

การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน
ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีเรื่องสารละลาย ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4
โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา จังหวัดกำแพงเพชร

The Effects of CIPPA Model Learning Management Combined with Computer-
Assisted Instruction Lessons on Academic Achievement in Chemistry: Solutions
for Mathayom 4 Students at Pangsilathongsuksa School, Kamphaeng Phet

ภุริชญา กรอยสรน้อย¹, อัจฉรา ใจดี^{1,*}, สุรีย์พร บุญชื่น², สิริวรรณ สมหวัง¹,
พรมณี เทศคง¹, ศิรประภา พลธนะ¹, ชญาดา กลิ่นจันทร์¹

¹โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
²โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา อำเภอปางศิลาทอง จังหวัดกำแพงเพชร

Phurichaya Kroisanoi¹, Atchara Jaidee^{1,*}, Sureeporn Boonchuen², Siriwan Somwang¹,
Pornmanee Thedkong¹, Siraprapa Pholthana¹, Chayada Klinchan¹

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

² Pangsilathongsuksa School, Pang Sila Thong, Kamphaeng Phet

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา (CIPPA model) ร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีเรื่องสารละลาย ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา จำนวน 2 ห้องเรียน โดยการสุ่มห้องเรียนด้วยวิธีการสุ่มแบบกลุ่มเป็นกลุ่มทดลอง จำนวน 38 คน และกลุ่มควบคุมจำนวน 39 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) บทเรียน CAI เรื่องสารละลาย 2) แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องสารละลายแบบ CIPPA model ร่วมกับบทเรียน CAI 3) แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องสารละลายแบบ CIPPA model 4) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเรื่องสารละลาย และ 5) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อบทเรียน CAI ใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ t-test แบบ independent และ แบบ dependent ผลการวิจัยพบว่า บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย มีค่าประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 80.26/80.53 โดยนักเรียนมีความพึงพอใจต่อบทเรียน CAI อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.34, SD = 0.69) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาเพียงวิธีเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

*Corresponding author : Atchara.kpru@gmail.com

Received : 29/01/2025 Revised : 22/05/2025 Accepted : 04/06/2025

คำสำคัญ : การจัดการเรียนรู้วิชาเคมีเรื่องสารละลาย, ซิปปาโมเดล, บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

Abstract

The purposes of this research were to study the effects of CIPPA model learning management along with Computer-Assisted Instruction (CAI) lessons on academic achievement in Chemistry: Solutions and to study satisfaction level of students after studying through the CAI lessons. The participants of this research were Mathayom 4 students who studied in the second semester of the academic year 2024 at Pangsilathongsuksa School. They were selected using cluster random sampling. These students were divided into two groups: 38 students were put in an experimental group, and 39 students were in a control group. The research instruments included CAI lessons, lesson plans using the CIPPA model learning management combined with CAI lessons, lesson plans using the CIPPA model learning, a Chemistry: Solutions achievement test, and a satisfaction questionnaire. The data were analyzed using mean, standard deviation, and independent and dependent t-tests. The research results showed that the computer-assisted instruction lessons in Chemistry: Solutions had an efficiency E1/E2 of 80.26/80.53. The level of satisfaction of the students with the CAI lessons was at a high level ($\bar{x}$ = 4.34, SD = 0.69). The academic achievement of students who received CIPPA model learning management combined with CAI lessons was significantly higher than that of students who received only CIPPA model learning management, at the 0.05 level of statistical significance.

Keywords : Learning management of Chemistry: Solutions, CIPPA Model, Computer-Assisted Instruction Lessons, Academic Achievement

ที่มาและความสำคัญ

การจัดการเรียนรู้หรือกระบวนการเรียนการสอนวิชาเคมี มีวัตถุประสงค์หลักของการถ่ายทอดและแลกเปลี่ยนความรู้ ทักษะกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ไปพร้อมๆ กัน การจัดแบ่งขั้นตอนของบทเรียนวิชาเคมีตามลำดับจากง่ายไปสู่บทเรียนที่มีความซับซ้อน โดยแต่ละบทเรียนต้องมีสื่อกลางที่จะก่อให้เกิดสถานการณ์ให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และตอบสนองผ่านประสาทสัมผัส สามารถดำเนินการสังเกต รวบรวมข้อมูลตามขั้นตอนกระบวนการแสวงหาความรู้ทางวิทยาศาสตร์ นำไปสู่การสรุปความรู้แต่ละบทเรียน และเข้าใจความสัมพันธ์ต่อเนื่องของบทเรียน [1] การจัดการเรียนการสอนวิชาเคมีของโรงเรียนปางศิลาทองศึกษา ในภาคเรียนที่ 2 นักเรียนมีระยะเวลาเรียนน้อยลง เนื่องจากมีกิจกรรมค่อนข้างมาก ส่งผลให้ขาดความต่อเนื่องในการจัดการเรียนการสอน มีการข้ามเนื้อหา หรือรวบเนื้อหา เพื่อให้ทันและเป็นไปตามแผนการสอนตามแผนการสอนวิชาเคมีเรื่อง สารละลาย ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถเชื่อมโยงเนื้อหา และมีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

แม้ว่าปัจจุบันสื่อหรือแพลตฟอร์มออนไลน์มีมากมายให้นักเรียนได้ศึกษา แต่การเรียนรู้ในแพลตฟอร์มออนไลน์อาจจะไม่ตรงตามเนื้อหาที่ครูได้วางแผนไว้ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเป็นหนึ่งทางเลือกที่สามารถใช้ร่วมกับการจัดการเรียนการสอนเพื่อช่วยสอนแทนครูได้ เนื่องจากมีการนำเสนอเนื้อหาด้วยภาพ และมีกิจกรรมที่ให้ผู้เรียนได้มีปฏิสัมพันธ์กับบทเรียนโดยสามารถใช้ทบทวนเนื้อหาที่ผ่านไปแล้ว หรือศึกษาเพิ่มเติมในกรณีที่นักเรียนเรียนไม่ทันหรือไม่เข้าใจ และช่วยให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนสูงขึ้น [2] นอกจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนแล้ว การจัดการเรียนรู้ก็เป็นปัจจัยหลักในการจัดการเรียนการสอน การสอนวิทยาศาสตร์ที่เหมาะสมให้ได้ผลดี ควรเริ่มจากการทบทวนความรู้เดิม และสอดแทรกความรู้ใหม่เข้าไป ซึ่งสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางแบบซิปปา โดยเป็นการจัดการเรียนรู้ที่ใช้ 5 แนวคิดหลักคือ 1) การสรรค์สร้างความรู้ 2) กระบวนการกลุ่มและการเรียนแบบร่วมมือ 3) ความพร้อมในการเรียนรู้ 4) การเรียนรู้กระบวนการ 5) การถ่ายโอนการเรียนรู้ จากผลการวิจัยของประคอง แจ่มใส (2554) พบว่ากระบวนการเหล่านี้ช่วยพัฒนาความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียน และพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของนักเรียนได้ [3] เมื่อพิจารณากระบวนการจัดการเรียนการสอนแบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน พบว่าสอดคล้องกับประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง นโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 – 2569 [4] ที่ให้ความสำคัญกับการพัฒนาทักษะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการคิดวิเคราะห์อย่างมีเหตุผล ตลอดจนพัฒนาระบบการศึกษาที่ยืดหยุ่นทั้งในระบบ นอกกระบบ ตามอัธยาศัย และการเรียนรู้ตลอดชีวิต โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาสนับสนุน เพื่อให้การเรียนรู้สามารถเรียนได้ทุกที่ ทุกเวลา (Anywhere Anytime)

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการแก้ไขปัญหาในการจัดการเรียนการสอน จึงสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา ในการจัดการเรียนการสอนให้เป็นไปตามแผนการสอนที่กำหนดไว้ และพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา ซึ่งงานวิจัยนี้ถือเป็นงานวิจัยแรกที่นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาใช้ร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาที่ดำเนินการในโรงเรียนปางศิลาทองศึกษา จังหวัดกำแพงเพชร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทนำเสนอเนื้อหาเรื่องสารละลาย ให้มีประสิทธิภาพ E1/E2 ตามเกณฑ์ 80/80
2. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การวิจัยครั้งนี้ ประชากรที่ใช้เป็นนักเรียนแผนการเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทอง ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 จำนวน 2 ห้องเรียน จำนวน 77 คน กลุ่มตัวอย่างแบ่งโดย

การสุ่มห้องเรียนด้วยวิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster random sampling) กลุ่มที่ 1 จำนวน 38 คน เป็นกลุ่มทดลอง และกลุ่มที่ 2 จำนวน 39 คนเป็นกลุ่มควบคุม

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย 1) บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 2) แผนการจัดการเรียนรู้แบบชิปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย ประกอบด้วยเนื้อหาเรื่อง ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยส่วนในล้านส่วน ความเข้มข้นของสารละลาย โมลาร์ โมลาล และเศษส่วนโมล 3) แผนการจัดการเรียนรู้แบบชิปาหน่วยการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย 4) แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน 5) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.1 การสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน [5]

2.1.1 ศึกษาสาระ มาตรฐาน และผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในหลักสูตรสถานศึกษา เพื่อกำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้

2.1.2 ศึกษา แนวคิด ทฤษฎี เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เพื่อใช้ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.1.3 กำหนดประเภทของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เป็นประเภทติวเตอร์หรือการนำเสนอเนื้อหา (Tutorial instruction)

2.1.4 กำหนดสาระการเรียนรู้ จุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย จากหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม เคมี เล่ม 2 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง 2560

2.1.5 กำหนดเนื้อหาสาระย่อยของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน และออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนขั้นแรก รวมทั้งเขียนแผนผังการทำงาน และเรื่องราวบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ให้สัมพันธ์กับสาระการเรียนรู้ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ และเวลาการจัดการเรียนรู้

2.1.6 นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน เพื่อประเมินค่าความเหมาะสม องค์ประกอบของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ได้แก่ สาระสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้

2.1.7 ดำเนินการปรับปรุงบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ จนได้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่สมบูรณ์เพื่อนำไปใช้เป็นสื่อวัตกรรมการจัดการเรียนรู้

2.1.8 นำบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารละลาย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว ทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปรางศิลาทองศึกษา

2.1.9 ปรับปรุงแก้ไขบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน



ภาพที่ 1: แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย

2.2 การสร้างแผนการจัดการเรียนรู้

2.2.1 ศึกษาสาระ มาตรฐาน และผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในหลักสูตรสถานศึกษา

2.2.2 วิเคราะห์เนื้อหา และจุดประสงค์การเรียนรู้วิชาเคมี เรื่อง สารละลาย จากหลักสูตรสถานศึกษา กลุ่มสาระวิทยาศาสตร์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ของโรงเรียนปางศิลาทองศึกษา โดยกำหนดเนื้อหาใช้เวลาทั้งสิ้น 6 คาบ

2.2.3 ดำเนินการสร้างแผนการจัดการเรียนรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยให้ครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้และเนื้อหาที่ใช้ในการทดลอง จำนวน 3 แผน ซึ่งโครงสร้างของแผนการจัดการเรียนรู้แต่ละแผน ประกอบด้วย

- 1) มาตรฐานการเรียนรู้
- 2) ผลการเรียนรู้
- 3) สาระสำคัญ
- 4) จุดประสงค์การเรียนรู้
- 5) สาระการเรียนรู้
- 6) กระบวนการจัดการจัดการเรียนรู้ ซึ่งเป็นไปตามลำดับขั้นตอน
- 7) สื่อ/ แหล่งการเรียนรู้
- 8) การวัดและประเมินผล

2.2.4 พิจารณาตรวจสอบรายละเอียดส่วนต่างๆ ของแผน ความสอดคล้อง ความถูกต้อง ความเหมาะสมของ จุดประสงค์การเรียนรู้ กระบวนการจัดการเรียนรู้เวลาเรียน และการวัดและประเมินผล

