



วารสารวิชาการ
ชายนีเทคโนโลยี
มรท.ภูเก็ต

ISSN 2822 - 1044 (Online)
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2568

PKRU
SciTech
JOURNAL

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต (PKRU SciTech Journal) ฉบับนี้ได้รวบรวมบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิบทความละ 3 ท่าน จำนวน 7 บทความ ประกอบไปด้วย บทความที่เกี่ยวข้องกับความรู้ทางเคมีจำนวน 2 บทความ คือ การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ของเสียจากเปลือกสับปะรด เพื่อนำไปแก้ปัญหาน้ำเสียและบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง และการศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของดินแดงสุราษฎร์ธานี เพื่อพัฒนาสีธรรมชาติในงานศิลปะ เป็นการสร้างองค์ความรู้สำหรับพัฒนาผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติ บทความทางด้านฟิสิกส์จำนวน 2 บทความ คือ การศึกษาผลของรูปร่างและพื้นที่ด้านอากาศของวัสดุต่อการสั่นแบบหน่วงของระบบมวลสปริง และการศึกษาแบบจำลองการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก: บอลลูกเพื่อสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก บทความด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 บทความ เกี่ยวกับการพัฒนาระบบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับโรงพยาบาล เพื่อลดความเสี่ยงการขาดแคลนเครื่องช่วยหายใจในกรณีมีเหตุฉุกเฉิน บทความเกี่ยวกับระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เพื่อส่งเสริมเตือนการขอความช่วยเหลือของผู้สูงอายุไปยังผู้ที่เกี่ยวข้อง และ บทความเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมนม โดยทั้ง 7 บทความนี้ มีความหลากหลายในด้านวิชาการ ซึ่งทางกองบรรณาธิการคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้อ่านและส่งเสริมการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ในวงวิชาการต่อไป

วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ. ภูเก็ต ได้รับความร่วมมือจากทั้งผู้ประเมินบทความ (peer review) และผู้เขียนบทความในการแก้ไขจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

กองบรรณาธิการใคร่ขอเชิญชวนท่านผู้อ่านที่สนใจส่งบทความมาตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ทั้งนี้สามารถส่งต้นฉบับบทความผ่านในหน้าเว็บไซต์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech> เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้และพัฒนาสังคม อันจะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านและผู้สนใจต่อไป



(ดร.อัครชัย อินทนิล)

บรรณาธิการ

สารบัญ

การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ของเสียจากเปลือกกล้วยตาก อารีรัตน์ สมบัติพุทธคุณ, สิริธร สิ้นเปียง และ สุวคนธ์ จันทร์ดี	1-12
ผลของรูปร่างและพื้นที่ด้านอากาศของวัสดุต่อการสั่นแบบหน่วง ของระบบมวลสปริง วิไลพร ลักษณะมีวาณิชย์, เพ็ญศรี ประมุขกุล, จุฑาลักษณ์ เชื้อนเมือง, สุภัทสร่า มิ่งชนวรากุล, นริกันต์ ปันอิน และ ศุภาภรณ์ อาสา	13-25
การพัฒนาระบบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจด้วยอินเทอร์เน็ต ทุกสรรพสิ่งสำหรับโรงพยาบาล ประนอมกร ชูศรี, ศิริรัตน์ โสฬส, ทวีวรรณ สาริบท และ โพธิ์ สิ้นชู	26-36
ระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุ ด้วยมีเดียไปป์ และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ พรวนา รัตนชูโชค และ จุฬาลิ มณีเลิศ	37-51
องค์ประกอบและคุณสมบัติของดินแดงสุราษฎร์ธานีเพื่อพัฒนา สีธรรมชาติในงานศิลปะ ธนพล ฉันทกุล, อานนท์ ชูแก้ว, ชัญญา อุดมประมวล และ วิโรจน์ เชาววิเศษ	52-65
การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต ในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี, ฤดี นิยมรัตน์, สมเกียรติ กอบัวแก้ว, ปริญวัฒน์ ธนศิริเอียรชัย และ กฤษดา สารราช	66-79
แบบจำลองการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก: บอลูน สมยศ ศรีคงรักษ์, สุขพิชญา จรรย์ชล และ โชติ เนืองนนท์	80-92

การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ของเสียจากเปลือกสับปะรด The Adsorption of Methylene Blue Dye Using Pineapple Peel Waste

อารีรัตน์ สมบัติพุทธคุณ*, สิริธร ลินเปียง และ สุวคนธ์ จันทร๊ะ
Areerat Sombatputthakun*, Sirithon Sinpiang & Suwakon Janta

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

Submitted 23/07/2024 ; Revised 30/09/2024 ; Accepted 24/11/2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้ของเสียจากเปลือกสับปะรด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา น้ำเสียและบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้ง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ได้แก่ เวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้น และอุณหภูมิ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูทำให้ความสามารถในการดูดซับสีเพิ่มมากขึ้น โดยที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู เท่ากับ 109.77 มิลลิกรัมต่อกรัม ของวัสดุดูดซับ และระยะเวลาเข้าสู่สมดุล คือ 2 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ต่างกันไม่มีผลต่อปริมาณการดูดซับ เมื่อใช้สมการการดูดซับของฟรอยด์ลิสและสมการของแลงเมียร์ในการศึกษาค่าคงที่ของไอโซเทอม ผลการศึกษาปรากฏว่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจากเปลือกสับปะรด มีความสอดคล้องกับสมการการดูดซับของแลงเมียร์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เท่ากับ 0.9901 มีค่าคงที่ของการดูดซับสูงสุดเท่ากับ 123.46 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ: การดูดซับ เมทิลีนบลู เปลือกสับปะรด

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: 64141015@g.cmru.ac.th

Abstract

The aim of this research is to investigate the adsorption of methylene blue dye using pineapple peel waste, with the goal of applying it to wastewater treatment and dye removal from wastewater. Various parameters, such as contact time, initial concentration, and temperature, were investigated. The results showed that the amount of methylene blue dye adsorbed increased as the initial concentration increased. The adsorption amount was 109.77 mg/g at an initial concentration of 500 mg/L. Adsorption reached equilibrium within 2 hours of contact time. Different temperatures had no effect on the amount of adsorption. The Freundlich and Langmuir isotherm models were used to determine adsorption constants, with the Langmuir isotherm model providing the best fit. The correlation coefficient (R) was 0.9901, and the maximum adsorption capacity was 123.46 mg/g.

Keywords: adsorption, methylene blue, pineapple peel

บทนำ

สับปะรดเป็นผลไม้เขตร้อนเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทยซึ่งประเทศไทยส่งออกสับปะรดในหลากหลายรูปแบบทั้งแบบผลสดและสับปะรดแปรรูป จังหวัดเชียงรายเป็นแหล่งปลูกสับปะรดที่สำคัญของประเทศไทย โดยพันธุ์ที่ปลูกและขึ้นชื่อในจังหวัดเชียงรายคือ สับปะรดพันธุ์ภูแล ซึ่งนอกจากรสชาติที่ดีแล้วสับปะรดยังประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ชีวภาพที่สำคัญที่มีผลการวิจัย [1] รายงานว่ามีคุณสมบัติในการส่งเสริมสุขภาพและป้องกันโรคต่าง ๆ หลายชนิด เช่น โยอาหาร วิตามินซี โพแทสเซียม และเอนไซม์โบรมิเลน เป็นต้น สัตส่วนของผลสับปะรดหนึ่งผลคิดเป็นสัดส่วนของผลสับปะรดคิดเป็น น้ำหนักเนื้อ 33 % แกน 6 % เปลือก 41 % และจุก 20 % ของผลสับปะรดทั้งผล จากข้อมูลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของผลสับปะรดนั้นมีน้ำหนักของเปลือกสับปะรดเยอะที่สุดจากกระบวนการแปรรูปสับปะรด โดยในปีหนึ่ง ๆ จะมีเปลือกสับปะรดจากโรงงานแปรรูปสับปะรดประมาณ 330 พันตันต่อปี จากการเติบโตทางเศรษฐกิจพบปัญหาที่สำคัญคือ เกษตรกรผู้ปลูกสับปะรดยังขาดความรู้แบบบูรณาการด้านการผลิตสับปะรด โดยขาดความสนใจต่อวัสดุเหลือใช้ คือ เปลือกสับปะรด ขั้วสับปะรด จุกสับปะรด และตาสับปะรด ซึ่งเกษตรกรได้ทิ้งไว้ให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเรื่องกลิ่นของขยะจากเศษเหลือสับปะรดสร้างความเดือดร้อนให้กับชุมชนตามมา [2]

โดยเปลือกสับปะรดมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสในปริมาณสูง โดยเส้นใยเซลลูโลสนั้นมีคุณสมบัติดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี ระบายความร้อนได้ดี ทนความร้อนได้ดี และการคืนตัวต่ำ (resiliency) อีกทั้งเซลลูโลสมีลักษณะโครงสร้างเส้นใยเป็นโครงร่างหลวม ๆ โดยโมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้เซลลูโลส [3] จึงเป็นวัสดุตัวกลางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอ สีย้อมสีเมทิลินบลูเป็นสีย้อมชนิดหนึ่ง ไม่มีกลิ่น มีสีเขียวเข้ม เมื่อละลายน้ำจะได้สารละลายสีฟ้า มีโครงสร้างที่ทำให้เกิดสี สีมเมทิลินบลูเป็นสีไทอะซีน (thiazine) ที่มีประจุบวกที่สามารถติดบนวัสดุโปรตีน ทั้งผิวหนังคน เชื้อแบคทีเรีย รวมไปถึงเส้นใยไหมและขนสัตว์ได้ดีเมื่อมีการปนเปื้อนในน้ำจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำและสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นสารเคมีสังเคราะห์ทำให้เกิดการระคายเคืองจึงต้องมีการบำบัดสีก่อนลงสู่แหล่งน้ำ [4] การบำบัดสีย้อมในปัจจุบันมีหลายเทคนิคได้แก่ การสร้างตะกอน (coagulation) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดีแต่มีการใช้สารเคมีปริมาณมาก อีกทั้งยังต้องมีค่าใช้จ่ายและขั้นตอนในการบำบัดตะกอนที่เกิดขึ้นด้วย การแยกด้วยไฟฟ้า (electrolysis) มีประสิทธิภาพดีมากแต่ต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องมืออย่างต่อเนื่องและอาจต้องมีการกำจัดไอออนของโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าที่ตกค้างในน้ำทิ้งด้วย [5] กระบวนการโอโซนเนชัน (ozonation) มีประสิทธิภาพสูงและใช้เวลาน้อยในการกำจัดสีย้อม แต่เป็นเทคนิคที่มีค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งและการผลิตแก๊สโอโซน [6] การใช้จุลินทรีย์ในการบำบัด (biological treatment) เป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนต่ำ ไม่ซับซ้อน แต่ก็ไม่สามารถบำบัดสีย้อมได้ทุกชนิด อีกทั้งสีย้อมบางชนิดมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ และการดูดซับ (adsorption) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่ทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในแหล่งน้ำหลังจากการบำบัด วัสดุดูดซับสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้ และต้นทุนต่ำ ดังนั้นการเตรียมวัสดุดูดซับจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพดีในการดูดซับถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะหาได้ง่าย ราคาถูก และยังช่วยลดปริมาณขยะในชุมชนอีกด้วย [7]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปลือกสับปะรดที่เป็นเศษเหลือทิ้งจากการแปรรูปสับปะรด เนื่องจากเปลือกสับปะรดมีองค์ประกอบที่เป็นเส้นใยเซลลูโลสในปริมาณสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำมาเป็นตัวดูดซับในการดูดซับสีเมทิลีนบลู ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาน้ำเสียและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัสดุดังกล่าวให้สูงขึ้น อีกทั้งเป็นการนำวัสดุจากท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์และช่วยลดต้นทุน ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดสียอมจากน้ำทิ้ง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสียอมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกสับปะรด
2. เพื่อศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสียอมเมทิลีนบลูด้วยเปลือกสับปะรด

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเปลือกสับปะรด

นำเปลือกสับปะรดเหลือทิ้งจากตลาดหัวโจจน์ อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ มาล้างน้ำให้สะอาด หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ นำไปตากแดดให้แห้ง แล้วอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นบดด้วยเครื่องบดลดขนาดโดยใช้แรงกระแทกและคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อนให้ได้ขนาด 25–35 mesh

