

วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Technology

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.กพ. 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	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิไลลักษณ์ สอนมะลิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ รัตรี โพธิ์ระวัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	อาจารย์กิริศักดิ์ พะยะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ผู้ช่วยบรรณาธิการ	อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
ฝ่ายจัดการ	นายประทีป เพ็ญแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
	นายกฤษณะ จันทร	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	

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

ภาษาที่พิมพ์ ภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ

รูปแบบการประเมินบทความ วารสารนี้มีรูปแบบการประเมินบทความแบบ Double Blinded 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.สายัญ	ปันมา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา	มาสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	รองศาสตราจารย์ ดร.ปิรต์น	มูลศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.ภัทรวจี	ยะสะกะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
	รองศาสตราจารย์ ดร.จักรกฤษณ์	พิญาพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ	ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	รองศาสตราจารย์อุมาพร	ฉัตรวิโรจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์	กบ้งเกิด	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย	ชูสำโรง	มหาวิทยาลัยนเรศวร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฬาลักษณ์	เขมาชีวกุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เอกลักษณ์	สุนนพันธ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล- ล้านนา ตาก
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุจรี	สิงห์พันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์	สุวรรณราช	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินันท์	ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจริย์	พิมพ์พิมุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพร	พงศ์ธพฤกษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธิติมา	วทานีเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิศ	เสื่อนุ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูมินทร์	ตันอุตม์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมัมิษา	ตันติสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรจงศักดิ์	พักสมบูรณ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แดนชัย	เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนากร	วงศา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิจิตร	ฤทธิธรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
	Dr. Phoui	Souksomvang	National University of Laos
	Dr. Phengxay	Deevanhxay	National University of Laos
	Dr. Somsack	Inthasone	National University of Laos
	Dr. Somphouthone	Phimmachak	National University of Laos
	อาจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี	แสนยาเจริญกุล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บทบรรณาธิการ

วารสาร มรภ.กพ. วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเป็นสื่อกลางในการรวบรวมและเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานวิชาการ สำหรับนักวิชาการ นักวิจัย บุคลากรทางการศึกษา นักศึกษา นักเรียน ตลอดจนผู้ที่สนใจทั่วไป ได้นำไปใช้เป็นคลังข้อมูลและเพิ่มพูนองค์ความรู้ทางด้านสาขาวิชา วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ซึ่งไม่ได้หวังผลกำไรในการดำเนินการต่างๆ

วารสารนี้เผยแพร่เป็นปีที่ 2 ฉบับที่ 2 ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นการนำเสนอบทความวิชาการ 1 เรื่อง และบทความวิจัย 7 เรื่อง มีเนื้อหาครอบคลุมในสาขา ด้านการศึกษา ฟิสิกส์ ชีววิทยา เคมี คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยทุกบทความมีผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้ประเมิน จำนวน 3 ท่านต่อบทความ ซึ่งมาจากหน่วยงานที่หลากหลายสามารถนำไปใช้อ้างอิงในการทำผลงานวิชาการ หรือนำไปประยุกต์ในการบริการวิชาการได้

กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้อ่านที่ให้ความสนใจติดตามวารสาร ทั้งนี้ ทางวารสารจะพัฒนาในส่วนของเนื้อหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความถูกต้อง ทันสมัย และเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน แล้วพบกันใหม่ฉบับหน้า

อาจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ ดิษฐเจริญ
ผู้ช่วยบรรณาธิการ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
บทบรรณาธิการ	iii
■ บทความวิชาการ ■	
เทคนิคการถ่ายภาพสำหรับงานด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช	95
▶ ธนากร วงษ์ศา	
■ บทความวิจัย ■	
การหาปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟอาราบิก้าด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง	109
▶ เสาวภา ชูมณี	
ความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อกรมป่าไม้	121
▶ กฤตวิทย์ สุขอึ้ง	
การศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางสี อำเภอกำแพง จังหวัดลพบุรี	135
▶ สรายุทธ์ พานเทียน	
การศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย	143
▶ สรายุทธ์ พานเทียน	
สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$	155
▶ ธีรวัชร บุตรสาร	
การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย	161
▶ ศิริทธิ์ พร้อมเทพ	
การสร้างต้นแบบระบบการดูแลต้นอโศกเอเชีย ดราก้อนสเกล ผ่านไลน์โนטיפาย	175
▶ จินดาพร อ่อนเกตุ	

เทคนิคการถ่ายภาพสำหรับงานด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

Photographic Technique for Plant Tissue Culture

ธนากร วงษ์ศา*

โปรแกรมวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กำแพงเพชร 62000

Thanakorn Wongsas*

Program in Biology, Faculty of Science and Technology.

Rajabhat Kamphaeng Phet University, Kamphaeng Phet, 62000

บทคัดย่อ

ภาพถ่ายทางวิทยาศาสตร์เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์อย่างหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยทางด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่ต้องใช้เทคนิคการถ่ายภาพทางวิทยาศาสตร์สำหรับผลิตภาพถ่ายที่สามารถแสดงความแตกต่างของกลุ่มทดลองในงานวิจัยได้ชัดเจน ซึ่งต้องอาศัยทักษะ ความเข้าใจ อุปกรณ์ และเทคนิคต่าง ๆ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพที่ชัดเจน บทความวิชาการนี้ ได้รวบรวมเทคนิคการถ่ายภาพบางประการที่เหมาะสมสำหรับงานด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกใช้เทคนิคการถ่ายภาพที่ความเหมาะสมสำหรับการผลิตภาพถ่ายในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : เทคนิคการถ่ายภาพ, การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

Abstract

Scientific illustration is one of important evidence, especially in research on the plant tissue culture of which requiring the use of scientific illustration techniques to generate images that clearly demonstrate the differences between experimental treatments. An understanding in the use of suitable photographic techniques, photographic accessories and skills can enhance the quality of plant tissue culture illustration. This academic article provides guidance on selecting suitable photographic

* Corresponding author : thanakorn_wo@kpru.ac.th

Received : 24/09/2022

Revised : 20/04/2023

Accepted : 25/12/2023

techniques are informed and explained for guiding suitable selection of equipment and techniques in plant tissue culture photography in order to produce high-quality scientific illustration.

Keywords : Photographic technique, Plant tissue culture

บทนำ

ภาพถ่ายทางวิทยาศาสตร์ (scientific photography) เริ่มโดย Louis-Jacques-Mandé Daguerre ได้ทำการสร้างสรรค์เทคโนโลยีของภาพถ่ายขึ้นในปี ค.ศ. 1839 ซึ่งได้เรียกว่า daguerreotype ตามชื่อของผู้ผลิตผลงานนั่นเอง ต่อมาได้มีองค์ความรู้ที่มีการพัฒนาขึ้นและเป็นที่รู้จักกันว่าถ่ายภาพ โดยถูกนำมาใช้สำหรับการบันทึกภาพทางสถาปัตยกรรม แต่ส่วนเล็ก ๆ ของงานดังกล่าวนี้ ได้เป็นส่วนสำคัญของงานทางด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มของการผลิตผลงานของภาพถ่ายทางวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่เมื่อกล่าวถึงภาพถ่ายแล้วนั้น มักมีความเข้าใจถึงการภาพที่ได้จากการถ่ายภาพบุคคลเป็นหลัก ภาพถ่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายโดยเฉพาะภาพถ่ายในงานวิทยาศาสตร์ ส่วนใหญ่ภาพถ่ายทางวิทยาศาสตร์เหล่านี้มักถูกสร้างขึ้นจากนักถ่ายภาพทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งภาพถ่ายเหล่านี้จำเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากวัตถุบางอย่างนั้นไม่สามารถสังเกตหรือมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังตัวอย่างเช่น ดวงดาวขนาดเล็กบนท้องฟ้า หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กต่าง ๆ เช่น เชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น สำหรับชนิดของภาพถ่ายทางวิทยาศาสตร์ นั้นมีหลากหลายด้าน เช่น การถ่ายภาพทางดาราศาสตร์ (Astronomy photography) ภาพถ่ายทางชีววิทยา (Biology photography) ภาพถ่ายด้วยเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์ (Fluorescence photography) ภาพถ่ายของวัตถุที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (High-speed photography) ภาพถ่ายทางนิติวิทยาศาสตร์ (Forensic photography) ภาพถ่ายอินฟราเรด (Infrared photography) ภาพถ่ายขนาดเท่าของจริง (Photomacrography) ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ (Photomicrography) ภาพถ่ายระบบชลีเรน (Schlieren photography) ภาพถ่ายอุณหภูมิของพื้นผิว (Thermography) ภาพถ่ายด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet photography) และภาพถ่ายสัตว์ป่า (Wildlife photography) เป็นต้น [1] ซึ่งศาสตร์หลายแขนงทางวิทยาศาสตร์มีการนำเสนอภาพถ่ายเพื่อสร้างความเข้าใจให้กับความซับซ้อนของเนื้อหาต่าง ๆ [2] ภาพถ่ายที่มีคุณภาพนั้นส่งผลให้งานวิจัยที่น่าเสนอมีคุณภาพและช่วยดึงดูดความสนใจอีกด้วย [3, 4] ซึ่งการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์นั้นมีการบันทึกผลการทดลอง โดยเฉพาะการวิจัยทางชีววิทยานั้น มีรูปแบบการนำเสนอผลการทดลองที่หลากหลายรูปแบบ เพื่อแสดงถึงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัยนั้น ๆ อย่างเป็นลำดับของขั้นตอนที่ชัดเจน เทคนิคและวิธีการในการนำเสนอผลการทดลองที่มีความสำคัญและช่วยให้เกิดความเข้าใจของผลการทดลองให้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ภาพถ่าย” เนื่องจากผลการศึกษาวิจัยและทดลองทางชีววิทยาในหลายสาขามักมีการนำเสนอผลการทดลองเป็นภาพถ่ายกำกับไว้ด้วย เพื่อเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือของผลการทดลองนั้น ๆ รวมถึงภาพถ่ายจากการทดลองในงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชด้วยเช่นกัน ได้มีการใช้ภาพถ่ายเพื่อแสดงผลการทดลองหรือแสดงพัฒนาการต่าง ๆ ของพืชที่ทำการเพาะเลี้ยง นอกจากนี้ ยังแสดงการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของพืชหรือชิ้นส่วนของพืชเพาะเลี้ยงได้ชัดเจน สามารถสนับสนุนผลการทดลองเชิงปริมาณของค่าเฉลี่ยตัวเลขในตารางผลการทดลองต่าง ๆ ดังนั้นการถ่ายภาพการทดลองในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้น จึงมีเทคนิคที่ควรคำนึงถึงการถ่ายภาพเพื่อให้ได้ภาพถ่ายผลการทดลองที่สามารถใช้สื่อความหมายและแสดงผลการทดลองได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยวัตถุประสงค์

ของบทความวิชาการนี้ เพื่อรวบรวมเทคนิคและวิธีการถ่ายภาพสำหรับผู้มีพื้นฐานของการถ่ายภาพเบื้องต้นมาแล้ว เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการพิจารณาเทคนิคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายภาพสำหรับงานด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต่อไป

อุปกรณ์ที่ต้องใช้ในการถ่ายภาพในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

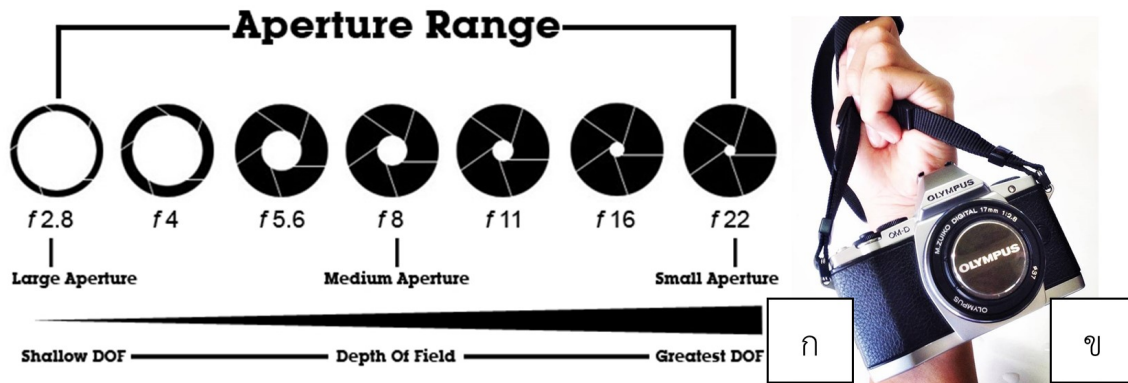
1. กล้องถ่ายภาพ เป็นอุปกรณ์หลักที่ควรคำนึงถึง เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ต้องใช้และเข้าใจการควบคุมวิธีหรือรูปแบบการทำงานของกล้องถ่ายภาพให้ได้ภาพตรงตามความต้องการมากที่สุด โดยทั่วไปแล้วกล้องถ่ายภาพมีหลายประเภท กล้องถ่ายภาพที่ควรเลือกใช้ควรเป็นกล้องถ่ายภาพแบบ digital single-lens reflex (DSLR) ซึ่งเป็นกล้องถ่ายภาพที่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ ควบคุมรูรับแสง (aperture) ความเร็วของชัตเตอร์ (shutter speed) การปรับความชัดลึกชัดตื้นของภาพ (depth of field) ได้ (ภาพที่ 1ก) เพื่อให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพอย่างน้อย 12 megapixels (Mp) โดยบันทึกภาพได้ด้วยนามสกุลของภาพถ่ายแบบ .RAW หรือ .TIFF [5] โดยภาพส่วนใหญ่ในบทความนี้ได้ใช้กล้องมิเรอร์เลส (mirrorless camera) Olympus OM-D E-M5 (ภาพที่ 1ข) เป็นอุปกรณ์หลักในการถ่ายภาพ อีกส่วนประกอบหนึ่งของกล้องถ่ายภาพคือ เลนส์ที่ควรมีอย่างน้อย 2 แบบคือ เลนส์ถ่ายภาพแบบกว้าง (wide-angle lens) และเลนส์มาโคร (macro lens) ซึ่งเลนส์ถ่ายภาพแบบกว้าง อาจใช้เลนส์ในช่วง 24-70 mm [5] เพื่อนำมาถ่ายตัวอย่างของพืชในภาคสนาม หรือตัวอย่างของพืชที่เป็นต้นแม่พันธุ์ (mother plant) ที่นำมาใช้เป็นชิ้นส่วนเริ่มต้น (explants) ในการฟอกฆ่าเชื้อ และเลนส์มาโครเป็นเลนส์พิเศษที่ช่วยขยายวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพเพื่อแสดงรายละเอียดของพืชเพิ่มมากขึ้นกว่าเลนส์ธรรมดาทั่วไป เพื่อนำมาใช้ถ่ายภาพตัวอย่างของพืชในสภาพปลอดเชื้อที่ทำการเลี้ยงภาชนะเลี้ยง (culture vessels) แบบต่าง ๆ และภาพส่วนใหญ่ในบทความได้ใช้เลนส์มาโครรุ่น M.ZUIKO DIGITAL ED 60mm F2.8 Macro ในการถ่ายภาพในบทความนี้

2. อุปกรณ์สำหรับให้แสงสว่าง เนื่องจากการถ่ายภาพหรือ photography หมายถึงการเขียนหรือวาดภาพด้วยแสง แสงสว่างที่ให้กับวัตถุที่ต้องการถ่ายภูมุนั้น จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากอุปกรณ์สำหรับให้แสงสว่างในปัจจุบันนิยมใช้แสงสว่างจากหลอดไฟ LED (light-emitting diode) ซึ่งให้แสงสว่างมากและมีการปล่อยความร้อนเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้ตัวอย่างของพืชที่ถ่ายไม่ได้รับความร้อนมาก และแสงสว่างมากส่งผลให้สามารถแสดงรายละเอียดของพืชได้ดีมากยิ่งขึ้น

3. อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ช่วยให้การถ่ายภาพ เช่น ขาตั้งกล้อง ไม้บรรทัด กระดาษกราฟ ผ้ากำมะหยี่สีดำหรือชุดสตูดิโอถ่ายภาพแบบสำเร็จรูป

4. กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ สำหรับการถ่ายภาพชิ้นส่วนของพืชที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถใช้เลนส์มาโครถ่ายภาพได้

5. คอมพิวเตอร์สำหรับการจัดการรูปภาพหลังจากทำการถ่ายภาพ เพื่อปรับแสงเงา ความคมชัด และจัดการความละเอียด ขนาดของภาพถ่าย และการสร้างสเกลเพื่อระบุขนาดในภาพถ่าย



ภาพที่ 1: ความสัมพันธ์ของขนาดรูรับแสงกับความคมชัดแบบชัดลึกชัดตื้นของภาพ (ก) และกล้องถ่ายภาพ (ข) ที่มาภาพ ก: Surmabojov [6]

เทคนิคบางประการสำหรับการถ่ายภาพในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นการเลี้ยงชิ้นส่วนพืชในสภาพปลอดเชื้อในภาชนะเลี้ยงที่นิยมใช้ขวดแก้วใส สำหรับใช้เป็นภาชนะในการเพาะเลี้ยงพืช ดังนั้น การถ่ายภาพจึงต้องคำนึงถึงเทคนิคการถ่ายภาพขวดแก้ว ซึ่งจำเป็นต้องระมัดระวังในการถ่ายภาพมากกว่าการถ่ายภาพวัตถุธรรมดา ด้วยการควบคุมส่วนที่เกี่ยวข้องสองประการ คือ การใช้แสงและโครงสร้างของวัตถุที่จัดถ่าย ซึ่งผิวแก้วสามารถเกิดเงาสะท้อนของสิ่งที่อยู่รอบข้าง ซึ่งอาจรวมกล้อง อุปกรณ์ให้แสงและสิ่งอื่น ๆ ไว้ด้วย ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเกิดการตัดกันจากการสะท้อนของแสงนี้มาก ทำให้เกิดการรบกวนรูปทรง ตลอดจนความสมบูรณ์ของวัตถุ ดังนั้นหลักการเบื้องต้นในการถ่ายภาพวัตถุนี้ประเภทนี้ คือ ต้องควบคุมให้มีการสะท้อนบนผิวของวัตถุเฉพาะตัวมันเองเท่านั้น ส่วนเงาสะท้อนอื่น ๆ ที่ปรากฏบนผิวของวัตถุนั้นต้องควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นหรือกำจัดออกไป [7] โดยมีเทคนิคที่ควรพิจารณาดังต่อไปนี้

1. เทคนิคในขั้นตอนของการจัดเตรียมฉากหลังและวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ

1) สีของฉากหลัง เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเป็นลำดับแรก เนื่องจากสีของฉากหลังของภาพเป็นสิ่งที่ช่วยให้วัตถุหรือตัวอย่างของพืชที่ถ่ายภาพมีความชัดเจนแสดงรายละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วมักเลือกใช้ฉากหลังสีดำหรือสีขาว ซึ่งเป็นสีพื้นฐานที่สามารถแสดงความแตกต่างได้เป็นอย่างดีในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช โดยพิจารณาจากวัตถุที่เราต้องการถ่าย เช่น หากต้องการถ่ายภาพที่แสดงส่วนของเมล็ดพืชที่มีสีดำประกอบอยู่ในภาพ ไม่ควรเลือกฉากหลังสีดำเนื่องจากทำให้สีของวัตถุลื่นไปกับสีของฉากหลัง ดังนั้นจึงควรเลือกฉากหลังสีขาวเพื่อแสดงความแตกต่างของวัตถุให้มีความชัดเจน (ภาพที่ 2ก และ 2ข) และควรจัดแสงของฉากหลังให้เรียบและมีโทนสีตรงข้ามกับวัตถุที่ถ่าย เช่น หากวัตถุที่มีสีขาว ควรจัดฉากให้มีสีดำ หรือถ้าวัตถุสีเข้ม ควรจัดฉากเป็นสีขาว (ภาพที่ 2ค) ทำให้ช่วยแยกวัตถุให้มีความชัดเจนจากฉากหลังได้ดี อาจใช้ฉากหลังที่มีสีอื่น เช่น สีแดง ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในงานวิจัยของประเทศอินเดีย (ภาพที่ 2ค)

2) แหล่งกำเนิดแสง มักนิยมใช้ไฟจากหลอดไฟ tungsten-halogen (3200 °K) เป็นแหล่งกำเนิดแสง แต่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้แสงจากหลอดไฟแบบ LED กันมากขึ้น [5] โดยใช้โคมไฟแบบ LED 2-3 ตัว สำหรับจัดวางโคมไฟให้แสงในทิศทางจากด้านบน ขวา และซ้ายของวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ หรือใช้ชุดหลอดไฟวงแหวนแบบ



ภาพที่ 2: การเลือกสีของพื้นหลังให้ที่มีสีตรงข้ามกับวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพ เช่นพื้นหลังสีดำ (ก) พื้นหลังสีขาว (ข) และตัวอย่างภาพงานวิจัยที่ใช้พื้นหลังสีแดง [8] (ค)



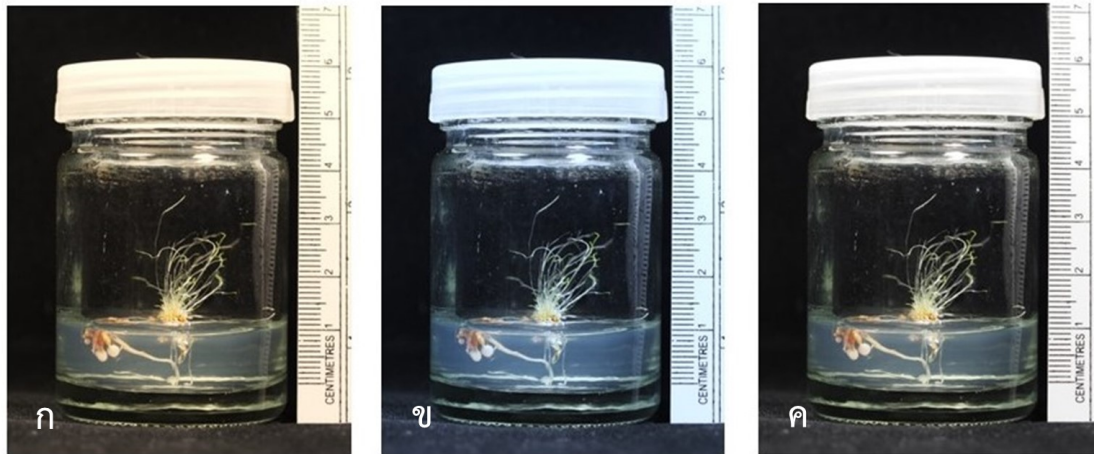
ภาพที่ 3: ตัวอย่างของภาพที่ทำการปรับสมดุลแสงขาวของกล้องถ่ายภาพ (Olympus OM-D E-M5) ให้ตรงกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันส่งผลต่อสีของภาพที่ถ่ายได้

LED สำหรับถ่ายภาพ แต่สิ่งที่ควรพิจารณาต่อมาคือ การปรับค่าสมดุลแสงขาว (white balance) ของกล้องถ่ายภาพ ให้ตรงกับแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติในขั้นตอนถัดมาเพื่อให้ภาพที่ถ่ายได้มีความสมจริงมากที่สุด หากไม่ทำการปรับสมดุลแสงขาวส่งผลให้สีของวัตถุที่ถ่ายได้ต่างกับสีวัตถุจริงที่นำมาเป็นแบบถ่ายภาพ (ภาพที่ 3) ในกรณีเลือกใช้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟ fluorescent จึงควรเลือกปรับสมดุลแสงขาวของกล้องถ่ายภาพให้เป็นแบบ fluorescent เพื่อให้ภาพถ่ายเป็นสีขาวใส และแสดงสีของวัตถุได้สมจริง (ภาพที่ 4)

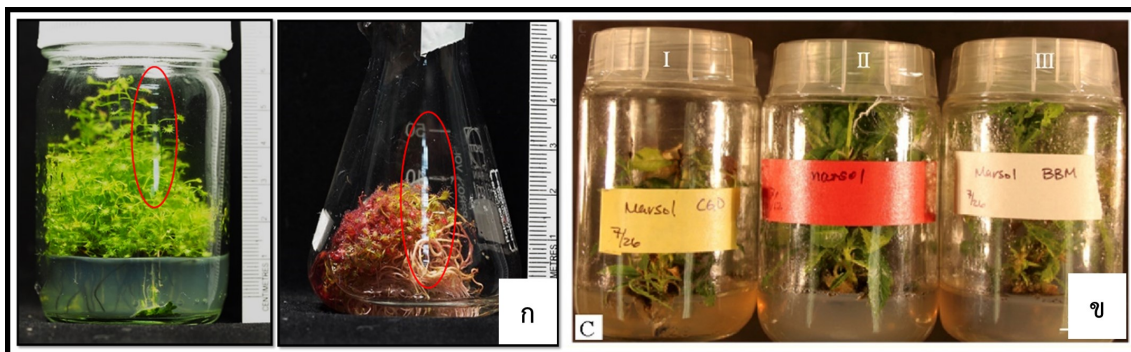
2. เทคนิคในขั้นตอนของการถ่ายภาพ

1) ทำการจัดอุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพ ติดตั้งกล้องถ่ายภาพบนขาตั้งกล้อง การจัดวางแหล่งกำเนิดแสง การปรับค่าสมดุลแสงขาวของกล้องถ่ายภาพ (ทำการตั้งค่าวันที่และเวลาในกล้องถ่ายภาพให้ถูกต้อง เพื่อการแสดงรายละเอียดของภาพที่ถูกต้อง ในกรณีที่ต้องการทราบข้อมูลของภาพถ่ายดิจิทัล)

2) นำตัวอย่างพืช ขึ้นส่วนของต้นแม่พันธุ์หรือขวดเพาะเลี้ยงพืช สำหรับกรณีแรกเป็นการถ่ายภาพของพืชแม่พันธุ์ เพื่อใช้ประกอบในส่วนของบริษัทฯ ทำได้โดยจัดวางขึ้นส่วนของพืชบนฉากหลังหลายแบบเพื่อถ่ายภาพ (ภาพที่ 2) กรณีที่สองสำหรับการให้แสงกับพืชที่เลี้ยงภายในภาชนะเลี้ยงที่เป็นวัตถุที่มีลักษณะโปร่งแสง (lighting transparent object) วัตถุที่เป็นมันวาวมักเกิดการสะท้อนเงาโดยวัตถุที่อยู่รอบ ๆ สำหรับวัตถุโปร่งใสนั้นสามารถแสดงให้เห็นฉากหลังด้วย (ภาพที่ 5) ในการเลือกตัวอย่างพืชจากค่ากลางในแต่ละกลุ่มทดลอง จึงควรพิจารณาภาชนะเลี้ยงพืชให้มีความใสสะอาดเป็นอย่างดี เพื่อให้แสงผ่านไปยังตัวอย่างของพืชภายในภาชนะเลี้ยงได้ดี อีกทั้งการถ่ายภาพ



ภาพที่ 4: ภาพที่ได้จากการปรับสมดุลแสงขาวแบบต่าง ๆ จากแหล่งกำเนิดแสงจากหลอดไฟ fluorescent ซึ่งให้โทนสีของภาพแบบโทนสีแดง (ก) สีฟ้า (ข) และขาวใส (ค)



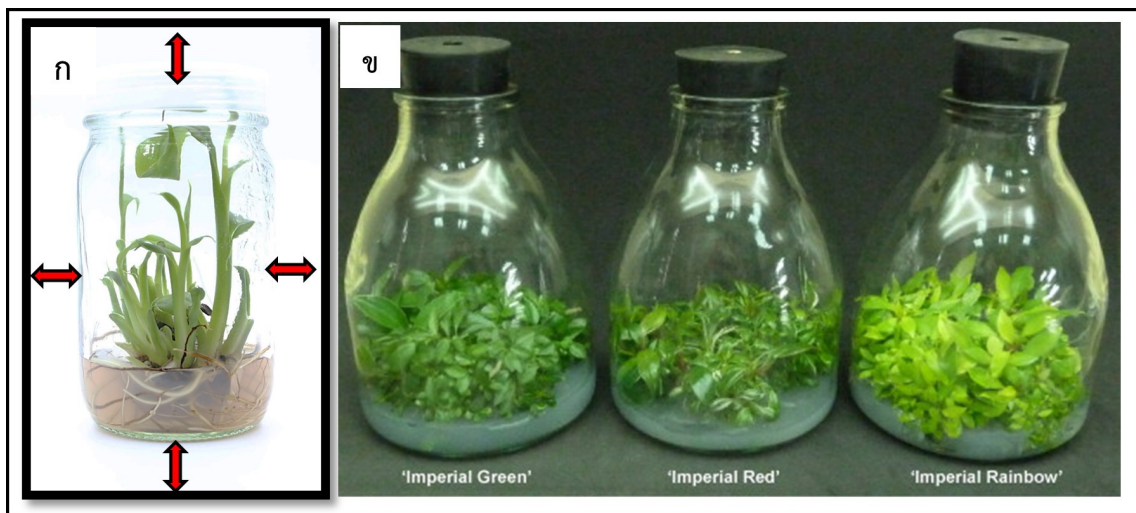
ภาพที่ 5: สัญลักษณ์ของวงรีแสดงการสะท้อนของแสงรบกวนที่ตกกระทบบนผิวของภาชนะเลี้ยงที่เป็นแก้ว (ก) และตัวอย่างภาพงานวิจัยของ Song et al. [9] (ข)

วัตถุที่มีลักษณะโปร่งใสมีข้อควรระวัง ทั้งในเรื่องการสะท้อนแสงเงาที่พื้นผิวและส่วนประกอบของฉากหลังไปพร้อม ๆ กัน การจัดแสงถ่ายวัตถุโปร่งแสงนั้น หากมีชุดสตูดิโอถ่ายภาพแบบสำเร็จรูปจะช่วยให้การถ่ายภาพได้สะดวกมากขึ้น โดยวางวัตถุไว้ด้านหน้าฉากทาบกับฉากหลัง ทำให้เห็นส่วนขอบหน้าของแก้วเกิดขึ้น ถ้าหากใช้กระดาษแข็งสีดำหรือผ้ากำมะหยี่สีดำมาวางไว้ด้านหลังวัตถุ เนื่องจากอาจเกิดเส้นดำปรากฏที่ขอบข้างวัตถุ ช่วยแยกวัตถุโปร่งใสออกจากตัวแบบได้ดี ในทางปฏิบัตินั้น สามารถช่วยสร้างฉากหลังสีขาวให้กับวัตถุโปร่งแสงได้โดยใช้กระดาษสะท้อนสีขาว (หรือสีเงิน) ตัดเป็นรูปเท่ากับวัตถุหรือเล็กกว่าเล็กน้อย นำไปวางซ่อนไว้ข้างหลังวัตถุ ฉากหลังที่เป็นสีขาวนี้จะเน้นให้วัตถุที่มีสีโปร่งใสมีความสว่างสดใสขึ้น [7] ขั้นตอนนี้ควรนำขวดเพาะเลี้ยงพืชวางไว้ในห้องถ่ายภาพ บางครั้งอาจจะเกิดไอน้ำขึ้นในขวดเพาะเลี้ยง ควรไล่ไอน้ำที่ผิวขวดแก้วด้วยการใช้ลมร้อนจากเครื่องเป่าลมร้อน แต่ควรระวังความร้อนที่ใช้ ไม่ควรมากเกินไปจนทำให้ต้นพืชภายในขวดได้รับผลกระทบจากลมร้อน

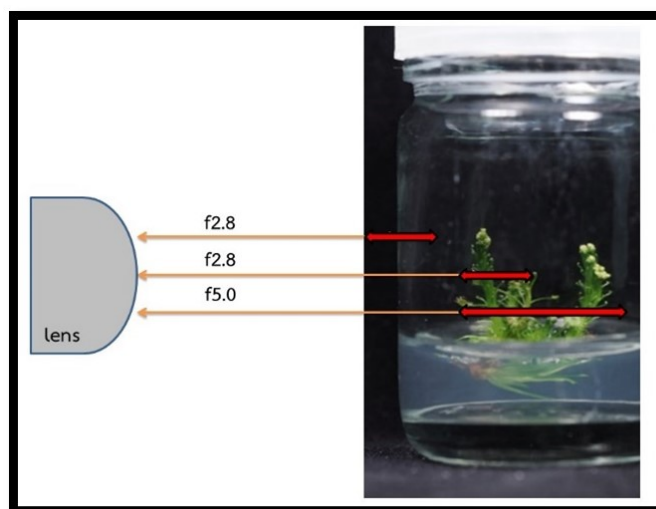
3) ตำแหน่งของวัตถุ (composition) การจัดตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการถ่ายภาพนั้นมีหลายแบบ แต่สำหรับการถ่ายภาพในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชนั้น ควรวางวัตถุหรือขวดแก้วหรือภาชนะที่ใช้เลี้ยงไว้ตรงกลางภาพ เพื่อเน้นความสำคัญของสิ่งที่เราต้องการแสดงในภาพ และควรคำนึงถึงระยะที่ว่างของวัตถุตรงกลางและพื้นที่ว่างใน