2.2.5 นำแผนการจัดการเรียนรู้ที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่านเพื่อประเมินค่าความเหมาะสม องค์ประกอบของแผนการจัดการเรียนรู้ ได้แก่ สารสำคัญ จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา กิจกรรมการเรียนรู้ สื่อการเรียนรู้ และการวัดและประเมินผลของแผนการจัดการเรียนรู้

2.2.6 ดำเนินการปรับปรุงแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ ปรับกิจกรรมให้มีความเหมาะสมสอดคล้องกับผลการเรียนรู้ และแก้ไขวิธีการวัดประเมินผลให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

2.2.7 นำแผนการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สารละลาย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้ว นำไปทดลองใช้กับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ ความถูกต้อง ความเหมาะสม และบันทึกปัญหาข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่พบแล้วนำมาแก้ไขและปรับปรุงก่อนนำไปใช้จริง

2.3 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน [6]

2.3.1 สร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 แบบปรนัยเลือกตอบ 4 ตัวเลือกโดยครอบคลุมเนื้อหาและจุดประสงค์การเรียนรู้ ซึ่งวัดพฤติกรรมด้านพุทธิพิสัยตามแนวคิดของบลูมทั้ง 6 ด้าน คือ ความรู้ความจำ ความเข้าใจ การนำไปใช้ การวิเคราะห์ การสังเคราะห์ และการประเมินค่า โดยทำการกำหนดจำนวนแบบทดสอบที่ต้องการให้สอดคล้องระหว่างสาระการเรียนรู้และจุดประสงค์การเรียนรู้

2.3.2 ตรวจสอบความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ความเหมาะสมของ ข้อคำถาม และความสอดคล้องของข้อคำถามกับจุดประสงค์ที่ต้องการวัดโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน

2.3.3 นำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย แล้วพิจารณาเลือกแบบทดสอบที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50

2.3.4 นำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ในข้อที่ผ่านการคัดเลือกแล้วไปทดสอบกับนักเรียนที่ผ่านการเรียน เรื่อง สารละลาย มาแล้ว ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา จำนวน 30 คน เพื่อหาค่าความยากง่าย และค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี

2.3.5 วิเคราะห์คะแนนรายข้อเพื่อหาค่าความยากง่าย (P) และค่าอำนาจจำแนก (B) โดยใช้ดัชนีวัดค่าอำนาจจำแนก B แล้วคัดเลือกแบบทดสอบที่มีค่าความยากง่าย (P) ตั้งแต่ 0.20 ถึง 0.80 และ ค่าอำนาจจำแนก (B) ตั้งแต่ 20 ขึ้นไป [7]

2.3.6 นำแบบทดสอบที่คัดเลือกไว้ ซึ่งมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.50 – 0.77 และมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.30 – 0.50 มาหาค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ โดยใช้วิธีการคำนวณ ค่าความเชื่อมั่นของโลเวท (Lovet) เนื่องจากเป็นแบบอิงเกณฑ์ที่มีค่าคะแนนจุดตัดเท่ากับ 14 คะแนน ซึ่งคิดจากร้อยละ 70 ของคะแนนเต็ม (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) โดยแบบทดสอบมีค่าความเชื่อมั่นทั้งฉบับเท่ากับ 0.82

2.4 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน [6]

2.4.1 สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจแบบมาตราส่วนการประเมินค่า (Rating scale) ตามรูปแบบของ Likert

2.4.2 กำหนดประเด็นที่ต้องการสอบถาม โดยแยกประเด็นที่จะสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจออกเป็นด้านเนื้อหา ด้านการจัดการเรียนรู้ และด้านสื่อ/ นวัตกรรม รวมทั้งหมด 30 ข้อ โดยต้องการใช้จริง 12 ข้อ

2.4.3 รวบรวมประเด็นที่จะสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาสร้างเป็นข้อคำถามที่ใช้สอบถามความพึงพอใจ

2.4.4 ตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม และความครอบคลุมแล้วนำมาแก้ไขสร้างเป็นแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน

2.4.5 นำแบบสอบถามความพึงพอใจ ที่ได้ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้วเสนอ ต่อผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 ท่าน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของภาษาที่ใช้ ความเหมาะสมของข้อคำถามและความสอดคล้องของข้อคำถามกับประเด็นที่ต้องการสอบถาม

2.4.6 นำผลการประเมินของผู้เชี่ยวชาญมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย แล้วพิจารณาเลือกแบบสอบถามที่มีค่าดัชนีความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.50

2.4.7 นำแบบสอบถามความพึงพอใจในข้อที่ผ่านการคัดเลือกแล้วนำไปวัดผลกับนักเรียนที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างซึ่งเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา ที่ผ่านการเรียนวิชาเคมีเรื่อง สารละลาย ด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เพราะสามารถบอกได้ว่าพึงพอใจหรือไม่พึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน จำนวน 30 คน เพื่อหาค่าอำนาจจำแนกของแบบสอบถามความ

2.4.8 นำแบบสอบถามความพึงพอใจ มาตรวจสอบให้คะแนน แล้วนำมาวิเคราะห์คะแนนรายข้อเพื่อหาค่าอำนาจจำแนก (G) โดยใช้วิธี Item total correlation แล้วตรวจสอบนัยสำคัญด้วยสถิติสหสัมพันธ์อย่างง่าย แล้วคัดเลือกข้อที่มีความสัมพันธ์ทางบวกกับคะแนนรวม ถือว่ามีอำนาจจำแนก [8]

2.4.9 นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่คัดเลือกไว้ซึ่งมีค่าอำนาจจำแนกอยู่ระหว่าง 0.58 – 0.76 มาหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามความพึงพอใจ โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.85

3. วิธีดำเนินการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1 แนะนำขั้นตอนการทำกิจกรรมและบทบาทของนักเรียนในการจัดการเรียนรู้ทั้งกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุม

3.2 ทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้แบบทดสอบสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพปรับปรุงและแก้ไขแล้วทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

3.3 ผู้วิจัยเน้นการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเคมี เรื่อง สารละลายโดยมีส่วนประกอบของบทเรียนดังภาพที่ 1 ในกลุ่มทดลอง โดยใช้เวลาในการจัดการเรียนรู้ดังตารางที่ 1 และดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาวิชาเคมี เรื่อง สารละลาย ในกลุ่มควบคุม ใช้เวลาจัดการเรียนรู้ทั้งหมด 6 คาบ (ชั่วโมง) และมีลำดับขั้นตอนในการจัดการเรียนรู้ดังตารางที่ 2

3.4 เมื่อสิ้นสุดการจัดการเรียนรู้ตามกำหนดแล้วจึงทำการทดสอบหลังเรียน (Post-test) กับนักเรียนทั้งกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี (ฉบับเดิม) และให้นักเรียนกลุ่มทดลองทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน 5) นำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม และแบบสอบถามความพึงพอใจ

ต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของกลุ่มทดลองมาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อทดสอบสมมติฐานต่อไป

ตารางที่ 1: บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน วิชาเคมี เรื่อง สารละลาย

ลำดับที่	รายการ	เวลา (ข.ม.)
1	แบบทดสอบก่อนเรียน	1
2	ความหมายความเข้มข้นของสารละลายในหน่วยร้อยละ ส่วนในล้านส่วน ส่วนในพันล้านส่วน โมลาริตี โมลลิตี และเศษส่วนโมล	2
3	การคำนวณความเข้มข้นของสารละลาย	1
4	แบบฝึกหัดตรวจสอบความเข้าใจ	1
5	แบบทดสอบหลังเรียน	1

ตารางที่ 2: การเปรียบเทียบระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) และการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา

ลำดับขั้นตอน	การจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) ของกลุ่มทดลอง	การจัดการเรียนรู้แบบซิปปาของกลุ่มควบคุม
1	ขั้นการทบทวนความรู้เดิม (มีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมาประกอบขั้นนี้)	ขั้นการทบทวนความรู้เดิม
2	ขั้นการแสวงหาความรู้ใหม่	ขั้นการแสวงหาความรู้ใหม่
3	ขั้นการศึกษาทำความเข้าใจข้อมูล	ขั้นการศึกษาทำความเข้าใจข้อมูล
4	ขั้นการแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกับกลุ่ม (มีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วม)	ขั้นการแลกเปลี่ยนความรู้ความเข้าใจกับกลุ่ม
5	ขั้นการสรุปและการจัดระเบียบความรู้	ขั้นการสรุปและการจัดระเบียบความรู้
6	ขั้นการแสดงผลงาน	ขั้นการแสดงผลงาน
7	ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้ (มีการใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วม)	ขั้นประยุกต์ใช้ความรู้

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 หาประสิทธิภาพ E1/ E2 ตามเกณฑ์ 80/80 ของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารละลาย สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โดยใช้สูตรการหาประสิทธิภาพ E1/ E2 (ทดสอบสมมติฐานข้อ 1)

4.2 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้การวิเคราะห์ t-test แบบ independent (ทดสอบสมมติฐานข้อ 2)

4.3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนระหว่างการจัดการเรียนรู้ซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน กับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา โดยใช้การวิเคราะห์ t-test แบบ dependent (ทดสอบสมมติฐานข้อ 3)

4.4 ประเมินความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน โดยใช้ค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทดสอบสมมติฐานข้อ 4)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง สารละลาย

บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนเรื่อง สารละลาย นำเสนอเนื้อหาแบบสารสนเทศ ที่เป็นสื่อประสม ผู้เรียนมีการโต้ตอบกับบทเรียน และมีการให้ข้อมูลป้อนกลับ โดยมีค่าชี้แจงแบบทดสอบก่อนเรียน จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหา บทเรียน แบบฝึกหัด และแบบทดสอบหลังเรียนให้ผู้เรียนเลือกเรียนได้ตามความสนใจ มีประสิทธิภาพ E1/ E2 เท่ากับ 80.26/80.53 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตารางที่ 3 ทั้งนี้เนื่องมาจากการวางแผน และดำเนินการอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากเรียบเรียงเนื้อหาจากเรื่องที่ยากไปเรื่องที่ยาก สอดคล้องกับสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน มีการประเมินก่อนเรียน (Pre-test) ระหว่างเรียน หลังเรียน (Post-test) และทบทวนความรู้เพื่อให้ผู้เรียนได้มีการตอบโต้กับบทเรียนแล้วมีข้อมูลป้อนกลับเสริมแรงให้ผู้เรียนได้ทราบถึงผลของการประเมินตนเอง ซึ่งผู้เรียนสามารถนำไปใช้พัฒนาการเรียนรู้ของตนเองได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ภัทรสุตา และมะยุโซ๊ะ (2558) ที่ออกแบบบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในการจัดกิจกรรมเรียนการสอนเรื่อง ปฏิกริยาเคมี ให้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ได้ประสิทธิภาพ E1/E2 เท่ากับ 84.67/86.33 [9] และพบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถกระตุ้นความสนใจของผู้เรียน ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล ช่วยพัฒนาขีดความสามารถของผู้เรียนซึ่งทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ และเข้าใจในเนื้อหาได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 3: ประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนของนักเรียนกลุ่มทดลอง

การทดลอง	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
ระหว่างเรียน (E1)	20	16.05	80.26
หลังเรียน (E2)	20	16.11	80.53
ประสิทธิภาพของบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) คิดเป็นร้อยละ			80.26/80.53