2. การเตรียมสารละลายสียอมเมทิลีนบลู

เมทิลีนบลูที่ใช้ในการทดลอง เป็นการเตรียมสารละลายโดยนำเมทิลีนบลูมาละลายในน้ำกลั่น

2.1 สารละลายสต็อกมาตรฐานสียอมเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งผงสียอมเมทิลีนบลู 1.000 กรัม ละลายน้ำแล้วปรับปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร

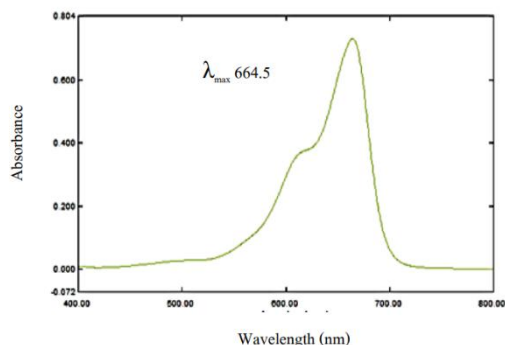
2.2 การเตรียมสารละลายสียอมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายสียอมเมทิลีนบลูเริ่มต้นความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานมา 200 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.3 การเตรียมสารละลายสียอมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายสียอมเมทิลีนบลูเริ่มต้นความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตจากสารละลายมาตรฐานมา 0.5, 1, 1.5, 2 และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับแล้วปรับปริมาตรให้ครบ 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2.4 การเตรียมสารละลายสียอมเมทิลีนบลูความเข้มข้น 50–700 มิลลิกรัมต่อลิตร เตรียมจากสารละลายสียอมเมทิลีนบลูเริ่มต้นความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3. สเปกตรัมและความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของสียอมเมทิลีนบลู

สามารถหาได้จากการนำสารละลายสียอมเมทิลีนบลูไปหาความยาวคลื่นสูงสุดด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งพบว่าความยาวคลื่นที่สียอมเมทิลีนบลูสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด (λ_{max}) ที่ 664.5 นาโนเมตร (nm)



ภาพที่ 1 ความยาวคลื่นที่สีย้อมเมทิลีนบลูสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด ($\lambda_{\max}$)

4. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู

มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู ดังนี้ คือ เวลาที่เข้าสู่สภาวะคงที่ (0.25, 0.5, 1, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง) ความเข้มข้นเริ่มต้น (50–700 มิลลิกรัมต่อลิตร) และอุณหภูมิ (28, 36 และ 60 องศาเซลเซียส) ในแต่ละปัจจัยมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นวัดปริมาณสีที่เหลือจากการดูดซับด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสีที่ถูกดูดซับจากสมการเส้นตรง ดังภาพที่ 2 ส่วนการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่สมดุลกับจำนวนของตัวถูกดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ ไอโซเทอมที่ใช้ ได้แก่ สมการการดูดซับแบบฟรุนดลิช และสมการการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังนี้

สมการการดูดซับของ Freundlich Isotherm คือ $\log q = \log K + \frac{1}{n} \log C$

- เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)
- K คือ ค่าคงที่การดูดซับ
- $1/n$ คือ ความชันของกราฟ
- C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัม) [8]

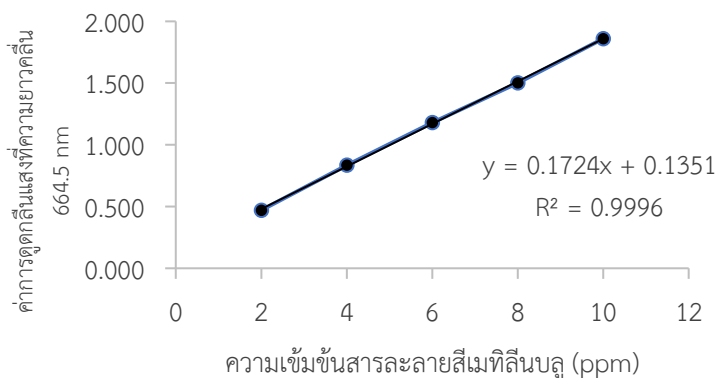
สมการการดูดซับของ Langmuir Isotherm คือ $\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{Kq_m C}$