ภาพให้มีความสมดุลกันทั้ง 4 ด้าน (ภาพที่ 6) เพื่อกระบวนการจัดการภาพหากต้องการตัดภาพให้มีขนาดที่ต้องการ

4) ตำแหน่งของความคมชัด (focusing) สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากในการถ่ายภาพคือความชัดเจนของวัตถุที่เราต้องการแสดงให้เห็นในภาพถ่าย ซึ่งควรแสดงความชัดเจนให้ตรงความต้องการที่แสดงในภาพ เช่น ภาพถ่ายที่ต้องการแสดงดอกที่อยู่ในขวดเพาะเลี้ยง ควรเลือกขวดเพาะเลี้ยงพืชที่นำมาถ่ายภาพให้สามารถแสดงความชัดเจนบริเวณของพืชที่เราต้องการแสดงในภาพให้ชัดเจน แต่อาจมีความยากมากขึ้นหากใช้กล้องที่ไม่สามารถควบคุมการปรับจุดเน้นของความคมชัดได้ เนื่องจากการโฟกัสของกล้องมักจะปรับจุดเน้นของความคมชัดที่ผิวขวดมากกว่าส่วนของดอกที่อยู่ในระนาบหลังของผิวขวด จึงควรเลือกใช้กล้องถ่ายภาพที่สามารถควบคุมการปรับตำแหน่งของความคมชัดของภาพได้ อีกทั้งควรคำนึงถึงการปรับระยะการชัดลึกชัดตื้นโดยการปรับค่า F (F-number หรือ F-stop) ให้เหมาะสม แต่ไม่ควรลืมปรับค่าชดเชยแสงหากมีการปรับค่า F ให้เพิ่มมากขึ้น เมื่อต้องการให้ภาพถ่ายมีความชัดลึกเพิ่มขึ้นตามความต้องการ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 6: การวางวัตถุในตำแหน่งกลางภาพ (ก) และตัวอย่างภาพงานวิจัยของ Chen, Wang & Fang (2012) [10] (ข)



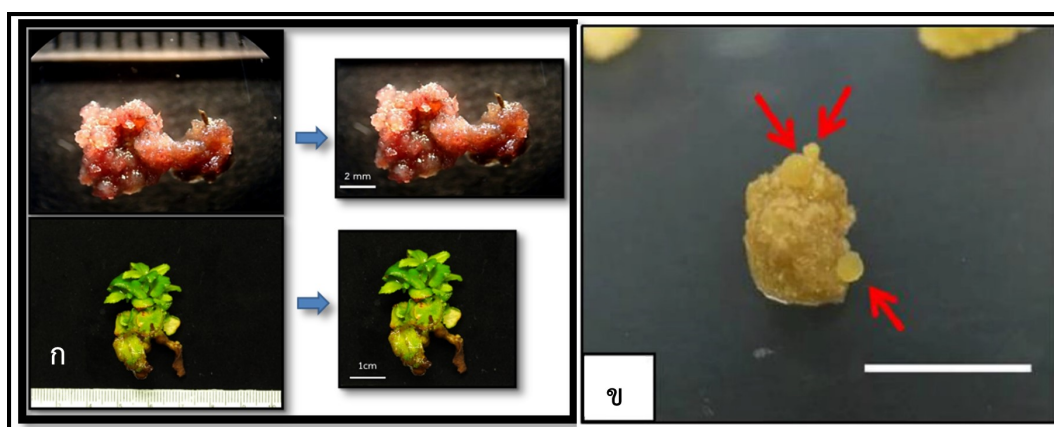
ภาพที่ 7: การปรับค่าความชัดลึกให้สามารถแสดงความชัดเจนของพืชที่ต้องการถ่ายภาพ

5) การถ่ายภาพตัวอย่างของพืชเมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้ว เช่น การเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดตามระยะเวลาที่วางแผนการทดลองไว้แล้วนั้น การถ่ายภาพผลการทดลองควรดำเนินการถ่ายภาพไว้ 2 รูปแบบด้วยกัน คือ แบบแรกเป็นการถ่ายภาพของตัวแทนพืชที่เลือกจากค่ากลางของในแต่ละกลุ่มทดลองนั้น ๆ โดยถ่ายพืชที่อยู่ในภาชนะเลี้ยง แบบที่สองคือนำพืชออกมาด้านนอกภาชนะเลี้ยง วางลงบนชุดถ่ายภาพที่จัดไว้ โดยมีการถ่ายด้วยฉากหลังสีขาวหรือดำพร้อมทั้งมีไม้บรรทัดเพื่อบอกขนาดของตัวอย่างพืชที่ทำการถ่ายภาพ (ภาพที่ 8)

6) การถ่ายภาพตัวอย่างของกลุ่มเซลล์หรือเนื้อเยื่อพืชเพาะเลี้ยงที่มีขนาดเล็ก กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ สำหรับการถ่ายภาพชิ้นส่วนของพืช เช่น ลักษณะของแคลลัส (callus) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนพืชเพาะเลี้ยง พร้อมโปรแกรมสำหรับชุดถ่ายภาพสำเร็จรูป หากไม่มีโปรแกรมสำหรับชุดถ่ายภาพสำเร็จรูป ควรถ่ายภาพโดยใช้ไม้บรรทัด หากมีการแสดงภาคตัดขวางของเนื้อเยื่อพืชเพื่อแสดงรายละเอียดของรูปแบบในการเกิดพัฒนาการนั้น ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเลนส์ประกอบทำการระบุขนาดในภาพได้กล้องจุลทรรศน์ด้วย ocular micrometer

3. เทคนิคในขั้นตอนหลังของการถ่ายภาพ

1) กระบวนการจัดการถ่ายภาพ หลังจากถ่ายโอนไฟล์ภาพจากกล้องดิจิทัลสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว ทำการจัดทำรูปเพื่อนำไปใช้ประกอบในผลการทดลองโดยทำการลากเส้นเพื่อสร้างสเกลเพื่อระบุขนาดใหม่จากส่วนของไม้บรรทัดที่ถ่ายติดมาในภาพ จากนั้นตัดขอบภาพที่มีส่วนของไม้บรรทัดออก เพื่อให้ได้ภาพใหม่เพื่อนำไปใช้แสดงในผลการทดลองต่อไป (ภาพที่ 8)

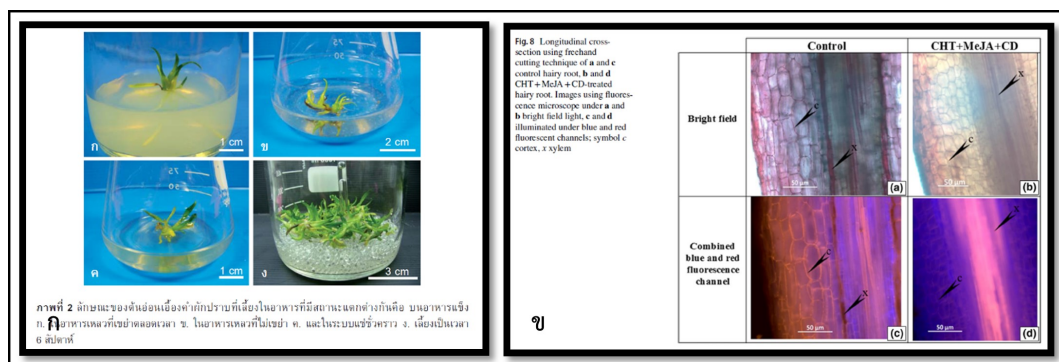


ภาพที่ 8: ชิ้นส่วนของแคลลัสถ่ายได้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอซึ่งไม่มีโปรแกรมถ่ายภาพสำเร็จรูป และภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ สามารถระบุขนาดของชิ้นส่วนได้โดยไม้บรรทัดเพื่อแสดงขนาดของวัตถุในภาพและเพื่อใช้อ้างอิงขนาดของสเกลเมื่อทำการรูปภาพเพื่อแสดงในผลการทดลอง (ก) และตัวอย่างภาพในงานวิจัยของ Haradzi et al. [11] (ข)

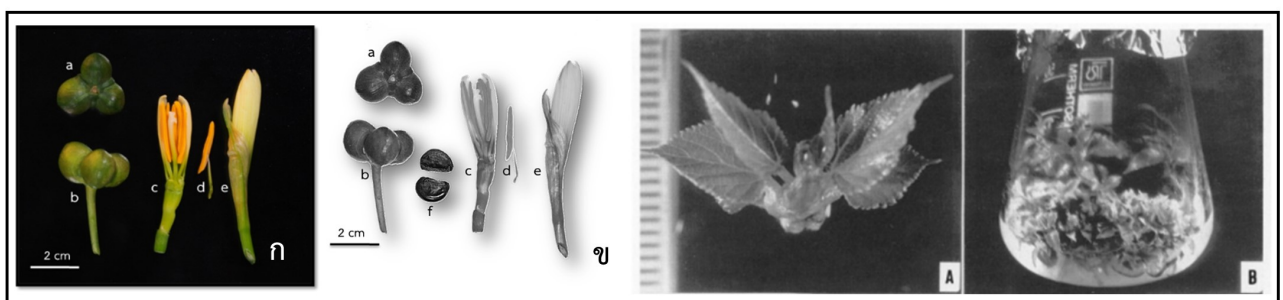
2) การจัดการภาพถ่ายสำหรับแสดงผลการทดลอง หลังจากจัดการภาพถ่ายโดยใส่สเกลระบุขนาดในภาพเรียบร้อยแล้ว ให้ออกแบบจัดวางภาพที่ได้เพื่อแสดงภาพถ่ายให้สอดคล้องกับเนื้อหาในผลการทดลองหรือตารางผลการทดลองที่อาจมีการแสดงเป็นตารางตัวเลขหรือกราฟ เพื่อนำเสนอภาพถ่ายสำหรับแสดงรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ในการทดลอง เช่น การเจริญเติบโตพืช ลักษณะการตายของพืชหรือชิ้นส่วนเพาะเลี้ยง การเจริญเปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อเพาะเลี้ยงเป็นโครงสร้างใหม่ การเกิดเป็นแคลลัส ซึ่งภาพถ่ายของการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ

เพาะเลี้ยงดังที่กล่าวมาก่อนหน้าช่วยสนับสนุนและเพิ่มความเข้าใจในข้อมูลของเนื้อหาของตารางผลการทดลอง หรือ กราฟที่ได้มีการให้ข้อมูลมาก่อนแล้ว (ภาพที่ 9)

3) การเปลี่ยนภาพถ่ายสีเป็นภาพสีขาวดำสำหรับการเผยแพร่ผลงานที่กำหนดไม่ให้อัปโหลดภาพถ่ายสี เนื่องจากในบางวารสารกำหนดให้อัปโหลดภาพถ่ายขาวดำในผลการทดลอง (ภาพที่ 10ค) จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนภาพถ่ายที่ได้เป็นภาพสีขาวดำเพื่อตรงกับข้อกำหนดของวารสารนั้น ๆ ซึ่งสามารถทำได้โดยด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop ด้วยการเปลี่ยนจากภาพสีเป็นภาพแบบ grayscale [5] หรือการใช้เครื่องมือแก้ไขรูปภาพในโปรแกรมสำเร็จรูปอื่น ๆ เป็นต้น (ภาพที่ 10) หรือทำการถ่ายภาพแบบ monochrome ต้องทำการตั้งค่าไฟล์ภาพให้เป็น .RAW ทำให้ผู้ถ่ายภาพสามารถมองภาพบนจอ LCD (liquid crystal display) ของกล้องถ่ายภาพเป็นขาวดำ โดยที่ไฟล์ภาพยังเก็บรักษาข้อมูลของสีไว้ตามเดิม แต่หากถ่ายเป็นไฟล์ .JPEG ข้อมูลสีของภาพจะถูกทำลายไป [14]



ภาพที่ 9: ตัวอย่างอ้างอิงการจัดวางภาพเพื่อแสดงการเปรียบเทียบ ความแตกต่างของแต่ละกลุ่มทดลองที่ศึกษาของภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพ จากตัวอย่างงานวิจัยของอนุพันธ์ กงบังเกิด และคณะ [12] (ก) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ จากตัวอย่างงานวิจัย Chayjarung et al. [13] (ข)

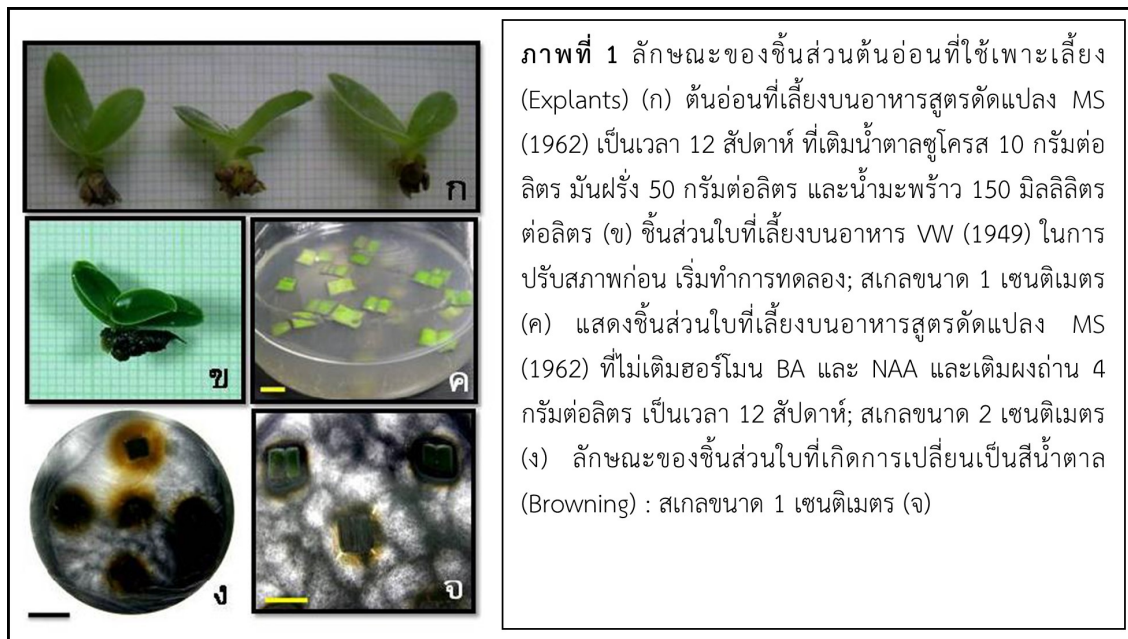


ภาพที่ 10: ตัวอย่างของภาพถ่ายสี (ก) การเปลี่ยนเป็นภาพสีขาวดำ (ข) และตัวอย่างภาพในงานวิจัยของ Kärkönen et al. [15] (ค)

ตัวอย่างภาพถ่ายในเอกสารการวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช

สำหรับภาพถ่ายที่เลือกมาเป็นตัวอย่างในการเสนอเทคนิคในการถ่ายภาพนั้น เป็นภาพจากงานวิจัยของธนากร วงษ์ศา และคณะ [16] ซึ่งได้มีการนำเสนอจัดเรียงภาพของผลการทดลองของภาพชิ้นส่วนเริ่มต้นที่

นำมาใช้ในการทดลองโดยใช้ฉากหลังเป็นกระดาษกราฟเพื่อแสดงขนาดของชิ้นส่วนต้นอ่อนที่ใช้ในภาพที่ 11 ก และ ข สำหรับภาพ ค ได้มีนำเสนอภาพของชิ้นส่วนเพาะเลี้ยงที่เลี้ยงในอาหารเหลวที่บรรจุอยู่ในขวดรูปชมพู่ โดยเน้นถ่ายภาพที่ต้องการแสดงชิ้นส่วนของใบในอาหารเหลว ต่อมาในภาพที่ 11 ง และ จ เป็นภาพของชิ้นส่วนใบที่เลี้ยงบนอาหารแข็งในจานเพาะเชื้อ เนื่องจากการถ่ายภาพด้านบนของจานแก้วเพาะเชื้อ มักพบปัญหาการสะท้อนเป็นเงาของกล้องถ่ายภาพ เทคนิคการถ่ายภาพนี้ทำได้โดยการใช้ตู้ไฟที่ใช้หลักการเดียวกับตู้ไฟอ่านฟิล์ม x-ray (x-ray film illuminators) โดยนำจานแก้วเพาะเชื้อวางบนตู้ไฟและถ่ายภาพ ภาพที่ถ่ายได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนใบพืชที่มีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 11)

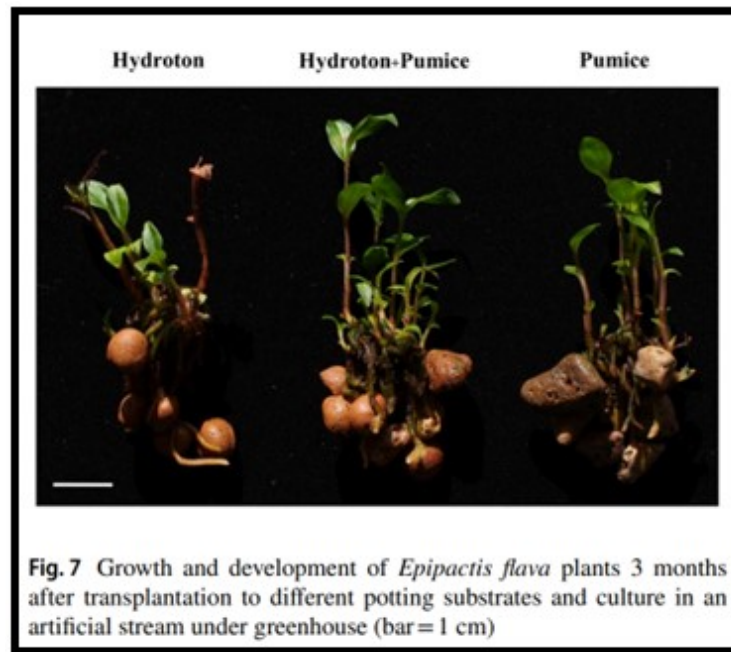


ภาพที่ 11: ตัวอย่างภาพถ่ายในผลการทดลองของงานวิจัยที่มีการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ จากงานวิจัยของ ธนากร วงศา และคณะ [16]

ภาพถ่ายจากงานวิจัยของ Kunakhonnuruk, Inthima & Kongbangkerd [17] แสดงผลการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ (Epipactis flava Seidenf.) ที่ได้รับการอนุบาลเป็นระยะเวลา 3 เดือน ด้วยวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน การถ่ายภาพใช้ฉากหลังสีดำเพื่อเน้นความแตกต่างของส่วนต้นพืชและต้องการให้ส่วนที่ไม่จำเป็นในการแสดงผลการทดลองกลืนไปกับฉากหลัง (ภาพที่ 12)

สรุปผลการวิจัย

เทคนิคการถ่ายภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก ซึ่งภาพถ่ายของผลการทดลองที่แสดงความแตกต่างของกลุ่มทดลองในการทดลองนั้น ต้องมีการพิจารณาถึงหลายกรณี เช่น สีของฉากหลัง แหล่งกำเนิดแสง การควบคุมค่าต่าง ๆ ของกล้องถ่ายภาพ กระบวนการจัดการถ่ายภาพ และการจัดการภาพถ่ายสำหรับแสดงผล



ภาพที่ 12: ตัวอย่างภาพถ่ายในงานวิจัยที่มีการเผยแพร่ในวารสารทางวิชาการ ที่มีการแสดงภาพถ่ายของพืชที่มีการอนุบาลต้นพืชสำหรับการย้ายออกปลูก จากงานวิจัยของ Kunakhonnuruk, Inthima & Kongbangkerd [17]

การทดลอง ซึ่งส่งผลให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพและสามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพัฒนาการของพืชในสภาพปลอดเชื้อได้ อีกทั้งปัจจัยที่เกี่ยวกับชนิดของพืช รูปแบบของการเพาะเลี้ยง ระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง เป็นต้นดังนั้นสิ่งสำคัญคือการสังเกตและการเลือกใช้เทคนิคเทคนิคการถ่ายภาพสำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ให้ความเหมาะสมสำหรับการผลิตภาพถ่ายให้มีคุณภาพอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อนุพันธ์ กงบังเกิด หน่วยวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้ให้พื้นฐานความรู้ของการถ่ายภาพในงานเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชอย่างต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมจิตต์ หอมจันทร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับเอกสารอ้างอิงเรื่องเอกสารคำสอนวิชา AG-EXT 461 การถ่ายภาพเทคนิค และ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ลิ้มมงคล ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้สร้างแรงบันดาลใจในการผลิตบทความวิชาการนี้จนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bhatoo, S. (2021). Scientific photography ultimate guide: An introduction the best techniques and tips in 2021. 12 August 2021 <https://www.splento.com/blog/photography/scientific-photography->

ultimate-guide-an-introduction/

- [2] Perkins, M. (2018). Macro flower photography: An introduction to photographic principles and techniques. In book: Orchid Propagation: From Laboratories to Greenhouses—Methods and Protocols. Lee, Y.I. & Yeung, E.C.T. (eds). DOI: 10.1007/978-1-4939-7771-0_25 © Springer Science+Business Media. LLC, part of Springer Nature, 2018. pp. 463-476.
- [3] Swan, D.G. & Burrill, L.C. (1990). Plant Photography Techniques. Weed Technology, 4(3), 666-670.
- [4] Winchester, A. M. (1950). Biological Photography. Bios, 21(4), 260-272.
- [5] Gaba, V., Tam, Y., Shavit, D. & Steinitz, B. (2018). Digital photography as a tool of research and documentation in plant tissue culture. in book: Plant cell protocols, methods in molecular biology. Loyola-Vargas V.M. & Ochoa-Alejo, N. (eds.). (2018)., Vol. 1815, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-8594-4_5, © Springer Science+Business Media. LLC, part of Springer Nature, 2018. pp. 89-101.
- [6] Surmabojov, S. (2011). Understanding the factors that affect depth of field. Online: <http://photography.tutsplus.com/articles/understanding-the-factors-that-affect-depth-of-field-photo-6844>
- [7] ณรงค์ สมพงษ์. (2530). เอกสารคำสอนวิชา AG-EXT 461 การถ่ายภาพเทคนิค. ฝ่ายสื่อสารการศึกษา สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ. 169 หน้า.
- [8] Ahmad, A., Ansari, F.A. Anis, M. & Khan, A.S. (2023). Micropropagation of *Pterocarpus marsupium* Roxb. through synthetic seeds and its novel antibiofilm activities against ESKAPE pathogens, Industrial Crops and Products, 198, 116681.
- [9] Song, G., Chen, Q., Callow, P., Mandujano, M., Han, X., Cuenca, B., et al. (2021). Efficient micropropagation of Chestnut hybrids (*Castanea* spp.) using modified woody plant medium and zeatin riboside. Horticultural Plant Journal, 7(2), 174-180,
- [10] Chen, F.C., Wang, C.Y. & Fang, J.Y. (2012). Micropropagation of self-heading *Philodendron* via direct shoot regeneration, Scientia Horticulturae, 141, 23-29,
- [11] Haradzi, N.A. Khor, S.P. Subramaniam, S. & Chew, B.L. (2021). Regeneration and micropropagation of Meyer lemon (*Citrus x meyeri*) supported by polymorphism analysis via molecular markers. Scientia Horticulturae, 286, 110225,
- [12] อนุพันธ์ กงบังเกิด, ธนากร วงษ์ศา และแสงเดือน วรณชาติ. (2555). ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญและพัฒนาของต้นอ่อนเอื้องคำผักปราบ (*Dendrobium ochreatum* Lindl.) ที่เลี้ยงในระบบแช่ชั่วคราว. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย, 4(ฉบับพิเศษ), 159-168.

- [13] Chayjarung, P., Phonherm, M., Inmano, O., Kongbangkerd, A., Wongsat T. & Limmongkon, A. (2022). Influence of peanut hairy root cultivars on prenylated stilbenoid production and the response mechanism for combining the elicitors of chitosan, methyl jasmonate, and cyclodextrin. *Planta*, 256, 32.
- [14] แบตเตอร์ฟ, จอห์น. (2556). Black and white snapshots to great shots. กรุงเทพฯ: ทูริ ดิจิตอล คอนเท้นท์ แอนด์ มีเดีย, 200 หน้า.
- [15] Kärkönen, A., Simola, L. K., & Koponen, T. (1999). Micropropagation of several Japanese woody plants for horticultural purposes. *Annales Botanici Fennici*, 36(1), 21–31.
- [16] ธนากร วงษ์ศา, สุวรรณ เนื่องเกิด, ธิชาภา ทองเหลือง และอนุพันธ์ กงบังเกิด. (2555). ผลขององค์ประกอบอาหารต่อการเจริญและพัฒนาของต้นอ่อนกล้วยไม้พญาอินทน์ (*Vandopsis gigantea* (Lindl.) Pfitz.) ในสภาพปลอดเชื้อ. สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, 18(2), 11-21.
- [17] Kunakhonnuruk, B., Inthima, P. & Kongbangkerd, A. (2018). In vitro propagation of *Epipactis flava* Seidenf., an endangered rheophytic orchid: a first study on factors affecting asymbiotic seed germination, seedling development and greenhouse acclimatization. *Plant Cell Tiss Organ Cult*. 135, 419–432.

การหาปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟอาราบิก้าด้วยวิธีโครมาโทกราฟี

ของเหลวสมรรถนะสูง

Determination of Caffeine Content in Arabica Coffee Beans Using High-Performance Liquid Chromatography

รุจิรา คุ่มทรัพย์ และ เสาวภา ชูมณี*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ ประเทศไทย

Ruchira Khoomsab and Saowapa Chumanee*

Division of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun, Thailand

บทคัดย่อ

คาเฟอีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอัลคาลอยด์ มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลางมักพบในเมล็ดกาแฟ สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หาปริมาณคาเฟอีนในเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า (*Coffea Arabica* L.) ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงตรวจวัดด้วยไดโอดอาร์เรย์ที่ความยาวคลื่น 274 nm ทำการสกัดคาเฟอีนจากเมล็ดกาแฟด้วยอัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดใช้ตัวทำละลายเมทานอลร่วมกับน้ำ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกใช้คอลัมน์ชนิด C8 ร่วมกับการใช้เฟสเคลื่อนที่แบบไอโซเครติกประกอบด้วยตัวทำละลายเมทานอลต่อน้ำในอัตราส่วน 30:70 โดยปริมาตร ใช้อัตราการไหล 1 mL/min ปริมาตรการฉีด 5 μ L การประเมินความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์พบว่า มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.50 – 10.00 μ g/mL (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ, R² เท่ากับ 0.9999) ค่าขีดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ เท่ากับ 0.13 และ 0.43 μ g/mL ตามลำดับ ค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพันธ์อยู่ในช่วง 1.02-5.21% และค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 96.00-98.50% วิธีการนี้ ได้นำไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้าที่ปลูกพื้นที่ต่างกัน และพบปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงความเข้มข้น 1.10-1.49 % โดยน้ำหนัก

* Corresponding author : saowapa@pcru.ac.th

คำสำคัญ : กาแฟ, คาเฟอีน, อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด, โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง, เครื่องตรวจวัดไดโอดอาร์เรย์

Abstract

Caffeine is an alkaloid organic compound. It has a stimulating effect on the central nervous system, often found in coffee beans. This research aimed to determine the caffeine content in *Coffea Arabica* L. beans using high-performance liquid chromatography with a diode array detector in the wavelength of 274 nm. The amount of caffeine in coffee beans was extracted by ultrasound-assisted extraction with methanol-water. The optimum separation was performed on the C8 column with isocratic elution consisting of methanol and water (30:70, v/v) as mobile phase at a 1 mL/min flow rate. The injection volume was 5 μ L. In the evaluation of method validation, it was found that there was a linear relationship in the concentration range of 0.50 – 10.00 μ g/mL ($R^2 = 0.9999$). The limit of detection and quantification were 0.13 and 0.43 μ g/mL, respectively. The relative standard deviation percentage was 1.02-0.21%, while the percent recovery varied between 96.00 and 98.50%. The method was applied to determine the caffeine content in samples of roasted Arabica coffee beans grown in various locations. It was found that the caffeine content in the samples was in the concentration range of 1.10–1.49% w/w.

Keywords : Coffee, Caffeine, Ultrasound-assisted extraction, High-Performance Liquid Chromatography, Diode-Array Detector

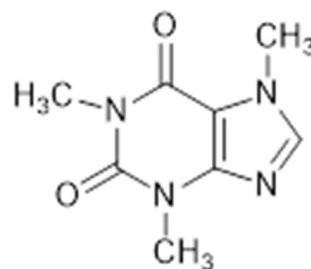
ที่มาและความสำคัญ

กาแฟ (coffee) เป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมาก ส่วนประกอบหลักที่พบในเมล็ดกาแฟ ได้แก่ คาโรโบไฮเดรต (ประมาณ 60%) ไขมัน คาเฟอีน สารประกอบแร่ธาตุ กรดคลอโรจีนิค ไตรโกเนลลีน กรดอะมิโน เปปไทด์ โปรตีน และสารประกอบระเหยง่าย การบริโภคกาแฟเป็นประจำทุกวันมีประโยชน์ต่อร่างกาย เนื่องจากช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคเฉพาะบางอย่าง เช่น โรคตับแข็ง โรคพาร์กินสัน และมะเร็งลำไส้ กาแฟมีมากกว่า 500 สายพันธุ์ แต่มีเพียง 2 สายพันธุ์เท่านั้นที่เป็นที่ต้องการมากที่สุดคือ กาแฟพันธุ์อาราบิก้า (arabica) และกาแฟพันธุ์โรบัสต้า (robusta) [1] คาเฟอีนเป็นสารประกอบที่สำคัญที่มีอยู่ในกาแฟ มีชื่อทางเคมีว่า 1,3,7-trimethylxanthine เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทอัลคาลอยด์ จำพวกแซนทีน สูตรโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1 (ข) เป็นสารที่ไม่มีกลิ่น มีรสขม [2-4] มีฤทธิ์กระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง มีสรรพคุณชูกำลัง ดื่มแล้วรู้สึกสดชื่นกระปรี้กระเปร่า [5] อย่างไรก็ตามการบริโภคกาแฟจนได้รับปริมาณคาเฟอีนมากเกินไปเป็นเหตุทำให้อนอนไม่หลับ หัวใจเต้นเร็ว อันตรายต่อสุขภาพ [2] ปริมาณคาเฟอีนในกาแฟอาราบิก้าดิบ อยู่ที่ 0.9 ถึง 1.4% โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่กาแฟโรบัสต้ามีตั้งแต่ 1.5% ถึง 2.6% โดยน้ำหนักแห้ง [6]

การหาปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างกาแฟ นิยมใช้เครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูงด้วยการ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1: (ก) ตัวอย่างเมล็ดกาแฟอาราบิก้าคั่วกลาง (ข) สูตรโครงสร้างคาเฟอีน

ตรวจวัดด้วยไดโอดอาร์เรย์หรือยูวี-วิสิเบิล [7-13] ปัจจุบันเมล็ดกาแฟคั่วพันธุ์ อาราบิก้า นิยมใช้ปรุงในเครื่องดื่มประเภทต่าง ๆ ที่มีขายในร้านกาแฟตามแหล่งชุมชนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วพันธุ์อาราบิก้า ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูงและตรวจวัดด้วยไดโอดอาร์เรย์ (HPLC/DAD) พร้อมทั้งพิสูจน์ความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ (method validation) สามารถนำวิธีการวิเคราะห์ให้เป็นงานประจำ (routine) ในห้องปฏิบัติการศูนย์วิทยาศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ สำหรับการบริการวิชาการและการเรียนการสอนได้อีกด้วย

วิธีการดำเนินการวิจัย

สารเคมี และการเตรียมสารละลายมาตรฐาน

สารมาตรฐานในงานวิจัยนี้คือ สารมาตรฐานคาเฟอีน ผลิตจากบริษัท Sigma-Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น $1,000 \mu\text{g/mL}$ ซึ่งคาเฟอีน 0.1000 กรัม ละลายด้วยเมทานอลต่อน้ำ อัตราส่วน 30:70 โดยปริมาตร ปรับปริมาตร 100 mL แล้วเก็บไว้ตู้เย็นที่ควบคุมอุณหภูมิ 4°C ในขวดสีชาก่อนใช้งาน สำหรับการเจือจางสารละลายที่นำไปใช้ แต่ละความเข้มข้นก่อนใช้ เตรียมใหม่ทุกครั้งโดยใช้เมทานอลต่อน้ำ (30:70) เป็นตัวทำละลาย สารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ เมทานอล (methanol, MeOH) เกรด HPLC จากบริษัท CARLO ERBA ประเทศอิตาลี และน้ำปราศจากไอออน (deionized water, $18.2 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) ผลิตจากเครื่อง Arium® Pro ultrapure water system ของบริษัท Sartorius ประเทศเยอรมนี