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา ร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) มีคะแนนเฉลี่ย 15.68 คะแนน เมื่อจัดการเรียนรู้ด้วยบทเรียน คอมพิวเตอร์ช่วยสอนออกจากกระบวนการจัดการเรียนรู้ (กลุ่มควบคุม) พบว่าคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลัง เรียนของนักเรียน มีคะแนนเฉลี่ยลดลง (11.82 คะแนน) สถิติทดสอบ t-test มีค่าเท่ากับ 10.918 และมีเลขนัยสำคัญที่ระดับ 0.000 แสดงว่านักเรียนมีคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารละลาย ของกลุ่มทดลองสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 4 สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ วิชา เคมี เรื่อง ธาตุและสารประกอบอนินทรีย์ในอุตสาหกรรม ของกชนนท์ ขวัญพุด (2562) [2] ที่พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสูง กว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 4: ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบ ซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) และกลุ่มควบคุมที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา

การทดสอบ	N	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	SD	t-test	Sing (2 tailed)
กลุ่มทดลอง	38	20	15.68	1.68	10.918	0.000
กลุ่มควบคุม	39	20	11.82	1.41		

*มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.05

การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) เป็นการเรียนรู้ที่อยู่บน พื้นฐานของการสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง ซึ่งเป็นการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่จะช่วยส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความรู้ ความคิด และการตัดสินใจอย่างเป็นระบบ สามารถสร้างความรู้ ค้นพบความรู้ได้ด้วยตนเอง นักเรียนมีบทบาทใน กิจกรรมการเรียนการสอน และผู้เรียนสามารถนำไปใช้ในชีวิตจริงได้ สัมพันธ์กับงานวิจัยของ นพดล ผู้มีจรรยา และฐิตากร เพชรกันกิม (2563) [10] ที่ใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วมกับกระบวนการเรียนรู้แบบซิปปา โมเดล พบว่าสามารถช่วยให้ผู้เรียนสามารถศึกษาเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง และเป็นไปตามความสามารถของแต่ละ บุคคล รวมทั้งช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้น และส่งเสริมให้นักเรียนตระหนักในบทบาทหน้าที่ของตนเอง

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) เรื่อง สารละลาย

ผู้วิจัยดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนด้วยกระบวนการ เรียนรู้แบบซิปปา เรื่อง สารละลาย หลังจากจัดกิจกรรมการเรียนรู้เสร็จสิ้นแล้ว ได้ผลดังตารางที่ 5 จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง สารละลาย ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.34$, SD = 0.69) โดยในด้านเนื้อหาที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ($\bar{X} = 4.37$, SD = 0.68) ซึ่งนักเรียนได้เรียนรู้เนื้อหาในส่วนของความรู้ที่ต้องขยายให้มากขึ้นกว่าเดิมสอดคล้อง กับประเภทของ บทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนประเภทนำเสนอเนื้อหา รองลงมาคือด้านสื่อนวัตกรรม ($\bar{X} = 4.34$, SD = 0.71) และ ด้านที่น้อยที่สุดคือด้านการจัดการเรียนรู้ ($\bar{X} = 4.32$, SD = 0.69) ทั้งนี้ในภาพรวมนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้

แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เนื่องจากบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสามารถดึงดูดความสนใจช่วยให้มีความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ มีสมาธิในการเรียน เพราะผู้เรียนทุกคนได้ลงมือปฏิบัติ ได้ตอบและเรียนรู้ด้วยตนเองได้ตลอดเวลา และยังช่วยให้นักเรียนสามารถเรียนได้ครบตามเนื้อหา ทั้งยังสามารถกลับมาทบทวน ผู้เรียนที่เรียนรู้ได้เร็วสามารถเรียนรู้ไปก่อนล่วงหน้าได้ ส่วนผู้เรียนที่เรียนรู้ได้ช้านั้นสามารถเรียนซ้ำได้เรื่อยๆจนเข้าใจเพราะเป็นการเรียนรู้ด้วยตนเองและตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล ทำให้นักเรียนมีความสุขกับการเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการสร้างบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน ร่วมกับการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ วิชาเคมี เรื่อง ธาตุและสารประกอบอนินทรีย์ในอุตสาหกรรม ของกชนนท์ ขวัญพุด (2562) [2] พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจต่อกระบวนการเรียนรู้ด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.06, SD = 0.69)

ตารางที่ 5: ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. เนื้อหามีความน่าสนใจ	4.31	0.71	มาก
2. เนื้อหาไม่ซับซ้อน เข้าใจง่าย	4.38	0.68	มาก
3. เนื้อหาสามารถนำไปใช้ในชีวิิตประจำวันได้	4.47	0.59	มาก
4. มีคำถามกระตุ้นความสนใจ	4.32	0.73	มาก
รวม	4.37	0.68	มาก
ด้านการจัดการเรียนรู้			
1. จัดลำดับการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม	4.32	0.71	มาก
2. ใช้เวลาเหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้	4.38	0.67	มาก
3. การจัดการเรียนรู้ช่วยกระตุ้นการคิดวิเคราะห์ สรุปความรู้	4.23	0.68	มาก
4. ผู้เรียนไม่รู้สึกเบื่อหน่ายกับการเรียนรู้	4.35	0.70	มาก
รวม	4.32	0.69	มาก
ด้านสื่อ/นวัตกรรม			
1. ผู้เรียนสามารถใช้บทเรียนคอมพิวเตอร์ได้ด้วยตนเอง	4.49	0.66	มาก
2. ใช้ภาพประกอบสอดคล้องกับเนื้อหา	4.32	0.73	มาก
3. ความง่ายและสะดวกในการเรียนรู้	4.29	0.75	มาก
4. สามารถเรียนได้นานโดยไม่ปวดตาหรือศีรษะ	4.26	0.71	มาก
รวม	4.34	0.71	มาก
เฉลี่ยรวม	4.34	0.69	มาก

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการพัฒนากระบวนการจัดการเรียนรู้เรื่อง สารละลาย ของนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2567 โรงเรียนปางศิลาทองศึกษา อำเภอปางศิลาทอง จังหวัดกำแพงเพชร ด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา พบว่าบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วมกับกระบวนการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา เรื่องสารละลาย มีประสิทธิภาพ 80.26/80.53 ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน (CAI) หลังเรียนสูงกว่านักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 นักเรียนมีความพึงพอใจที่มีต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบซิปปาในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.34, SD = 0.69)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัยจากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และบุคลากรจากโรงเรียนปางศิลาทองศึกษาที่อำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนการสอน ตลอดจนตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือของการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภพ เลหาไฟบูลย์. (2542). *แนวการสอนวิทยาศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิชย์.
- [2] กชนนท์ ขวัญพุ่ม (2562). *การศึกษาผลการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมี ความพึงพอใจต่อบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [3] ประคอง แจ่มใส. (2554). *การศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาเคมีเพิ่มเติม 1 และความสามารถในการคิดแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบย้อนกลับ (Backward Design) และการจัดการเรียนรู้แบบซิปปา (Cippa Model)* [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ไม่ได้ตีพิมพ์]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [4] เพิ่มพูน ชิดชอบ. (17 ตุลาคม 2567). *ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง นโยบายการศึกษาของกระทรวงศึกษาธิการ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568-2569*. กระทรวงศึกษาธิการ.
- [5] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน Developmental testing of media and instructional package. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 7-20.
- [6] พงรรัตน์ ทวีรัตน์. (2540). *วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 7). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [7] สมโภชน์ อเนกสุข. (2556). *วิธีการทางสถิติสำหรับการวิจัย Statistical methods for research* (พิมพ์ครั้งที่ 6). มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [8] สมบัติ ท้ายเรือคำ. (2555). *ระเบียบวิธีวิจัยสำหรับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์* (พิมพ์ครั้งที่ 5). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

- [9] ภัทรสุดา ภาสศักดิ์ชัย และมะยูโซ๊ะ ญูโน. (2558). การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอน เรื่อง ปฏิบัติการเคมีสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. *วารสารมหาวิทยาลัยศิลปากร*. 8(2), 483-492.
- [10] นพดล ผู้มีจรรยา และฐิตากร เพชรกันกิม. (2563). การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนร่วมกับกระบวนการเรียนรู้แบบซิปปา เรื่อง ข้อมูลสารสนเทศและอินเทอร์เน็ต สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร*, 19(2), 337-350.

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต
สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

The Effects of Learning Activities Using GeoGebra on
Fundamental Geometric Constructions for Grade 7 Students

อชิรญาณ์ ดีงาม¹, ปิยดา โพธิ์ศรี^{2,*} และณัฐกัลย์ ตั้งชัยวรรณ³

¹โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬารณราชวิทยาลัย ลพบุรี อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี 15120

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

³โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

Ashiraya Deengam ¹, Piyada Phosri^{2,*} and Nathakal Tangchaiwanna³

¹ Princess Chulabhorn Science High Schools Lopburi, Khok Samrong, Lopburi, 15120

²Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi, 15000

³ The Demonstration School of Thepsatri Rajabhat University, Meung, Lopburi, 15000

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ในหัวข้อการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จำนวน 49 คน ซึ่งได้รับการสอนโดยใช้โปรแกรม GeoGebra ในการทดลองใช้ระยะเวลาหนึ่ง ภายหลังการเรียนรู้ ได้ทำการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียน รวมถึงสำรวจความพึงพอใจของนักเรียน

ผลการศึกษาพบว่า นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นหลังจากได้รับการเรียนรู้ผ่านโปรแกรม GeoGebra โดยคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนเพิ่มขึ้นจาก 4.92 เป็น 11.16 นอกจากนี้ ความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนการสอนโดยใช้ GeoGebra อยู่ในระดับสูงมาก (ค่าเฉลี่ย 4.67, S.D. 0.51) ข้อค้นพบนี้ชี้ให้เห็นว่าการใช้โปรแกรม GeoGebra สามารถส่งเสริมการเรียนรู้ทางเรขาคณิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : จีโอจีบร้า, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน, ความพึงพอใจของนักเรียน, การเรียนรู้ทางเรขาคณิต

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

Received : 29/03/2025 Revised : 15/06/2025 Accepted : 16/06/2025

Abstract

This study aimed to investigate the learning achievement and satisfaction of Grade 7 students who participated in a learning approach using the GeoGebra program on fundamental geometric constructions. The sample consisted of 49 Grade 7 students from Thepsatri Rajabhat University Demonstration School, who were taught using GeoGebra over a specific period. After the learning process, pre-test and post-test assessments were conducted to measure students' learning achievement, along with a survey to evaluate their satisfaction.

The findings revealed that students' learning achievement significantly improved after using GeoGebra, with the average post-test score increasing from 4.92 to 11.16. Furthermore, students' satisfaction with the GeoGebra-based learning approach was at a very high level (mean = 4.67, S.D. = 0.51). These findings suggest that incorporating the GeoGebra program into geometry instruction can effectively enhance students' understanding and learning outcomes.