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือที่ใช้ในดำเนินการวิจัย ประกอบด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo ประเทศสวิสเซอร์แลนด์) เครื่องบดตัวอย่าง เครื่องล้างอัลตราโซนิก (ultrasonic bath) รุ่น WUC-D03H (DAIHAN Scientific ประเทศเกาหลี) เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูงแบบควบคุมอุณหภูมิรุ่น V18R (Dynamica ประเทศจีน) และเครื่อง โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูงพร้อมด้วยตัวตรวจวัดไดโอดอาร์เรย์ (HPLC/DAD) รุ่น Agilent 1260 Infinity (Agilent ประเทศสหรัฐอเมริกา) ประกอบด้วยปั๊มความดันสูงสุดแบบ quaternary pump VL (G1311C), ระบบกำจัดฟองอากาศด้วยสุญญากาศ (Degasser, G1322A) ระบบฉีดสารอัตโนมัติ (autosampler, G1329B) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

(thermostatted column compartment, G1316A) และ ตัวตรวจวัดชนิดไดโอดอาร์เรย์ (diode array detector, G1321C) ระบบการควบคุมและการประมวลผลใช้ซอฟต์แวร์ OpenLAB CDS ChemStation เวอร์ชัน C.01.07 แผ่นกรองชนิดไนลอน ขนาดอนุภาค $0.22\ \mu\text{m}$ เส้นผ่าศูนย์กลาง $13\ \text{mm}$ สำหรับการเตรียมตัวอย่าง และ ขนาดอนุภาค $0.20\ \mu\text{m}$ เส้นผ่าศูนย์กลาง $47\ \text{mm}$ สำหรับกรองเฟสเคลื่อนที่

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีน

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกสารคาเฟอีนได้ใช้คอลัมน์ Zorbax Eclipse Plus C18 ($100 \times 4.6\ \text{mm}$, $3.5\ \mu\text{m}$) สำหรับเฟสเคลื่อนที่ได้ทดสอบอัตราส่วนของเมทานอลต่อน้ำ ในอัตราส่วนโดยปริมาตร ดังนี้ 30:70, 40:60 และ 50:50 ทดสอบปริมาตรการฉีดตั้งแต่ $5\text{--}20\ \mu\text{L}$ อัตราการไหล $1.0\ \text{mL/min}$ ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์เท่ากับ $30\ ^\circ\text{C}$ ความยาวคลื่น $274\ \text{nm}$

การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ (Method validation)

การทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ [14-16] แบลงค์ของตัวอย่าง (sample blank) ในการทดสอบของงานวิจัยนี้ ใช้กากกาแฟที่ปราศจากสารคาเฟอีน โดยผู้วิจัยนำกากกาแฟไปต้มน้ำร้อนจำนวน 3 ชั่วโมง เพื่อสกัดคาเฟอีนออกจนหมด

การทดสอบความจำเพาะเจาะจงของวิธีวิเคราะห์ (Specificity) นีตสารละลายมาตรฐานคาเฟอีน ที่ความเข้มข้น $6.00\ \mu\text{g/mL}$ สารละลายแบลงค์ของตัวอย่าง และสารละลายตัวอย่าง เข้าเครื่อง HPLC/DAD ตรวจสอบการแยกของสารคาเฟอีนจากสารอื่น ต้องมีค่าเวลาที่สารเคลื่อนที่ (retention time) ตรงกับสารมาตรฐานและให้พีคที่ไม่ซ้อนทับกัน

การทดสอบช่วงและความเป็นเส้นตรง (Range and Linearity) ช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนทั้งหมด 7 ระดับความเข้มข้น ดังนี้ $0.50, 1.00, 2.00, 4.00, 6.00, 8.00$ และ $10.00\ \mu\text{g/mL}$ แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC/DAD ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ทำ 3 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้สร้างกราฟมาตรฐาน ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนหน่วย $\mu\text{g/mL}$ (แกน x) กับพื้นที่ใต้พีค (แกน y) โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2) มีค่าเกณฑ์การยอมรับได้อยู่ในช่วง $0.995\text{--}1.000$

การทดสอบขีดจำกัดในการตรวจพบ (Limit of detection, LOD) และ ขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ) คำนวณขีดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณจากกราฟมาตรฐาน โดยคำนวณค่าความชัน (slope) และคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเส้นกราฟ (sy/x) เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ y-intercept โดยคำนวณ LOD จากสูตร $(3 \times \text{sy/x})/\text{slope}$ และ LOQ จากสูตร $(10 \times \text{sy/x})/\text{slope}$

การทดสอบความแม่นยำ (Accuracy) และความเที่ยง (Precision) ทดสอบโดยการเตรียม spiked สารมาตรฐานคาเฟอีน 3 ระดับความเข้มข้นดังนี้ $100, 400$ และ $600\ \mu\text{g}$ ลงในกากกาแฟ จากนั้นนำไปสกัดตามวิธีเช่นเดียวกับการสกัดตัวอย่าง ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายเท่ากับ $100\ \text{mL}$ ความเข้มข้นที่ได้มีค่าเท่ากับ $1.0, 4.0$ และ $6.0\ \mu\text{g/mL}$ แต่ละระดับทำการทดสอบ 10 ซ้ำ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC/DAD ความแม่นยำของการวิเคราะห์คำนวณได้จากค่าร้อยละการกลับคืน (% recovery) และความเที่ยงของการวิเคราะห์คำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) [17] โดยค่าที่ยอมรับตามเกณฑ์มาตรฐาน AOAC ที่ระดับความเข้มข้น 1.0 ถึง $10\ \mu\text{g/mL}$ ค่าความ

แม่นยำในช่วง 80-110% และเกณฑ์การยอมรับความเที่ยง มีอยู่ในช่วง 6-8%

การเตรียมตัวอย่างเมล็ดกาแฟและการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีน

ตัวอย่างเมล็ดกาแฟอาราบิก้าจำนวน 7 ตัวอย่าง ที่มีแหล่งปลูกแตกต่างกัน นำแต่ละตัวอย่างมาบดละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 mesh การสกัดตัวอย่างดำเนินการตามงานวิจัยของ Rostagno และคณะ [18] รายละเอียดดังนี้ ซึ่งตัวอย่างกาแฟน้ำหนัก 0.5 กรัมลงในหลอดทดลองป่นเหวี่ยง ขนาด 50 mL สกัดครั้งแรกด้วย 50 อัลตราซาวนด์ด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิก เป็นเวลา 20 นาที ที่ 60 °C หลังจากการสกัดแต่ละครั้ง ตัวอย่างปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิ 10 °C ที่ 4,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง รวมสารสกัดทั้ง 3 ครั้งลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL และปรับปริมาตรให้ครบ 100 mL ด้วยน้ำปราศจากไอออน และกรองสารละลายผ่าน ไซริงค์ฟิลเตอร์ ไนลอน (nylon syringe filter) ขนาด 0.22 μm และนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC/DAD คำนวณปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างหน่วยร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง (%w/w) ดังสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณคาเฟอีน (\%w/w)} = \frac{C \times V \times d.f}{10^4 \times W}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของคาเฟอีนที่ได้จากกราฟมาตรฐาน ($\mu\text{g/mL}$)

V = ปริมาตรสุดท้ายของสารละลายตัวอย่าง (mL)

$d.f$ = อัตราส่วนการเจือจางสารละลาย

W = น้ำหนักตัวอย่าง (g)

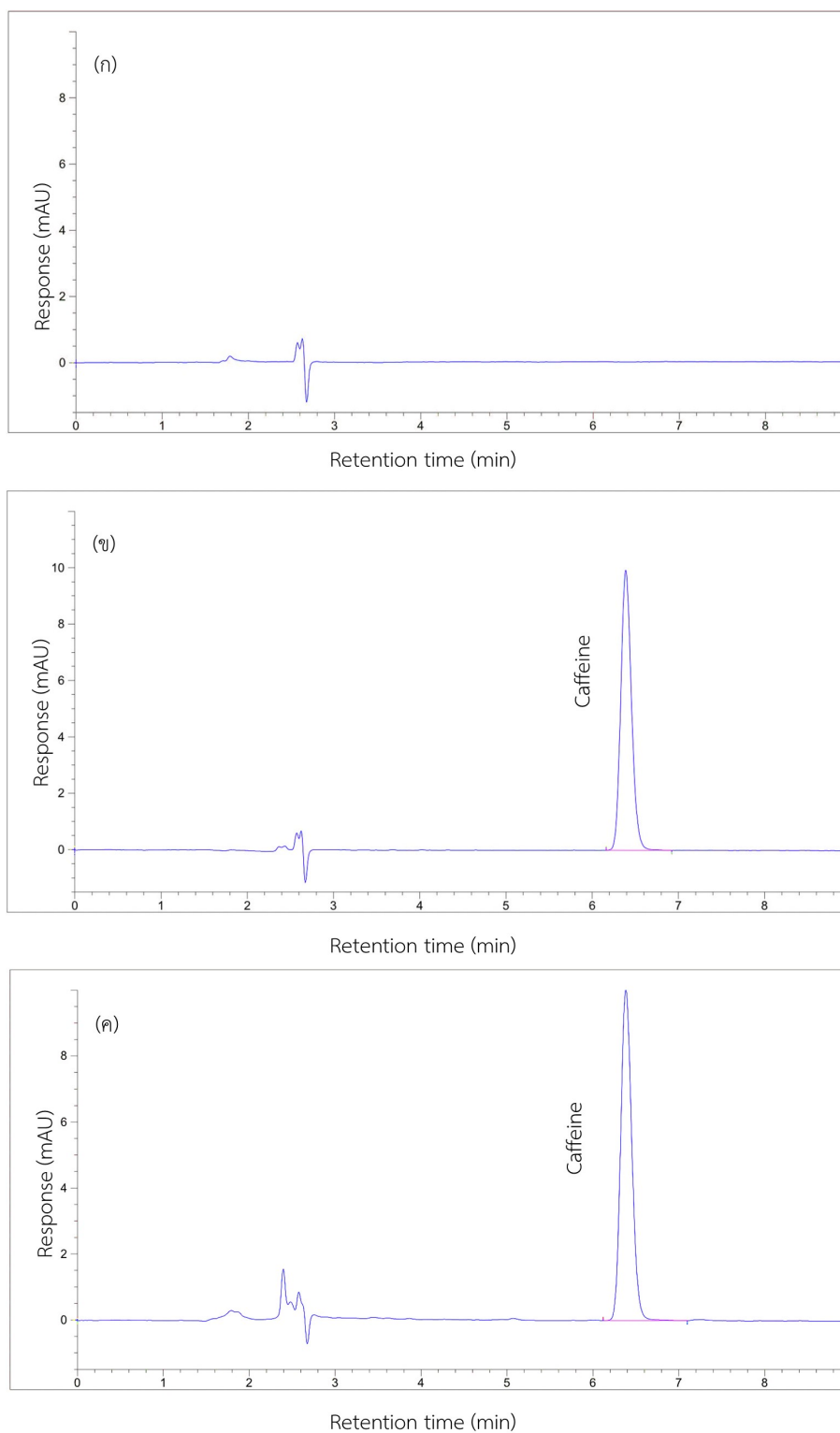
สถิติสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่ว ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean $\pm$ SD) ประเมินความแตกต่างของข้อมูลด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P \leq 0.05$)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมทางโครมาโทกราฟี

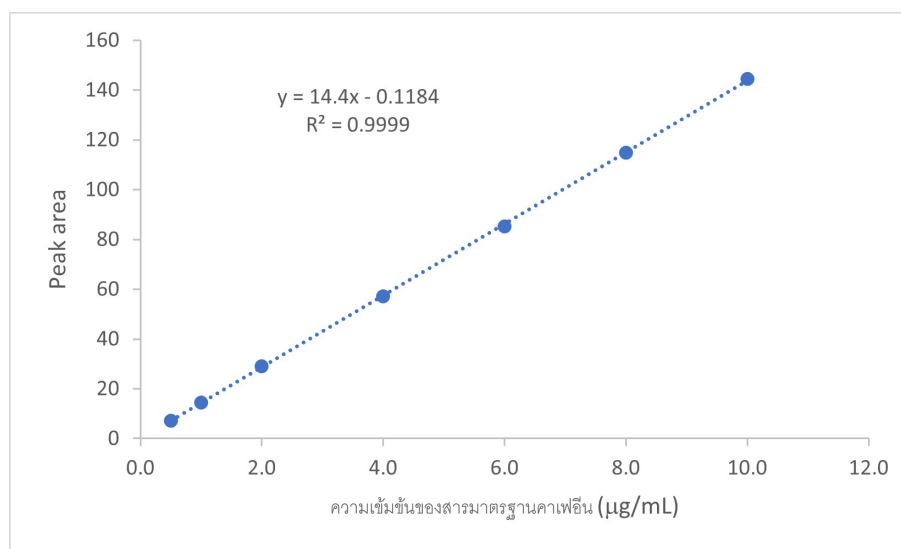
สภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีน ด้วยเทคนิค HPLC/DAD โดยใช้คอลัมน์ Zorbax Eclipse Plus C8 (250 x 4.6 mm, 5 μm) เฟสเคลื่อนที่เป็นแบบไอโซเครติก (isocratic) ประกอบด้วยเมทานอลต่อน้ำ เช่นเดียวกับงานของ Pokhrel และคณะ [4] สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ในอัตราส่วนเท่ากับ 30:70 อัตราการไหล 1.0 mL/min ควบคุมอุณหภูมิคอลัมน์เท่ากับ 30 °C ความยาวคลื่น 274 nm ปริมาตรการฉีด 5 μL สภาวะนี้เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากความชัดเจนของการแยก และความสมมาตรของพีคที่ได้ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ (retention time) ของสารละลายคาเฟอีนมีค่าเท่ากับ 6.4 นาที



ภาพที่ 2: โครมาโทแกรมของสารละลาย (ก) แปลงค์ของตัวอย่าง (ข) สารละลายมาตรฐานคาเฟอีน ความเข้มข้น 6.00 $\mu\text{g/mL}$ และ (ค) สารละลายตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วกลาง S3 (เจือจาง 10 เท่า)

ตารางที่ 1: พื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานคาเฟอีน แต่ละความเข้มข้น

ความเข้มข้นของ Caffeine ($\mu\text{g/mL}$)	Peak area (mAU)				SD	RSD (%)
	1	2	3	เฉลี่ย		
0.50	7.369	7.198	7.201	7.26	0.098	1.35%
1.00	14.703	14.258	14.558	14.51	0.23	1.58%
2.00	28.532	28.921	29.502	28.99	0.49	1.69%
4.00	57.244	57.002	57.332	57.19	0.17	0.30%
6.00	85.800	84.246	85.654	85.23	0.86	1.01%
8.00	115.319	114.463	115.158	114.98	0.46	0.40%
10.00	145.771	144.144	143.916	144.61	1.01	0.70%

ภาพที่ 3: กราฟเส้นตรงของสารมาตรฐานคาเฟอีน ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5-10.0 $\mu\text{g/mL}$

ผลการศึกษาการทดสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์

ผลการทดสอบความจำเพาะของวิธีวิเคราะห์ จากการฉีดสารละลาย ได้ผลแสดงดังภาพที่ 2 โครมาโทแกรมของ (ก) แบลงค์ของตัวอย่าง (ข) สารละลายมาตรฐานคาเฟอีนความเข้มข้น 6.0 $\mu\text{g/mL}$ (ค) สารละลายตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วกลาง S3 เมื่อเปรียบเทียบกับโครมาโทแกรมของสารละลายนี้ พบว่าสภาวะของวิธีมีความจำเพาะสามารถแยกได้อย่างชัดเจน

ผลการทดสอบความเป็นเส้นตรง จากการวิเคราะห์คาเฟอีนช่วงความเข้มข้น 0.5 – 10 $\mu\text{g/mL}$ และสร้างกราฟมาตรฐานพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง โดยมีสมการเส้นตรงคือ $y = 14.3998x - 0.1184$ มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (R^2) เท่ากับ 0.9999 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 และ กราฟ

ตารางที่ 2: ผลการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของคาเฟอีนที่ 3 ระดับความเข้มข้น (n=10)

สาร	เติมคาเฟอีน ($\mu\text{g/mL}$)	ความเข้มข้นเฉลี่ย $\pm$ SD ($\mu\text{g/mL}$)	Recovery (%)	RSD (%)
คาเฟอีน	1.00	0.96 $\pm$ 0.05	96.00	5.21
	4.00	3.94 $\pm$ 0.04	98.50	1.02
	6.00	5.82 $\pm$ 0.06	97.00	1.03

ตารางที่ 3: ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟ จำนวน 7 ตัวอย่าง

รหัสตัวอย่าง	ตัวอย่างเมล็ดกาแฟ	ปริมาณคาเฟอีน (%w/w)
S1	เมล็ดกาแฟคั่วกลาง*	1.10 $\pm$ 0.01 ^e
S2	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม*	1.19 $\pm$ 0.02 ^d
S3	เมล็ดกาแฟคั่วกลาง**	1.26 $\pm$ 0.01 ^c
S4	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม**	1.33 $\pm$ 0.02 ^b
S5	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม	1.34 $\pm$ 0.02 ^b
S6	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม	1.49 $\pm$ 0.02 ^a
S7	เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม	1.22 $\pm$ 0.01 ^d

^{a-d} ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

*, ** ตัวอย่างที่มาจากแหล่งปลูกเดียวกัน แตกต่างกันที่การคั่วเมล็ดกาแฟ

มาตรฐานดังภาพ ที่ 3

ผลการทดสอบขีดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ จากการวิเคราะห์คาเฟอีนขีดจำกัดในการตรวจพบ และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณที่คำนวณได้จากสมการกราฟมาตรฐานของคาเฟอีน มีค่าเท่ากับ 0.13 และ 0.43 $\mu\text{g/mL}$ ตามลำดับ

ผลการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงของการวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงโดยการเติมสารมาตรฐานคาเฟอีน 3 ระดับความเข้มข้นคือ 1.00, 4.00 และ 6.00 $\mu\text{g/mL}$ ทำการวิเคราะห์ 10 ซ้ำภายในหนึ่งวัน จากการทดสอบได้ค่าร้อยละการกลับคืน อยู่ในช่วง 96.00-98.50 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์น้อยกว่า 8% ที่ระดับความเข้มข้น 1 $\mu\text{g/mL}$ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แสดงผลดังตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟ

วิธีการวิเคราะห์นี้ได้นำมาประยุกต์ใช้สำหรับวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนในตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่ว พันธุ์อาราบิก้า จำนวน 7 ตัวอย่าง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 3

จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง S1-S7 พบว่าตรวจพบคาเฟอีนทุกตัวอย่าง ซึ่งปริมาณคาเฟอีนที่พบในเมล็ดกาแฟคั่วมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.10-1.49 % โดยน้ำหนัก ปริมาณคาเฟอีนพบมากที่สุดใน S6 เมล็ดกาแฟคั่วเข้ม และปริมาณคาเฟอีนที่พบน้อยที่สุดใน S1 เมล็ดกาแฟคั่วกลาง จะเห็นได้ว่าปริมาณคาเฟอีนในกาแฟอาราบิก้า อยู่ในช่วงความเข้มข้นที่ความสอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Shehata และคณะ [6] และจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจะเห็นว่าระดับความเข้มข้นของการคั่วส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีน โดยเมล็ดกาแฟคั่วเข้มจะมีปริมาณคาเฟอีนมากกว่าคั่วกลาง ในตัวอย่างที่มาจากแหล่งเดียวกัน และถ้าแหล่งปลูกแตกต่างกันก็ส่งผลต่อปริมาณคาเฟอีนที่แตกต่างกันด้วย

สรุปผลการวิจัย

วิธีการวิเคราะห์นี้ มีการเตรียมตัวอย่างที่ง่าย สะดวก และรวดเร็ว การประเมินการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีการวิเคราะห์ มีพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้คือ ความจำเพาะเจาะจง ความเป็นเส้นตรงและช่วงของการใช้งาน ชัดจำกัดในการตรวจพบและขีดจำกัดในการวัดปริมาณ ความแม่นยำและความเที่ยง พบว่าเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดตาม AOAC ดังนั้นแสดงว่าวิธีการวิเคราะห์เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์และใช้เป็นงานประจำในห้องปฏิบัติการ สำหรับตัวอย่างเมล็ดกาแฟคั่วที่มีขายในท้องตลาดได้เป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรสาขาวิชาเคมี และศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่สนับสนุนเครื่องมือและสารเคมี สำหรับการวิจัยและสำเร็จตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Piotr Konieczka P., Aliaño-González M.J., Ferreira-González M., Barbero G.F., Palma M. (2020). Characterization of arabica and robusta coffees by ion mobility sum spectrum. *Sensors*. 20(11), 3123 (1-15).
- [2] พัทธี สุวรรณวิมลกิจ. (2542). กาแฟสกัดคาเฟอีน. *วารสารเกษตร*. 15(1), 1-10.
- [3] Wanyika H., Gatebe E., Gitu L., Ngumba E., Maritim C. (2010). Determination of caffeine content of tea and instant coffee brands found in the Kenyan market. *African Journal of Food Science*. 4(6), 353-358.
- [4] Pokhrel P., Shrestha S., Rijal S.K., Rai K.P. (2016). A simple HPLC Method for the Determination of Caffeine Content in Tea and Coffee. *Journal of Food Science and Technology Nepal*. 9, 74-78.

- [5] สุพัตรา รักษาพรต, สุนิษา สุวรรณเจริญ, เรืองวิทย์ สว่างแก้ว, เกศสุดา สามารถ, จิตรลดา บุญเผ่า. (2561) การผลิตสบูคาเฟอีนเพื่อเพิ่มมูลค่ากากกาแฟเหลือทิ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 46(1), 38–43.
- [6] Shehata A.B., Rizk M.S., Rend E.A. (2016). Certification of caffeine reference material purity by ultraviolet/visible spectrophotometry and high-performance liquid chromatography with diode-array detection as two independent analytical methods. *Journal of Food Drug Analysis*. 24(4), 703–715.
- [7] Bohrer D., Lapinski J., De Carvalho L.N., Do Nascimento P.T., Viana C. (2019) Development and Validation of an HPLC-DAD Method to Quantify Caffeine in Time-release Dosage Forms. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 81(4), 626-632.
- [8] Lopez-Sanchez R. del C., Lara-Diaz V.J., Aranda-Gutierrez A., Martinez-Cardona J.A., Hernandez J.A. (2018). HPLC Method for Quantification of Caffeine and Its Three Major Metabolites in Human Plasma Using Fetal Bovine Serum Matrix to Evaluate Prenatal Drug Exposure. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2018, 1-11.
- [9] Naser L.R., Sameh A., Muzaffar I., Omar A.R., Ahmed M.A. (2018). Comparative evaluation of caffeine content in Arabian coffee with other caffeine beverages. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 12(2), 19–26.
- [10] Craig A.P., Fields C., Liang N., Kitts D., Erickson A. (2016). Performance review of a fast HPLC-UV method for the quantification of chlorogenic acids in green coffee bean extracts. *Talanta*. 154, 481-485.
- [11] Aly A.A., Kassem M.A., Amin A.S. (2013). Determination of caffeine in roasted and irradiated coffee beans with gamma rays by high performance liquid chromatography. *Food Science and Quality Management*. 22, 28-34.
- [12] Lima A.R., Pereira R.G., Abrahão S.A., Zangeronimo M.G., Paula F.B., Duarte S.M. (2013). Effect of decaffeination of green and roasted coffees on the in vivo antioxidant activity and prevention of liver injury in rats. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 23(3), 506-512.
- [13] Karima B., Amira-Guebailia H., Boulmouk Y., Houache O. (2014). HPLC coupled to UV-vis detection for quantitative determination of phenolic compounds and caffeine in different brands of coffee in the Algerian market. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 45, 1314–1320.
- [14] ทิพวรรณ นิงน้อย. (2549). แนวปฏิบัติการทดสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์ทางเคมีโดยห้องปฏิบัติการเดียว. นนทบุรี: กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.

- [15] Chandran S., Singh R. (2007). Comparison of various international guidelines for analytical method validation. *Die Pharmazie* . 62, 4–14.
- [16] Jitkaew N., Sinaviwat S. (2022). Method validation for determination of sucralose in beverage by high performance liquid chromatography. *Bulletin of Applied Sciences*. 11(11), 35–44.
- [17] Tanaviyutpakdee P., Karnpanit W., Alongkornchotikul R. (2022). The Importance of Method Validation for Risk Assessment of Exposure to Chemicals in Foods. *Thai Journal of Toxicology* 37(1), 27–44.
- [18] Rostagno M.A., Manchón N., D'Arrigo M., Guillamón E., Villares A., García-Lafuente A., et al. (2011). Fast and simultaneous determination of phenolic compounds and caffeine in teas, mate, instant coffee, soft drink and energetic drink by high-performance liquid chromatography using a fused-core column. *Analytica Chimica Acta*. 685, 204–211.

ความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อกรมป่าไม้ Expectations and satisfaction of the service user towards Royal Forest Department

ปิยะตรา บุตดี¹, กฤตวิญญ์ สุขอึ้ง^{1,*} และ สิตานันท์ จันทร์สมบุญ²

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย ประเทศไทย

²ฝ่ายนวัตกรรมและพัฒนางานบริการ กรมป่าไม้ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

Piyatra Buddee¹, Kritawit Suk-ueng^{1,*} and Sitanun Chansomboon²

¹Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand

²Innovation and Service Development Division,

Royal Forest Department, Chatuchak District, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เพื่อศึกษาความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ ปี พ.ศ. 2562 โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 621 คน และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ช่องว่าง ผลการศึกษาพบว่า ในด้านการอนุญาต และการรับรองไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้ ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพึงพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ มีความกระตือรือร้น ซื่อสัตย์ และมีความเสมอภาค ส่วนในด้านเครือข่ายป่าชุมชน เครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า เครือข่ายควบคุมไฟป่า และเครือข่ายปลูกป่าเอกชน ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพึงพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ มีความกระตือรือร้น และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ให้บริการ รวมทั้งผู้ให้บริการได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว และสม่ำเสมอ

คำสำคัญ : ความคาดหวัง, ความพึงพอใจ, ผู้ใช้บริการ

Abstract

The purpose of this study was to study expectations and satisfaction of the service user

* Corresponding author : nsukung@gmail.com

towards Royal Forest Department in 2019. The samples were 621 people conducted with satisfaction questionnaires. The expectations and satisfaction of the service user was analyzed by using gap analysis. The results found that service users, in terms of permits and wood and wood products certification, were mostly satisfied with staff who were friendly, polite, enthusiastic, honesty and equity. Service users, in terms of community forest networks, forest protection volunteer networks, forest fire control networks and private reforestation networks, were mostly satisfied with staff who were friendly, polite, enthusiastic and useful advice. Moreover, they also received various news and public relations promptly and regularly.

Keywords : Expectations, Satisfaction, Service user

ที่มาและความสำคัญ

ความคาดหวัง และความพึงพอใจมีความสำคัญกับผู้ใช้บริการ เนื่องจากผู้ใช้บริการต้องอยู่ในสังคม และใช้บริการในหน่วยงานต่าง ๆ จึงทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องนึกถึงความรู้สึกของผู้มาขอรับบริการที่มีต่อการให้บริการในลักษณะเป็นความคาดหวังที่จะตอบสนองความต้องการของผู้มาขอรับบริการเพื่อก่อให้เกิดความพึงพอใจ โดยถ้าหากมีความแตกต่างระหว่างความคาดหวัง และความพึงพอใจ หน่วยงานจะต้องชี้แจงทำความเข้าใจเพื่อให้ประชาชนได้ตระหนักถึงประโยชน์ที่ส่วนรวมจะได้รับจากการดำเนินงาน [1] และให้เป็นหน้าที่ของราชการที่จะต้องรับฟังความคิดเห็นและความพึงพอใจของสังคมโดยรวม เพื่อปรับปรุง และเสนอแนะต่อผู้บังคับบัญชาให้มีการปรับปรุงวิธีปฏิบัติราชการให้เหมาะสม [2]

ผู้รับบริการของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ ได้แก่ เครือข่ายของกรมป่าไม้ (เครือข่ายป่าชุมชน, เครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า, เครือข่ายควบคุมไฟป่า และเครือข่ายปลูกป่าเอกชน) ด้านการอนุญาตของกรมป่าไม้ (การอนุญาตนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่ และการอนุญาตอุตสาหกรรมไม้) และการรับรองชนิดไม้และคุณภาพไม้ ซึ่งครอบคลุมผลผลิตและบริการของกรมป่าไม้ที่มีกลุ่มพัฒนาระบบบริหารกรมป่าไม้เป็นฝ่ายจัดทำแบบสอบถาม [3] ในปี พ.ศ. 2562 การบริการของของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ยังไม่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ในปี พ.ศ. 2562 เพื่อปรับปรุง และเสนอแนะต่อผู้บังคับบัญชาให้มีการปรับปรุงการบริการให้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความคาดหวังของผู้ใช้บริการของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้
2. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของหน่วยงานภายในกรมป่าไม้

วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) เก็บข้อมูลแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional study) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือในการเก็บและรวบรวมข้อมูลซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัย [3] ดังนี้

1. ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้ใช้บริการในหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ปี พ.ศ. 2562 จำนวน 812 คน [3] ได้แก่ การเสริมสร้างเครือข่าย (เครือข่ายป่าชุมชน, เครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า (รสทป.), เครือข่ายควบคุมไฟป่า และเครือข่ายปลูกป่าเอกชน) การอนุญาต (การอนุญาตนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่ และการอนุญาตอุตสาหกรรมไม้) และการรับรองชนิดไม้และคุณภาพไม้ กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้หลักการคำนวณด้วยสมการของยามาเน่ [4] ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ความคลาดเคลื่อน 5% ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า 268 คน ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 621 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้บริการของกรมป่าไม้ปี พ.ศ. 2562 เป็นแบบสอบถามที่สร้างขึ้นเองโดยกลุ่มพัฒนาระบบบริหารกรมป่าไม้ [3] โดยงานวิจัยในครั้งนี้ใช้แบบสอบถามในส่วนความพึงพอใจต่อบริการของกรมป่าไม้ด้านการเสริมสร้างเครือข่าย ส่วนการอนุญาต และส่วนการรับรองชนิดไม้และคุณภาพไม้ ซึ่งเป็นคำถามประเภทมาตรวัดระดับมากที่สุด (5) มาก (4) ไม่น่าพอใจ (3) ไม่พอใจ (2) ไม่พอใจที่สุด (1) ไม่เกี่ยวข้อง (0)

3. การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยผู้วิจัยได้ชี้แจงวัตถุประสงค์การวิจัยและอธิบายรายละเอียดของแบบสอบถามแก่ผู้ช่วยวิจัยเพื่อให้มีความเข้าใจในวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ตรงกัน และประสานขอความร่วมมือจากผู้บริหารกรมป่าไม้ในการให้ผู้ช่วยวิจัยเข้าดำเนินการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่มารับบริการจากหน่วยงานภายในกรมป่าไม้ โดยให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบสอบถามด้วยตนเอง แล้วส่งคืนผู้ช่วยวิจัยเมื่อตอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นผู้ช่วยวิจัยรวบรวมแบบสอบถาม แล้ววิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม โดยวิเคราะห์เชิงพรรณนาซึ่งเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามโดยใช้ค่าเฉลี่ย และวิเคราะห์ช่องว่างในรูปแบบของตารางโดยนำค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจในการให้บริการมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของความคาดหวังในการให้บริการ [5, 6, 7] เพื่อให้ทราบถึงความแตกต่างระหว่างความพึงพอใจ และความคาดหวังที่ผู้บริการคาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. เครือข่ายป่าชุมชน

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายป่าชุมชนพบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ และมีความรวดเร็วกระตือรือร้น ซึ่งผู้บริการส่วนใหญ่ต้องการความช่วยเหลือทันที การแสดงออกอย่างจริงจังในการให้บริการจึงเป็นสิ่งที่ช่วยให้ผู้บริการมีความสุข และความพอใจ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ได้รับการสนับสนุนอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน และได้รับแจกสื่อประชาสัมพันธ์

ตารางที่ 1: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายป่าชุมชน

ประเด็นความพึงพอใจ	ความ คาดหวัง	ความพึง พอใจ	การวิเคราะห์ ช่องว่าง
1. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา	4.23	4.07	-0.16
2. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	4.23	4.02	-0.21
3. ท่านสามารถติดต่อกับเจ้าหน้าที่กรมป่าไม้ได้โดยสะดวก	4.23	4.28	0.05
4. ท่านได้รับแจกสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) อย่างทั่วถึง	4.23	3.69	-0.54
5. สื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) เข้าใจได้ง่าย น่าสนใจ	4.23	3.80	-0.43
6. ชุมชน/เครือข่ายได้มีส่วนร่วมในการกำหนดโครงการ ดำเนินการ และติดตาม ประเมินผล	4.23	4.14	-0.09
7. กิจกรรมต่าง ๆ ที่กรมป่าไม้ ดำเนินการสร้างประโยชน์ต่อชุมชน/เครือข่าย	4.23	4.20	-0.03
8. เนื้อหาสาระในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสมกับสภาพปัญหาของชุมชน/ เครือข่าย	4.23	4.07	-0.16
9. การจัดกิจกรรมและดำเนินโครงการมีความต่อเนื่อง สร้างความยั่งยืน	4.23	4.07	-0.16
10. ขั้นตอนการจัดตั้งกลุ่มและเครือข่ายมีความเหมาะสม สะดวก รวดเร็ว	4.23	4.20	-0.03
11. การจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิธีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่น มีความเหมาะสม	4.23	4.08	-0.15
12. ท่านได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์เพียงพอ เหมาะสม	4.23	3.57	-0.66
13. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ท่านได้รับการสนับสนุน อยู่ในสภาพดี พร้อมใช้งาน	4.23	3.67	-0.56
14. ชุมชนได้รับงบประมาณ และทรัพยากรอย่างเหมาะสม	4.23	3.69	-0.54
15. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.23	4.47	0.24
16. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.23	4.40	0.17
17. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญ	4.23	4.20	-0.03
18. เจ้าหน้าที่ให้ความใส่ใจในสิ่งที่ชุมชนร้องขอ	4.23	4.29	0.06
19. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.23	4.20	-0.03
20. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.23	4.34	0.11
21. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.23	4.35	0.12

ตารางที่ 2: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า

ประเด็นความพึงพอใจ	ความ คาดหวัง	ความพึง พอใจ	การวิเคราะห์ ช่องว่าง
1. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา	4.17	4.13	-0.04
2. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	4.17	4.07	-0.10
3. ท่านสามารถติดต่อกับเจ้าหน้าที่กรมป่าไม้ได้โดยสะดวก	4.17	4.20	0.03
4. ท่านได้รับแจกสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) อย่างทั่วถึง	4.17	3.63	-0.54
5. สื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) เข้าใจได้ง่าย น่าสนใจ	4.17	3.65	-0.52
6. ชุมชน/เครือข่ายได้มีส่วนร่วมในการกำหนดโครงการ ดำเนินการ และติดตาม ประเมินผล	4.17	4.01	-0.16
7. กิจกรรมต่าง ๆ ที่กรมป่าไม้ ดำเนินการสร้างประโยชน์ต่อชุมชน/เครือข่าย	4.17	4.08	-0.09
8. เนื้อหาสาระในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสมกับสภาพปัญหาของชุมชน/ เครือข่าย	4.17	4.07	-0.10
9. การจัดกิจกรรมและดำเนินโครงการมีความต่อเนื่อง สร้างความยั่งยืน	4.17	4.08	-0.09
10. ขั้นตอนการจัดตั้งกลุ่มและเครือข่ายมีความเหมาะสม สะดวก รวดเร็ว	4.17	4.10	-0.07
11. การจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิธีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่น มีความเหมาะสม	4.17	4.05	-0.12
12. ท่านได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์เพียงพอ เหมาะสม	4.17	3.79	-0.38
13. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ท่านได้รับการสนับสนุน อยู่ในสภาพดี พร้อมใช้งาน	4.17	3.82	-0.35
14. ชุมชนได้รับงบประมาณ และทรัพยากรอย่างเหมาะสม	4.17	3.83	-0.34
15. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.17	4.45	0.28
16. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.17	4.30	0.13
17. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญ	4.17	4.26	0.09
18. เจ้าหน้าที่ให้ความใส่ใจในสิ่งที่ชุมชนร้องขอ	4.17	4.230.06	
19. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.17	4.15	-0.02
20. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.17	4.31	0.14
21. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.17	4.23	0.06

เพื่อให้ความรู้ (เช่น ซีดี และแผ่นพับ) ไม่ทั่วถึง (ตารางที่ 1) ดังนั้นควรมีการจัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่ม และจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้บริการ [8, 9]

2. เครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า (รสป.)

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่าพบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ และเจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้รับบริการ (ตารางที่ 2) เนื่องจากผู้ให้บริการตระหนักถึงการบริการต่อผู้รับบริการเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ควรมีการจัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่ม และจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้บริการ [10, 11]

3. เครือข่ายควบคุมไฟป่า

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายควบคุมไฟป่าพบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่ได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา ได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ และได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์เพียงพอ เหมาะสม (ตารางที่ 3) เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของกรมป่าไม้มีความรักในงานบริการ ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้อื่นด้วยความตั้งใจ และเต็มใจ ส่งผลให้ผู้ใช้บริการเกิดความประทับใจ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ไม่มีการจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิถีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่น ดังนั้นกรมป่าไม้ต้องมีการจัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับชุมชน [9, 10]

4. เครือข่ายปลูกป่าเอกชน

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายปลูกป่าเอกชนพบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ และเจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้รับบริการ (ตารางที่ 4) เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของกรมป่าไม้เอาใจใส่อย่างเต็มที่ด้วยจิตสำนึกของการบริการ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ไม่ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่เพียงพอ และเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ได้รับการสนับสนุนอยู่ในสภาพที่ไม่ดี ไม่พร้อมใช้งาน ดังนั้นหน่วยงานต้องหาเครื่องมือ และอุปกรณ์เพิ่มให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้บริการ และซ่อมเครื่องมือ อุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน [8, 11]

5. การอนุญาตนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่พบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น (ตารางที่ 5) เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของกรมป่าไม้ตระหนักถึงตนเองว่ามีส่วนสำคัญในการสร้างความพอใจในการบริการโดยเอาใจใส่ และบริการอย่างรวดเร็วต่อผู้รับบริการ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ที่จอดรถไม่เพียงพอ ไม่สะดวกสบาย และไม่มีการประชาสัมพันธ์ขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน ดังนั้นกรมป่าไม้ต้องมีการหาที่จอดรถเพิ่มเพื่อรองรับผู้ให้บริการ และควรติดป้ายประกาศ หรือทำคู่มือประชาสัมพันธ์การรับบริการให้ชัดเจน [8, 12]

ตารางที่ 3: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายควบคุมไฟฟ้า

ประเด็นความพึงพอใจ	ความ คาดหวัง	ความพึง พอใจ	การวิเคราะห์ ช่องว่าง
1. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา	4.06	4.50	0.44
2. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	4.06	4.29	0.23
3. ท่านสามารถติดต่อกับเจ้าหน้าที่กรมป่าไม้ได้โดยสะดวก	4.06	4.23	0.17
4. ท่านได้รับแจกสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) อย่างทั่วถึง	4.06	4.07	0.01
5. สื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) เข้าใจได้ง่าย น่าสนใจ	4.06	4.05	-0.01
6. ชุมชน/เครือข่ายได้มีส่วนร่วมในการกำหนดโครงการ ดำเนินการ และติดตามประเมินผล	4.06	4.14	0.08
7. กิจกรรมต่าง ๆ ที่กรมป่าไม้ ดำเนินการสร้างประโยชน์ต่อชุมชน/เครือข่าย	4.06	4.05	-0.01
8. เนื้อหาสาระในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสมกับสภาพปัญหาของชุมชน/เครือข่าย	4.06	4.06	0
9. การจัดกิจกรรมและดำเนินโครงการมีความต่อเนื่อง สร้างความยั่งยืน	4.06	4.06	0
10. ขั้นตอนการจัดตั้งกลุ่มและเครือข่ายมีความเหมาะสม สะดวก รวดเร็ว	4.06	4.05	-0.01
11. การจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิธีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่นมีความเหมาะสม	4.06	3.98	-0.08
12. ท่านได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์เพียงพอ เหมาะสม	4.06	4.29	0.23
13. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ท่านได้รับการสนับสนุน อยู่ในสภาพดี พร้อมใช้งาน	4.06	4.02	-0.04
14. ชุมชนได้รับงบประมาณ และทรัพยากรอย่างเหมาะสม	4.06	4.07	0.01
15. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.06	4.27	0.21
16. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.06	4.09	0.03
17. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญ	4.06	4.10	0.04
18. เจ้าหน้าที่ให้ความใส่ใจในสิ่งที่ชุมชนร้องขอ	4.06	4.07	0.01
19. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.06	4.12	0.06
20. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.06	4.12	0.06
21. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.06	4.12	0.06

ตารางที่ 4: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของเครือข่ายปลูกป่าเอกชน

ประเด็นความพึงพอใจ	ความ คาดหวัง	ความพึง พอใจ	การวิเคราะห์ ช่องว่าง
1. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา	4.11	4.14	0.03
2. ท่านได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	4.11	4.04	-0.07
3. ท่านสามารถติดต่อกับเจ้าหน้าที่กรมป่าไม้ได้โดยสะดวก	4.11	4.30	0.19
4. ท่านได้รับแจกสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) อย่างทั่วถึง	4.11	3.57	-0.54
5. สื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น CD, แผ่นพับ) เข้าใจได้ง่าย น่าสนใจ	4.11	3.73	-0.38
6. ชุมชน/เครือข่ายได้มีส่วนร่วมในการกำหนดโครงการ ดำเนินการ และติดตามประเมินผล	4.11	3.90	-0.21
7. กิจกรรมต่าง ๆ ที่กรมป่าไม้ ดำเนินการสร้างประโยชน์ต่อชุมชน/เครือข่าย	4.11	4.07	-0.04
8. เนื้อหาสาระในการจัดกิจกรรมมีความเหมาะสมกับสภาพปัญหาของชุมชน/เครือข่าย	4.11	3.86	-0.25
9. การจัดกิจกรรมและดำเนินโครงการมีความต่อเนื่อง สร้างความยั่งยืน	4.11	3.83	-0.28
10. ขั้นตอนการจัดตั้งกลุ่มและเครือข่ายมีความเหมาะสม สะดวก รวดเร็ว	4.11	3.96	-0.15
11. การจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิถีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่น มีความเหมาะสม	4.11	3.89	-0.22
12. ท่านได้รับการสนับสนุนเครื่องมือ และอุปกรณ์เพียงพอ เหมาะสม	4.11	3.14	-0.97
13. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ท่านได้รับการสนับสนุน อยู่ในสภาพดี พร้อมใช้งาน	4.11	3.17	-0.94
14. ชุมชนได้รับงบประมาณ และทรัพยากรอย่างเหมาะสม	4.11	3.30	-0.81
15. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.11	4.57	0.46
16. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.11	4.42	0.31
17. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญ	4.11	4.33	0.22
18. เจ้าหน้าที่ให้ความสนใจในสิ่งที่ชุมชนร้องขอ	4.11	4.19	0.08
19. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.11	4.41	0.30
20. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.11	4.43	0.32
21. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.11	4.37	0.26

ตารางที่ 5: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการอนุญาตนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่

ประเด็นความพึงพอใจ	ความคาดหวัง	ความพึงพอใจ	การวิเคราะห์ช่องว่าง
1. การออกเอกสาร/ใบอนุญาต/ใบรับรองถูกต้อง ครบถ้วน	4.33	4.33	0
2. แบบฟอร์ม/คำร้องชัดเจน กรอกง่าย	4.33	4.32	-0.01
3. จำนวนเอกสารประกอบการยื่น/หลักฐานมีความเหมาะสม	4.33	4.28	-0.05
4. มีการประชาสัมพันธ์ขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน (ป้ายประกาศ คู่มือ เว็บไซต์)	4.33	4.16	-0.17
5. ระยะเวลาในการพิจารณาให้ความเห็นชอบ ออกใบอนุญาต และต่ออายุใบอนุญาต เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด	4.33	4.34	0.01
6. ระยะเวลาที่เปิดให้บริการมีความเหมาะสม	4.33	4.28	-0.05
7. เครื่องมือ/วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบมีความถูกต้อง ทันสมัย น่าเชื่อถือ	4.33	4.18	-0.15
8. สถานที่ให้บริการสะอาด เรียบร้อย	4.33	4.38	0.05
9. เครื่องมือและอุปกรณ์ ณ จุดให้บริการมีความพร้อมใช้ ไม่ชำรุด	4.33	4.24	-0.09
10. ที่จอดรถเพียงพอ สะดวกสบาย	4.33	4.10	-0.23
11. ที่นั่งรอเพื่อรับบริการเพียงพอ สะดวกสบาย	4.33	4.22	-0.11
12. ห้องน้ำสะอาด เพียงพอ พร้อมใช้	4.33	4.24	-0.09
13. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.33	4.46	0.13
14. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.33	4.41	0.08
15. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญด้านข้อกฎหมายและเทคนิค	4.33	4.37	0.04
16. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.33	4.25	-0.08
17. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.33	4.34	0.01
18. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.33	4.35	0.02

6. การอนุญาตอุตสาหกรรมไม้

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการอนุญาตอุตสาหกรรมไม้พบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์ และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ (ตารางที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับหลักของการให้บริการที่กล่าวไว้ว่าการบริการที่ดีต้องเน้นการทำให้ถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญ อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ที่จอดรถไม่เพียงพอ ไม่สะดวกสบาย และห้องน้ำไม่สะอาด ไม่เพียงพอ และไม่พร้อมใช้ ดังนั้นกรมป่าไม้จึงต้องมีการหาที่จอดรถเพิ่ม และให้แม่บ้านทำความสะอาดห้องน้ำ พร้อมกับติดประกาศให้ทุกคนช่วยกันรักษาความสะอาด [9, 10]

ตารางที่ 6: ผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการอนุญาตอุตสาหกรรมไม้

ประเด็นความพึงพอใจ	ความ คาดหวัง	ความพึง พอใจ	การวิเคราะห์ ช่องว่าง
1. การออกเอกสาร/ใบอนุญาต/ใบรับรองถูกต้อง ครบถ้วน	4.52	4.60	0.08
2. แบบฟอร์ม/คำร้องชัดเจน กรองง่าย	4.52	4.54	0.02
3. จำนวนเอกสารประกอบการยื่น/หลักฐานมีความเหมาะสม	4.52	4.52	0
4. มีการประชาสัมพันธ์ขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน (ป้ายประกาศ คู่มือ เว็บไซต์)	4.52	4.46	-0.06
5. ระยะเวลาในการพิจารณาให้ความเห็นชอบ ออกใบอนุญาต และต่ออายุ ใบอนุญาต เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด	4.52	4.62	0.10
6. ระยะเวลาที่เปิดให้บริการมีความเหมาะสม	4.52	4.58	0.06
7. เครื่องมือ/วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบมีความถูกต้อง ทันสมัย น่าเชื่อถือ	4.52	4.50	-0.02
8. สถานที่ให้บริการสะอาด เรียบร้อย	4.52	4.44	-0.08
9. เครื่องมือและอุปกรณ์ ณ จุดให้บริการมีความพร้อมใช้ ไม่ชำรุด	4.52	4.16	-0.36
10. ที่จอดรถเพียงพอ สะดวกสบาย	4.52	3.40	-1.12
11. ที่นั่งรอเพื่อรับบริการเพียงพอ สะดวกสบาย	4.52	4.22	-0.30
12. ห้องน้ำสะอาด เพียงพอ พร้อมใช้	4.52	4.02	-0.50
13. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.52	4.60	0.08
14. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.52	4.62	0.10
15. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญด้านข้อกฎหมายและเทคนิค	4.52	4.54	0.02
16. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.52	4.64	0.12
17. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.52	4.52	0
18. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.52	4.64	0.12

7. การรับรองไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้

จากผลการวิเคราะห์ช่องว่างของการรองรับไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้พบว่า ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ (ตารางที่ 7) อย่างไรก็ตามมีหัวข้อที่ต้องปรับปรุง คือ ที่จอดรถไม่เพียงพอ ไม่สะดวกสบาย และจำนวนเอกสารประกอบการยื่น/หลักฐานมีความไม่เหมาะสม ดังนั้นกรมป่าไม้ต้องมีการหาที่จอดรถเพิ่ม และปรับปรุงเรื่องจำนวนเอกสารประกอบการยื่น/หลักฐานให้มีความเหมาะสม [10, 12]

ตารางที่ 7: การรับรองไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้

ประเด็นความพึงพอใจ	ความคาดหวัง	ความพึงพอใจ	การวิเคราะห์ช่องว่าง
1. การออกเอกสาร/ใบอนุญาต/ใบรับรองถูกต้อง ครบถ้วน	4.10	3.86	-0.24
2. แบบฟอร์ม/คำร้องชัดเจน กรอกง่าย	4.10	3.41	-0.69
3. จำนวนเอกสารประกอบการยื่น/หลักฐานมีความเหมาะสม	4.10	2.69	-1.41
4. มีการประชาสัมพันธ์ขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน (ป้ายประกาศ คู่มือ เว็บไซต์)	4.10	3.51	-0.59
5. ระยะเวลาในการพิจารณาให้ความเห็นชอบ ออกใบอนุญาต และต่ออายุใบอนุญาต เป็นไปตามระยะเวลาที่กำหนด	4.10	2.92	-1.18
6. ระยะเวลาที่เปิดให้บริการมีความเหมาะสม	4.10	3.43	-0.67
7. เครื่องมือ/วิธีการที่ใช้ในการตรวจสอบมีความถูกต้อง ทันสมัย น่าเชื่อถือ	4.10	3.57	-0.53
8. สถานที่ให้บริการสะอาด ียบร้อย	4.10	3.76	-0.34
9. เครื่องมือและอุปกรณ์ ณ จุดให้บริการมีความพร้อมใช้ ไม่ชำรุด	4.10	3.61	-0.49
10. ที่จอดรถเพียงพอ สะดวกสบาย	4.10	2.33	-1.77
11. ที่นั่งรอเพื่อรับบริการเพียงพอ สะดวกสบาย	4.10	2.90	-1.20
12. ห้องน้ำสะอาด เพียงพอ พร้อมใช้	4.10	3.31	-0.79
13. เจ้าหน้าที่มีความเป็นมิตร สุภาพ	4.10	4.22	0.12
14. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น	4.10	4.14	0.04
15. เจ้าหน้าที่มีความรู้ มีความเชี่ยวชาญด้านข้อกฎหมายและเทคนิค	4.10	4.06	-0.04
16. เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์	4.10	4.06	-0.04
17. เจ้าหน้าที่ให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์	4.10	4.08	-0.02
18. เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ	4.10	4.08	-0.02

สรุปผลการวิจัย

ในด้านการอนุญาต (การอนุญาตนำไม้หรือของป่าเคลื่อนที่ และการอนุญาตอุตสาหกรรมไม้) และการรับรองไม้ ผลิตภัณฑ์ไม้ ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพึงพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความรวดเร็ว กระตือรือร้น เจ้าหน้าที่ดำเนินการด้วยความซื่อสัตย์ ไม่แสวงหาผลประโยชน์ และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานด้วยความเสมอภาค ไม่เลือกปฏิบัติ และมีข้อที่ผู้รับบริการต้องเร่งปรับปรุงแก้ไขโดยด่วน ได้แก่ ที่จอดรถไม่เพียงพอ ไม่สะดวกสบาย และไม่มีการประชาสัมพันธ์ขั้นตอนการบริการที่ชัดเจน รวมทั้งห้องน้ำไม่สะอาด ไม่เพียงพอ และไม่พร้อมใช้ ดังนั้นกรมป่าไม้ต้องมีการหาที่จอดรถเพิ่ม และควรติดป้ายประกาศ หรือทำคู่มือประชาสัมพันธ์การรับบริการให้

ชัดเจน รวมทั้งให้แม่บ้านทำความสะอาดห้องน้ำ พร้อมกับติดประกาศให้ทุกคนช่วยกันรักษาความสะอาด

ในด้านเครือข่ายป่าชุมชน เครือข่ายราษฎรอาสาสมัครพิทักษ์ป่า เครือข่ายควบคุมไฟป่า และเครือข่ายปลูกป่าเอกชน ผู้ใช้บริการส่วนใหญ่มีความพึงพอใจเจ้าหน้าที่ที่มีความเป็นมิตร สุภาพ มีความรวดเร็วกระตือรือร้น และให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้บริการ รวมทั้งผู้ใช้บริการได้รับข้อมูลข่าวสารต่าง ๆ และการประชาสัมพันธ์ที่รวดเร็ว ทันเวลา และสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามกรมป่าไม้มีข้อที่ต้องปรับปรุง ได้แก่ เครื่องมือและอุปกรณ์ไม่เพียงพอ และเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ได้รับการสนับสนุนอยู่ในสภาพไม่พร้อมใช้งาน และได้รับแจ้งสื่อประชาสัมพันธ์เพื่อให้ความรู้ (เช่น ซีดี และแผ่นพับ) ไม่ทั่วถึง รวมทั้งไม่มีการจัดกิจกรรมส่งเสริมการแลกเปลี่ยนเรียนรู้วิถีปฏิบัติที่ดีกับชุมชนอื่น ดังนั้นควรมีการจัดซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์เพิ่ม และซ่อมเครื่องมือ อุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน รวมทั้งจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์ให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้บริการ และจัดกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับชุมชน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโปรแกรมวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้การอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย และเจ้าหน้าที่ของกรมป่าไม้ที่ได้ให้ข้อมูลในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรพิมล คงนิม. (2554). การศึกษาความพึงพอใจและความต้องการของลูกค้าที่ได้รับบริการจากบริษัท เอ็ม.เอช.อี - ดีแมก (ที) จำกัด. (วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [2] พระราชกฤษฎีกาว่าด้วยหลักเกณฑ์และวิธีการบริหารกิจการบ้านเมืองที่ดี พ.ศ. 2546. (2546, ตุลาคม 9). ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 120 ตอนที่ 100 ก. หน้า 1-15.
- [3] กลุ่มพัฒนาระบบบริหารกรมป่าไม้. (ม.ป.ป.). วิธีการสำรวจความต้องการ ความคาดหวัง และความพึงพอใจของผู้รับบริการและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อผลผลิต และบริการของกรมป่าไม้. กรมป่าไม้.
- [4] Yamane, T. (1967). Statistics: An introductory analysis (2nd ed.). New York: Harper and Row.
- [5] กนกภรณ์ หัมพานนท์ และ พรชนก เกตุกันทร. (2560). ความพึงพอใจ ความต้องการ และความคาดหวังของผู้รับบริการต่องานแผน วิจัย และพัฒนา วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล. วารสาร Mahidol R2R e-Journal, 4(1), 181-191.
- [6] ภัทร พร สุวรรณ พูล. (2562). การวิเคราะห์ ช่องว่าง คุณภาพ การบริการ: กรณีศึกษา วิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่. (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.
- [7] Al-Momani, M.M. (2015). Gap analysis between perceptions and expectations of medical-surgical patients in a public hospital in Saudi Arabia. Medical Principles and Practice, 25, 79-84.

- [8] ชฎาพร แนนชิด และกาญจนาภรณ์ นิลจินดา. (2557). ความพึงพอใจในการใช้บริการรถขนส่งสาธารณะ (รถเมล์เหลือง) อ.เมือง จ.สกลนคร. คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร.
- [9] พนิดา เพชรรัตน์. (2557). คุณภาพการให้บริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้เสียภาษีอากรสำนักงานสรรพากรพื้นที่นครราชสีมา 2. (วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- [10] ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์. (2559). การพัฒนาคุณภาพการให้บริการของท่าเทียบเรือแหลมฉบังกับการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับอุตสาหกรรมพาณิชย์นาวีไทยรองรับประชาคมอาเซียน. วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 11(1), 37-66.
- [11] สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง. (2559). ความพึงพอใจของผู้รับบริการที่มีต่อคุณภาพการให้บริการของเทศบาลเมืองท่าเรือพระแท่น อำเภотаมะกา จังหวัดกาญจนบุรี. มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง.
- [12] กลุ่มงานบริหาร สำนักงานผู้อำนวยการมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. (2559). ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่มีต่อการให้บริการ ของ สำนัก ส่งเสริมวิชาการ และ งาน ทะเบียน. สำนัก ส่งเสริมวิชาการ และ งาน ทะเบียน มหาวิทยาลัย ราชภัฏนครสวรรค์.

การศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าว ในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภотаวัง จังหวัดลพบุรี

The study of soil element content in rice cultivation area in Thay
Lad village, Banglee sub-district, Thawung district, Lopburi
province.

พัชรินทร์ โตสอาด, พัชรา โตสอาด, ปัทมวรรณ วงษ์สง่า และ สรายุทธ์ พานเทียน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย

Patcharin Thosaard, Patchara Thosaard, Pattamawan Wongsanga and Sarayut Pantian*

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณธาตุในดินโดยการตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารหลักด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และปริมาณธาตุอาหารเสริมด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ทั้งยังศึกษาความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (913 pH meter) ตัวอย่างดินจากแปลงนาข้าวจำนวน 3 แปลงที่ประสบปัญหาน้ำท่วมขังบ่อยจากในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภотаวัง จังหวัดลพบุรี ผลการวิจัยพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.92-7.20 ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนต่ำ-ปานกลาง ฟอสฟอรัสต่ำ-ปานกลาง โพแทสเซียมปานกลาง-สูง ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารเสริมอย่างแคลเซียม เหล็ก ซิลิกอน และไทเทเนียม มีร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบเทียบกับสารประกอบทั้งหมดในดิน เป็น 4.15-7.09, 42.74-46.17, 36.17-38.61 และ 3.31-3.44 ตามลำดับ เมื่อศึกษาคุณภาพดินแล้วอยู่ในระดับปานกลาง ควรเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสและลดความเป็นกรด-ด่างในดินในการปลูกข้าวครั้งต่อไป

คำสำคัญ : ธาตุอาหารพืช, ความเป็นกรด-ด่าง, เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์, ข้าว

* Corresponding author : sarayutpantian@lawasri.tru.ac.th

Received : 22/08/2023

Revised : 30/11/2023

Accepted : 04/01/2024

Abstract

The main objectives of this study were to analyze the quantity of soil nutrients and soil pH with KU soil test kit and another soil nutrients with X-ray fluorescence technique. Also study the acid base status with the 913 pH meter. Samples from 3 plots of paddy fields, 9 samples from the Thay Lad village, Banglee sub-district, Thawung district, Lopburi province. The results show that the acid base status were in the range of 6.92-7.20. The nutrient contents were low-medium nitrogen, low-medium phosphorus, medium- high potassium, while the another nutrient contents such as calcium, iron, silicon and titanium had the percentage concentration of the elements in the compound compared to all compounds in the soil were 4.15-7.09, 42.74-46.17, 36.17-38.61 and 3.31-3.44, respectively. Once the soil quality had been studied, phosphorus content should be increased and acid base status in soil should be reduced in the next crop.

Keywords : Soil nutrient, Soil pH, X-ray fluorescence technique, Rice

ที่มาและความสำคัญ

ดินนับเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารหลักของพืช มีแร่ธาตุถึง 13 ชนิด โดยมีเพียงคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เท่านั้นที่พืชสามารถดึงมาใช้จากน้ำและอากาศ ดินที่มีปัญหาความเสื่อมโทรมส่วนใหญ่มักมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนระบบการเกษตรจากระบบปลูกพืชเพื่อยังชีพไปเป็นระบบการปลูกพืชเชิงเศรษฐกิจตลอดจนการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรดินที่ไม่เหมาะสมหรือการใช้ประโยชน์ของดินเป็นระยะเวลานานโดยไม่ได้มีการปรับปรุงคุณภาพของดิน ทำให้พืชไม่สามารถเจริญเติบโตและให้ผลผลิตได้ตามปกติจากข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดิน [1] พบว่าพื้นที่การเกษตรของประเทศไทยเกิดความเสื่อมโทรมอย่างรวดเร็วและกว้างขวางเนื่องจากมนุษย์นำเอาทรัพยากรดินมาใช้ประโยชน์โดยขาดจิตสำนึก ความรู้และการจัดการที่ดีทำให้เกิดปัญหาความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ผลผลิตลดลงและปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาอีก จากการติดตามสถานการณ์ทรัพยากรดินของประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มที่ว่าทรัพยากรดินจะเกิดการเสื่อมโทรมในระดับที่สูงขึ้นในอนาคต [2]

เขตพื้นที่ตำบลบางลี่ อำเภอดำรง จังหวัดลพบุรี เป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญแห่งหนึ่งของจังหวัดลพบุรีจากข้อมูลสำนักงานเกษตรอำเภอดำรง ปี 2564 [3] พบว่า มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นแปลงนาเป็นที่ราบลุ่มแอ่งกระทะและมีพื้นที่ส่วนน้อยเป็นที่ดอนประสบปัญหาเรื่องการผลิตข้าวไม่คุ้มกับการลงทุน ดินอยู่ในกลุ่มชุดดินที่ 4 มีลักษณะเด่น คือ เป็นกลุ่มดินเหนียวลึกมากที่เกิดจากตะกอนลำนํ้าที่มีอายุยังน้อย ปฏิกริยาดินเป็นกลางถึงเป็นด่าง การระบายน้ำค่อนข้างเลว ความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง ปัญหาที่พบ คือ โครงสร้างแน่นทึบ ดินแห้งแข็งและแตกกระแหง ทำให้ไถพรวนยาก ขาดแคลนน้ำ และน้ำท่วมขังในฤดูฝนซึ่งในบางปีน้ำท่วมขังนานกว่าปกติ ปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อการเพาะปลูกของเกษตรกรโดยเฉพาะการปลูกข้าว ในรายงานของสำนักงานเกษตรอำเภอดำรง ปี 2564 ได้มีการเสนอแนวทางการปลูกข้าวโดยคร่าวไว้ว่าการผลิตข้าวเปลือก 1 ตัน ข้าวต้องใช้ธาตุไนโตรเจน 15-24 กิโลกรัม ฟอสฟอรัส 3-6 กิโลกรัม และโพแทสเซียม 15-50 กิโลกรัม ทว่ามิได้แสดงถึงปริมาณร้อยละธาตุอาหารของพืชไว้สำหรับให้เกษตรกรพิจารณาเพื่อ

ปรับปรุงดิน

วิธีการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินมีเทคนิคและวิธีวิเคราะห์ได้หลากหลายทั้งโดยตรงและโดยอ้อม อาทิเช่น การสังเกตลักษณะการขาดอาหารของพืช การวิเคราะห์เนื้อเยื่อพืช การทดสอบทางชีวภาพ และการวิเคราะห์ดิน เป็นต้น การวิเคราะห์ดินโดยตรงนั้นมีขั้นตอนและวิธีการที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ ขึ้นกับปัจจัยที่หลากหลาย เช่น ค่าความละเอียดที่ต้องการ งบประมาณ วัสดุอุปกรณ์ที่มี หรือระยะเวลา ในการทำการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการวิเคราะห์ดินที่ควบคุมปัจจัยด้านต่าง ๆ ให้น้อยที่สุดทั้งด้านงบประมาณ วัสดุอุปกรณ์ หรือแม้แต่เวลาที่ใช้ ถึงแม้ว่าค่าความละเอียดจะออกมาน้อยก็ตามแต่เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุงดินแก่เกษตรกร ผู้วิจัยจึงเลือกตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารหลักด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่มีมาตรฐานและได้รับความนิยมในการแสดงค่าปริมาณธาตุอาหารอย่างไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมกันอย่างแพร่หลาย [4] ในขณะที่ปริมาณธาตุอาหารเสริมแสดงค่าด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ชนิดของธาตุและปริมาณธาตุในสารตัวอย่างโดยคร่าว โดยอาศัยหลักการที่อิเล็กตรอนในวงโคจรของอะตอมเปลี่ยนระดับชั้นที่มีพลังงานสูงไปยังชั้นที่มีพลังงานต่ำกว่าและคายพลังงานออกมาในรูปของรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานจำเพาะของแต่ละธาตุ ทั้งนี้ เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์กำลังได้รับความนิยมเนื่องจากใช้เวลาน้อยและเตรียมตัวอย่างได้ง่าย [5] ทว่าเทคนิคนี้มีข้อจำกัดบางประการ คือ การหาปริมาณธาตุสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ความเข้มของรังสีเอกซ์ที่คายออกมาของอิเล็กตรอนในชั้น K และชั้น L และค่าของพลังงานรังสีเอกซ์จำเพาะของแต่ละธาตุเท่านั้น กล่าวคือ ไม่สามารถแสดงผลการตรวจวัดหาธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุอื่น ๆ ที่ไม่ได้คายพลังงานของอิเล็กตรอนในชั้น K และชั้น L ได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวมาแล้ว ผู้วิจัยจึงทำวิจัยเรื่องการศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภอนาทวี จังหวัดลพบุรี เพื่อศึกษาปริมาณธาตุในดินโดยการตรวจสอบปริมาณธาตุอาหารหลักด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และปริมาณธาตุอาหารเสริมด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ทั้งยังศึกษาความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (913 pH meter) ให้เป็นข้อมูลพื้นฐานแก่เกษตรกรในการรับทราบและพิจารณาปรับปรุงดินสำหรับการเพาะปลูกข้าว

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภอนาทวี จังหวัดลพบุรี ผู้วิจัยได้วางแผนการดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การสำรวจพื้นที่การศึกษา พื้นที่แปลงเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ที่หมู่บ้านท้ายลาด หมู่ที่ 8 ตำบลบางลี่ อำเภอนาทวี จังหวัดลพบุรี มีพื้นที่ทั้งหมดจำนวน 1,460 ไร่
2. การกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง กำหนดการเก็บตัวอย่างพื้นที่แปลงนาข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภอนาทวี จังหวัดลพบุรี จำนวน 3 แปลง แปลงละ 10 จุด รวม 30 ตัวอย่าง ตามภาพที่ 1. โดยกำหนดให้แปลงนาของนางเพ็ญศรี กุลวงษ์, นายศิวลักษณ์ ข้ามประเทศ และนายวิรัตน์ กุลวงษ์ เป็นแปลงนาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 1: แสดงที่ตั้งแปลงนาข้าวที่ใช้ในการทดลองหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภothาวัง จังหวัดชลบุรี
ตำแหน่งพิกัด 14°50'01.4"N 100°31'14.6"E

3. การเก็บตัวอย่างดิน ทำการเลือกเก็บตัวอย่างโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างดินกระจายทั่วแปลงโดยเก็บแบบ สลับ ฟันปลา ทั้งหมด 10 จุด ใน 1 แปลงนา (พื้นที่ไม่เกิน 25 ไร่) ตัวอย่างดินในแต่ละจุดตามกำหนดจะเก็บตัวอย่าง ดินชั้นบนโดยขุดหลุมเป็นรูปตัววี ขนาดความกว้างประมาณ 15 เซนติเมตร ขุดดินในระดับความลึก 15–30 เซนติเมตร นำดินในหลุมออกให้หมด เอาปลายพลั่ววางลงที่หลุมด้านในด้านหนึ่งที่มีด้านตัดเรียบห่างจากขอบหลุมประมาณ 2 เซนติเมตร ขุดดินจนถึงระดับความลึก 15 เซนติเมตร จากนั้นใช้มีดตัดดินบนพลั่วออกเป็น 3 ส่วน ทั้ง 2 ส่วน ด้านข้าง เหลือไว้แต่ตรงกลางประมาณ 3 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างดินชั้นล่างโดยเก็บต่อดินชั้นบนที่ปรับระดับแล้ว และนำดิน ในหลุมออกมาให้หมด จากนั้นขุดหลุมเป็นรูปตัววี ขนาดความกว้างประมาณ 15 เซนติเมตร ลึกลงไปอีก 15 เซนติเมตร จากนั้นแบ่งตัวอย่างดินในแต่ละจุดมาผสมเข้าด้วยกัน เพื่อใช้เป็นตัวแทนพื้นที่ต่อไป

4. การเตรียมตัวอย่างดิน นำดินตัวอย่างดินทั้งหมดมาตากแห้งด้วยการผึ่งลม (air dry) เป็นเวลา 3 วัน นำ ตัวอย่างดินที่แห้งแล้วมาคัดด้วยตะแกรงและมากรองด้วยกระชอนพลาสติก แล้วนำมาทำการบดด้วยโกร่ง จากนั้นนำ ดินที่ได้มาแยกเพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารเสริม และค่าความเป็นกรด-ด่าง

5. การวิเคราะห์ปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน

5.1 การวิเคราะห์ธาตุอาหารหลักในดินด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ การ แสดงผลจะออกมาในรูปแบบต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก ซึ่งสามารถแปลความเป็นปริมาณธาตุอาหารหลักดังต่อไปนี้ [4]

ปริมาณไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ต่ำ (1-10)	ปานกลาง (11-20)	สูง (21-30)	สูงมาก (31-50)
------------	-----------------	-------------	----------------

ปริมาณฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ต่ำ (1-3)	ปานกลาง (4-6)	สูง (7-9)	สูงมาก (10-12)
-----------	---------------	-----------	----------------

ปริมาณโพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ 1: ปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในแปลงนาทดสอบ โดยระดับปริมาณธาตุอาหารได้จากชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุในดินเป็นผลจากการวัดด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์

พื้นที่เก็บ ตัวอย่างดิน	ค่า pH เฉลี่ย	ระดับปริมาณธาตุอาหาร (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)			ร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุในดิน					
		N	P	K	K	Ca	Fe	Si	Ti	
แปลงนาที่ 1	7.20	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	6.48	5.65	42.74	38.61	3.31	
แปลงนาที่ 2	6.92	ต่ำ	ต่ำ	ปานกลาง	6.20	7.09	43.00	36.88	3.38	
แปลงนาที่ 3	7.03	ปานกลาง	ต่ำ	สูง	7.35	4.15	46.17	36.17	3.44	

ต่ำ (0-40)

ปานกลาง (40-80)

สูง (80-120)

5.2 การวิเคราะห์ธาตุอาหารเสริมด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ จะทำการวิเคราะห์จากการแสดงผลซึ่งผลจะอยู่ในรูปแบบร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบเทียบกับสารประกอบทั้งหมดในดิน จากนั้นนำร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่ได้จากแปลงนาแต่ละแปลงมาหาค่าเฉลี่ยและนำเสนอ

5.3 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง 913 pH meter โดยค่า pH จะอยู่ในช่วง 1-14 ถ้าค่า pH น้อยกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีความเป็นกรด และถ้าค่า pH มากกว่า 7 สารชนิดนั้นก็จะมีความเป็นเบสหรือด่าง แต่ถ้าค่า pH นั้นมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารชนิดนั้นเป็นกลาง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภอนาทวี จังหวัดพัทลุง จะแบ่งการแสดงผลการวิจัยดังตารางที่ 1.