Keywords : GeoGebra, Learning Achievement, Student Satisfaction, Geometry Learning

ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันประเทศไทยใช้หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานปีพุทธศักราช 2551 เป็นแนวทางในการจัดการศึกษาที่มุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็นคนดี มีปัญญา มีความสุข มีศักยภาพในการศึกษาต่อ และประกอบอาชีพ โดยหนึ่งในจุดหมายที่ให้เกิดกับผู้เรียนเมื่อจบการศึกษาขั้นพื้นฐาน คือ มีความรู้อันเป็นสากลและมีความสามารถในการสื่อสาร การคิด การแก้ปัญหา การใช้เทคโนโลยี และมีทักษะชีวิต ซึ่งกำหนดให้ผู้สอนต้องพยายามคัดสรรกระบวนการเรียนรู้ และจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถตามมาตรฐานการเรียนรู้ สมรรถนะสำคัญและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ตามที่กำหนดไว้ในหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยยึดหลักว่า ผู้เรียนมีความสำคัญที่สุด เชื่อว่าทุกคนมีความสามารถเรียนรู้และพัฒนาตนเองได้ ยึด ประโยชน์ที่ เกิดกับผู้เรียน กระบวนการจัดการเรียนรู้ต้องส่งเสริมให้ผู้เรียนสามารถพัฒนาตามธรรมชาติและเต็มตามศักยภาพ คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลและพัฒนากายทางสมอง เน้นให้ความสำคัญทั้งความรู้ และคุณธรรม (กระทรวงศึกษาธิการ, 2551, น. 5-25) และจากการที่คณิตศาสตร์นั้นมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อความสำเร็จในการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เนื่องจากคณิตศาสตร์ช่วยให้มนุษย์มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผน สามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างรอบคอบและถี่ถ้วน ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและสามารถนำไปใช้ในชีวิตรจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และ ศาสตร์อื่นๆ โดยในตัวชีวิตและสาระการเรียนรู้แกนกลางกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ได้มีการกำหนดคุณภาพผู้เรียนเมื่อจบชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 นักเรียนจะต้องมีความรู้ความเข้าใจทางเรขาคณิตและใช้เครื่องมือ เช่น วงเวียนและเส้นตรง รวมทั้งโปรแกรม The Geometer's Sketchpad หรือ โปรแกรมเรขาคณิตพลวัตอื่น ๆ เพื่อสร้างรูป

เรขาคณิต ตลอดจนนำความรู้เกี่ยวกับการสร้างนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง (กระทรวงศึกษาธิการ, 2560, น. 1)

ปัญหาสำคัญของการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ คือ ครูส่วนใหญ่ยังคงใช้วิธีการสอนแบบบรรยาย โดยไม่คำนึงถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนที่เรียนรู้ได้เร็ว สามารถเข้าใจเนื้อหาได้ง่าย ส่วนผู้เรียนที่เรียนรู้ช้า ฟังบรรยายไม่ทันหรือไม่เข้าใจเนื้อหาที่บรรยายก็จะเกิดความเบื่อหน่าย ไม่อยากเรียน เมื่อต้องเรียนเรื่องใหม่จะยิ่งประสบปัญหามากขึ้น เพราะขาดความรู้ความเข้าใจในเรื่องเดิมที่เป็น พื้นฐาน ส่งผลให้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนต่ำลง ส่งผลให้มีเจตคติที่ไม่ดีต่อการเรียนคณิตศาสตร์ในที่สุด (ฟาฏินา วงศ์เลขา, 2552) และจากการสังเกตการจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียนพบว่า มีนักเรียนบางส่วนที่ไม่ให้ความสนใจในการเรียน พูดคุยกันเสียงดังรบกวนผู้อื่น รวมถึงนำโทรศัพท์มือถือขึ้นมาเล่นหรือนำงานวิชาอื่นขึ้นมาทำ ส่งผลให้นักเรียนไม่เข้าใจในเนื้อหาที่เรียน ซึ่งครูมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการแก้ปัญหาและให้ความช่วยเหลือนักเรียน โดยการหาสื่อการเรียนรู้ที่เหมาะสม เพื่อจูงใจให้นักเรียนสนใจบทเรียนมากยิ่งขึ้น และช่วยอธิบายให้ นักเรียนเกิดความรู้ความเข้าใจสามารถสรุปสาระสำคัญได้ (ภานุมาศ วรสันต์ และ มะลิวัลย์ ฤณาพรณ์, 2561, น. 62)

ในยุคดิจิทัลสื่อเทคโนโลยีเป็นเครื่องมือสำคัญอีกรูปแบบหนึ่งที่ช่วยให้ครูจัดการเรียนการสอนรวมไป ถึงเป็นการพัฒนาผู้เรียนให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากปัจจุบันเด็กๆ มีความรู้ความสามารถทางด้านเทคโนโลยีมากขึ้น อีกทั้ง อุปกรณ์ต่างๆ ที่รองรับการเรียนรู้ของนักเรียนค่อนข้างหลากหลาย และเพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดสมรรถนะ ต่างๆ การนำเทคโนโลยีมาบูรณาการร่วมกับการจัดการเรียนการสอนจึงเป็นสิ่งสำคัญ และมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการเปิดโอกาสให้ผู้เรียนได้ใช้ความสามารถของตนเองในการเรียนรู้ได้อย่างเต็มที่ อีกทั้งยังกระตุ้นความ สนใจในการเรียน ได้มากขึ้นจากการใช้เทคโนโลยีในการสร้างสื่อให้มีความหลากหลาย และยังเป็นเตรียม ความพร้อมของนักเรียน เพื่อเข้าสู่สังคมยุคใหม่ ดังนั้น เทคโนโลยีจึงเป็นทางเลือกในการเรียน เพื่อตอบสนอง การเรียนรู้ที่แตกต่างของนักเรียนได้ (กิตติศักดิ์ สังฆะกาโล, เกษรินทร์ เป็งจันทร์, ภูเบศร์ รัตนมงคล และ ปณิธิ ทองคำ, 2564, ย่อหน้าที่ 2)

GeoGebra เป็นโปรแกรมคณิตศาสตร์เชิงพลวัตซึ่งรวมเรขาคณิต พีชคณิตและแคลคูลัสไว้ด้วยกัน สามารถใช้ในการสร้างชิ้นงานเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตได้ในภายหลัง การใช้โปรแกรมสำเร็จรูป GeoGebra บูรณาการกับการเรียนรู้คณิตศาสตร์จะช่วยเพิ่มพูนและพัฒนาศักยภาพของครูผู้สอน อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการค้นคว้าเพิ่มเติม และนำแนวคิดที่ได้ไปจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในชั้นเรียนอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังช่วยให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองตามความสามารถของตน ส่งผลให้มีเจตคติที่ดีต่อวิชาคณิตศาสตร์มีความคิดสร้างสรรค์มีจินตนาการ เกิดทักษะ และกระบวนการทางคณิตศาสตร์ (สถาบันส่งเสริม การสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2561, น. 104) นอกจากนี้โปรแกรม GeoGebra ยังเป็นซอฟต์แวร์ใน ทำนองเดียวกับโปรแกรม GSP (The Geometer's Sketchpad) โปรแกรม MAPLE โปรแกรม Mathematical และเครื่องคำนวณเชิงกราฟ หากครูสอนโดยใช้ซอฟต์แวร์นี้ไปช่วยในการอธิบาย นักเรียนจะเห็นภาพ และเข้าใจเร็วขึ้นและที่สำคัญยังสามารถทดลองปรับค่าต่าง ๆ ได้ตามต้องการในลักษณะที่แตกต่างกันไปซึ่งสามารถ แก้ปัญหาในการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ที่บ่อยครั้ง ครูและนักเรียนจะต้องมาวาดกราฟ วาดรูปหรือ ลากเส้น เพื่ออธิบายให้เห็นภาพ ถึงแม้จะมีการใช้โปรแกรม GSP (The Geometer's Sketchpad) ซึ่งยังไม่ หลากหลายพอต่อภาระของครูและนักเรียนในการวาด ลากเส้นต่างๆ เพื่อจะอธิบายนิยามและความหมาย ในทางคณิตศาสตร์ (ปิยะวุฒิ ศรีชนะ, 2556, น. 2)

จากหลักการและเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำโปรแกรม GeoGebra มาใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี เพื่อกระตุ้นความสนใจในการเรียนของนักเรียนได้มากขึ้นจากการใช้เทคโนโลยี ซึ่งจะช่วยให้ครูจัดการเรียนการสอนได้อย่างหลากหลาย ดึงดูดความสนใจของนักเรียน นักเรียนได้มีส่วนร่วมใน การเรียนรู้ สามารถเห็นภาพและเข้าใจได้มากขึ้น รวมไปถึงเป็นการพัฒนาผู้เรียนในด้านการใช้เทคโนโลยีอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต

สมมติฐานของการวิจัย

นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิตหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra สูงกว่าก่อนการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

ขอบเขตของการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

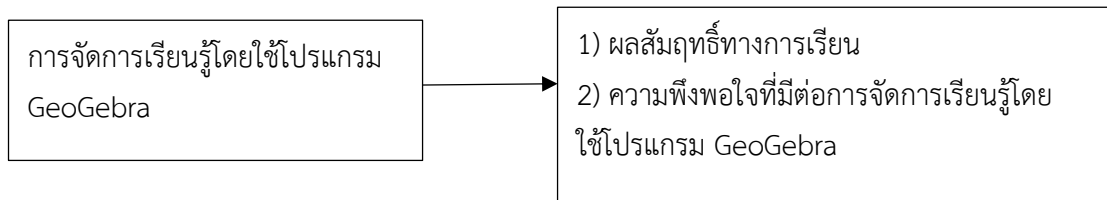
ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จำนวน 3 ห้องเรียน มีนักเรียนจำนวน 144 คน โดยกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จำนวน 49 คน โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรอิสระ คือ การจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต
ตัวแปรตาม คือ

- 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน
- 2) ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต

กรอบแนวคิดในการวิจัย



นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra หมายถึง การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้จากที่ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม GeoGebra เป็นสื่อในการสอน และอธิบายขั้นตอนในการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ซึ่งขั้นตอนในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน ขั้นกิจกรรมการเรียนรู้ และขั้นสรุป

2. โปรแกรม GeoGebra หมายถึง โปรแกรมคณิตศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกในการจัดการเรียนรู้เรื่อง เรขาคณิต สามารถใช้เป็นสื่อเพื่อช่วยให้นักเรียนได้เห็นภาพ และเข้าใจได้ง่ายขึ้น เป็นโปรแกรมแบบ Open source

ซึ่งสามารถดาวน์โหลดเพื่อนำมาใช้งานได้ฟรีหรือเข้าถึงได้ผ่านเว็บไซต์ www.geogebra.org/materials

3. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ หมายถึง ความสามารถในการเรียนรู้ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยวัดจากคะแนนในการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

4. ความพึงพอใจ หมายถึง ความรู้สึกของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ที่ผู้สอนจัดให้แก่ นักเรียน ในด้านกิจกรรมการเรียนรู้ สื่อเทคโนโลยีที่ใช้ และประโยชน์ที่ได้รับ

วิธีการดำเนินการวิจัย

วิจัยในชั้นเรียน เรื่อง ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล
5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จำนวน 3 ห้องเรียน มีนักเรียนจำนวน 144 คน

กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จำนวน 49 คน โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิตโดยใช้โปรแกรม GeoGebra จำนวน 4 แผน

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต เป็นแบบทดสอบชนิดปรนัย 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ

3. แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม Geogebra มีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ได้แก่ 5 (มากที่สุด), 4 (มาก), 3 (ปานกลาง), 2 (น้อย) และ 1 (น้อยที่สุด) โดยให้นักเรียนเป็นผู้ประเมินตนเองหลังเรียนตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น

เกณฑ์ที่ใช้ในการแปลความหมายจากคะแนนเฉลี่ยเป็นรายชื่อ มีรายละเอียดดังนี้

4.51 – 5.00 แสดงว่า ผู้ตอบมีความพึงพอใจในระดับ “มากที่สุด”

3.51 – 4.50 แสดงว่า ผู้ตอบมีความพึงพอใจในระดับ “มาก”

2.51 – 3.50 แสดงว่า ผู้ตอบมีความพึงพอใจในระดับ “ปานกลาง”

1.51 – 2.50 แสดงว่า ผู้ตอบมีความพึงพอใจในระดับ “น้อย”

1.00 – 1.50 แสดงว่า ผู้ตอบมีความพึงพอใจในระดับ “น้อยที่สุด”

การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ซึ่งมีการดำเนินการเก็บรวบรวมโดยผู้วิจัยตามลำดับดังนี้

1. ผู้วิจัยชี้แจงให้นักเรียนทราบร่วมกันเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรม GeoGebra เป็นการขอความร่วมมือในการทำวิจัยกับกลุ่มตัวอย่าง

2. ก่อนดำเนินการจัดการเรียนรู้ให้นักเรียนทำแบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) โดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพและปรับปรุงแก้ไขแล้ว

3. ดำเนินการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งผู้วิจัยเป็นผู้สอนใช้ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

4. หลังดำเนินการจัดการเรียนรู้ตามแผนการจัดการเรียนรู้แล้วให้นักเรียนทำการทดสอบหลังเรียน (Post-test) และแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

5. นำผลคะแนนที่ได้จากการตรวจแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้ เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โดยนำคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียนมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

การวิจัย เรื่อง ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra 2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลและมีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแบ่งเป็น 2 ตอน ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต

ตอนที่ 1 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ที่เป็นกลุ่มทดลอง ระหว่างก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ซึ่งวัดจากการทำแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น เป็นแบบทดสอบปรนัย จำนวน 15 ข้อ แสดงผลดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลคะแนนจากการทดสอบก่อนเรียน และหลังเรียนเรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

ลำดับ ที่	คะแนนก่อน เรียน (15)	คะแนนหลัง เรียน (15)	ลำดับที่	คะแนนก่อน เรียน (15)	คะแนนหลัง เรียน (15)
1	3	10	26	6	12
2	8	14	27	8	11
3	4	10	28	2	9
4	8	12	29	5	13
5	4	10	30	8	11
6	9	11	31	2	9
7	2	9	32	4	10
8	3	13	33	2	11
9	4	12	34	8	12
10	5	11	35	7	13
11	4	13	36	2	9
12	7	10	37	7	12
13	7	12	38	4	12
14	11	14	39	7	10
15	2	9	40	3	13
16	2	13	41	2	10
17	4	10	42	3	9
18	4	12	43	6	12
19	4	13	44	4	11
20	8	11	45	3	10
21	5	11	46	4	10
22	3	12	47	5	12
23	8	10	48	2	10
24	9	13	49	5	11
25	4	10			

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า นักเรียนที่เรียนการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิตโดยใช้โปรแกรม GeoGebra มีผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ก่อนเรียนและหลังเรียนเรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra

	n	Mean	S.D.	t	Sig
คะแนนก่อนเรียน	49	4.92	2.37	20.28*	0.00
คะแนนหลังเรียน	49	11.16	1.42		

จากตารางที่ 2 พบว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนของนักเรียนจำนวน 49 คน มีค่าเท่ากับ 4.92 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.37 ขณะที่คะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 11.16 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.42 เมื่อทำการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้สถิติ t-test สำหรับการวัดแบบกลุ่มตัวอย่างที่สัมพันธ์กัน (dependent samples t-test) พบว่ามีค่า t เท่ากับ 20.28 และนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra มีประสิทธิภาพในการส่งเสริมความรู้และความเข้าใจของนักเรียนในเรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต

จากที่นักเรียนได้ทำแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 สามารถนำข้อมูลที่ได้มาแปลผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านเนื้อหา			
1. เนื้อหาสาระที่เรียนไม่ยากเกินไป	4.33	0.77	มาก
2. เนื้อหาที่เรียนเป็นเรื่องที่น่าสนใจ	4.51	0.67	มากที่สุด
3. ความรู้ที่ได้รับเป็นเรื่องที่นำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้	4.04	0.97	มาก
รวม	4.29	0.8	มาก
ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้			
4. กิจกรรมการเรียนรู้มีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.63	0.56	มากที่สุด

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
5. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนมีความรู้และเข้าใจเนื้อหาได้ดี	4.73	0.53	มากที่สุด
6. นักเรียนมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรม	4.51	0.70	มากที่สุด
7. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนได้แสดงความคิดเห็นและซักถามปัญหา	4.82	0.39	มากที่สุด
รวม	4.67	0.54	มากที่สุด
ด้านสื่อการสอน			
8. โปรแกรม GeoGebra ที่ใช้ กระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจในการเรียน	4.78	0.42	มากที่สุด
9. โปรแกรม GeoGebra และอุปกรณ์ที่ใช้ตรงกับเนื้อหาที่เรียน	4.82	0.48	มากที่สุด
10. โปรแกรม GeoGebra ที่ใช้ช่วยให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาได้ง่ายยิ่งขึ้น	4.63	0.63	มากที่สุด
11. นักเรียนได้รับประโยชน์จากโปรแกรม GeoGebra ที่ครูใช้ในการสอน	4.71	0.53	มากที่สุด
12. นักเรียนมีความรู้สึกที่ดีต่อการจัดการเรียนรู้ด้วยโปรแกรม GeoGebra	4.88	0.33	มากที่สุด
รวม	4.76	0.48	มากที่สุด
ด้านการวัดและประเมินผล			
13. การวัดและประเมินผลตรงตามเนื้อหาวิชาที่เรียน	4.88	0.33	มากที่สุด
14. นักเรียนมีโอกาสได้ทราบคะแนนของตนเอง	5.00	0.00	มากที่สุด
15. นักเรียนทราบเกณฑ์การวัดและประเมินผลล่วงหน้า	4.82	0.39	มากที่สุด
รวม	4.90	0.24	มากที่สุด
รวมทั้งหมด	4.67	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ในภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.51 ซึ่งความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดการเรียนรู้ในแต่ละด้าน เรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ ด้านการวัดและประเมินผลมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.90$, S.D. = 0.24) ด้านสื่อการสอนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.76$, S.D. = 0.48) ด้านการจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.67$, S.D. = 0.54) และด้านเนื้อหาที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.29$, S.D. = 0.8)

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การวิจัย เรื่อง ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มีวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้ 1) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra 2) เพื่อศึกษาความพึง

พอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต จากวิธีการดำเนินการวิจัยโดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 จำนวน 49 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แผนการจัดการเรียนรู้ เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจ ซึ่งผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาคะแนนเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และได้สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะตามลำดับดังนี้

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปผลการวิจัยแยกตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 หลังได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra สูงกว่าก่อนได้รับการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra โดยหลังเรียนมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 11.16 คะแนน และก่อนเรียนมีคะแนนเฉลี่ย เท่ากับ 4.92 คะแนน
2. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.51

อภิปรายผลการวิจัย

ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี มีประเด็นอภิปราย ดังนี้

1. จากผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra จากการทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน โดยมีคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน 11.16 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน 4.92 คะแนน จากคะแนนเต็ม 15 คะแนน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ แสดงว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจและมองเห็นภาพของขั้นตอนวิธีการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิตได้มากขึ้นกว่าการที่ครูสอนโดยการวาดรูปบนกระดาน ซึ่งอาจเกิดการคลาดเคลื่อนหรือนักเรียนมองภาพได้ไม่ชัดเจนเนื่องจากมือหรืออุปกรณ์ที่ครูใช้ในการวาดบังภาพขณะที่ครูวาดได้ ทำให้นักเรียนขาดความสนใจในการเรียน ไม่มีสิ่งแปลกใหม่ในการจูงใจให้เรียน เกิดการเบื่อหน่าย และไม่สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้ ดังนั้นการที่ครูมีสื่อมาช่วยในการสอนจะทำให้ให้นักเรียนเกิดความสนใจในการเรียน ลดความคลาดเคลื่อนในการสร้างภาพ และสามารถมองภาพได้ชัดเจนและเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น โดยการวิจัยครั้งนี้ได้นำโปรแกรม GeoGebra มาใช้ในการจัดการเรียนรู้เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต ซึ่งโปรแกรม GeoGebra สามารถที่จะแสดงภาพที่เกิดจากการสร้างได้ชัดเจน ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน สามารถเปลี่ยนสี ปรับลดหรือเพิ่มขนาดความยาวของเส้นและมุมได้ อีกทั้งนักเรียนยังสามารถเข้าถึง

โปรแกรมได้ด้วยตนเองผ่านทางอินเทอร์เน็ต ทำให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมและสามารถที่จะศึกษาเพิ่มเติมด้วยตนเองได้อีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ปาริชาติ เต็มนา (2562, น. 40) ที่ได้ทำการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง เวกเตอร์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ และความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์ ของนักเรียนมัธยมศึกษา ปีที่ 5 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช พบว่า ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์ของนักเรียนได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง เวกเตอร์ โดยค่าเฉลี่ย (Mean) ของหลังเรียน มีค่าสูงกว่าก่อนเรียน โดยหลังเรียนมีค่าเฉลี่ย 15.61 คะแนน และก่อนเรียนมีค่าเฉลี่ย 8.32 คะแนน จากคะแนนเต็ม 20 คะแนน โดยการทำการทดสอบค่าที่ค่าสถิติ t-test มีค่าเท่ากับ 16.198, $df = 30$ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของลัดดาวรรณ แซ่ลิ้ม, ทรงวิทย์ ฤทธิกัณฑ์ และวัชรกร ทองช่วย (2560, น. 1,044) ที่ได้ทำการพัฒนาทักษะการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยการสอนด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียน ชะอวดกานูมาศ พบว่าประสิทธิภาพการจัดการเรียนรู้ด้วยโปรแกรม GSP เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิตของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ประสิทธิภาพของโปรแกรมบทเรียนได้เท่ากับ 70.5/72.22 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ 75/75 ตามจุดมุ่งหมายที่ตั้งไว้ ส่วนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยการสอนด้วยโปรแกรม GSP ผลการเปรียบเทียบคะแนนสอบก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 สอดคล้องกับงานวิจัยของพิสุทธิ์ ยิงทางเรือ (2559, น. 51) ที่ศึกษาผลการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบค้นพบด้วยโปรแกรม GeoGebra เรื่อง ภาคตัดกรวย พบว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนหลังได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยแผนการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดการเรียนรู้แบบค้นพบด้วยโปรแกรม GeoGebra เรื่อง ภาคตัดกรวยสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ .01 คิดเป็นร้อยละ 78.63 และนักเรียนมีความสามารถในการเขียนสมการวงกลมและวงรี ในรูปมาตรฐานให้อยู่ในรูปทั่วไป หรือสมการในรูปทั่วไปให้อยู่ในรูปมาตรฐาน และเขียนส่วนประกอบของกราฟจากสมการที่กำหนดให้ สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยทางสถิติที่ระดับ .01 และสอดคล้องกับงานวิจัยของวรสันต์ และมะลิวัลย์ ฤณาพรณ์ (2561, น. 60) ที่ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนาม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนาม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่านักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้แบบปกติ เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนาม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

2. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 ต่อการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุดมีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เท่ากับ 0.51 ซึ่งอาจเป็นเพราะนักเรียนได้มีส่วนร่วมในการเรียน ได้เรียนรู้และลงมือทำด้วยตนเอง สามารถที่จะเข้าถึงสื่อที่ครูใช้และศึกษาเพิ่มเติมได้เองผ่านทางอินเทอร์เน็ต อีกทั้งโปรแกรม GeoGebra เป็นโปรแกรมใหม่ สามารถเปลี่ยนสี ปรับลดหรือเพิ่มขนาดความยาวของเส้นและมุมได้ ทำให้นักเรียนสามารถเข้าใจได้มากยิ่งขึ้น มีความสนใจและไม่เกิดความเบื่อหน่ายในการเรียน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริ

ขวัญ พอค้า (2562, น. 81) ที่ศึกษาผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎี คอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับโปรแกรม GeoGebra เรื่อง เรขาคณิตวิเคราะห์ ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหา พบว่าความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ร่วมกับโปรแกรม GeoGebra โดยภาพรวมอยู่ในระดับเห็นด้วยมากที่สุด สอดคล้องกับงานวิจัยของวรสันต์ และมะลิวัลย์ ฤณาพรรณ (2561, น. 68) ที่ได้พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนาม สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 พบว่า นักเรียนที่เรียนด้วยกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนาม ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 มีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับงานวิจัยของลัดดาวรรณ แซ่ลิม, ทรวงวิทย์ ฤทธิภัณฑ์ และวัชรกร ทองช่วย (2560, น. 1,051) ที่ได้ทำการพัฒนาทักษะการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยการสอนด้วยโปรแกรม The Geometer's Sketchpad (GSP) ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนชะอวดภูพานาค พบว่าความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่องการสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยการสอนด้วยโปรแกรม GSP ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.82$)