จากตารางที่ 1. พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแปลงนาทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.92-7.20 ซึ่งสอดคล้องกับสภาพความเป็นกรด-ด่างของกลุ่มดินชุดที่ 4 ชุดดินท่าเรือที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปานกลาง (6.0-7.0) ตามคำแนะนำการจัดการดินตามรายชุดดิน กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน [6] ปริมาณธาตุอาหารหลักที่ตรวจด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีปริมาณไนโตรเจน 1-20 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ปริมาณฟอสฟอรัส 1-6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และปริมาณโพแทสเซียม 40-120 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ของดินในระดับปานกลาง ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบปริมาณธาตุโพแทสเซียมที่ได้จากการตรวจวัดด้วยชุดตรวจสอบดินของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับผลที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์พบว่ามีความใกล้เคียงกันกล่าวคือบริเวณที่มีธาตุโพแทสเซียมปานกลางจะมีค่าร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุในดินไม่เกิน 6.50 ในขณะที่บริเวณที่มีธาตุโพแทสเซียมสูงจะมีค่าร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุในดินเกินกว่า 7.00 เป็นต้นไป อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อ

จำกัดของพลังงานที่ใช้ในเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ทำให้ตรวจวัดร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุหลักได้เพียงโพแทสเซียมเท่านั้น จึงรายงานผลการเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณธาตุจากวิธีการทดสอบทั้งสองวิธีได้เพียงโพแทสเซียมธาตุเดียว

สำหรับการตรวจวัดค่าร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุในดินจากเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ พบว่า ปริมาณธาตุอาหารเสริมไม่สอดคล้องกับค่ามัธยฐานของปริมาณโลหะที่พบในดิน ตามรายงานของ ตรีตาภรณ์ ชูศรี เรื่อง การวิเคราะห์ปริมาณโลหะในดินชุดดินยโสธรในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา [7] ที่ควรมีแนวโน้มดังต่อไปนี้ $Si > Fe > Ca > K > Ti$ กล่าวคือ ปริมาณซิลิกอนมากกว่าปริมาณธาตุเหล็ก ขณะที่ปริมาณธาตุเหล็กมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณแคลเซียม และมีปริมาณมากกว่าโพแทสเซียมและไทเทเนียม ทั้งนี้ อาจเกิดจากดินมีการชะล้างสูงจึงทำให้ธาตุประจุบวกที่เป็นต่างอย่างแคลเซียมมีค่าน้อย สำหรับธาตุเหล็กที่มีปริมาณร้อยละมากกว่าซิลิกอนแต่มีร้อยละใกล้เคียงกับแคลเซียม ในรายงานดังกล่าวยังกล่าวอีกว่านอกจากวัตถุดิบกำเนิดดินแล้วอาจเกิดจากสภาพอากาศและค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมกับธาตุเหล็ก คือ 5.0-6.0 แต่ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-7.0 จะมีธาตุเหล็กในดินมีความสามารถในการละลายตัวลง 100 ถึง 1000 เท่า จึงอาจทำให้ปริมาณธาตุเหล็กในดินมากกว่าซิลิกอนได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-7.0 จึงส่งผลให้ปริมาณธาตุเหล็กมากกว่าซิลิกอน

จากคำแนะนำการจัดการดินตามรายชุดดิน กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน [6] กล่าวถึงการพัฒนาดินในลักษณะนี้ว่าควรปรับปรุงบำรุงดินโดยการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีของดิน ทำให้ดินร่วนซุย สามารถดูดซับธาตุอาหารไว้ในดินได้ดีขึ้น ไม่ถูกชะล้างไปกับน้ำได้ง่าย นอกจากนี้ควรใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง ทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาปริมาณธาตุและค่าความเป็นกรด-ด่างของดินในพื้นที่เพาะปลูกข้าวในหมู่บ้านท้ายลาด ตำบลบางลี่ อำเภอบางบาล จังหวัดลพบุรี มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 6.92-7.20 ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจนต่ำ-ปานกลาง ฟอสฟอรัสต่ำ-ปานกลาง โพแทสเซียมปานกลาง-สูง ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารเสริมอย่างแคลเซียม เหล็ก ซิลิกอน และไทเทเนียม มีร้อยละปริมาณความเข้มข้นของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบเทียบกับสารประกอบทั้งหมดในดินเป็น 4.15-7.09, 42.74-46.17, 36.17-38.61 และ 3.31-3.44 ตามลำดับ เมื่อศึกษาคุณภาพดินพบว่าอยู่ในระดับปานกลาง ควรบำรุงดินให้สามารถดูดซับธาตุอาหารในดินได้ดีขึ้น ไม่ถูกชะล้างไปกับน้ำได้ง่าย นอกจากนี้ควรใส่ปุ๋ยเคมีเพื่อเพิ่มธาตุอาหารให้แก่ดินโดยตรง ทำให้มีความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนการวิจัยให้เป็นไปด้วย

ความเรียบร้อย ขอขอบคุณนางเพ็ญศรี กุลวงษ์, นายศิวลักษณ์ ข้ามประเทศ และนายวิรัตน์ กุลวงษ์ ที่ให้ข้อมูลและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาที่ดิน. (2566). ข้อมูลการจัดการดิน. (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2566. https://www.ddd.go.th/Web_Soil/Page_02.htm.
- [2] ฐปรัญฐ์ สีลอยอ่อนแก้ว และ อำพล กิมิเส. (2561). สมบัติดินและการประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ปลูกข้าวชั้นพันธุ์คัดและพันธุ์หลัก ศูนย์วิจัยข้าวฉะเชิงเทรา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 41(1), 17-26.
- [3] สำนักงานเกษตรอำเภอนาทม. (2564). แผนพัฒนาการเกษตรระดับอำเภอ พ.ศ. 2561 – 2565 ฉบับทบทวน ปี พ.ศ. 2564. กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 4-34 .
- [4] กัญญา สิทธิโท, อุราภรณ์ บุญมั่น, ชวนพิศ จารัตน์, นภาพร แข่งขัน และประทีป ดวงแก้ว. (2557). การศึกษาคุณภาพดินในนาข้าว อำเภอนาทม จังหวัดสุรินทร์ เพื่อการใช้ปุ๋ยอย่างเหมาะสม. วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น 36(1), 42-49.
- [5] ธวัชชัย เทพนวล, สุจิตรา แสงชัยศรี และ ปรียานันท์ ศรีสุวรรณ. (2554). ข้อมูลธาตุในดินตะกอนทะเลน้อยถูกวัดด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกระจายพลังงาน. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ 14(3), 123-128.
- [6] กองวิจัยและพัฒนาการจัดการที่ดิน. คำแนะนำการจัดการดินตามรายชุดดิน. (ออนไลน์) สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2566. [http://iddindee.ddd.go.th/SoilSeries/T_2_20032021/7_Series_\(Tr\).pdf](http://iddindee.ddd.go.th/SoilSeries/T_2_20032021/7_Series_(Tr).pdf)
- [7] ตรีตา ภรณ์ ชู ศรี. (2546). การ วิเคราะห์ ปริมาณ โลหะ ใน ดิน ชุด ดิน ยโสธร ใน บริเวณ จังหวัด นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยสุรนารี, 30-31.

การศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

Investigating the collision of objects in liquids using tracker program for teaching in upper secondary school level

จันจิรา มีภิปราย, พิชชาภา ทองเสวย, วิศัลย์ศยา นาละคร และ สรายุทธ์ พานเทียน*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี ประเทศไทย

Janjira Meepipay, Phitchapha Thongsawet, Wisansaya Nalakorn, Sarayut Pantian*

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

บทคัดย่อ

การศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่และสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวในแต่ละช่วงเวลาก่อนและหลังชนกันด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ อ้างอิงกับระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน 2 มิติ และเพื่อหาประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านการจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอน โดยของเหลวที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ น้ำเปล่า น้ำเชื่อม และน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เท่ากับ หาค่าไม่ได้, 2453.37 และ 84.53 มิลลิปาสคาล-วินาที ตามลำดับ วัตถุที่นำมาใช้เป็นโลหะทรงกลมมีขนาดรัศมี 3.17×10^{-3} เมตร และมวล 1.04×10^{-3} กิโลกรัม ผลการวิจัย พบว่า ความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ก่อนและหลังชนของลูกเหล็กในน้ำเชื่อม และน้ำมันปาล์มแปรผันตรงกับค่าความหนืดและเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมและกฎการอนุรักษ์พลังงาน ในส่วนการศึกษาประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ทางการ ศึกษาตามเกณฑ์ 80/80 พบว่า ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยคะแนนระหว่างเรียน (การประเมินการทดลองและแบบฝึกหัดระหว่างเรียน) และหลังเรียน (ผลการเรียนรู้) มีค่าเป็น 85.67 และ 81.98 ตามลำดับ และความเข้าใจและการนำไปใช้ ด้านทักษะวิทยาศาสตร์ขั้นสูง โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนจากแบบทดสอบก่อนเรียนสูง

* Corresponding author : sarayutpantian@lawasri.tru.ac.th

กว่าหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

คำสำคัญ : โมเมนตัมการชนกัน, ของเหลว, กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม, กฎการอนุรักษ์พลังงาน, ความหนืด

Abstract

The investigation of the collision of objects in liquids using tracker program for teaching in upper secondary school level is intended to study the movement patterns and movement conditions of objects in liquids at each subsequent period with the tracer program, refer to 2D Cartesian coordinate system, and to find out the effectiveness of the lesson plans and compare the average of the pre-test and post-test scores of the subjects who which using the video tracker program. It teaches physics of collisions of objects in the liquids using the video tracker program. The experimental fluids were water, syrup, and palm oil, which had a viscosity of 20 degrees Celsius, N/A, 2453.37, and 84.53 mPa-s, respectively. The material used as round metal has a radius of 3.17×10^{-3} m and 1.04×10^{-3} kg of mass. The results found that the speed and acceleration of those objects before and after the collision were direct variations to the fluid's viscosity, according to the conservation law of momentum and the conservation law of energy. The results of the educational efficiency of lesson plans of the course on momentum and collision was 85.67/81.98 and which corresponded to the 80/80 standard criteria. The student achievement of the course on momentum and collision score of the pre-test were significantly higher than the post-test which was at the level of 0.05

Keywords : Momentum and collision, Fluid, Conservation law of momentum, Conservation law of energy, Viscosity

ที่มาและความสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของโลก ณ ปัจจุบัน เป็นเหตุให้มนุษย์จำเป็นต้องปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว โดยมีมิติที่อาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีพเพื่อสร้างรายได้ คือ มิติด้านความรู้ และทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 [1] โดยบุคคลที่ต้องตื่นตัวในการเพิ่มเติมความรู้และทักษะ คือ ครูผู้สอน เพื่อถ่ายทอดสิ่งเหล่านี้ต่อผู้เรียนซึ่งครูทุกคนต้องตระหนักถึงการปรับเปลี่ยนบทบาทครู วิธีการเรียนของนักเรียน การจัดหลักสูตรสถานศึกษา พัฒนาแหล่งเรียนรู้ ห้องเรียนและชุมชน โดยเฉพาะเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นมาใหม่ตามยุคสมัยทำให้มนุษย์ต้องเรียนรู้และนำความรู้และทักษะนั้นมาประยุกต์ใช้รวมถึงความคิดสร้างสรรค์ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานจริยธรรมที่ดี [2] ปัจจุบันประเทศไทยขาดบุคลากรที่มีทักษะ ความคิดสร้างสรรค์และนักเรียนมีความคิดสร้างสรรค์ต่ำกว่าเกณฑ์ [3] ดังนั้น การเตรียมความพร้อมให้นักเรียนเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถและมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์สูงขึ้นจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องอย่างยิ่ง

การจัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ที่มุ่งให้นักเรียนเข้าใจในปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หลักการ กฎ และทฤษฎี รวมถึงการนำไปใช้ไปแก้ปัญหาและประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็น ทว่าการจัดการเรียนรู้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป

แบบการบรรยาย [4] อาจเป็นเพราะอุปกรณ์การทดลองไม่เพียงพอ หรือบางโรงเรียนมีอุปกรณ์ทดลองแต่การทดลองดังกล่าวไม่มีเทคโนโลยีเข้ามามีส่วนร่วมเพื่อช่วยในการสังเกตการณ์และการประมวลผลที่แม่นยำเพิ่มมากขึ้น โมเมนตัมและการชน เป็นหัวข้อพื้นฐานหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจฟิสิกส์ตามแบบฉบับของนิวตันซึ่งเป็นการนิยามตัวแปรสมมติที่เป็นตัวแทนสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุที่จะนำไปสู่การนิยามแรงซึ่งเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ถูกสมมติขึ้นมาเพื่ออธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพการเคลื่อนที่ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้ การคำนวณโมเมนตัมในหลายสถานการณ์ต้องนำไปเชื่อมโยงกับกฎการอนุรักษ์พลังงานด้วยจึงจะสามารถแก้ปัญหาหรือศึกษาปรากฏการณ์ธรรมชาติได้อย่างครบถ้วน ในส่วนของประเด็นการเชื่อมโยงระหว่างการคำนวณโมเมนตัมกับกฎการอนุรักษ์พลังงานนั้น เป็นส่วนที่นักเรียนระดับชั้นมัธยมปลายความสับสนอยู่มาก ซึ่งอาจเกิดจากระหว่างเรียนนั้นนักเรียนไม่สามารถทฤษฎีกับความเป็นจริงได้ ดังนั้น การจัดการเรียนเรียนรู้วิชาฟิสิกส์เรื่องโมเมนตัมและการชนนั้นหากต้องการให้ผู้เรียนสร้างความเข้าใจและเชื่อมโยงกับปรากฏการณ์ธรรมชาติได้นั้นควรให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมกับการออกแบบและทำการทดลองที่สอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด

โปรแกรมแทรคเกอร์เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประมวลผลการเคลื่อนที่ของวัตถุรูปแบบไฟล์วิดีโอ โดยสามารถเลือกติดตามวัตถุทั้งได้ใน 1 มิติ และ 2 มิติ ทั้งนี้ โปรแกรมแทรคเกอร์ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในการนำมาใช้ในการทำวิจัยพื้นฐานและกระบวนการจัดการเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์เพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นภาพพจน์ของการเคลื่อนที่ของวัตถุรวมถึงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุได้เป็นอย่างดี [5] อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ยังมีเงื่อนไขบางประการคือไม่สามารถกำหนดเฟรมเรทที่ละเอียดได้ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์สำหรับการสอนวิชาฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารูปแบบการเคลื่อนที่และสภาพการเคลื่อนที่ของวัตถุในของเหลวในแต่ละช่วงเวลาก่อนและหลังชนกันด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ อ้างอิงกับระบบพิกัดแบบคาร์ทีเซียน 2 มิติ และหาแรงอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลวอีกด้วย พร้อมกันนี้ยังศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ต่อการเรียนรู้ในหัวข้อโมเมนตัมและการชน

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้วางแผนศึกษาค้นคว้าแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุผลดังวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ได้แบ่งส่วนงานออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลวเพื่อหาแรงอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลว และส่วนการนำผลการทดลองไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนและศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ต่อการเรียนรู้ในหัวข้อโมเมนตัมและการชน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลว

1.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอันได้แก่ กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม กฎการอนุรักษ์พลังงาน และกฎของสโตกส์ โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \quad (1)$$

สมการ (1) เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมในกรณีที่มีวัตถุ 2 ก้อน มวล m_1 และ m_2 หน่วย กิโลกรัม โดยมวลแต่ละก้อนมีความเร็วลัพธ์ก่อนเข้าชนกันเป็น $\vec{u}_1$ และ $\vec{u}_2$ หน่วย เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมวลแต่ละก้อนมีความเร็วลัพธ์หลังเข้าชนเป็น $\vec{v}_1$ หน่วย $\vec{v}_2$ เมตรต่อวินาที ตามลำดับ และกฎการอนุรักษ์พลังงานในกรณีนี้เป็นไปตามสมการ (2)

$$m_1gh_{1i} + m_2gh_{2i} + \frac{1}{2}m_1|\vec{u}_1|^2 + \frac{1}{2}m_2|\vec{u}_2|^2 + w_{1i} + w_{2i} \quad (2)$$

$$= m_1gh_{1f} + m_2gh_{2f} + \frac{1}{2}m_1|\vec{v}_1|^2 + \frac{1}{2}m_2|\vec{v}_2|^2 + w_{1f} + w_{2f} \quad (3)$$

เมื่อ h_1 และ h_2 คือ ความสูงของมวลก้อนที่ 1 และ 2 หน่วย เมตร เมื่อเทียบกับระดับอ้างอิง ตามลำดับ โดยตัวห้อย i และ f คือ ก่อนเข้าชน และหลังเข้าชน ตามลำดับ ในขณะที่ w_1 และ w_2 คือ งานอันเนื่องมาจากแรงที่กระทำต่อวัตถุมวลก้อนที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หน่วย จูล สำหรับการวัดหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืด (Viscosity Coefficient) หรือความ-หนืด หาได้จากกฎของสโตกส์ กรณีปล่อยลูกกลมโลหะให้เคลื่อนที่ลงในของเหลวตามสมการ [5]

$$\eta = \frac{2r^2(\rho - \sigma)}{9v}g \quad (4)$$

เมื่อ η คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดหรือความหนืด หน่วย มิลลิปาสกาล-วินาที r คือ รัศมีของลูกกลม หน่วย เมตร v คือ อัตราเร็วของลูกกลมโลหะเมื่อลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ในของเหลวด้วยความเร็วคงที่ หน่วย เมตรต่อวินาที ρ คือ ความหนาแน่นของลูกกลมโลหะ หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร σ คือ ความหนาแน่นของของเหลว หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ g คือ ค่าความเร่งอันเนื่องมาจากความโน้มถ่วงของโลก

1.2 หาค่าความหนืดของของเหลวสามชนิด ได้แก่ น้ำเปล่า น้ำเชื่อม และน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิของของเหลวประมาณ 20 องศาเซลเซียส โดยการนำลูกกลมโลหะขนาดรัศมี 3.17×10^{-3} เมตร และมวล 1.04×10^{-3} กิโลกรัม มาปล่อยลงในของเหลวที่ละชนิด จากนั้นทำการบันทึกวิดีโอและนำวิดีโอดังกล่าวไปวิเคราะห์หาอัตราเร็วของลูกกลมโลหะเมื่อลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ในของเหลวด้วยความเร็วคงที่ด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ทั้งหมด 10 ครั้ง และนำอัตราเร็วเฉลี่ยที่ได้และค่าต่าง ๆ ไปคำนวณค่าความหนืดดังสมการ (3) ทั้งนี้ ความหนาแน่นของลูกกลมโลหะและความหนาแน่นของของเหลวใช้วิธีการของอาร์คิมิดีส

1.3 ศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลว โดยตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองดังภาพที่ 1 ทั้งนี้ การปล่อยลูกกลมโลหะจะทำการปล่อยวัตถุที่บริเวณผิวของเหลวเมื่อลูกกลมโลหะจมในของเหลวนั้น ๆ พอดี (ภาพที่ 1 ลูกกลมโลหะไม่ได้จมอยู่ในของเหลว ณ ตำแหน่งปล่อยลูกกลมโลหะ เพื่อแสดงภาพลูกกลมโลหะแต่ละก้อนให้เห็นอย่างชัดเจน) จากนั้นทำการบันทึกวิดีโอโดยจะทำทั้งหมด 10 ครั้ง นำไฟล์วิดีโอของแต่ละครั้งที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความเร็วของลูกกลมโลหะชนกันที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางมากที่สุด จากนั้นนำไฟล์วิดีโอครั้งดังกล่าวมาหาความเร็วของลูกกลมโลหะด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ เมื่อแล้วเสร็จกระบวนการทำการเปลี่ยนของเหลวและทำซ้ำกระบวนการเดิม

1.4 วิเคราะห์ผลการทดลองโดยจะทำการวิเคราะห์เพียงการชนของวัตถุในของเหลวเท่านั้น โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ



ภาพที่ 1: การจัดตั้งอุปกรณ์สำหรับศึกษาการชนกันของวัตถุในของเหลว

1.4.1 วิเคราะห์ความเร็วหลังชนของลูกกลมโลหะที่ถูกปล่อยลงมา (mass A, $\vec{v}_1$) ชนกับลูกกลมโลหะที่หยุดนิ่ง (mass B) ในช่วงเวลาทันทีหลังจากชนแล้วเท่านั้น จากนั้น เปรียบเทียบความเร็วหลังชนกับค่าได้คำนวณได้จากสมการ (1)

1.4.2 วิเคราะห์หางานอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลวโดยการกำหนดให้ตำแหน่งที่ลูกกลมโลหะที่อยู่นิ่งเป็นระยะอ้างอิง จากนั้น หาค่าความสูงของของลูกกลมโลหะที่ถูกปล่อยลงมา h_1 จากนั้น ใช้ความเร็ว ณ ตำแหน่งที่ชนกันพอดีมาคำนวณตามสมการ (2)

ส่วนที่ 2. การนำการทดลองไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนและศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ต่อการเรียนรู้ในหัวข้อโมเมนตัมและการชน

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

2.1.1 ประชากร นักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2565 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 3 ห้อง รวม 71 คน

2.1.2 กลุ่มตัวอย่าง กำหนดโดยการใช้สูตรของยามาเนที่ความคลาดเคลื่อน 0.10 [6] จากนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ปีการศึกษา 2565 แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จำนวน 42 คน

2.2 เครื่องมือที่ใช้

2.2.1 แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องโมเมนตัมและการชน หัวข้อ การชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอน ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญว่าอยู่ในระดับดีมาก

2.2.2 แบบฝึกหัดระหว่างเรียน เรื่อง โมเมนตัมและการชน ที่ผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 ข้อ

2.2.3 แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน ซึ่งเป็นแบบทดสอบฉบับเดียวกัน เรื่อง โมเมนตัม

และการชน จำนวน 20 ข้อ โดยมีค่าความยากง่ายอยู่ระหว่าง 0.20 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป และค่าความเชื่อมั่นอยู่ที่ 0.86

2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

2.3.1 ทดสอบก่อนเรียนกับกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบวัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัม และการชน จำนวน 20 ข้อ

2.3.2 จัดการเรียนรู้วิธีการใช้งานโปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ แทรคเกอร์ เบื้องต้นให้นักเรียน เพื่อสร้างความคุ้นเคยให้นักเรียนโดยแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มละ 4 คน โดยประมาณ

2.3.3 ดำเนินการจัดการเรียนรู้ตาม ส่วนที่ 1 การทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลว ใช้ระยะเวลา 8 คาบ คาบละ 50 นาที เก็บรวบรวมคะแนนระหว่างการจัดการเรียนรู้จากการประเมินจากการทดลอง และแบบฝึกหัดระหว่างเรียน

2.3.4 ทดสอบหลังเรียนกับกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบวัดการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ เรื่อง โมเมนตัม และการชน จำนวน 20 ข้อ

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 หาประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้โดยหาค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้ระหว่างการจัดการเรียนรู้กับคะแนนหลังการเรียนรู้โดยคิดเป็นร้อยละของนักเรียนทั้งกลุ่ม จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบและหาประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 80 / 80

2.4.2 การวิเคราะห์ผลการเรียนรู้ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียน โดยใช้สถิติค่าที (t-test for dependent samples)

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ด้วยงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ผู้วิจัยจึงนำเสนอผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัยตามแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลว

1. ค่าความหนืดของของเหลวที่อุณหภูมิของของไหล 20 องศาเซลเซียส โดยการนำลูกกลมโลหะขนาดรัศมี 3.17×10^{-3} เมตร และมวล 1.04×10^{-3} กิโลกรัม มาปล่อยลงในของเหลวที่ละชั้นจำนวน 10 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 1

2. เมื่อนำของเหลวแต่ละชนิดมาใช้ในการทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลวและวิเคราะห์ตำแหน่ง เวลาและความเร็วของวัตถุก่อนชนและหลังชนดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2 ภาพที่ 3 โดยผลการทดลองปรากฏดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1: แสดงค่าต่างที่ใช้ในการทำลองตามกฎของสโตกส์เพื่อคำนวณค่าความหนืดของของเหลว

ชนิดของ ของเหลว	ความหนาแน่นของวัตถุ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	ความหนาแน่นของเหลว (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	อัตราเร็วเฉลี่ย (เมตรต่อวินาที)	ค่าความหนืด (มิลลิปาสคาล-วินาที)
น้ำเปล่า	7790.89	1007.03	_*	_*
น้ำเชื่อม	7790.89	1344.21	0.06	2453.37
น้ำมันปาล์ม	7790.89	823.67	1.81	84.53

หมายเหตุ * ไม่สามารถระบุความเร็วคงที่ของลูกกลมโลหะที่เคลื่อนที่ในน้ำเปล่าได้เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำทดลองสูงเพียง 1.50 เมตร เป็นเหตุให้ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งตลอดช่วง ทั้งนี้ ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ผู้วิจัยใช้ค่าความหนืดของน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0020 มิลลิปาสคาล-วินาที [7]

ตารางที่ 2: แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การชนกันของวัตถุในของเหลวด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์และค่าความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี

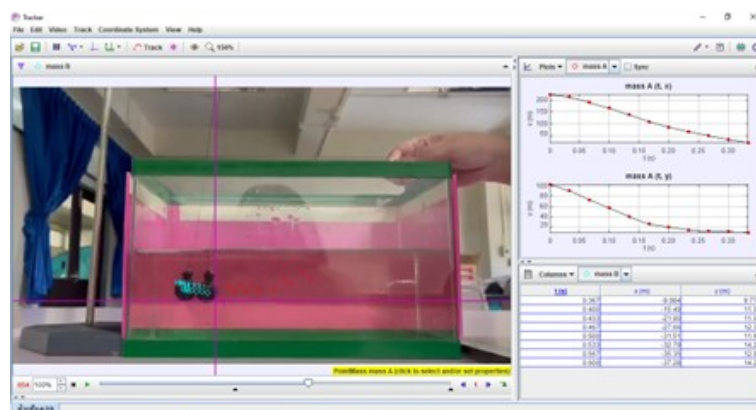
ชนิดของ ของเหลว	จากการทดลอง			จากทฤษฎี	ร้อยละความ คลาดเคลื่อน
	ความเร็วก่อนชน ของ mass A (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วหลังชน ของ mass B (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วหลังชน ของ mass A (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วหลังชน ของ mass A (เมตรต่อวินาที)	ความเร็วหลังชน ของ mass A
น้ำเปล่า	4.99	4.42	0.22	0.57	60.60
น้ำเชื่อม	0.84	0.69	0.11	0.15	25.49
น้ำมันปาล์ม	4.65	4.33	0.17	0.32	47.81

จากตารางที่ 2 พบว่า การชนกันของลูกกลมโลหะในของเหลวแต่ละชนิดเป็นการชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์โดยอิงตามกันทุกกรณี โดยของเหลวยังมีความหนืดมากยังมีร้อยละความคลาดเคลื่อนความเร็วหลังชนน้อยลงทั้งนี้อาจเป็นเพราะของเหลวที่มีความหนืดมากจะทำให้ลูกกลมโลหะเคลื่อนที่ช้าเวลาที่สัมผัสกันเพื่อเกิดการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมหรือเวลาในการเกิดการดลจะเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากตำแหน่งการชนกันของลูกกลมโลหะ จากงานวิจัยของ F. L. Yang และ M. L. Hunt [8] กล่าวว่า ตำแหน่งของการชนของวัตถุส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนโมเมนตัมของวัตถุ ทั้งยังส่งผลให้ทิศทางการเคลื่อนที่เบี่ยงเบนไปจากแนวเดิมเป็นเหตุให้การสังเกตการณ์แบบสองมิติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ อย่างไรก็ตามจะสังเกตได้ว่าร้อยละความคลาดเคลื่อนความเร็วหลังชนของ mass A มีค่าสูงอาจเนื่องจากข้อจำกัดของการตั้งอัตราเฟรม (frame rate) ของอุปกรณ์ถ่ายวิดีโอกับโปรแกรมไม่สอดคล้องกัน

จากตารางที่ 3 พบว่า น้ำเปล่า และน้ำมันปาล์ม ให้ค่างานอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลวเป็นลบ โดยมีจุดที่น่าสังเกตว่าน้ำเปล่ามีค่างานอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลวน้อยกว่าน้ำมันปาล์ม ซึ่งแปรผกผันกับความเร็ว

ตารางที่ 3: แสดงค่าที่ได้จากการวิเคราะห์งานอันเนื่องมาจากแรงต้านที่คำนวณได้จากสมการ (2)

ชนิดของของเหลว	มวลของลูกกลมโลหะ mass A (กิโลกรัม)	ความสูงของลูกกลมโลหะ mass A จากระยะอ้างอิง (เมตร)	ความเร็วก่อนชนของ mass A (เมตร/วินาที)	งานอันเนื่องมาจากแรงต้านของของเหลว (จูล)
น้ำเปล่า	1.04×10^{-3}	0.15	4.99	-0.0114
น้ำเชื่อม	1.04×10^{-3}	0.15	0.84	0.0012
น้ำมันปาล์ม	1.04×10^{-3}	0.15	4.65	-0.0097



ภาพที่ 2: ตัวอย่างการติดตามการเคลื่อนที่ของลูกกลมโลหะและผลการทดลองเรื่องการชนกันของวัตถุในของเหลว โดย mass A (ลูกกลมขวามือ) ติดตามด้วยจุดสีแดง ขณะที่ mass B (ลูกกลมซ้ายมือ) ติดตามด้วยจุดสีฟ้า

ก่อนชนของ mass A และค่าความหนืดของของเหลว อย่างไรก็ตาม จากการคำนวณพบว่างานอันเนื่องมาจากแรงต้านของของน้ำเชื่อมมีค่าเป็นบวก จากสมการ (2) จะสามารถแปลความได้ว่าค่าพลังงานจลน์มีค่ามากกว่าพลังงานศักย์โน้มถ่วง เหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะน้ำเชื่อมมีค่าความหนืดสูงจนทำให้ขณะลูกกลมเคลื่อนตัวในน้ำเชื่อม น้ำเชื่อมถูกดึงให้เกิดการม้วนตัวหลังลูกกลมและผลของการม้วนตัวนี้ดันลูกกลมให้มีพลังงานจลน์มากกว่าพลังงานศักย์

ส่วนที่ 2. การนำการทดลองไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนและศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ต่อการเรียนในหัวข้อโมเมนตัมและการชน

1. ผลประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ทางการ ศึกษาตามเกณฑ์ 80/80 พบว่า ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยคะแนนระหว่างเรียน (การประเมินการทดลองและแบบฝึกหัดระหว่างเรียน) และหลังเรียน (ผลการเรียนรู้) มีค่าเป็น 85.67 และ 81.98 ตามลำดับ แสดงว่า แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องโมเมนตัมและการชน หัวข้อ การชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอน มีประสิทธิภาพทางการศึกษาเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80 ร้อยละคะแนนระหว่างเรียนและหลังเรียนมีคะแนนที่สูงกว่าร้อยละ 80 ซึ่งสอดคล้องกับ สุภาวรรณ สวนพลอย และคณะ [9] กล่าวว่า โปรแกรมวิดีโอแทรคเกอร์นี้เป็นเครื่องมืออำนวยความสะดวกในกิจกรรมการเรียนรู้ ที่เน้นนักเรียนเป็นศูนย์กลางและยังกระตุ้นให้นักเรียนเรียนรู้ ด้วยตนเองมากขึ้น

Columns ▾ mass A ▾				
t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)	a (m/s ²)
0.033	211.2	114.8		
0.067	207.3	105.8	429.2	
0.100	195.2	91.05	632.0	6.934E3
0.133	177.2	76.31	834.5	4.848E3
0.167	151.6	56.45	948.9	3.948E3
0.200	124.7	41.07	959.2	3.780E3
0.233	93.28	30.18	826.9	4.543E3
0.267	72.77	22.49	632.4	4.638E3
0.300	52.91	18.01	557.9	3.049E3
0.333	36.25	15.44	445.8	1.842E3
0.367	23.44	14.16	420.4	
0.400	9.702	10.22		

Columns ▾ mass B ▾				
t (s)	x (m)	y (m)	v (m/s)	a (m/s ²)
0.433	-24.61	12.24		
0.467	-29.74	12.88	163.7	
0.500	-35.51	11.60	182.6	443.6
0.533	-41.91	12.88	145.4	1.236E3
0.567	-45.12	12.88	87.03	1.567E3
0.600	-47.68	12.24	49.01	582.5
0.633	-48.32	13.52	38.44	0.000
0.667	-50.24	12.24	58.46	703.8
0.700	-52.16	12.88	28.83	
0.733	-50.24	14.16		

ภาพที่ 3: ตัวอย่างผลการทดลองของลูกกลมโลหะ (mass A) ที่ถูกปล่อยจากผิวน้ำ ขณะที่ลูกกลมโลหะของลูก (mass B) เริ่มต้นอยู่นิ่งกับที่

ตารางที่ 4: ผลการเรียนรู้แต่ละด้านในหัวข้อการชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอน

ด้านที่	การทดสอบ	คะแนน	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	T-test	Sig
1	ก่อนเรียน	3.89	1.58	19.48	.000
	หลังเรียน	7.67	1.26		
2	ก่อนเรียน	4.12	1.77	14.67	.000
	หลังเรียน	8.30	1.33		
รวม	ก่อนเรียน	7.33	2.23	22.23	.000
	หลังเรียน	15.67	2.16		

2. ผลการเรียนรู้วิชาฟิสิกส์ก่อนเรียนและหลังเรียน โดยผู้วิจัยทำการศึกษาผลการเรียนรู้ 2 ด้าน ได้แก่ ด้านที่ 1 คือ ด้านความเข้าใจและการนำไปใช้ ด้านที่ 2 คือ ด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้นสูง 5 ทักษะ แสดงดังตารางที่ 4 จะพบว่า มีผลการเรียนรู้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับสุภาวรรณ สวนพลอย และคณะ [9] ที่พบว่ากลุ่มนักเรียนที่ใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ในการวิเคราะห์วิดีโอมีทักษะการตีความจากกราฟได้ดีกว่านักเรียนเรียนผ่านการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม และ Vera, Rivera and Fuentes [10] ที่ศึกษาเรื่อง Learning Physics with Video Analysis พบว่าโปรแกรมวิดีโอแทรคเกอร์สามารถช่วยแยกแยะความแตกต่างในสิ่งที่ตาของมนุษย์ไม่สามารถแยกแยะได้

สรุปผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 การทดลองการชนกันของวัตถุในของเหลว ของเหลวที่นำมาใช้ในการทดลองน้ำเชื่อมมีค่าความหนืด

มากกว่าน้ำมันปาล์ม ในขณะที่น้ำเปล่าไม่สามารถให้ค่าความหนืดได้ด้วยเพราะข้อจำกัดของอุปกรณ์ ขณะที่การทดลองเรื่องการชนกันของวัตถุในของเหลวเป็นการชนแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ทุกกรณีและสอดคล้องกับกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม โดยมีร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนความเร็วหลังชนของ mass A แปรผกผันกับค่าความหนืดของของเหลว ในส่วนของการหางานอันเนื่องมาจากความเสียดทานนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์ที่ทำงานออกมาเป็นบวก

ส่วนที่ 2. การนำการทดลองไปใช้ในการจัดการเรียนการสอนและศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ต่อการเรียนรู้ในหัวข้อโมเมนตัมและการชน ประสิทธิภาพแผนการจัดการเรียนรู้ทางการ ศึกษาตามเกณฑ์ 80/80 พบว่า ร้อยละของคะแนนเฉลี่ยคะแนนระหว่างเรียน (การประเมินการทดลองและแบบฝึกหัดระหว่างเรียน) และหลังเรียน (ผลการเรียนรู้) มีค่าเป็น 85.67 และ 81.98 ตามลำดับ แสดงว่า แผนการจัดการเรียนรู้เรื่องโมเมนตัมและการชน หัวข้อ การชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอน มีประสิทธิภาพทางการศึกษาเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 80/80 ในขณะที่ผลการเรียนรู้เรื่องโมเมนตัมและการชน หัวข้อ การชนกันของวัตถุในของเหลว โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอแทรคเกอร์ช่วยสอนในด้านความเข้าใจและการนำไปใช้ ด้านทักษะวิทยาศาสตร์ขั้นสูง โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของคะแนนจากแบบทดสอบก่อนเรียนสูงกว่าหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนสถานที่และเวลารวมถึงผลักดันให้งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จได้ด้วยดี และนักเรียนโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สนธิ พลชัยยา. (2557). สะเต็มศึกษากับการคิดขั้นสูง. นิตยสาร สสวท, 42 (189), 7-8.
- [2] ปุณณวัฒน์ กาสรุณ, ชนาพร รัตนมาล, อัจฉรา คำหล้า, ธัญญวริน ชูวัฒนวรกุล และกาญจนา ทองจบ. (2565). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความคิดสร้างสรรค์ในวิชาฟิสิกส์ ของนักเรียนมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4 โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทาง สะเต็มศึกษา เรื่อง กล้องบรรจุภัณฑ์กันกระแทก. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา, 9 (3), 355-367.
- [3] ศิว วัชร ภูมิโคก รักษ์. (2562). การ ศึกษา ผล การ เรียน รู้ คณิตศาสตร์ และ ความ คิด สร้ างสรรค์ ของ นักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา. วารสาร ราชพฤกษ์, 17(2), 73-79.
- [4] กรวิทย์ เกื้อคลัง. (2561). ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเรื่องสภาพสมดุลและสภาพยืดหยุ่นของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 18(2), 124-135.

- [5] สุรัตน์ กาบทุม. (2562). การเคลื่อนที่ของฟองอากาศภายใต้อิทธิพลของความหนืดของของไหล และการสั่นสะเทือน สำหรับการสอนฟิสิกส์ในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย ราชภัฏเชียงใหม่)
- [6] อัจฉรวรรณ งามบุญ. (2554). อันเนื่องมาแต่สูตรของยามาเน. วารสารบริหารธุรกิจ, 131, 46-60.
- [7] ธัญธร ออกวะลา. (2553). กลศาสตร์ของไหล. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 16.
- [8] F.-L. Yang, and M. L. Hunt. (2006). Dynamics of particle-particle collisions in a viscous liquid. Phys. Fluids 18, 121506.
- [9] สุภาวรรณ สวนพลอย, วัฒนะ รัมมะเอ็ด และอารยา มุ่งชำนาญกิจ. (2558). การใช้โปรแกรมวิเคราะห์วิดีโอ แทรคเกอร์ช่วยสอนวิชาฟิสิกส์ เรื่องการเคลื่อนที่แบบคาบเพื่อเพิ่มผลการเรียนรู้ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 กรณีศึกษาของโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ปทุมธานี. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2558, 1293-1299.
- [10] Vera, Francisco., Rivera, Rodrigo and Fuentes, Raúl. (2013). Learning Physics with Video Analysis. Nuevas Ideas en Informática Educativa TISE.

สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$

On the Diophantine equations $21^x + 4^y = z^2$

ธัญวรัชญ์ บุตรสาร^{1,*}, นิติมา พรหมมารัตน์² และ ณัฐมน กันไชย¹

¹โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคำนวณ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย ประเทศไทย

²โปรแกรมวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เชียงราย ประเทศไทย

Thanwarat Butsan^{1,*}, Nitima Phrommarat² and Natthamon kanchai¹

¹Department of Mathematics and Computing Science,

Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University Chiang Rai Thailand

²Department of Mathematics,

Faculty of Education, Chiang Rai Rajabhat University, Chiang Rai, Thailand

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ในรูปแบบ $21^x + 4^y = z^2$ โดยพิจารณาการมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ดังกล่าว เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

คำสำคัญ : สมการไดโอแฟนไทน์, จำนวนเฉพาะ, ผลเฉลยเดียว

Abstract

The objective of this work is to study the existence of non-negative integer solutions of the Diophantine equation $21^x + 4^y = z^2$.

Keywords : Diophantine equation, Prime numbers, Unique solution

* Corresponding author : thanwarat.but@crpu.ac.th

Received : 29/06/2023

Revised : 25/12/2023

Accepted : 09/01/2024

ที่มาและความสำคัญ

สมการไดโอแฟนไทน์ (Diophantine equations) คือ สมการที่สนใจคำตอบที่เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งอาจเป็นดีกรีหนึ่งหรือมากกว่านั้น อาจมีตัวแปรเดียวหรือหลายตัวแปร สมการไดโอแฟนไทน์เป็นสมการที่ศึกษากันอย่างมากมายในหลายรูปแบบ รูปแบบหนึ่งที่ได้ศึกษาอย่างกว้างขวาง คือ สมการที่อยู่ในรูป $a^x + p^y = z^2$ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ในปี ค.ศ. 2011 [1] Suvarnamani ได้ศึกษาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + p^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ p เป็นจำนวนเฉพาะ

ในปี ค.ศ. 2012 Sroysang [2] ได้ พิสูจน์ว่า $(x, y, z) = (1, 0, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวที่ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ของสมการไดโอแฟนไทน์ $18^x + 19^y = z^2$

ในปี ค.ศ. 2013 Sroysang [3] ได้แสดงว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $2^x + 3^y = z^2$ มีเพียงสามผลเฉลยคือ $(0, 1, 2), (3, 0, 3)$ และ $(4, 2, 5)$ และในปีเดียวกัน Sroysang [4] ได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ $7^x + 8^y = z^2$ โดยที่ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และพบว่าสมการดังกล่าวมีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียว นั่นคือ $(x, y, z) = (1, 0, 3)$

ในปี ค.ศ. 2014 Sroysang [5, 6] ได้แสดงให้เห็นว่า $(1, 0, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $8^x + 13^y = z^2$ และ $8^x + 59^y = z^2$ เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมการไดโอแฟนไทน์ที่อยู่ในรูป $21^x + 4^y = z^2$ โดยการนำเสนอการพิสูจน์ผลเฉลยของสมการนี้ เป็นแนวคิดหนึ่งที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาการหาผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ โดยอาศัยทฤษฎีบทที่มักใช้ในการพิสูจน์การมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์คือ

ทฤษฎีบท 1 [7] (Catalan's conjecture) $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$ เป็นผลเฉลยเดียวของสมการไดโอแฟนไทน์ $a^x - b^y = 1$ เมื่อ a, b, x และ y เป็นจำนวนเต็มที่ $\min \{a, b, x, y\} > 1$

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ในบทความนี้จะศึกษา สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ โดยการพิสูจน์ว่ามีผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียวหรือไม่ ซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการพิสูจน์บทตั้ง ทำการพิสูจน์การมีผลเฉลยของสมการไดโอแฟนไทน์ $1 + 4^y = z^2$ โดยที่ y, z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ดังต่อไปนี้

บทตั้ง 2 สมการ $1 + 4^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์ กำหนดให้ $1 + 4^y = z^2$

กรณีที่ 1 ถ้า $y = 0$

$$\text{จะได้ว่า } 1 + 4^0 = z^2$$

$$\text{นั่นคือ } z^2 = 2$$

$$\text{ดังนั้น } z = \sqrt{2} \text{ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม}$$

กรณีที่ 2 ถ้า $y = 1$

$$\text{จะได้ว่า } 1 + 4^1 = z^2$$

$$\text{นั่นคือ } z^2 = 5$$

$$\text{ดังนั้น } z = \sqrt{5} \text{ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม}$$

กรณีที่ 3 ถ้า $y > 1$ จะได้ $2y > 1$

$$3.1 \text{ ถ้า } z = 0 \text{ จะได้ } 1 + 4^y = 0$$

$$\text{นั่นคือ } 4^y = -1 \text{ เป็นไปไม่ได้}$$

$$3.2 \text{ ถ้า } z = 1 \text{ จะได้ } 1 + 4^y = 1$$

$$\text{นั่นคือ } 4^y = 0 \text{ เป็นไปไม่ได้}$$

$$3.3 \text{ ถ้า } z > 1 \text{ จัดรูปสมการจะได้ } 1 = z^2 - 2^2y$$

$$\text{โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า } z = 3 \text{ และ } 2y = 3$$

$$\text{ทำให้ได้ว่า } y = 3/2 \text{ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม}$$

จากทั้ง 3 กรณีสรุปได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $1 + 4^y = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

□

ทฤษฎีบท 3 สมการ $21^x + 1 = z^2$ โดยที่ $x, z \geq 0$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

พิสูจน์ ให้ $21^x + 1 = z^2$ แบ่งการพิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้า $x = 0$

$$\text{จะได้ } 21^0 + 1 = z^2$$

$$\text{นั่นคือ } 1 + 1 = z^2$$

$$\text{ดังนั้น } z = \sqrt{2} \text{ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม}$$

กรณีที่ 2 ถ้า $x = 1$

$$\text{จะได้ } 21^1 + 1 = z^2$$

$$\text{นั่นคือ } z^2 = 22$$

ดังนั้น $z = \sqrt{22}$ ซึ่งไม่เป็นจำนวนเต็ม

กรณีที่ 3 ถ้า $x > 1$ จัดสมการให้อยู่ในรูป $z^2 - 21^x = 1$

3.1 ถ้า $z = 0$ จะได้ว่า $-21^x = 1$ จะได้ว่า $x = 1$ เกิดข้อขัดแย้ง

3.2 ถ้า $z = 1$ จะได้ว่า $-21^x = 0$ เป็นไปไม่ได้

3.3 ถ้า $z > 1$ จากทฤษฎีบท 1 ซึ่งกล่าวว่าสมการ $a^x - b^y = 1$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวน

เต็มที่ไม่เป็นลบเพียงผลเฉลยเดียว คือ $(a, b, x, y) = (3, 2, 2, 3)$ เกิดข้อขัดแย้ง

จากทั้ง 3 กรณีย่อจะได้ว่า ถ้า $x > 1$ จะไม่สามารถหาผลเฉลยได้

จากทั้ง 3 กรณีจึงสรุปได้ว่า สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 1 = z^2$ ไม่มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ

□

ทฤษฎีบท 4 สมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบเพียงชุดเดียวคือ $(x, y, z) = (1, 1, 5)$

พิสูจน์ ให้ $21^x + 4^y = z^2$ โดยที่ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ แบ่งการพิจารณาเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 $x = 0$

$$\text{จะได้ } 1 + 4^y = z^2$$

โดยบทตั้ง 2 จะได้ว่าไม่มีผลเฉลย

กรณีที่ 2 $x = 1$

$$\text{จะได้ } 21 + 4^y = z^2 \text{ นั่นคือ } 21 = z^2 - 4^y = (z - 2^y)(z + 2^y)$$

เนื่องจาก 21 สามารถเขียนอยู่ในรูปผลคูณของจำนวนเต็มบวกได้สองแบบคือ $3 \cdot 7$

และ $21 \cdot 1$ นอกจากนี้ $z + 2^y > z - 2^y$ จึงสามารถแบ่งพิจารณาเป็นสองกรณีย่อยดังนี้

กรณี 2.1

$$z + 2^y = 7 \tag{1}$$

และ

$$z - 2^y = 3 \tag{2}$$

จาก สมการ (1) และสมการ (2) จะได้ว่า $2^{y+1} = 4$

นั่นคือ $y + 1 = 2$

ดังนั้น $y = 1$

และจะได้ $z = 5$

นั่นคือ $(1, 1, 5)$ เป็นผลเฉลยหนึ่งของสมการ

กรณี 2.2

$$z + 2^y = 21 \quad (3)$$

และ

$$z - 2^y = 1 \quad (4)$$

จาก สมการ (3) และสมการ (4) จะได้ว่า $2^{y+1} = 20$ และจะได้ $2^{y-1} = 5$

กรณีนี้จึงเป็นไปได้

กรณีที่ 3 $x > 1$

เมื่อพิจารณา $21^x = z^2 - 2^2y = (z - 2^y)(z + 2^y)$

และกำหนดให้ u เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ และ $u < x$ โดยที่

$$21^u = z - 2^y$$

$$21^{x-u} = z + 2^y$$

$$\text{จะได้ว่า } 21^u(21^{x-2u} - 1) = 21^{x-u} - 21^u = 2 \cdot 2^y = 2^{y+1}$$

เนื่องจาก 21^u ไม่สามารถจัดอยู่ในรูป 2^n ทุก n ที่เป็นจำนวนนับ

$$\text{จะได้ว่า } 21^u = 121^x - 1 = 2^{y+1}$$

$$\text{นั่นคือ } 21^x - 2^{y+1} = 1$$

โดยทฤษฎีบท 1 จะได้ว่า สมการดังกล่าวไม่มีผลเฉลย

จากทั้ง 3 กรณี จึงสรุปได้ว่าสมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ มีผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ เพียงผลเฉลยเดียวคือ $(x, y, z) = (1, 1, 5)$ □

สรุปผลการวิจัย

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลเฉลย (x, y, z) เมื่อ x, y และ z เป็นจำนวนเต็มที่ไม่เป็นลบ ของสมการไดโอแฟนไทน์ $21^x + 4^y = z^2$ พบว่า $(x, y, z) = (1, 1, 5)$ เป็นผลเฉลยเพียงผลเฉลยเดียวของสมการดังกล่าว

กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้ถูกล่วงไปด้วยดีด้วยการสนับสนุนจาก คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Suvarnamani, A. (2011). Solutions of the Diophantine equation $2^x + p^y = z^2$. International Journal of Mathematical Sciences and Applications, 1(13), p. 1415-1419.
- [2] Sroysang, B. (2012). More on the Diophantine Equation $8^x + 19^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 81(4), p. 601-604.
- [3] Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine Equation $2^x + 3^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84(2), p. 133-137.
- [4] Sroysang, B. (2013). More on the Diophantine Equation $7^x + 8 = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 84(1), p. 111-114.
- [5] Sroysang, B. (2014). More on the Diophantine Equation $8^x + 13^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 90(1), p. 69-72.
- [6] Sroysang, B. (2014). More on the Diophantine Equation $8^x + 59^y = z^2$. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 91(1), p. 139-142.
- [7] Mihilescu, P. (2004). Primary cyclotomic units and a proof of Catalan's conjecture. Journal für die reine und angewandte Mathematik, 27(2004), p. 167 - 195.

การพัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะ การคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

The Development of Learning Model Using Robot Project to Enhance Computational Thinking Skill for High School Students

ศรিতธี พร้อมเทพ*, รุจโรจน์ แก้วอุไร, สิตานันท์ จันทรสมบูรณ์, ภาสกร เรืองรอง และ สกนชัย ชะนูนันท์
สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก ประเทศไทย

Sarit Phromthep*, Rujroad Kaewurai, Passakorn Rueangrong and Skonchai Chanunan

Subject of Educational Technology and

Communications Faculty of Education Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย 2) รับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ดำเนินการโดยใช้กระบวนการวิจัยและพัฒนา โดยแหล่งข้อมูลได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ 5 คน การดำเนินการวิจัยมี 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 การสร้างแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ขั้นที่ 2 รับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ รูปแบบการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้น เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้ แบบประเมินรับรองรูปแบบ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหา ผลการวิจัยพบว่า 1) รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบได้แก่ 1) หลักการ 2) วัตถุประสงค์ 3) เนื้อหา 4) กระบวนการจัดการเรียนรู้ และ 5) การวัดประเมินผล โดยใช้ขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน 4 ขั้นตอนได้แก่ นำเสนอประเด็นปัญหาโครงงานหุ่นยนต์ วางแผนการพัฒนาโครงงานหุ่นยนต์ ลงมือปฏิบัติจากสถานการณ์จริง ประเมินผลและทบทวน ผลการประเมินรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้มีความเหมาะสม

* Corresponding author : sarit.pr@up.ac.th

อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.64$; S.D.=0.40)

คำสำคัญ : ทักษะการคิดเชิงคำนวณ, การเรียนรู้แบบโครงงาน, หุ่นยนต์

Abstract

This research article presents a novel model of project-based learning with robotics aimed at enhancing computational thinking skills in high school students. The main research objectives were as follows: 1) to develop a project-based learning model with robotics to enhance high school students' computational thinking skills, and 2) To certify the model operating with research and development process. Resources include 5 experts. There were 2 steps in conducting the research. Step 1 Creating a learning model using robot project to enhance computational thinking skill for high school students. Step 2 Certifying the learning model using robot project to enhance computational thinking skill for high school student. The document for learning research tools were the developed learning model and form certification assessment form. Then the obtained data were analyzed through statistics of mean, S.D.

The results reveal the following: 1) The project-based learning model with robotics comprises five aspects, including principles, objectives, content, learning process, and evaluation. The implementation follows a four-step project-based learning management process, involving robotic project issue presentation robotic project development planning, real situation action, and evaluation/review. The assessment result certify that the developed learning model is appropriate at the highest level.

Keywords : Computational Thinking, Project based Learning, Robot

ที่มาและความสำคัญ

เทคโนโลยีและหุ่นยนต์ เริ่มเข้ามามีบทบาทกับการเป็นอยู่ของผู้คนในปัจจุบัน หุ่นยนต์ ระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) จึงมีเข้ามามีส่วนในการทำงานและการใช้ชีวิตประจำวัน การเติบโตของระบบอัตโนมัติและปัญญาประดิษฐ์ ถูกนำมาช่วยในการทำงานเพิ่มความรวดเร็วแม่นยำลดความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิต และการทำงาน ซึ่งทำให้ระบบงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม ส่งผลให้หลายอาชีพที่มีขั้นตอนการปฏิบัติงานตายตัวจะถูกแทนที่ด้วยเทคโนโลยี ทักษะการคิดเชิงคำนวณถือเป็นทักษะที่จำเป็นในการดำเนินชีวิตการทำงานในสภาพสังคมปัจจุบันที่ขับเคลื่อนไปด้วย ซอฟต์แวร์ และความรู้ด้าน โปรแกรมมิ่ง [1] ซึ่งการทำงานร่วมกับเทคโนโลยีจำเป็นต้องมีทักษะ การคิดวิเคราะห์ วางแผนจัดการ การคิดอย่างเป็นเหตุและผลคิดสร้างสรรค์ รวมไปถึงการออกแบบกระบวนการแก้ปัญหาเชิงระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ [2] ที่เป็นผู้ริเริ่มการจัดการเรียนรู้โดยใช้แนวคิดกระบวนการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมซอฟต์แวร์ มาช่วยพัฒนากระบวนการคิดแก้ปัญหาหรือเรียกว่า ทักษะการคิดเชิง

คำนวณ ซึ่ง เป็นทักษะที่เสริมศักยภาพในการแก้ปัญหาที่รวดเร็ว ขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ กระบวนการคิดนี้ได้มาจากการจำลองกระบวนการแก้ปัญหาด้านวิศวกรรมซอฟต์แวร์และนำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนวิธีการ หรือ อัลกอริทึม (Algorithm) เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหา ในลักษณะเดียวกันได้ทุกรูปแบบ ทั้งนี้ทักษะการคิดเชิงคำนวณ ประกอบด้วย วิธีการคิดเชิงคำนวณ กระบวนการแก้ปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ขั้นตอน พหุติกรรม ปฏิสัมพันธ์ และการออกแบบ รวมถึงกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนากระบวนการจัดการปัญหาที่เป็นวิธีการ เพื่อให้ได้ลำดับขั้นตอนการจัดการกับปัญหา ซึ่งตอบโจทย์การเปลี่ยนแปลงทางการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ดังนั้นประเทศไทย ได้เล็งเห็นถึงการพัฒนาในด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการพัฒนาแรงงานทักษะสูงที่สามารถทำงานร่วมกับเทคโนโลยีและมีความเป็น นวัตกรรม ในอนาคต ซึ่งทักษะการคิดเชิงคำนวณได้ถูกนำเข้าไปในรายวิชาพื้นฐานด้าน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในรายวิชา วิทยาการคำนวณ ที่อยู่ในหลักสูตรของกระทรวงศึกษาธิการ และผลักดันให้ ผู้เรียน มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีทักษะความรู้ความเชี่ยวชาญ มีความชำนาญในการใช้เทคโนโลยี โดยทักษะการ คิดเชิงคำนวณ เป็นทักษะที่จำเป็นต่อการพัฒนาบุคลากร ที่รองรับความสามารถการทำงานที่ซับซ้อนร่วมกับการใช้ เทคโนโลยี การจัดการปัญหาได้อย่างเป็นระบบ และการเป็นผู้สร้างนวัตกรรม อันทำให้เกิดการบริการแบบใหม่ที่มาจากการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี และรูปแบบการดำเนินธุรกิจ ซึ่งจาก [3] ซึ่งเน้นในเรื่องของการส่งเสริมระบบการจัดการ เรียนรู้ที่มีการบูรณาการเชื่อมโยงระหว่าง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์และคณิตศาสตร์ (STEM Education) และเพิ่มจำนวนนักเรียนที่สนใจในด้านดังกล่าว เพื่อผลิตกำลังคนและครูเชิงคุณภาพ พร้อมไปกับการเพิ่มแรงจูงใจ ในอาชีพครูวิทยาศาสตร์ การออกแบบและเทคโนโลยี และวิชาวิทยาการคำนวณ สร้างวิธีการเรียนการสอนที่มุ่งใจให้ นักเรียนเกิดการคิดเชิงคำนวณ จากการสังเกตการสอนในชั้นเรียน และสัมภาษณ์ครูผู้สอนวิชาวิทยาการคำนวณ พบ ว่า การจัดการเรียนรู้ในชั่วโมงสอนส่วนมากเป็นการสอนแบบบรรยายเนื้อหาการเขียนโปรแกรมเพียงอย่างเดียวผู้เรียน ขาดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาในบทเรียนในแต่ละบท นักเรียนสามารถตอบโจทย์ได้เบื้องต้นในระดับ การท่องจำ เพื่อให้ให้นักเรียนจะได้มีความรู้ความสามารถในการจัดการปัญหาได้ในอนาคต การจัดการเรียนรู้ในรูปแบบ โครงงานเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยส่งเสริมการแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติโดยมีครูเป็นผู้อำนวยการความสะดวกและให้คำปรึกษา การเรียน รู้แบบโครงงานส่งผลต่อการคิดวิเคราะห์ [4] ภายใต้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ โดยที่ความรู้ใหม่นั้น เป็นความรู้ที่ ทั้งผู้เรียนและผู้สอนไม่มีประสบการณ์มาก่อน [5] กล่าวว่าการเรียนสามารถพัฒนาโครงงานได้ในเวลาว่าง นักเรียนเป็นผู้ ค้นหาคำถามและลงมือปฏิบัติ ด้วยตนเอง ภายใต้การแนะนำของครูผู้สอน เพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงงานภายใต้ การดูแลกำกับโดยครูเป็นผู้ออกแบบกระบวนการเรียนการสอนโดยกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการลงมือปฏิบัติ ทำให้ผู้เรียน เกิดการเรียนรู้แบบยั่งยืน และสามารถนำความรู้ความสามารถที่ได้จากการปฏิบัติมาใช้แก้ปัญหาได้ในอนาคต [6] ซึ่ง ในบริบทของเทคโนโลยีในปัจจุบัน การใช้หุ่นยนต์มาเป็นสื่อการสอนเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเสริมสร้างทักษะในด้าน ต่างๆ หุ่นยนต์ยังเป็นเครื่องมือที่ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้ ได้สร้าง ได้ฝึกการสังเกตข้อผิดพลาดในการทำงาน ได้ทดลอง ที่ทำให้การเรียนรู้ไม่น่าเบื่อ เกิดพัฒนาการในการเรียนรู้ไปในเชิงบวกมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาอย่างลึกซึ้งผ่านการ ปฏิบัติ [7] และหุ่นยนต์ยังส่งเสริม การสร้างระเบียบวินัยในการทำงานร่วมกันเป็นทีมที่ต้องมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน สร้างพัฒนาการที่ดีในด้านความคิดสร้างสรรค์ [8] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้ส่งเสริมการใช้หุ่นยนต์เป็นสื่อในการจัดการเรียนรู้ตามแนวของสะเต็มศึกษา ความเปลี่ยนแปลงดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความ สนใจการพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน ผ่านการเรียนรู้ในรูปแบบโครงงาน มุ่งเน้นให้ผู้เรียนจัดการปัญหา ที่มีความยากและสลับซับซ้อนจากสถานการณ์จริง สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นระบบส่งเสริมให้

เกิดความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบโครงงานหุ่นยนต์ มีความรู้พื้นฐานเพื่อต่อยอดสู่การเป็นผู้สร้างนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการในการเปลี่ยนแปลงของสังคมยุคดิจิทัลในอนาคตโดยมุ่งเน้นนำเสนอเฉพาะกระบวนการเริ่มต้นของการวิจัยและพัฒนาจนได้รูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ที่จะนำไปสู่การนำรูปแบบไปใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

2. เพื่อรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

วิธีการดำเนินการวิจัย

จากปัญหาการจัดการเรียนการสอนที่จะทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ในด้านการคิดเชิงคำนวณ จากปัญหาที่เกิดขึ้นคือ การจัดการเรียนรู้ในชั่วโมงสอนส่วนมากเป็นการสอนแบบบรรยายเนื้อหาการเขียนโปรแกรมเพียงอย่างเดียว ผู้เรียนขาดการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อหาในบทเรียนในแต่ละบท นักเรียนสามารถตอบโจทย์ได้เบื้องต้นในระดับการท่องจำ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบ วิธีการ ในการนำนักเรียน ให้เกิดการเรียนรู้แบบโครงงานที่ เป็นกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ ที่ส่งเสริมให้เกิดทักษะการคิดเชิงคำนวณได้อย่างเป็นรูปธรรม [9,10]