ข้อเสนอแนะ

1. ครูควรเตรียมความพร้อมเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม GeoGebra และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการสอน รวมทั้งศึกษาขั้นตอนวิธีการสร้างพื้นฐานเกี่ยวกับเส้นตรง มุม และเส้นตั้งฉากผ่านโปรแกรม GeoGebra ให้เกิดความชำนาญ เพื่อให้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดำเนินได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ
2. การจัดการเรียนรู้ เรื่อง การสร้างพื้นฐานทางเรขาคณิต โดยใช้โปรแกรม GeoGebra ครูควรมีความยืดหยุ่นในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการสอน ให้มีความเหมาะสมกับเนื้อหาและธรรมชาติของนักเรียน
3. สามารถนำวิธีการจัดการเรียนรู้รูปแบบต่างๆ มาใช้ร่วมกับโปรแกรม GeoGebra ได้ เพื่อเป็นการพัฒนาการจัดการเรียนรู้ให้มีความหลากหลาย เหมาะสมกับสภาพผู้เรียน และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4. สามารถนำโปรแกรม GeoGebra ไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนคณิตศาสตร์ที่มีเนื้อหาเหมาะสมหรือเป็นนามธรรม เพื่อให้ นักเรียนสามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนและเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น
5. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรม GeoGebra ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในด้านต่างๆ ของนักเรียน เช่น ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ความคิดสร้างสรรค์ทางด้านคณิตศาสตร์ ความเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอแสดงความขอบคุณอย่างสูงต่อ คณะผู้บริหาร และ ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Council of Teachers of Mathematics. (2000). *Principles and standards for school mathematics*. Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- [2] Shelley, M. W. (1975). *Responding to social change*. Pennsylvania: Downed Hutchinson & Poss.
- [3] Stromborg, M. F. (1984). Selecting an instrument to measure quality of life. *Oncology Nursing Forum*.
- [3] กระทรวงศึกษาธิการ. (2551). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [4] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- [5] กิตติศักดิ์ สังฆะกาโล, เกษรินทร์ เป็งจันทร์, ภูเบศร์ รัตนมงคล, & ปณิธิ ทองคำ. (2564, 11 เมษายน). *การใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนการจัดการเรียนการสอน*. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2568, จาก <https://www.starfishlabz.com/blog/760>
- [6] เฉลิมเกียรติ ตุ่นแก้ว. (2553). *ความพึงพอใจของผู้ปกครองที่มีต่อการบริหารงานโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย*. การศึกษาอิสระปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.
- [7] เฉลิมวุฒิ คำเมือง. (2562, 14 มิถุนายน). *การสร้างสื่อการเรียนการสอน โดยใช้โปรแกรม GeoGebra*. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2568, จาก <http://blog.bru.ac.th/2019/06/14/โปรแกรม-geogebra-v5-0-เบื้องต้น/>
- [8] ปาริชาติ เต็มนา. (2562). *ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรม GeoGebra เรื่อง เวกเตอร์ ที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนคณิตศาสตร์และความสามารถในการเชื่อมโยงความรู้ทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดนครศรีธรรมราช*. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาศึกษาศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- [9] ปิยะวุฒิ ศรีชนะ. (2556). *ชุดการเรียนการสอนเรื่อง กำหนดการเชิงเส้นโดยใช้โปรแกรม GeoGebra สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [10] ศิริขวัญ พอค้า. (2562). *ผลของการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามทฤษฎีคอนสตรัคติวิสต์ ร่วมกับโปรแกรม GeoGebra เรื่อง เรขาคณิตวิเคราะห์ ที่มีต่อความสามารถในการแก้ปัญหา*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคณิตศาสตร์ศึกษา, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [11] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2561). *คู่มือการใช้หลักสูตร กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น*.

แนวทางการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การหาค่าลอการิทึม
ด้วยไม้บรรทัดลอการิทึม

The Guideline for Developing Mathematics Learning Activity on
Exploring Logarithm with Logarithm Ruler

ภมรเมษย์ เลหาวิรุฬห์กุล^{1,*} สรรฐณัฐ ปัญญาเสฏฐโร² และชนิสรา เมธภัทรหิรัญ³

¹โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

²โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

Pamornmate Laohawiroongool^{1,*}, Santhanat Punyasettro² and Chanisara Metpattarahiran³

¹Triamudomsuksanomkiao School

²Triamudomsuksa School

³Faculty of Science and Technology Suandusit University

บทคัดย่อ

กิจกรรมการเรียนการสอนทางคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักเรียนต้องเข้าใจอย่างลึกซึ้ง เพราะเนื้อหาทางคณิตศาสตร์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายนั้นมีความเป็นนามธรรมค่อนข้างสูง ซึ่งอาจทำให้นักเรียนไม่เข้าใจและไม่สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ได้ และทำให้เกิดเจตคติที่ไม่ดีต่อการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ต่อไป ลอการิทึม เป็นหนึ่งในหัวข้อที่มีความเป็นนามธรรม ดังนั้นครูจึงต้องตระหนักเกี่ยวกับการสอนเนื้อหานี้เป็นอย่างมาก การใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้จึงเป็นวิธีที่ดีและเป็นประโยชน์ต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ ซึ่งทำให้นักเรียนสามารถหาค่าของลอการิทึมได้สะดวกขึ้น

คำสำคัญ : ไม้บรรทัดลอการิทึม, การหาค่าลอการิทึม

Abstract

Teaching Mathematics on Upper Secondary Level is necessary to make student obviously understand because the contents on this level is too abstract. They make students do not

*Corresponding author: pamornmate.lao@tun.ac.th

Received : 27/07/2024 Revised : 17/01/2025 Accepted : 24/02/2025

understand, cannot apply the concept in real world situation and dislike mathematics eventually. Logarithm is one of abstract contents so teacher should teach this content substantially. Using the logarithm ruler is a good way to applicate in the class. It's useful for learning activity and make student can find the value of logarithm easily.

Keywords : Logarithm ruler, Exploring of Logarithm.

บทนำ

คณิตศาสตร์มีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาความคิดมนุษย์ ทำให้มนุษย์มีความคิดสร้างสรรค์ คิดอย่างมีเหตุผล เป็นระบบ มีแบบแผนสามารถวิเคราะห์ปัญหาหรือสถานการณ์ได้อย่างถี่ถ้วน รอบคอบ ช่วยให้คาดการณ์ วางแผน ตัดสินใจ แก้ปัญหา และนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องเหมาะสม นอกจากนี้ คณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือในการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและศาสตร์อื่น ๆ คณิตศาสตร์จึงมีประโยชน์ต่อการดำเนินชีวิต ช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตให้ดีขึ้น และสามารถอยู่ร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีความสุข [1] นอกจากนี้คณิตศาสตร์ยังเป็นรากฐานของวิทยาการหลาย ๆ สาขาวิชา และมีบทบาทสำคัญต่อความเจริญทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและความเจริญในอีกหลาย ๆ ด้าน [2] ดังนั้นจึงมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิชาคณิตศาสตร์ในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน เพื่อความเจริญของบ้านเมืองในอนาคตสืบไป แต่วิชาคณิตศาสตร์ เป็นเรื่องราวของความคิด ประโยคทุกประโยคในคณิตศาสตร์ว่าด้วยนามธรรมทั้งสิ้น [3] จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักเรียนไม่ชอบเรียนวิชาคณิตศาสตร์ กอปรกับนักเรียนไม่เข้าใจที่มาที่ไปของวิชานี้ว่ามันมีประโยชน์อย่างไร และเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันอย่างไร

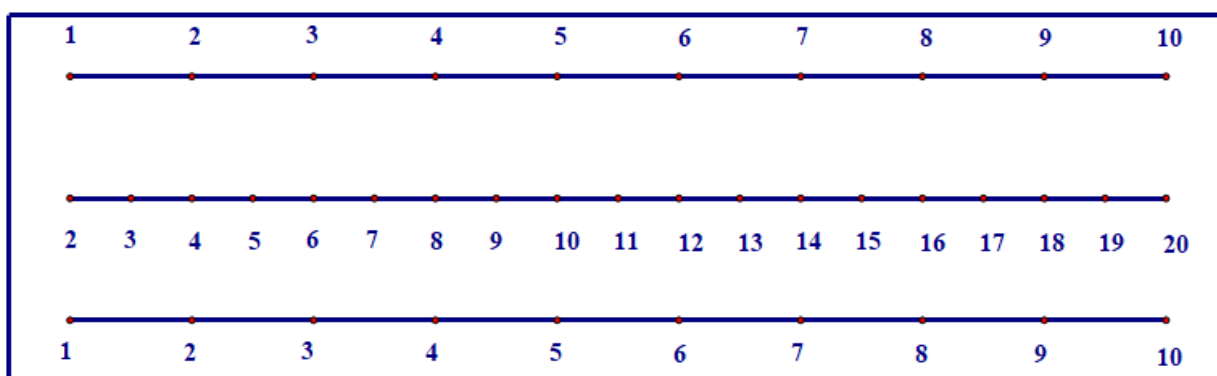
ลอการิทึม เป็นเนื้อหาสาระเพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560) มีความเป็นนามธรรมสูง เพราะเป็นฟังก์ชันผกผันของฟังก์ชันเลขยกกำลัง (Exponential Function) ซึ่งมีสมบัติหลายสมบัติในการศึกษา จึงเป็นเรื่องยากที่นักเรียนจะทำความเข้าใจ [4]

สื่อการสอน เป็นองค์ประกอบที่สำคัญต่อกระบวนการเรียนการสอน ซึ่งผู้สอนจะต้องศึกษารูปแบบและวิธีการให้เหมาะสมกับสถานการณ์ และตรงกับวัตถุประสงค์ในการใช้ ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนมีประสบการณ์จากประสาทสัมผัสที่ผสมผสานจนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ [5],[6].