ผู้วิจัยได้ใช้การวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยดำเนินการวิจัยเริ่มต้นจาก ยกร่างและรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้ด้วยโครงงานหุ่นยนต์โดยเริ่มจากแหล่งข้อมูลได้แก่ ข้อมูลด้านบุคคล ประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญ 5 คน 1) สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก 2) มีประสบการณ์การทำงานด้านการสอนไม่น้อยกว่า 8 ปี ในสาขา วิทยาการคอมพิวเตอร์ 1 คน วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ 1 คน ฟิสิกส์ 2 คน วิทยาศาสตร์ 1 คน และทุกคนมีประสบการณ์การสอนแบบSTEM และ หุ่นยนต์ เครื่องมือการวิจัยได้แก่ ร่างรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณที่พัฒนาขึ้น และ แบบตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบ

การยกร่างรูปแบบดำเนินการโดยใช้แนวทางการพัฒนารูปแบบตามแนวคิดของ จอยส์ และ เวลล์ [11] โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนย่อยได้แก่

1. ที่มาของรูปแบบการจัดการเรียนรู้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังต่อไปนี้ 1) ความเป็นมาและความสำคัญของรูปแบบกิจกรรมการเรียนรู้ 2) แนวทางการจัดการเรียนรู้ 3) แนวคิดและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการจัดการเรียนรู้ จากนั้น พัฒนางค์ประกอบของรูปแบบหลักการแนวคิดของรูปแบบประกอบด้วย 5 ส่วนย่อย ดังนี้ 1) ระบุเป้าหมายของการสอน (identify the instructional goals), 2) วิเคราะห์งาน (conduct a task analysis), 3) เลือกวิธีการสอนและสื่อที่เหมาะสม (select appropriate teaching methods and media), 4) พัฒนาสื่อการสอน (develop instructional materials), 5) นำการสอนไปใช้ (implement the instruction), 6) ประเมินผลการสอน (evaluation)

จัดทำเอกสารคู่มือการใช้รูปแบบ

2. สร้างแบบวัด ด้านทักษะการคิดเชิงคำนวณก่อนและหลังเรียนสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยดัดแปลงแนวคิดมาจาก Gonzalez [12] แบบปรนัย 4 ตัวเลือกนำไปหาค่าความตรงเนื้อหาโดยใช้ค่า IOC (Index of item Objective Congruence) โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน โดยการสร้างแบบวัดทักษะการคิดเชิงคำนวณ มีที่มาจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากตารางสังเคราะห์งานวิจัยดังต่อไปนี้

ประเด็นหัวข้อด้านการวัดทักษะการคิดเชิงคำนวณที่ได้จากตารางสังเคราะห์ ได้แก่

1. การเขียนขั้นตอนวิธี (Algorithm)
2. การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction)
3. การเขียนโปรแกรมเงื่อนไขวนซ้ำ (Iteration)
4. ข้อมูลที่ใช้ (Data, In-Output)
5. การคิดเชิงระบบ (System)
6. การจัดการปัญหา (Problem Solving)
7. การตรวจสอบข้อผิดพลาด (Error Detection)
8. การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design)

จากประเด็นการวัดผลที่ได้จากการสังเคราะห์ นำมา ประกอบเข้ากับ โครงสร้างหลักของ Jeannate M. Wing [20] และ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน [21] รายวิชาวิทยาการคำนวณได้ดังนี้

1. ด้านการแตกปัญหา (Decomposition)

การจัดการปัญหา (Problem Solving)

2. ด้านการหารูปแบบของปัญหา (Pattern Recognition)

ข้อมูลที่ใช้ (Data, In-Output)

3. ด้านการคิดเชิงนามธรรม (Abstraction)

การเขียนโปรแกรมเงื่อนไขวนซ้ำ (Iteration)

การคิดเชิงระบบ (System)

การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering Design)

4. ด้านการเขียนขั้นตอนวิธี (Algorithm Design)

การตรวจสอบข้อผิดพลาด (Error Detection)

3. สร้างแบบประเมินโครงงานหุ่นยนต์ เป็นแบบประเมินตามสภาพจริงโดยใช้ rubric เพื่อตรวจชิ้นงาน จากกิจกรรมการพัฒนาโครงงานหุ่นยนต์ โดย ประเมินด้านการเขียนขั้นตอนวิธี (Algorithm design), การคิดเชิงนามธรรม (Abstraction), การเขียนคำสั่งวนซ้ำ (Iteration), การจัดการข้อมูล(Data), การคิดเชิงระบบ (System), การจัดการปัญหา(Problem Solving), การตรวจสอบข้อผิดพลาด (Error detection), การออกแบบทางวิศวกรรม (Engineering design) หาค่าความตรงเนื้อหาโดยใช้ค่า IOC โดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คน

4. สร้างแบบตรวจสอบคุณภาพของรูปแบบ โดยการกำหนดลักษณะของแบบประเมินเป็นมาตราส่วนการประมาณค่า ระดับของลิเคิร์ต (Likert Scale) โดยมีระดับการประเมินให้คะแนนตามความเหมาะสมดังต่อไปนี้

5 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด

4 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับมาก

3 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับปานกลาง

2 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับน้อย

1 หมายถึง มีความเหมาะสมในระดับน้อยที่สุด

เกณฑ์การพิจารณาค่าเฉลี่ยดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับสมมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับสมมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง มีความเหมาะสมระดับน้อยที่สุด

จากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการนำรูปแบบการจัดการเรียนรู้และเอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ในการประเมินเพื่อรูปแบบการจัดการเรียนรู้ และได้คำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงรูปแบบการจัดการเรียนรู้ก่อนนำไปทดลองต่อไป

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ฯ มีดังนี้

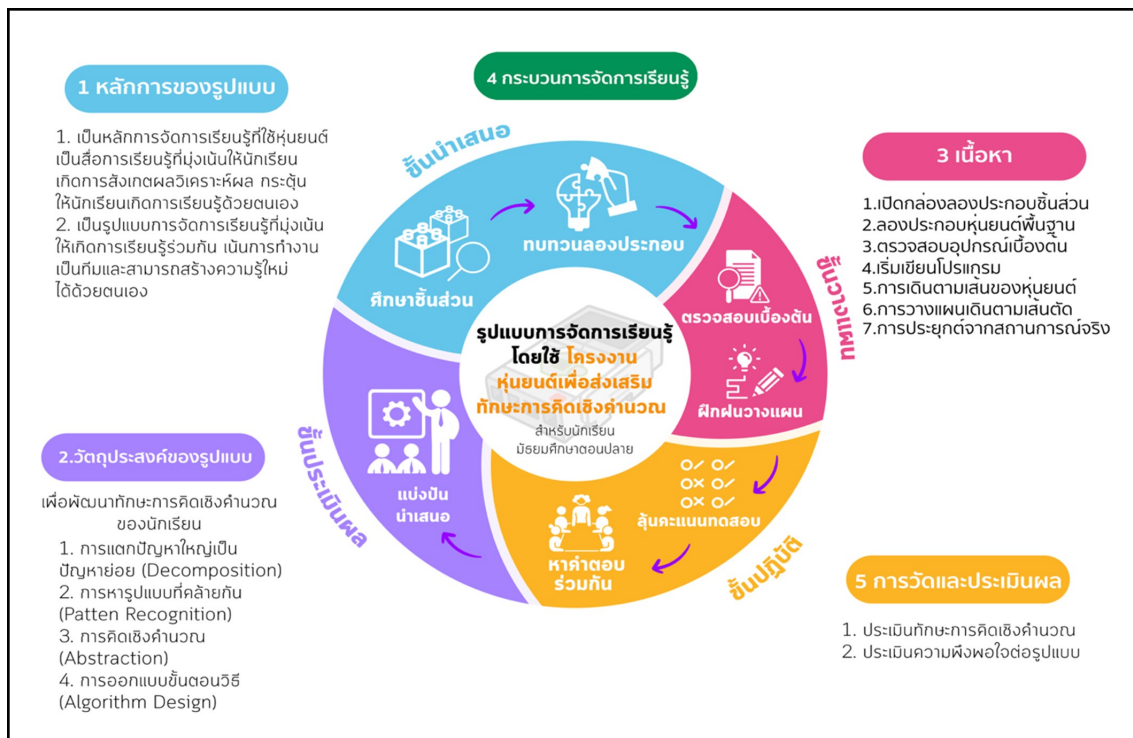
1.ผลการพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ผลพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย 5 ส่วน ได้แก่ 1) หลักการของรูปแบบ คือหลักการจัดการเรียนรู้ที่ใช้หุ่นยนต์ มี 4 ขั้นตอน มุ่งเน้นให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีม โดยส่งเสริมทักษะการคิดเชิง

ตารางที่ 1: สังเคราะห์งานวิจัย ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนการวัดการคิดเชิงคำนวณ

ประเด็นหัวข้อด้านการวัด ทักษะการคิดเชิงคำนวณ	Anna Felicia [13]	Macos Roman Gonzalez [14]	Vaso Constantinou [15]	Marina U. Bers [8]	Suchi Grover [16]	Anna Felicia [13]	Guanhua Chen [7]	Sama I. Swaid [17]	James Lockwood [18]	Ung L. Ling [19]	สรุป
Algorithm	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Data	✓			✓			✓	✓			✓
Iteration (Loop, Recursion)	✓	✓	✓	✓	✓					✓	✓
Object	✓										
Process	✓			✓							
System	✓	✓	✓		✓				✓		✓
Abstraction		✓	✓					✓			
Structure Problem Solving		✓	✓				✓			✓	✓
Error Decion		✓	✓				✓			✓	✓
Sequencing				✓	✓						
Engineering Design				✓				✓			✓
Condition					✓		✓				
Pattern Recognition								✓		✓	
Logical										✓	
Evaluation								✓			
Visualization								✓			

คำนวณ 2) วัตถุประสงค์ของรูปแบบเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน 3) เนื้อหาที่ใช้ในการเรียนรู้ตามรูปแบบประกอบไปด้วย 7 เรื่องดังนี้ 1 เปิดกล่องลองประกอบชิ้นส่วน 2 ประกอบหุ่นยนต์พื้นฐานแบบสองล้อ 3 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ 4 เริ่มเขียนโปรแกรม 5 หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้อย่างไร 6 การวางแผนการเดินทาง



ภาพที่ 1: แผนภาพแสดงองค์ประกอบของรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริม ทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

ตามเส้นตัดของสนาม และ 7 การทดลองจากสถานการณ์จริง 4) กระบวนการจัดการเรียนรู้ เป็นไปตามขั้นตอนการเรียนรู้แบบโครงงาน 4 ขั้นตอนได้แก่ 1 ขั้นการนำเสนอโครงงานหุ่นยนต์ 2 ขั้นวางแผนการพัฒนาโครงงานหุ่นยนต์ 3 การปฏิบัติจากสถานการณ์จริง และ ขั้นตอนที่ 4 การประเมินผลและทบทวน 5) การวัดและประเมินผลของรูปแบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือวัดทักษะการคิดเชิงคำนวณและความพึงพอใจต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้นดังภาพ

เนื้อหาที่ใช้ในการเรียนรู้ตามรูปแบบประกอบไปด้วย 7 เรื่องดังนี้

1 เปิดกล่องลองประกอบชิ้นส่วน 2 ประกอบหุ่นยนต์พื้นฐานแบบสองล้อ 3 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ 4 เริ่มเขียนโปรแกรม 5 หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้อย่างไร 6 การวางแผนการเดินตามเส้นตัดของสนาม และ 7 การทดลองจากสถานการณ์จริง

การดำเนินกิจกรรมตามการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานไว้ดังนี้

1.1 ขั้นนำเสนอ ศึกษาชิ้นส่วน เป็นการเปิดกล่องลองประกอบชิ้นส่วนจำแนกประเภทชิ้นส่วนในลักษณะของหุ่นยนต์ตามหน้าที่การทำงานการวัดขนาดชิ้นส่วนความยาวชิ้นส่วนพื้นเพื่อและการประกอบเบื้องต้น ทบทวนลองประกอบ รู้จักการออกแบบการสร้างหุ่นยนต์แบบพื้นฐานที่สร้างได้ง่าย ทดสอบการควบคุมอุปกรณ์ อุปกรณ์รับเข้า (Input) และ อุปกรณ์รับคำสั่ง (Output) ทักษะการคิดเชิงคำนวณที่ได้จากขั้นนำเสนอ 1 การแตกปัญหา 2 การจัดรูปแบบที่ซ้ำกัน

1.2 ขั้นวางแผน ตรวจสอบเบื้องต้น ตรวจสอบอุปกรณ์รู้จักกับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานระหว่าง

เซ็นเซอร์แบบเบื้องต้น ผูกแผนวางแผน เริ่มต้นการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์การอ่านค่าจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์และมอเตอร์นำมาเป็นเงื่อนไขเพื่อกำหนดการเขียนโปรแกรม การวางแผนการเขียนโปรแกรมด้วยผังภาพอย่างง่าย และการแปลงทางภาพออกมาเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ ทักษะการคิดเชิงคำนวณที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ 1) การแตกปัญหา 2) การจัดรูปแบบที่ซ้ำกัน

1.3 ขั้นปฏิบัติ ล้นคะแนนทดสอบ เป็นการพัฒนาหุ่นยนต์เดินตามเส้นโดยตั้งคำถามขึ้นให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้อย่างไร โดยทำความเข้าใจหลักการเขียนโปรแกรมควบคุมให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นสีดำ หากคำตอบร่วมกัน การนับเส้นตัดของหุ่นยนต์โดยใช้หลักการหุ่นยนต์เดินตามเส้นโดยมีเงื่อนไขการเดินตามเส้นโดยใช้เส้นตัดหรือจุดตัดแต่ละจุดในสนามเพื่อกำหนดเงื่อนไขการทำงานของหุ่นยนต์ให้เดินไปยังทิศทางที่ถูกต้อง โดยทักษะการคิดเชิงคำนวณที่ได้จากขั้นปฏิบัติ 1) การแตกปัญหา, 2) การจัดรูปแบบที่ซ้ำกัน, 3) การคิดเชิงนามธรรม, 4) การเขียนขั้นตอนวิธี

1.4 ขั้นประเมินผล แบ่งปันนำเสนอ เป็นการกำหนดโจทย์สถานการณ์ที่มีความท้าทายและความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นให้ผู้เรียนวิเคราะห์ประเมินผลตามสถานการณ์จริง มีการจดบันทึกข้อผิดพลาดเพื่อ แก้ไขและหาวิธีแก้ไข โดยผู้สอนช่วยสังเกตและให้คำแนะนำผู้เรียนในระหว่างการทำกิจกรรม มีการจัดการแข่งขันย่อยเพื่อให้เกิดความท้าทายและกระตุ้นให้ผู้เรียนค้นหาความรู้หาวิธีแก้ปัญหาด้วยความกระตือรือร้น โดยใช้ความรู้ที่ได้ทั้ง 6 บทเรียนมาประยุกต์ใช้ในการแข่งขันย่อยครั้งนี้ พร้อมให้แต่ละกลุ่มนำเสนอข้อผิดพลาดและวิธีแก้ไขหุ่นยนต์ระหว่างการทำกิจกรรมทดสอบโครงงานหุ่นยนต์ตามภารกิจที่กำหนดไว้ ทักษะการคิดเชิงคำนวณที่ได้จากขั้นประเมินผล 4 ด้านคือ 1) การแตกปัญหา, 2) การจัดรูปแบบที่ซ้ำกัน 3) การคิดเชิงนามธรรม 4) การเขียนขั้นตอนวิธี ดังรูปแบบการจัดการเรียนรู้ในภาพ 1

2.ผลการประเมินเพื่อรับรองรูปแบบจากผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 2: สังเคราะห์งานวิจัย ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนการวัดการคิดเชิงคำนวณ

ความเหมาะสม	$\bar{X}$	SD	ระดับความเหมาะสม
1. ด้านหลักการ	4.46	0.49	มาก
2. ด้านวัตถุประสงค์	4.70	0.49	มากที่สุด
3. ด้านเนื้อหา	4.73	0.32	มากที่สุด
4. ด้านการดำเนินกิจกรรมการจัดการเรียนรู้	4.68	0.37	มากที่สุด
5. ด้านการวัดและประเมินผลรูปแบบ	4.66	0.36	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่าการประเมินเพื่อรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ฯ จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.64$; S.D.=0.40)

สรุปผลการวิจัย

1. ผลพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ประกอบไปด้วย 5 ส่วนได้แก่ 1) หลักการของรูปแบบ คือหลักการจัดการเรียนรู้ที่ใช้หุ่นยนต์มี 4 ขั้นตอนมุ่งเน้นให้ผู้เรียนทำงานเป็นทีมโดยส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ 2) วัตถุประสงค์ของรูปแบบเพื่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณของนักเรียน 3) เนื้อหาที่ใช้ในการเรียนรู้ตามรูปแบบประกอบไปด้วย 7 เรื่องดังนี้ 1) เปิดกล่องลองประกอบชิ้นส่วน 2) ประกอบหุ่นยนต์พื้นฐานแบบสองล้อ 3) ตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์ 4) เริ่มเขียนโปรแกรม 5) หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้อย่างไร 6) การวางแผนการเดินตามเส้นตัดของสนามและ 7) การทดลองจากสถานการณ์จริง 4) กระบวนการจัดการเรียนรู้เป็นไปตามขั้นตอนการเรียนรู้แบบโครงงาน 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ขั้นการนำเสนอโครงงานหุ่นยนต์ ขั้นตอนที่ 2 ขั้นวางแผนการพัฒนาโครงงานหุ่นยนต์ ขั้นตอนที่ 3 การปฏิบัติจากสถานการณ์จริงและขั้นตอนที่ 4 ประเมินผลและทบทวน สอดคล้องกับ สุพรรณ น้อยนคร [22] ที่นำแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐาน 4 ขั้น ขั้นนำเสนอ ขั้นสอน ขั้นปฏิบัติ และขั้นประเมินผล ส่งเสริมการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ ด้านการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงานเป็นฐานบูรณาการกับเพสบู๊ก 5) การวัดและประเมินผลของรูปแบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือวัดทักษะการคิดเชิงคำนวณและความพึงพอใจต่อกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น

หลักการของรูปแบบ เป็นกรอบความคิดสำคัญในการยกร่างรูปแบบประกอบไปด้วยกรอบความคิดการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน, การจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ วิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณซึ่งหลักการสำคัญเหล่านี้จะนำไปสู่การกำหนด วัตถุประสงค์ของรูปแบบการจัดการเรียนรู้เป็นองค์ประกอบที่วางแนวทางของรูปแบบให้มีทิศทางที่ชัดเจนที่จะพัฒนาผู้เรียนไปสู่เป้าหมายซึ่งในการพัฒนารูปแบบครั้งนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของรูปแบบไว้คือเพื่อออกแบบกิจกรรมจัดการเรียนรู้ด้วยโครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ

เนื้อหาเป็นหัวใจสำคัญของการจัดการเรียนรู้เน้นกรอบแนวทางในการจัดการเรียนรู้ที่สอดคล้องกับระดับของผู้เรียน เนื้อหาจะเป็นตัวกำหนดประสบการณ์การเรียนรู้ที่จัดให้ผู้เรียนอย่างเหมาะสมทั้งในและนอกห้องเรียน กำหนดวิธีการจัดมวลงประสบการณ์วิธีเรียนการถ่ายทอดเนื้อหากิจกรรมสื่อและยังเป็นตัวกำหนดเครื่องมือในการวัดและประเมินผลการเรียนโดยรูปแบบ เนื้อหา 7 เรื่อง ได้แก่ 1) เปิดกล่องลองประกอบชิ้นส่วน ให้ผู้เรียนได้เรียนรู้เข้าใจถึงองค์ประกอบหุ่นยนต์ 2) ประกอบหุ่นยนต์พื้นฐานแบบสองล้อเป็นการประกอบหุ่นยนต์ตามคู่มือเพื่อปูพื้นฐานการเข้าใจองค์ประกอบของหุ่นยนต์พื้นฐาน 3) ตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบการทำงานการอ่านค่าจากอุปกรณ์ input และ output การหมุนของล้อรอบล้อเซ็นเซอร์แสงความสว่างของแสงการวัดสี เซนเซอร์ จับระยะทางเซนเซอร์จับทิศทาง 4) เริ่มเขียนโปรแกรมได้แก่การติดตั้งโปรแกรมเพื่อเป็นชุดคำสั่งบนแพลตฟอร์มต่างๆเช่น Windows, Mac, iPad, Android 5) หุ่นยนต์เดินตามเส้นได้อย่างไรเป็นการเขียนโปรแกรมที่ยากขึ้นในอีกระดับใช้เงื่อนไขการตัดสินใจเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาด้วยเซ็นเซอร์แสง 1 ตัวและเซ็นเซอร์แสง 2 ตัว กำหนดให้หุ่นยนต์เดินตามเส้นตามทิศทางที่ต้องการ 6) การเดินตามเส้นตัดของหุ่นยนต์เป็นการกำหนดเส้นตัดเพื่อให้หยุดเดินของหุ่นยนต์เดินตามเส้นและเป็นการนำจุดตัดเป็นตัวกำหนดการเลี้ยวและตำแหน่งของสนามทำให้นักเรียนได้วางแผน กำหนดทิศทางของหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการในสนามเพื่อทำภารกิจต่อไป 7) การเรียนรู้จากสถานการณ์จริงเป็น การแข่งขันย่อย

ที่ส่งเสริมให้นักเรียนทำงานเป็นทีมเป็นภารกิจที่ใช้ความสามารถทางด้านทักษะการคิดเชิงคำนวณในทุกกระบวนการ สอดคล้องกับ อพัชชา ช่างขวัญยืน [23] การจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนด้านกิจกรรมที่หลากหลาย กระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดกระบวนการคิดขั้นสูง ช่วยให้ผู้เรียนมีทักษะการคิดวิเคราะห์ และ คิดแก้ปัญหาซึ่งเป็นกระบวนการพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณ กระบวนการจัดการเรียนรู้เป็นองค์ประกอบการจัดการเรียนรู้เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของรูปแบบโดยมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นที่ 1 ขั้นนำเสนอ ประกอบไปด้วยการศึกษาชิ้นส่วนฟันเฟืองชิ้นส่วนล้อ โครงสร้างหุ่นยนต์ในขั้นนี้นักเรียนจะศึกษาชิ้นส่วนต่าง ๆ เช่น จุดยึดการจัดการชิ้นส่วนการจำแนกประเภทชิ้นส่วนหุ่นยนต์ การตรวจสอบจำนวนและขนาดของชิ้นส่วนการตรวจสอบการทำงานของเซ็นเซอร์ต่าง ๆ และมีคู่มือในการจัดการชิ้นส่วนการวัดขนาดชิ้นส่วนการจำแนกหมวดหมู่การเก็บชิ้นส่วนเพื่อฝึกให้นักเรียนมีการคิดการจัดการเป็นระบบเกี่ยวกับ การวัดความยาวของแกนเสียบ ความยาวของแท่งโครงสร้างแบบเจาะรูที่มีขนาดต่างๆ เทคนิคการจัดชิ้นส่วนอย่างไร ไม่ให้ความเสียหาย หลังจากนั้นนักเรียนรู้จักประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของหุ่นยนต์นักเรียนจะได้ดำเนินการในขั้นที่ 2 การประกอบ หุ่นยนต์พื้นฐานแบบสองล้อนักเรียนต้องเรียนรู้ทดลองประกอบหุ่นยนต์ตามคู่มือการ ประกอบ การประกอบโครงสร้าง ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ลักษณะการประกอบโครงสร้างที่แข็งแรงไม่บิดเบี้ยว การ ใช้จุด เชื่อมจุดยึดแบบ 1 ข้อต่อ 2 ข้อต่อ เพื่อให้ได้หุ่นยนต์พื้นฐานแบบ 2 ล้อในการดำเนินการทำภารกิจแบบเบื้องต้น จากนั้นมีการทดสอบการเดินของหุ่นยนต์แบบเบื้องต้นโดยการเขียนโปรแกรมจากกล่องควบคุมโดยตรงโดยไม่ผ่านอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์หรือ ไอแพด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการประกอบ และ องค์ประกอบโดยรวมของหุ่นยนต์พื้นฐานที่สามารถทำภารกิจได้ ขั้นที่ 3 ตรวจสอบการทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์เป็นการเรียนรู้เพื่อเข้าใจการทำงานเบื้องต้นของ กล่องควบคุมการเชื่อมประสานกับเซ็นเซอร์ส่วน input เช่น เซ็นเซอร์แสง อินฟราเรด เซ็นเซอร์ อัลตราโซนิก เซนเซอร์วัด ความสว่างของแสง เซ็นเซอร์ทิศทาง เพื่อส่งค่าที่รับไปประมวลผลในกล่องควบคุมส่งไปยัง เอาท์พุต เช่น มอเตอร์ขนาดเล็กและมอเตอร์ขนาดใหญ่ จากนั้นนักเรียนจะได้เรียนรู้ใน ขั้นที่ 4 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมด้วยชุดคำสั่งแบบ บล็อก คำสั่งฟังก์ชัน คำสั่งวนซ้ำ คำสั่งอ่านค่า เซ็นเซอร์ การคำนวณค่า เปรียบเทียบ ประมวลผลเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์ ทำงานตามกำหนด หลังผู้เรียนจะได้ฝึกการเขียนโปรแกรมระดับที่ยากขึ้นไป ขั้นที่ 5 การเขียนโปรแกรมให้หุ่นยนต์เดิน ตามเส้นดำด้วยการใช้เซ็นเซอร์แสงทั้ง แบบใช้ตัวเดียว และแบบใช้ 2 ตัว โดยนักเรียนต้องวิเคราะห์เงื่อนไขจากโจทย์ที่ ครูออกแบบ ขั้นที่ 6 การเดินตามเส้นตัดของหุ่นยนต์โดยผู้เรียนจะได้นำโจทย์ปัญหามาวิเคราะห์วางแผนการเดินของหุ่นยนต์ตามเส้นตัดจากสนามการแข่งขันจำลองเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกวางแผนในการนับเส้นตัดของหุ่นยนต์โดยให้นักเรียน ศึกษาจากสนาม จากนั้นให้วางแผนทางการเดินโดยใช้การออกแบบผังงานซึ่งเป็นกระบวนการคิดเชิงนามธรรมที่เป็นขั้นตอนเพื่อนำ ไปเขียนเป็นชุดคำสั่งให้หุ่นยนต์ดำเนินการตามภารกิจที่วางแผนด้วยผังงานได้อย่างถูกต้อง ผู้เรียนได้รับการ ฝึกการแก้ปัญหาไปสู่การคิดเชิงนามธรรมและสร้างเป็นขั้นตอนวิธีได้อย่างคล่องแคล่ว นักเรียนจะได้รับโจทย์ปัญหาเพื่อ การแข่งขันตามภารกิจโดยมีการกำหนดกติกาและเงื่อนไขนักเรียนจะต้องนำกระบวนการคิดเชิงคำนวณทั้ง 4 ขั้นตอนมา เป็นเทคนิคเพื่อนำ ไปพิชิตปัญหาในการแข่งขันรายการย่อยซึ่งเป็นโจทย์ที่รวมเทคนิค ต่าง ๆ เพื่อให้นักเรียนเกิดการนำ ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้อย่างรอบด้านจากสนามแข่งขันหุ่นยนต์จำลองสู่สนามการแข่งขันจริง มุ่งเน้นให้ นักเรียนเกิด ทักษะการคิดเชิงคำนวณ จากการเรียนรู้ด้วยสถานการณ์จริง นักเรียนเกิดการสังเกตการวางแผนออกแบบด้วยผังงาน ที่นำไปสู่การเขียนโปรแกรมสั่งการหุ่นยนต์ จากการใช้หุ่นยนต์กับสนามทดลองและโจทย์กติกาแข่งขันย่อยในแต่ละบท เรียนช่วยให้นักเรียนมีความเข้าใจในแต่ละด้านด้วยการทดลองซ้ำ มีความเข้าใจความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ ทำให้เกิดการ บูรณาการทางความคิดของนักเรียน เป็นการบูรณาการในสาขาที่เกี่ยวกับ STEM อย่างครบถ้วน

2.การรับรองรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายที่ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 5 คน ภาพรวมของคุณภาพรูปแบบการจัดการเรียนรู้ อยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.64$; $S.D.=0.40$) ทั้งนี้เป็นเพราะรูปแบบการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์ได้วิเคราะห์องค์ประกอบของหลักการซึ่งเป็นหลักสำคัญในการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน ซึ่งประกอบไปด้วย แนวคิด การจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน การจัดการเรียนรู้โดยใช้หุ่นยนต์ และ วิธีการจัดการเรียนรู้เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ ทำให้ผู้เชี่ยวชาญมีผลการประเมิน ด้านหลักการในระดับมาก และ การกำหนดวัตถุประสงค์ ของรูปแบบที่กำหนดไว้ เพื่อออกแบบกิจกรรมการจัดการเรียนรู้โดยใช้โครงงานหุ่นยนต์เพื่อส่งเสริมทักษะการคิดเชิงคำนวณ นำไปสู่การวางกรอบเนื้อหา กิจกรรมการจัดการเรียนรู้ และการวัดผลประเมินผล ซึ่งทั้ง 4 ด้าน ผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด มีความเห็นสอดคล้องกันในระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ ทวีสิน อำนวยพันธ์วิไล [24] ที่พัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้บนระบบคลาวด์ด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือรวมพลังร่วมกับการคิดเชิงวิพากษ์ เพื่อส่งเสริมทักษะการรู้เท่าทันสื่อดิจิทัลของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ที่ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องในระดับมากที่สุดในด้านเนื้อหากระบวนการจัดการเรียนรู้ และ การวัดผลประเมินผล

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รุจโรจน์ แก้วอุไร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้มอบคำแนะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัย จนเสร็จสิ้น ตลอดเวลาการดำเนินการทำวิจัย กราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ภาสกร เรืองรอง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาแนะนำแนวทางการทำวิจัย และให้คำตอบและแนวทางแก้ปัญหา กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สกนธ์ชัย ชะนูนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้การแนะนำช่วยเหลือ และชี้แนะแนวทางการทำงานวิจัยข้อคิดเห็นประเด็นต่างๆ ในระหว่างการตรวจสอบแก้ไขและพัฒนาเครื่องมือวิจัยได้ถูกต้องสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gonzalez, M. (2015, July, 6-8). COMPUTATIONAL THINKING:DESIGN GUIDELINES AND CONTENT VALIDATION. In Proceedings of EDULEARN15. Spain: Barcelona.
- [2] Wing, J. M. (2006). Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), 33-35.
- [3] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2559). แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559). สืบค้น 20 สิงหาคม 2558 จาก http://www2.oae.go.th/EVA/download/Plan/SummaryPlan11_thai.pdf
- [4] รุจโรจน์ แก้วอุไร, สุพรรณ น้อยนคร. (2564). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้ผังก้ำงปลาร่วมกับเฟสบุ๊ค เพื่อพัฒนาความสามารถในการคิดวิเคราะห์ปัญหาโครงงานของนิสิต.

- [5] พิมพ์พันธ์ เดชะคุปต์, พเยาว์ ยินดีสุข, และราชน มีศรี. (2551). การสอนคิดด้วยโครงงาน: การเรียนการสอน แบบบูรณาการ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] ศศิโสภิต แพงศรี. (2561). การสอนแบบโครงงานเป็นฐาน: การประยุกต์สู่การปฏิบัติในการจัดการศึกษาพยาบาล. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี, 29(1), 215-222.
- [7] Chen, G. H. (2017). Assessing elementary students' computational thinking in everyday reasoning and robotics programming. *Journal of Educational Computing Research*, 55(7), 924-947
- [8] Bers, M. U. (2010). The TangibleK robotics program: Applied computational thinking for young children. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(3), 203-215.
- [9] สุปรีย์ บุรณะกนิษฐ. (2556). ผลการใช้เทคโนโลยีเสริมศักยภาพที่แตกต่างกันในการเรียนรู้แบบโครงงานเป็นฐานที่มีต่อความสามารถในการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหาในการโปรแกรมหุ่นยนต์ของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (วิทยานิพนธ์ดุขุฎิบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] ศศิธร ชูแก้ว. (2560). การพัฒนารูปแบบการสอนแบบบูรณาการโดยใช้หุ่นยนต์เป็นฐานในการพัฒนาทักษะการคิดเชิงประมวลผลของผู้เรียนภายใต้แนวทางการจัดการศึกษาแบบ STEM. (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [11] Joyce, B. R., & Weil, M. (1996). *Models of teaching* (6th ed.). Allyn and Bacon.
- [12] Gonzalez, M., & Perez-Munoz, A. (2018). Development of Computational Thinking Skills through Unplugged Activities in Primary School. *Education Sciences*, 8(1), 17.
- [13] Felicia, A. (2017). Computational Thinking and Tinkering: Exploration Study of Primary School Students' in Robotic and Graphical Programming. *International Journal of Assessment and Evaluation in Education*, 7, 44-54.
- [14] Constantinou, V. (2018). Develop computational thinking skills Through Education Robotics. Andri Ioannou; Published in EC-TEL 2018.
- [15] Grover, S. (2011, April 7-11). Robotics for Middle and High School Student to Develop Computational Thinking. In Annual Meeting of the American Education Research Association New Orleans. N.P.: n.p.
- [16] Swaid, S. (2015). Bringing Computational Thinking to STEM Education. *Procedia Manufacturing*
- [17] Lockwood, J. (2017). A pilot study investigating the introduction of a computer-science course at second level focused on computational thinking. *Irish Educational Studies*, 36(2), 183-201.
- [18] Ling, U. L., Saibin, T. C., Naharu, N., Labadin, J., & Aziz, N. A. (2018). An Evaluation Tool to Measure Computational Thinking Skills: Pilot Investigation. *Herald NAMSCA*, 1, 606-614.

- [19] Wing, J. M. (2012). Computational thinking. Keynote presented at the Microsoft Research Asia Faculty Summit 2012. Retrieved August 30, 2016, from https://www.microsoft.com/en-us/research/wpcontent/uploads/2012/08/Jeanette5_Wing.pdf
- [20] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ. (2545). แผนการศึกษาแห่งชาติ (พ.ศ. 2545-2559). กรุงเทพฯ: พริกหวานการพิมพ์.
- [21] สุพรรณษา น้อยนคร, รุจโรจน์ แก้วอุไร, นฤมล รอดเนียม. (2561). การส่งเสริมการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ด้วยการจัดการเรียนการสอนแบบโครงงานเป็นฐานบูรณาการกับเฟสบุ๊ค วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 1 มกราคม. – มีนาคม 2562.
- [22] อพัชชา ช่างขวัญยืน, รุจโรจน์ แก้วอุไร, วิจัย วงษ์ไทย และ เอื้อมพร หลินเจริญ. (2564). การจัดการเรียนรู้เชิงลึกเพื่อส่งเสริมความเป็นพลเมืองดิจิทัล. วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. ปีที่ 23 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2564.
- [23] ทวีสิน อำนวยพันธุ์วิไล, พิษณุภา ยวงสร้อย, รุจโรจน์ แก้วอุไร และ กิตติพงษ์ พุ่มพวง. (2565). การพัฒนารูปแบบการจัดการเรียนรู้บนระบบคลาวด์ด้วยการเรียนรู้แบบร่วมมือรวมพลังร่วมกับการคิดเชิงวิพากษ์เพื่อส่งเสริมการรู้เท่าทันสื่อดิจิทัลสำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาวารสารสัททอง:มนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์. กรกฎาคม-กันยายน 2565. 81-94.

การสร้างต้นแบบระบบการดูแลต้นอโลคาเซีย ดราก้อนสเกล ผ่านไลน์โนติฟาย

The prototype development for informing the Alocasia dragon scale treatment via Line Notify

นัจรีวรรณ อุปคำ, ฆัมภิชา ตันติสันติสม, จินดาพร อ่อนเกตุ*

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

Natjarewan Aupkham, Khumphicha Tantisantisom, Jindaporn Ongate*

Information Technology, Faculty of Science and Technology, KamphaengPhet Rajabhat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบระบบการดูแลต้นอโลคาเซีย ดราก้อนสเกล ผ่านไลน์โนติฟาย และทดสอบการทำงานของต้นแบบ โดยต้นแบบที่สร้างขึ้นจะเชื่อมต่อบอร์ด Node MCU กับอุปกรณ์เซนเซอร์วัดความชื้นในดินที่ปักลงในดิน 3-5 ซม. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศที่วางไว้ใกล้ต้นไม้ และเซนเซอร์วัดความสว่างความเข้มแสงตั้งไว้บริเวณข้างกระถางต้นไม้ จากนั้นเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานต่าง ๆ โดย 1) เขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความเข้มแสงโดยทำการเปิด-ปิดไฟ บริเวณที่วางกระถางต้นไม้ ซึ่งเซนเซอร์สามารถส่งค่าความเข้มแสงมายังไลน์โนติฟายได้ 2) เขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความชื้นในดินโดยการรดน้ำลงในกระถางที่มีเซนเซอร์ปักอยู่ในดิน ซึ่งเซนเซอร์สามารถส่งค่าความชื้นในดินมายังไลน์โนติฟายได้ 3) เขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความชื้นในอากาศ โดยฉีดสเปรย์น้ำไปยังบีกเกอร์และนำบีกเกอร์วางทับบนเซนเซอร์ ซึ่งเซนเซอร์สามารถส่งค่าความชื้นในอากาศมายังไลน์โนติฟายได้ จากนั้นทำการทดลองโดยเขียนโปรแกรมควบคุมการส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวของต้นแบบไปยังไลน์โนติฟายพร้อมกันทุก 1 นาที เซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวสามารถส่งค่าไปยังไลน์โนติฟายได้ และทำการทดลองโดยเขียนโปรแกรมควบคุม

* Corresponding author : jindaporn_o@kpru.ac.th

Received : 16/10/2023

Revised : 22/12/2023

Accepted : 27/12/2023

การส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัวของต้นแบบไปยังไลน์โนติฟายเวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. เพื่อรายงานผลประจำวัน ซึ่งเซนเซอร์สามารถส่งข้อมูลตามเวลาที่กำหนดได้ ดังนั้นต้นแบบที่สร้างขึ้นทำงานได้ถูกต้องตามโปรแกรมที่เขียนขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการดูแลต้นอโศคาเซีย ดราก้อนสเกลได้ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ดูแลต้นไม้ที่ได้รับการแจ้งเตือนจากไลน์โนติฟายจะสามารถดูแลต้นอโศคาเซีย ดราก้อนสเกลให้เติบโตอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ไอโอที, สมาร์ทฟาร์ม, แจ้งเตือน, ไลน์โนติฟาย, อโศคาเซีย ดราก้อนสเกล

Abstract

The objective of this research is to develop a prototype system for monitoring Alocasia dragon scale plants via the NodeMCU platform and to evaluate the functionality of the prototype. The constructed prototype integrates a NodeMCU board with sensors measuring soil moisture at depths of 3-5 cm, temperature and humidity proximal to the plant, and light intensity adjacent to the plant pot. Subsequent programming encompasses:

- 1) designing a control program for the light intensity sensor, which modulates the illumination based on the sensor readings, with the sensor transmitting the light intensity values to NodeMCU.
- 2) Implementing a control program for the soil moisture sensor, regulating water delivery to the plant pot containing the embedded sensor, with the sensor relaying soil moisture data to NodeMCU.
- 3) Developing a program to control the air humidity sensor, where water mist was sprayed onto a beaker placed atop the sensor, allowing the sensor to transmit humidity data to NodeMCU, then Line Notify.

Experimental procedures involved synchronously transmitting data from all three sensors to NodeMCU every minute. Furthermore, specific data transmission trials were conducted at 8:00 am, 12:00 pm, and 4:00 pm to report daily data. Consequently, the prototype operated in accordance with the programmed instructions, showcasing its potential utility in monitoring Alocasia dragon scale plants. This innovation facilitates efficient plant care by enabling caretakers to receive timely notifications via NodeMCU, thereby optimizing the growth of Alocasia dragon scale plants.

Keywords : IoT, Smart Farm, Transmit data, Line Notify, Alocasia Dragon Scale

ที่มาและความสำคัญ

อโศกเอเชีย ตราก้อนสเกล เป็นพืชตระกูลอาร์ม โดยความสูงของต้นอยู่ระหว่าง 12 – 40 เซนติเมตร มีใบหนา ผิวหน้าใบมีความเงางาม ลวดลายและเส้นใบมีเอกลักษณ์ จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ราคาขายประมาณ 100 – 6,000 บาท ขึ้นอยู่กับขนาด สีและลักษณะความเข้มของลาย ต้นอโศกเอเชีย ตราก้อนสเกล เป็นพืชที่เลี้ยงดูง่าย โตเร็วเหมาะแก่การเลี้ยงไว้ในบ้าน ชอบแสงสว่างค่อนข้างมากแต่ไม่ชอบแดดจัด ค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1,000-2,000 ลักซ์ (JON VANZILE, 2020) ชอบความชื้นแต่ไม่ชอบแฉะ ค่าความชื้นในดินที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 300-800 ค่าความชื้นในอากาศที่เหมาะสม คือ 60-80% (PETE ONGSUWAN, 2564) หากผู้ดูแลต้นไม้ลืมรดน้ำหรือรดน้ำมากเกินไปอาจส่งผลให้ต้นไม้ตายหรือเกิดโรคเกี่ยวกับรากได้ ดังนั้นการนำเทคโนโลยีทางด้านเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน ในอากาศและความเข้มแสงมาช่วยในการดูแลต้นไม้ จะช่วยอำนวยความสะดวกแก่ผู้ดูแลต้นไม้มากขึ้น ในปัจจุบันแนวโน้มของความต้องการเทคโนโลยีการจัดการการเกษตรรูปแบบใหม่ หรือเกษตรแบบอัจฉริยะ (Smart Farm) มีความต้องการเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปัจจัยข้อจำกัดทางด้านการเกษตร ทั้งในเรื่องคน พื้นที่ และความต้องการของตลาด ดังนั้น การนำเทคโนโลยีสารสนเทศและคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องมือสำคัญในการได้มาซึ่งข้อมูลต่าง ๆ จะสามารถนำไปสู่การจัดการการผลิตทางการเกษตรทั้งระบบได้ นอกจากนี้การเจริญเติบโตของธุรกิจการสื่อสารผ่านทางโทรศัพท์มือถือของภาคเอกชนที่ให้บริการด้วยเทคโนโลยี 3G, 4G หรือ Cloud ทำให้การสื่อสารข้อมูลสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายถูกลง ดังนั้นความสามารถที่จะสร้างเครือข่ายของระบบข้อมูลภาคสนาม เช่น ข้อมูลสภาพอากาศ ข้อมูลความชื้นในดิน ข้อมูลจากเครื่องจักรกลการเกษตร หรือการส่งข้อมูลอื่น ๆ โดยการเกษตรต่างพื้นที่ ก็สามารถทำได้โดยสะดวก ผ่านอุปกรณ์พกพาชนิดต่าง ๆ โดยเก็บข้อมูลบน Cloud ไม่ว่าจะเป็นพัฒนาโปรแกรมการใช้งานบนอุปกรณ์ เช่น ระบบเตือนภัย ระบบควบคุมระยะไกลสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ หรือระบบทำนายผลผลิตจากการคำนวณข้อมูลที่ได้จากพื้นที่ เป็นต้น ซึ่งแนวทางการพัฒนานี้จะนำไปสู่แพลตฟอร์มของการใช้ IoT กับเกษตรที่สำคัญในอนาคต

ดังนั้นการนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างต้นแบบระบบการดูแลต้นอโศกเอเชีย ตราก้อนสเกล ผ่านไลน์โนติฟาย จะช่วยให้ต้นแบบสามารถส่งข้อมูลความชื้นในดิน ในอากาศ และความเข้มแสงจากเซนเซอร์ แจ้งเตือนผ่านไลน์โนติฟายไปยังผู้ดูแลต้นไม้มากขึ้น ทำให้ผู้ดูแลต้นไม้มากขึ้นสามารถดูแลให้ต้นไม้มากขึ้นเติบโตได้อย่างเต็มที่และสวยงาม

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลต้นอโศกเอเชีย ตราก้อนสเกล เกี่ยวกับความเข้มแสง ความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ
2. เตรียมต้นอโศกเอเชีย ตราก้อนสเกล ปลูกไว้ในกระถาง
3. เชื่อมต่ออุปกรณ์
 - เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน เข้ากับบอร์ด Node MCU

- เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เข้ากับบอร์ด Node MCU
- เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดความสว่างความเข้มแสง เข้ากับบอร์ด Node MCU

4. เขียนโปรแกรมรับข้อมูลจากการประมวลผลของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ และความเข้มแสง และส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบเครือข่ายผ่านเครือข่ายโทรศัพท์และ Wi-Fi ไปยังไลน์โนติฟาย

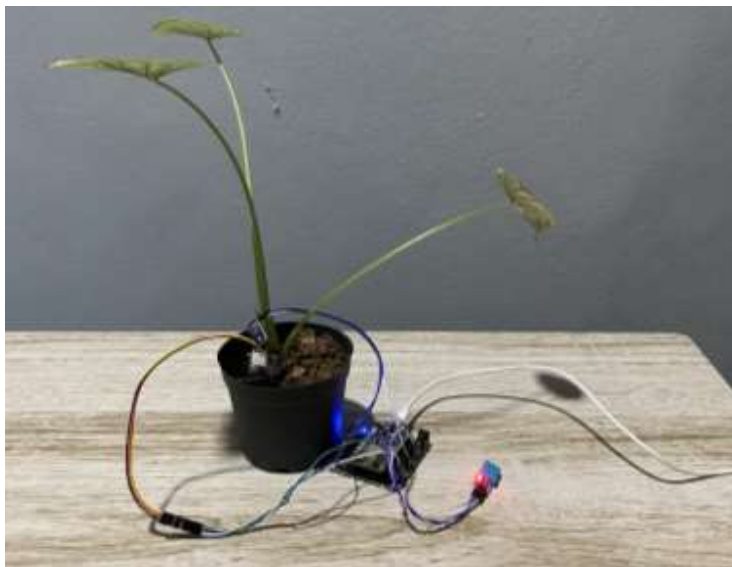
5. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มของแสง โดยการวัดค่าในสภาพแสงปกติ จากนั้นเปิดไฟให้สว่างมากขึ้นแล้วให้ต้นแบบส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟาย และปิดไฟเพื่อลดความสว่างของแสงแล้วให้ต้นแบบส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟาย ทดลองซ้ำ 10 ครั้ง

6. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน โดยการเตรียมดินใส่ในกระถางขนาด 250 กรัม จำนวน 10 กระถาง จากนั้นรดน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงดินในกระถาง แล้วให้ต้นแบบส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟาย จากนั้นเปลี่ยนกระถาง แล้วทดลองซ้ำ รวม 10 ครั้ง

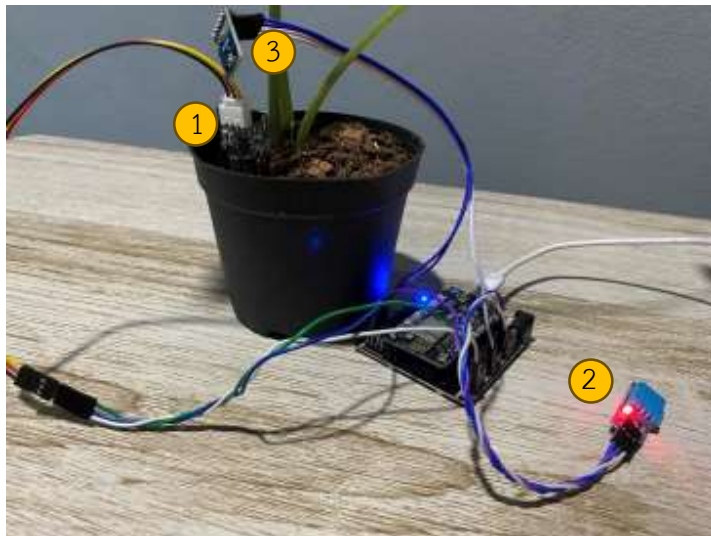
7. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในอากาศ โดยการสเปรย์น้ำเปล่าจากเครื่องฉีดพ่นละอองแบบมือ จำนวน 3 ครั้ง ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วคว่ำบีกเกอร์วางทับเซนเซอร์ แล้วให้ต้นแบบส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟาย จากนั้นเปลี่ยนบีกเกอร์ แล้วทดลองซ้ำ รวม 10 ครั้ง

8. ทดสอบการทำงานของต้นแบบโดยนำอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบอร์ดไปวางตำแหน่งต่าง ๆ โดยเซนเซอร์วัดความชื้นในดินปักลงดินความลึก 3-5 ซม.เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศวางไว้ใกล้กับต้นไม้ เซนเซอร์วัดความสว่างความเข้มแสงตั้งไว้บริเวณที่วางต้นไม้ จากนั้นเปิดการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ และให้ต้นแบบส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟายทุก 1 นาที

9. นำต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกล วางไว้ในห้องที่มีความชื้นและความเข้มแสงที่เหมาะสม ทดสอบการทำงานของต้นแบบโดยกำหนดให้ส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟายเวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 1 สัปดาห์

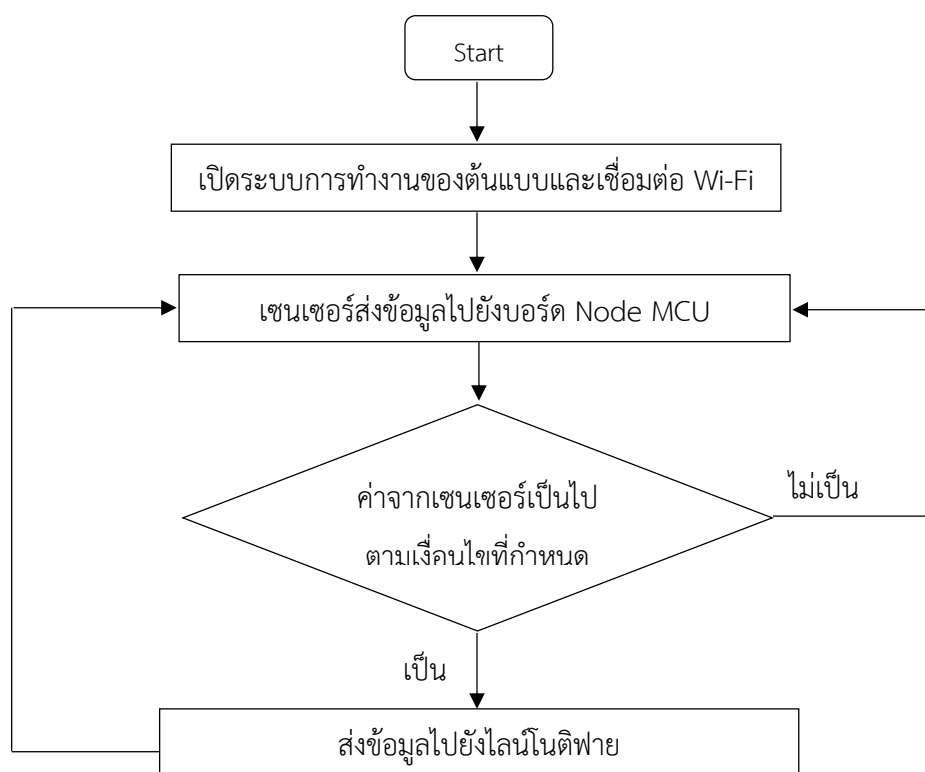


ภาพที่ 1 ต้นแบบระบบการดูแลต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกล



1. เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน
2. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ
3. เซนเซอร์วัดความสว่างความเข้มแสง

ภาพที่ 2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์เซนเซอร์กับบอร์ด Node MCU



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของต้นแบบระบบการดูแลต้นอโศกเอเชีย ตรวจจับสเกล

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์และต้นแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีการส่งข้อมูลสภาพแวดล้อมจากการวัดความชื้น และความเข้มของแสง (ปริยากร บัวทอง, 2564) โดย

1. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง โดยเขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความเข้มแสงผ่านไปยังไลน์โนติฟายเมื่อเพิ่มหรือลดแสงโดยการเปิดและปิดไฟ วัดค่าความเข้มแสงเริ่มต้น ณ ห้องปกติก่อนทดลอง คือ 56 ลักซ์ จากนั้นทำการทดลอง ซึ่งมีผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1: ผลการทดสอบการส่งข้อมูลเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสง

ครั้งที่	สถานะ	ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)	สถานะ	ค่าความเข้มแสง (ลักซ์)
1	เปิดไฟ	1,336	ปิดไฟ	56
2	เปิดไฟ	1,333	ปิดไฟ	56
3	เปิดไฟ	1,333	ปิดไฟ	56
4	เปิดไฟ	1,330	ปิดไฟ	56
5	เปิดไฟ	1,326	ปิดไฟ	56
6	เปิดไฟ	1,326	ปิดไฟ	56
7	เปิดไฟ	1,323	ปิดไฟ	56
8	เปิดไฟ	1,323	ปิดไฟ	53
9	เปิดไฟ	1,320	ปิดไฟ	53
10	เปิดไฟ	1,320	ปิดไฟ	53

จากการทดลองการส่งค่าความเข้มแสงจากเซนเซอร์ไปยังไลน์โนติฟาย ต้นแบบสามารถส่งค่าได้ และจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มแสงค่าความเข้มแสงจะสูงขึ้นและเมื่อลดแสงค่าความเข้มแสงจะต่ำลง ซึ่งต้นแบบสามารถส่งค่าความเข้มแสงได้ถูกต้อง

2. ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดินและค่าความชื้นในอากาศ% โดยเขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความชื้นในดินหลังรดน้ำ และเขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ส่งค่าความชื้นในอากาศจากบีกเกอร์ที่สเปรย์น้ำ ไปยังไลน์โนติฟาย วัดค่าความชื้นในดินก่อนทดสอบทุกกระถาง คือ 581 ค่าความชื้นในอากาศก่อนทดสอบ คือ 53% จากนั้นทำการทดลอง ซึ่งมีผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2: ผลการทดสอบการส่งข้อมูลเพื่อทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดค่าความชื้นในดิน และในอากาศ

กิจกรรม	ค่าความชื้นในดิน	กิจกรรม	ค่าความชื้นในอากาศ
รดน้ำกระถางที่ 1	297	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 1	74%
รดน้ำกระถางที่ 2	294	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 2	75%
รดน้ำกระถางที่ 3	295	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 3	73%
รดน้ำกระถางที่ 4	293	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 4	75%
รดน้ำกระถางที่ 5	292	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 5	71%
รดน้ำกระถางที่ 6	295	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 6	72%
รดน้ำกระถางที่ 7	294	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 7	69%
รดน้ำกระถางที่ 8	291	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 8	73%
รดน้ำกระถางที่ 9	292	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 9	72%
รดน้ำกระถางที่ 10	293	สเปรย์น้ำบีกเกอร์ที่ 10	74%

จากการทดลองการส่งค่าความชื้นในดินจากเซนเซอร์ไปยังไลน์โนติฟาย ต้นแบบสามารถส่งค่าได้ และจะเห็นว่าเมื่อมีการรดน้ำดินจะมีความชื้นและทำให้ค่าความชื้นในดินที่วัดได้จากเซนเซอร์ต่ำลง (ค่าสูงดินแห้ง ค่าต่ำดินเปียก) และเมื่อสเปรย์น้ำในบีกเกอร์แล้วค่าบีกเกอร์วางทับเซนเซอร์ อากาศจะมีความชื้นมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นในอากาศที่วัดได้จากเซนเซอร์สูงขึ้น ซึ่งต้นแบบสามารถส่งค่าความชื้นในดินและความชื้นในอากาศได้ถูกต้อง

3. ทดสอบการเชื่อมต่ออุปกรณ์และเขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์ของต้นแบบโดยส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟายทุก 1 นาที พบว่า ต้นแบบสามารถส่งค่าความชื้นในดิน ค่าความชื้นในอากาศ ไปยังไลน์โนติฟายทุก 1 นาทีตามที่กำหนดไว้



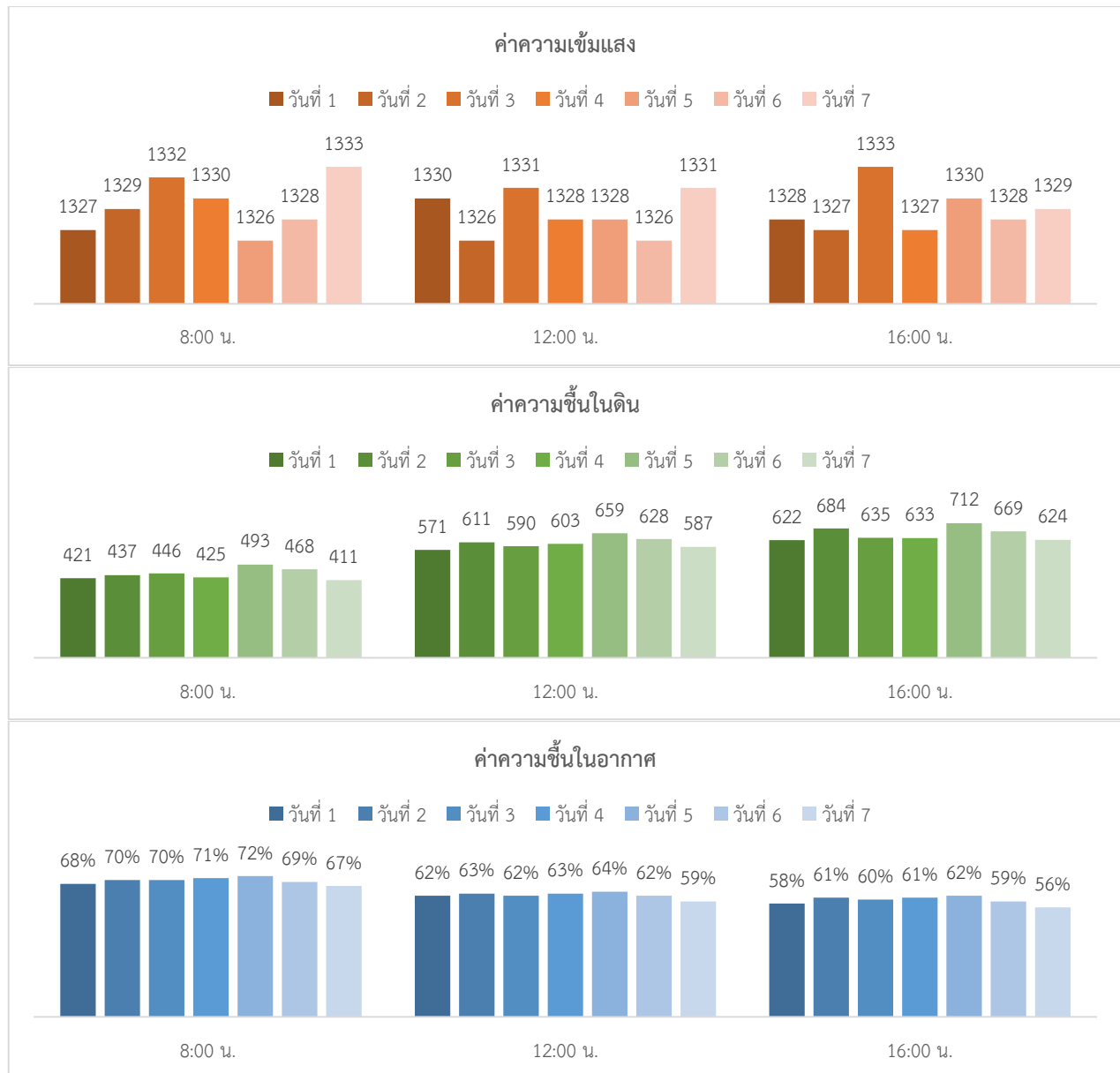
ภาพที่ 4 การส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังไลน์โนติฟาย

4. นำต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกล ไปวางที่ห้องที่จะทำการทดสอบโดยจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการปลูกต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกล จากนั้นต่อกับอุปกรณ์ต้นแบบ และทดสอบการทำงานของต้นแบบโดยเขียนโปรแกรมควบคุมเซนเซอร์กำหนดให้ส่งข้อมูลไปยังไลน์โนติฟายเวลา 8.00 น. 12.00 น. และ 16.00 น. เป็นเวลา 1 สัปดาห์ พบว่า ต้นแบบสามารถส่งค่าความชื้นในดิน ค่าความชื้นในอากาศ และค่าความเข้มแสงไปยังไลน์โนติฟายได้ตามเวลาที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3: ผลการทดสอบการส่งข้อมูลเพื่อทดสอบการทำงานของต้นแบบในการส่งค่าความเข้มแสง ค่าความชื้นในดิน และในอากาศ ตามเวลาที่กำหนดไว้

วันที่	8.00 น .			12.00 น.			16.00 น.		
	ความเข้มแสง	ความชื้นในดิน	ความชื้นในอากาศ	ความเข้มแสง	ความชื้นในดิน	ความชื้นในอากาศ	ความเข้มแสง	ความชื้นในดิน	ความชื้นในอากาศ
1	1327	421	68%	1330	571	62%	1328	622	58%
2	1329	437	70%	1326	611	63%	1327	684	61%
3	1332	446	70%	1331	590	62%	1333	635	60%
4	1330	425	71%	1328	603	63%	1327	633	61%
5	1326	493	72%	1328	659	64%	1330	712	62%
6	1328	468	69%	1326	628	62%	1328	669	59%
7	1333	411	67%	1331	587	59%	1329	624	56%

จากการทดลองทั้งหมดจะเห็นได้ว่าต้นแบบมีการส่งข้อมูลได้อย่างถูกต้องตามที่ได้เขียนโปรแกรมไว้ การสร้างต้นแบบระบบการดูแลต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกล ผ่านไลน์โนติฟาย ต้นแบบสามารถส่งค่าความชื้นในดิน ความชื้นในอากาศ ความเข้มแสงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์และ Wi-Fi ไปยังไลน์โนติฟายให้กับผู้ดูแล ซึ่งผู้ดูแลสามารถนำไปควบคุมการรดน้ำ การปรับแสงตามที่ต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกลต้องการ เพื่อให้ได้ต้นอโศกเชียย ดราก้อนสเกลที่สวยงามและมีราคาสูง แม้ว่าการนำ IoT มาใช้ในการดูแลพืชที่เน้นผลผลิตที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (ปิตวัฒน์ จุลเกษมศักดิ์, นรินทร์ จีระนันตสิน และพนัสชัย ศรีบำรุง, 2564) แต่ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การดูแลต้นไม้แต่ละต้น โดยเฉพาะต้นไม้ที่ต้องการดูแลเป็นพิเศษ ในการทำงานส่วนถัดไป ผู้วิจัยจะเพิ่มเติมการแสดงค่าความเข้มแสง ค่าความชื้นในดิน และค่าความชื้นในอากาศ ในรูปแบบแผนภาพ Dashboard แบบ real time เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูผลได้อย่างต่อเนื่องและเห็นแนวโน้มที่ชัดเจน



ภาพที่ 5 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลค่าความชื้นแสง ค่าความชื้นในดินและในอากาศ ตามเวลาที่กำหนดไว้

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและทดสอบการทำงานของเซนเซอร์และชุดต้นแบบการดูแลต้นอโศกเอเชีย ทรายก้อนสเกล ผ่านไลน์โนติฟาย ซึ่งผลการทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งต้นแบบนี้จะช่วยให้การดูแลต้นไม้อายุสูงทำได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยเฉพาะผู้ที่เริ่มหัดเลี้ยงต้นไม้ หรือผู้ที่มีทักษะการใช้งานอุปกรณ์เทคโนโลยีไม่มาก แต่สามารถใช้งานแอปพลิเคชันไลน์

เบื้องต้นได้ นอกจากนี้ต้นแบบนี้ยังสามารถปรับแต่งค่าต่างๆ ให้สอดคล้องกับต้นไม้แต่ละชนิดได้อีกด้วย ทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำ ในราคาชุดละประมาณ 300 บาท ซึ่งเมื่อเทียบกับการดูแลต้นไม้ราคาแพงแล้ว จึงเป็นต้นทุนเสริมที่คุ้มค่าเป็นอย่างยิ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการดำเนินงานในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] JON VANZILE. (2020). Understanding Natural Light for Houseplants. Retrieved 29 June 2022, from <https://www.thespruce.com/lighting-for-houseplants-1902691>.
- [2] PETE ONGSUWAN. (2564). แนะนำพันธุ์ไม้ Alocasia baginda ‘Dragon Scale’. สืบค้น 29 มิถุนายน 2565. จาก https://www.kaset32farm.com/article/plant-care/info-alocasia-dragon-scale/?fbclid=IwAR3XnsODJaekKjCQP5G-xXk9S_gZdVlVPL54zHrd4CPMV_qMVz9qyBqdCw
- [3] ปริยากร บัวทอง. (2564). อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อควบคุมระบบในโรงเพาะชำอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปี 2564, 1(2), 9 - 18.
- [4] ปิติวัฒน์ จุลเกษมศักดิ์, นรินทร์ จีระนันตสิน และพนัสชัย ศรีบำรุง. (2564). การพัฒนาต้นแบบเครื่องดูแลพืชแบบกึ่งอัตโนมัติสำหรับผู้ใช้ที่มีพื้นที่จำกัดด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ประจำปี 2564, 30 เมษายน 2564, (100-110). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรังสิต.

ปีที่ 2 ฉบับ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566
Vol.2, Issue 2, July - December 2023

ISSN 2822-0196 (Print), ISSN 2822-020X (Online)

วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Techonology



วารสาร มรภ.กพ.

วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี

Journal of KPRU Science Mathematics and Techonology

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