ไม้บรรทัดลอการิทึม เป็นไม้บรรทัดที่ใช้หลักการวัด การประมาณค่า และการใช้สมบัติของลอการิทึม มาใช้ในการหาค่าลอการิทึม ทำให้การหาค่าลอการิทึม สามารถทำได้ง่ายตายตัว ด้วยเหตุนี้จึงอยากนำเสนอแนวทางการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การหาค่าลอการิทึมด้วยไม้บรรทัดลอการิทึม เพื่อเป็นประโยชน์ต่อครูผู้สอน นักเรียน นักศึกษา และนักการศึกษาสาขาคณิตศาสตร์ ในการศึกษาเรื่องลอการิทึม

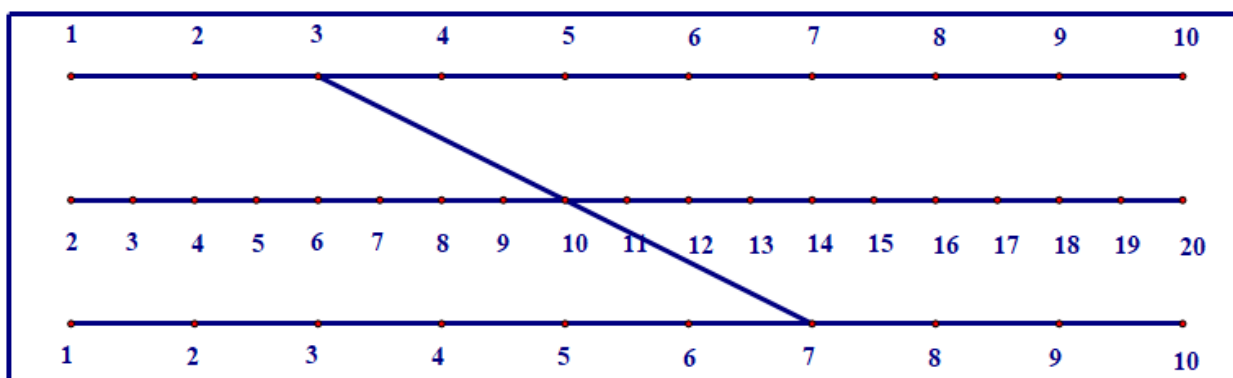
การพัฒนาไม้บรรทัดลอการิทึม

หลักการสำคัญของการพัฒนาไม้บรรทัดลอการิทึม คือ การใช้โนโมกราฟ (Nomograph) ซึ่งโนโมกราฟเป็นเครื่องมือที่อยู่ในรูปของแผนภาพหรือกราฟที่ใช้เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลายตัว โดยปกติจะใช้ในการคำนวณหรือประเมินค่าต่าง ๆ เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ โดยสามารถใช้ในการหาเกณฑ์หรือค่าที่ต้องการจากการอ่านกราฟได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้เครื่องคิดเลขหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของจำนวน ในการพัฒนาไม้บรรทัดลอการิทึม เริ่มจากการนำโนโมกราฟอธิบายความสัมพันธ์ของจำนวนด้วยวิธีการบวก ดังภาพที่ 1



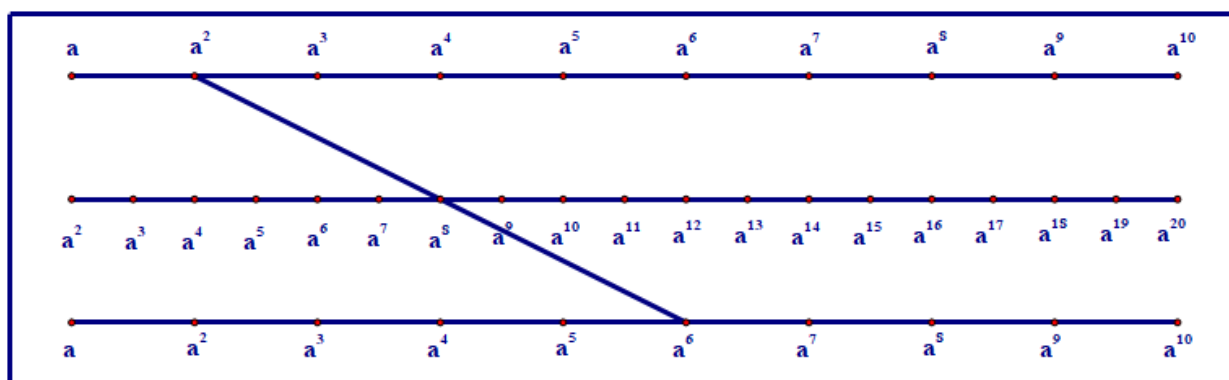
ภาพที่ 1 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนในรูปแบบของการบวก

จากภาพจะแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนในรูปแบบการบวกของจำนวน โดยเส้นจำนวนที่แสดงแถบบนและแถวล่าง แทนจำนวนนับ และแถวกกลางแทนด้วยเส้นจำนวนที่เกิดจากการรวมกันของจำนวนที่ตรงกันในแต่ละเส้นตรง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราจะหาผลลัพธ์ระหว่าง 3 กับ 7 หากเราลากเส้นตรงผ่านเลข 3 บนเส้นจำนวนในแถบบนไปยังเลข 7 ที่อยู่บนเส้นจำนวนของแถวล่าง เส้นตรงจะผ่านเลข 10 ในแถวกกลางพอดี แสดงให้เห็นว่า $3 + 7 = 10$ ดังภาพที่ 2



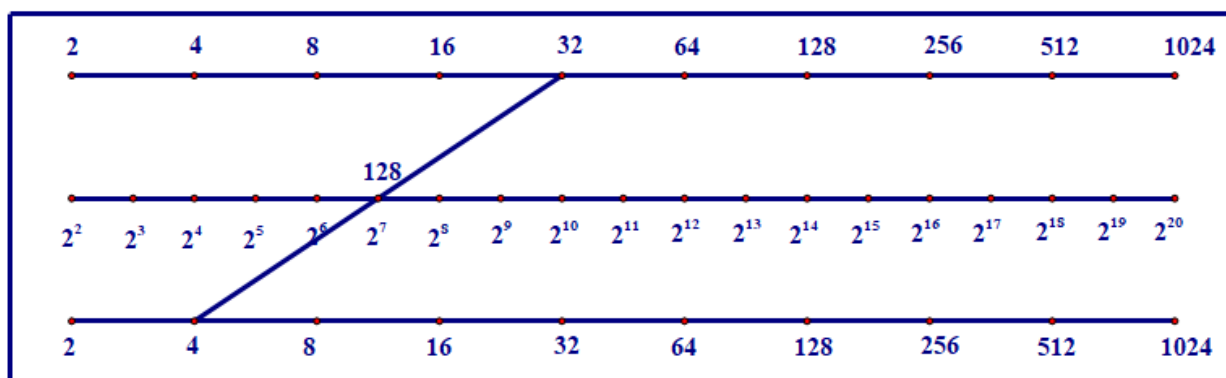
ภาพที่ 2 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการรวมกันของเลข 3 และเลข 7

จากภาพที่ 1 และภาพที่ 2 จะเห็นว่า โนโมกราฟใช้อธิบายความสัมพันธ์ในลักษณะการบวกได้ หากเราขยายแนวคิดไปยังการคูณ โนโมกราฟจะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของการคูณได้หรือไม่ คำตอบคือหากเราพิจารณาการคูณที่มีพื้นฐานจากบวกตามสมบัติของเลขยกกำลังที่ว่า $a^m \times a^n = a^{m+n}$ เมื่อ a เป็นจำนวนใด ๆ และ m และ n แทนจำนวนตรรกยะ พบว่า โนโมกราฟสามารถอธิบายการคูณตามแนวคิดของเลขยกกำลังได้ โดยเราจะประยุกต์ให้เส้นจำนวนแนวนอนและแนวตั้ง แทนจำนวนเต็มที่อยู่ในรูปเลขยกกำลังที่มีฐานเป็น a และแนวกลาง แทนเส้นจำนวนที่เกิดจากการคูณกันของเลขยกกำลังฐาน a ในแนวเส้นตรง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราจะหาผลลัพธ์ระหว่างการคูณกันของ a^2 และ a^6 เมื่อลากเส้นตรงผ่าน a^2 บนเส้นจำนวนแนวนอน ไปยัง a^6 บนเส้นจำนวนแนวตั้ง จะพบว่าเส้นตรงจะผ่าน a^8 บนเส้นจำนวนแนวกลาง แสดงว่า $a^2 \times a^6 = a^8$ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการคูณกันของ a^2 และ a^6

และเมื่อแทน a ด้วยจำนวนจริงสักจำนวน เช่น ถ้าในภาพที่ 3 เราแทนค่า a ด้วย 2 บนแถบเส้นจำนวนในแนวนอน แนวตั้ง และแนวกลาง พบว่า เมื่อพิจารณาการคูณกันของ 2^5 หรือ 32 กับ 2^2 หรือ 4 เมื่อลากเส้นตรงผ่าน 32 บนเส้นจำนวนแนวนอน ไปยัง 4 บนเส้นจำนวนแนวตั้ง พบว่าเส้นตรงจะผ่าน 128 บนเส้นจำนวนแนวกลาง แสดงว่า $32 \times 4 = 128$ ดังภาพที่ 4



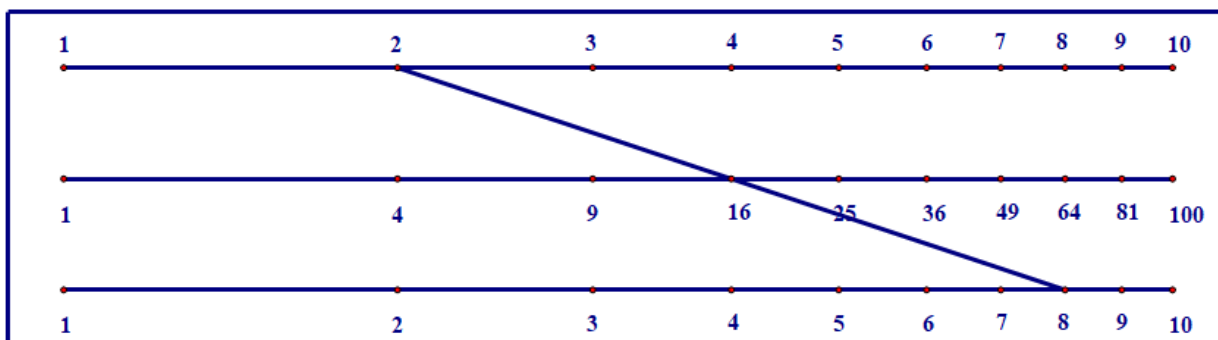
ภาพที่ 4 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการคูณกันของ 32 และ 4

จากภาพที่ 4 บนเส้นจำนวนทั้ง 3 แถวแต่ละจุดคือตำแหน่งของเลขยกกำลังที่มี 2 เป็นฐาน หากเราจะขยายแนวคิดการคูณให้อยู่ในรูปของจำนวนจริงใด ๆ เราจำเป็นต้องปรับระยะห่างของจุดโดยใช้มีน็อตส์หรือแนวคิดของลอการิทึม เช่น 2 อยู่ในตำแหน่งของ 2^1 และ 4 อยู่ในตำแหน่งของ 2^2 ฉะนั้น 3 จะอยู่ในตำแหน่งของ $2^{\log_2 3}$ เพราะ $3 = 2^{\log_2 3}$ จากภาพที่ 3 หากเราแทน a ด้วย 10 และพิจารณาตัวเลขต่าง ๆ โดยใช้แนวคิดของลอการิทึม เราจะได้โนโมกราฟที่มีลักษณะดังในภาพที่ 5



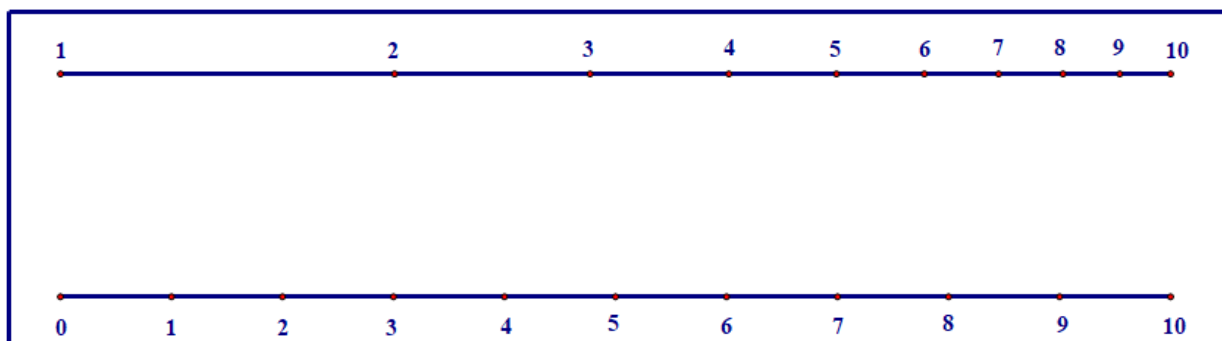
ภาพที่ 5 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการคูณโดยเปลี่ยนระยะพิชคณิตเป็นระยะลอการิทึม

จากภาพที่ 5 จะพบว่าโนโมกราฟที่เราได้ จะเป็นโนโมกราฟของจำนวนจริงที่สามารถใช้อธิบายการคูณของจำนวนจริงได้ เช่น หากเราพิจารณาการคูณกันของ 2 และ 8 เมื่อลากเส้นตรงผ่าน 2 บนเส้นจำนวนแถวบน ไปยัง 8 บนเส้นจำนวนแถวล่าง จะพบว่าเส้นตรงจะผ่าน 16 บนเส้นจำนวนแถวล่าง แสดงว่า $2 \times 8 = 16$ ดังภาพที่ 6



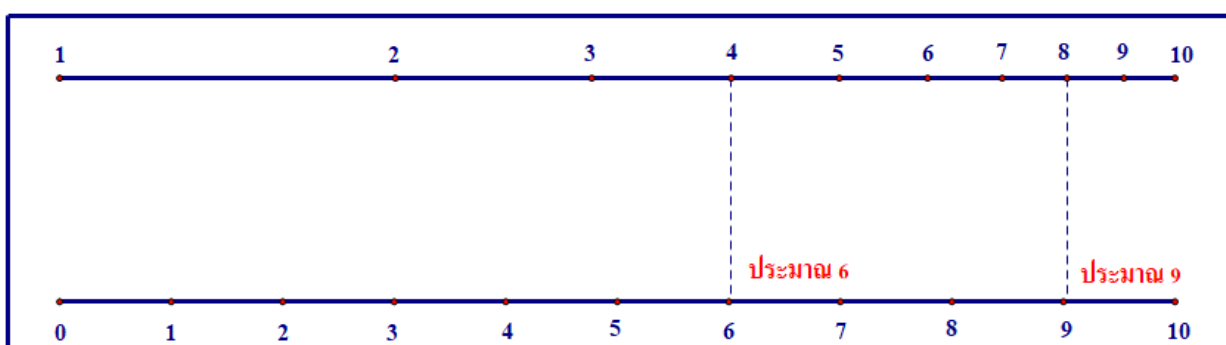
ภาพที่ 6 : โนโมกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการคูณกันของ 2 และ 8

ดังภาพที่ 6 เราจะพบว่า เราสามารถนำโนโมกราฟไปใช้อธิบายการคูณของจำนวนจริงได้เสมอ บนแนวคิดของลอการิทึม หากเรานำโนโมกราฟที่ห่างกันด้วยระยะลอการิทึมและโนโมกราฟที่ห่างกันด้วยระยะพิชคณิตมาเปรียบเทียบกันจะได้โนโมกราฟที่มีลักษณะดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 : โนโมกราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะลอการิทึมและระยะพีชคณิต

ในภาพที่ 7 จะเห็นว่าโนโมกราฟจะประกอบด้วยเส้นจำนวนเพียง 2 เส้นคือแถบบนที่แต่ละจุดห่างกันด้วยระยะลอการิทึม และแถบล่างที่แต่ละจุดห่างกันด้วยระยะพีชคณิต ซึ่งเราใช้โนโมกราฟนี้ในการหาค่าลอการิทึมฐานต่าง ๆ ได้ เช่น หากเราต้องการหาค่าของ $\log_4 8$ เราอาจใช้สมบัติของลอการิทึมที่กล่าวว่า $\log_b a = \frac{\log_n a}{\log_n b}$ เมื่อ $a, b > 0$ และ $b, n \neq 1$ ซึ่งในที่นี้เราจะให้ $n = 10$ เพราะโนโมกราฟที่เราสร้างขึ้น เราอ้างอิงจากการแทนค่าฐานของเลขยกกำลังด้วย 10 ซึ่งจะแสดงการคำนวณค่า $\log_4 8$ ได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 : แสดงการใช้โนโมกราฟในการหาค่า $\log_4 8$

ในภาพที่ 8 เมื่อพิจารณาค่า $\log_4$ และ $\log_8$ จากการประมาณค่าระยะลอการิทึมและระยะพีชคณิตบนโนโมกราฟ จะพบว่า $\log_4$ มีค่าประมาณเป็น 6 และ $\log_8$ มีค่าประมาณเป็น 9 เมื่อแทนค่าตามสมบัติของลอการิทึมข้างต้นจะได้ว่า $\log_4 8 = \frac{\log 8}{\log 4} = \frac{9}{6} = \frac{3}{2} = 1.5$ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่า ในความเป็นจริง $\log_8$ มีค่าประมาณ 0.903 และ $\log_4$ มีค่าประมาณ 0.602 แต่บนระยะลอการิทึมบนโนโมกราฟ เกิดจากการขยายสเกลของระยะทางด้วยการคูณ 10 เมื่อเทียบกับระยะพีชคณิตจึงทำให้ $\log_4 8 = \frac{\log 8}{\log 4} = \frac{0.903}{0.602} = \frac{9.03}{6.02} = 1.5$ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า โนโมกราฟในภาพที่ 8 สามารถใช้ในการหาค่าลอการิทึมได้ และเราจะเรียกโนโมกราฟในภาพที่ 8 ว่าไม้บรรทัดลอการิทึม [7]

แนวทางการนำไม้บรรทัดลอการิทึมไปใช้จัดกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

ในการนำสื่อการเรียนรู้ไม้บรรทัดลอการิทึมไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ คณะผู้จัดทำได้นำไปทดลองใช้กับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า ปีการศึกษา 2566 จำนวน 40 คน มีวัตถุประสงค์ในการจัดการเรียนรู้คือ นักเรียนสามารถหาค่าลอการิทึมด้วยการใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมได้ โดยมีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ดังนี้

ขั้นนำเข้าสู่บทเรียน

นักเรียนทบทวนบทเรียนที่ผ่านมาเกี่ยวกับสมบัติต่าง ๆ ของลอการิทึม เช่น ให้ a, n, M และ N เป็นจำนวนจริงบวก ซึ่ง $a \neq 1$ จะได้

1. $\log_a 1 = 0$
2. $\log_a a = 1$
3. $\log_a MN = \log_a M + \log_a N$
4. $\log_a \frac{M}{N} = \log_a M - \log_a N$
5. $\log_a M^n = n \log_a M$
6. $\log_{a^n} M = \frac{1}{n} \log_a M$
7. $\log_N M = \frac{\log_a M}{\log_a N}$
8. $a^{\log_a M} = M$

และคิดคำนวณผ่านการทำโจทย์อย่างง่ายร่วมกันบนกระดาน 3 – 5 ข้อ เช่น จงหาค่าของ $\log_4 8$

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ} \quad \log_4 8 &= \frac{\log_2 8}{\log_2 4} \\ &= \frac{\log_2 2^3}{\log_2 2^2} \\ &= \frac{3 \log_2 2}{2 \log_2 2} \\ &= \frac{3}{2} \end{aligned}$$

เมื่อนักเรียนพร้อมที่จะลงมือปฏิบัติแล้วจึงไปสู่ขั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้

ขั้นจัดกิจกรรมการเรียนรู้

แนะนำไม้บรรทัดลอการิทึมให้นักเรียนรู้จัก และสาธิตการใช้งานให้นักเรียนเห็นว่า ไม้บรรทัดใช้งานอย่างไร ดังภาพที่ 9 และ ภาพที่ 10



ภาพที่ 9 – 10 : สาธิตการนำไม้บรรทัดลอการิทึมไปใช้งาน

โดยหลังจากนั้นแจกใบกิจกรรมให้นักเรียนได้ทดลองใช้ไม้บรรทัดลอการิทึม อาจให้นักเรียนลงมือปฏิบัติร่วมกันโดยคลื่อนักเรียนตามความสามารถ ซึ่งมีการวัดและประเมินผลการเรียนรู้จากการตรวจใบกิจกรรม ดังภาพที่ 11 ภาพที่ 12 และภาพที่ 13



ภาพที่ 11 – 12 : กิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียน

คำชี้แจง :: จงใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมหาค่าประมาณของลอการิทึมของจำนวนตามฐานต่าง ๆ ต่อไปนี้

ข้อ	ปัญหา	ค่าที่ได้จากไม้บรรทัด	ค่าที่ได้จากตาราง	ค่าคลาดเคลื่อน
1	$\log_3 8$			
2	$\log_6 4$			
3	$\log_9 5$			
4	$\log_9 2$			
5	$\log_7 6$			
6	$\log_4 7$			
7	$\log_3 2$			
8	$\log_5 9$			
9	$\log_2 5$			
10	$\log_7 3$			

ภาพที่ 13 : ใบกิจกรรมการหาค่าลอการิทึมโดยใช้ไม้บรรทัดลอการิทึม

ขั้นสรุปกิจกรรม

นักเรียนและครูร่วมกันสรุปกิจกรรมการเรียนรู้ร่วมกัน และตั้งประเด็นคำถามว่า ทำไมไม้บรรทัดลอการิทึมที่ออกแบบมาสามารถใช้ในการหาค่าลอการิทึมได้ โดยครูพยายามใช้คำถามนำเพื่อให้เห็นว่า หลักการของการใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมมาจากการวัด การประมาณค่านั่นเอง

ผลจากการทดลองใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

จากการที่ผู้วิจัยนำไม้บรรทัดลอการิทึมไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เรื่องการหาค่าลอการิทึมนั้น พบว่านักเรียนร้อยละ 100 สามารถใช้ไม้บรรทัดลอการิทึมในการหาค่าลอการิทึมได้ และค่าที่ได้นั้นมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยกว่า 1% แสดงให้เห็นว่าไม้บรรทัดลอการิทึมนั้นสามารถพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนได้จริง ไม้บรรทัดลอการิทึมช่วยให้นักเรียนมีประสบการณ์การเรียนรู้จากประสาทสัมผัสที่ผสมผสานจนเกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ไม้บรรทัดลอการิทึมยังทำให้ความเป็นนามธรรมของเนื้อหาลอการิทึมนั้น กลายเป็นรูปธรรมได้ง่ายขึ้นจากการวัดและการประมาณค่า ทำให้นักเรียนเข้าใจบทเรียนได้ง่ายขึ้น การสอนด้วยสื่อการสอนไม้บรรทัดลอการิทึม จึงเป็นหนึ่งในแนวปฏิบัติที่ดีในการสอนเรื่อง ลอการิทึม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สรยุทธ ัญญะสุโขทัย ครูกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา และอาจารย์ชินสรา เมธภัทรศิริ สาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้เกียรติเป็นผู้วิจัยร่วมกัน และก่อให้เกิดความร่วมมือทางวิชาการด้านคณิตศาสตร์ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ น่วมนุ่ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผู้เป็นต้นแบบของการเป็นครู การเป็นนักวิชาการ และนักการศึกษาที่ดี นอกจากนี้ยังเป็นผู้สร้างแรงบันดาลใจในการผลิตบทความวิชาการนี้จนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 (ฉบับปรับปรุง 2560)*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- [2] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551*. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- [3] นิตยา สอนนุชาติ. (2562). *การพัฒนาแบบฝึกทักษะวิชาคณิตศาสตร์ เรื่อง เลขยกกำลัง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5* [รายงานวิจัย]. โรงเรียนนิคมน้ำอุ่นเจริญวิทยา
- [4] อัจฉรงค์ จันทมาศ. (2565). *ภาษาจักรวาล ประวัติย่อของคณิตศาสตร์*. ดรากอ้อนอร์.

- [5] วลัยนุช สกุลนุ้ย. (2555). ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้อุปกรณ์การสอนตามความคิดเห็นของครูศูนย์การศึกษานอกโรงเรียนจังหวัดนนทบุรี [รายงานการวิจัย]. วิทยาลัยราชพฤกษ์.
- [6] สุลักษณ์ คำทรัพย์. (2555). ผลของการจัดการเรียนรู้โดยใช้สื่อประสมเชื่อมโยงกับสถานการณ์จริง เรื่องวิธีเรียงสับเปลี่ยนและวิธีจัดหมู่ ที่มีต่อความสามารถในการคิด วิเคราะห์ และแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 [สารนิพนธ์ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [7] Ostler, E. (2013). Exploring logarithms with a ruler. *The Mathematics Teacher*, 106(9), 668–673.



วารสาร มทร.ภพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

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