- เมื่อ q คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับบนพื้นที่ผิวตัวดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (ความสามารถการดูดซับ) (มิลลิกรัม/กรัม)
- q_m คือ ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)
- K คือ ค่าคงที่การดูดซับ
- C คือ ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร) [9]

ผลการวิจัย

การสร้างกราฟมาตรฐาน

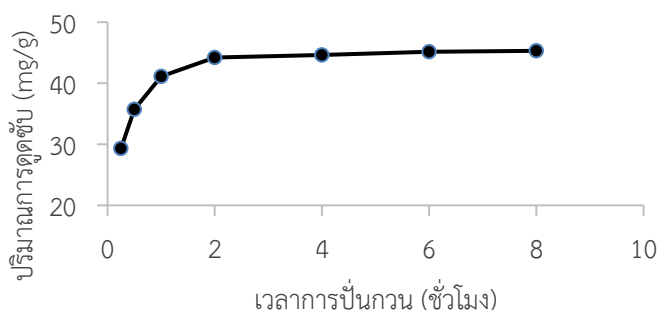
นำเปลือกสับปะรดไปศึกษาความสามารถในการกำจัดสีเมทิลีนบลูที่ความยาวคลื่นที่สีย้อมเมทิลีนบลูสามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุด (λ_{max}) ที่ 664.5 นาโนเมตร (nm) โดยเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที โดยใช้อัตราส่วนของตัวดูดซับ 0.10 กรัมต่อสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู 50 มิลลิลิตร ได้ผลการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลู และค่า R^2 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 664.5 nm

ผลของเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรด

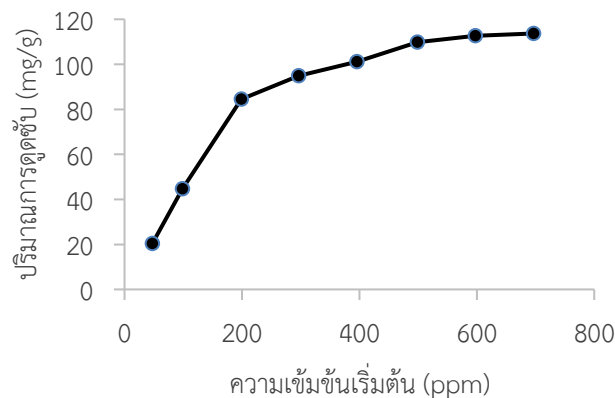
ภาพที่ 3 แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่เวลาต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับเปลือกสับปะรด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซับมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาในการปั่นกวนนานขึ้นจนเข้าสู่ภาวะสมดุลซึ่งการดูดซับจะคงที่จนกระทั่งเข้าสู่สมดุลที่เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้นในการทดลองหาความเข้มข้นเริ่มต้น ไอโซเทอมและอุณหภูมิของการดูดซับจึงทำการเขย่าที่เวลา 2 ชั่วโมง



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการปั่นกวนกับปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยเปลือกสับปะรดที่ความเข้มข้นสีเมทิลีนบลู 100 ppm วัสดุดูดซับ 0.1 กรัม อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

ผลของความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรด

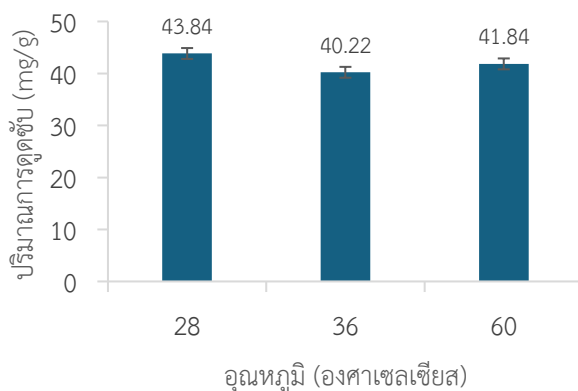
ภาพที่ 4 แสดงการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้ตัวดูดซับเปลือกสับปะรด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นโดยจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ 109.77 มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นกับปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยเปลือกสับปะรดที่ความเข้มข้นสีเมทิลีนบลู 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 และ 700 ppm โดยใช้ตัวดูดซับเปลือกสับปะรด 0.10 กรัม เวลาเขย่า 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรด

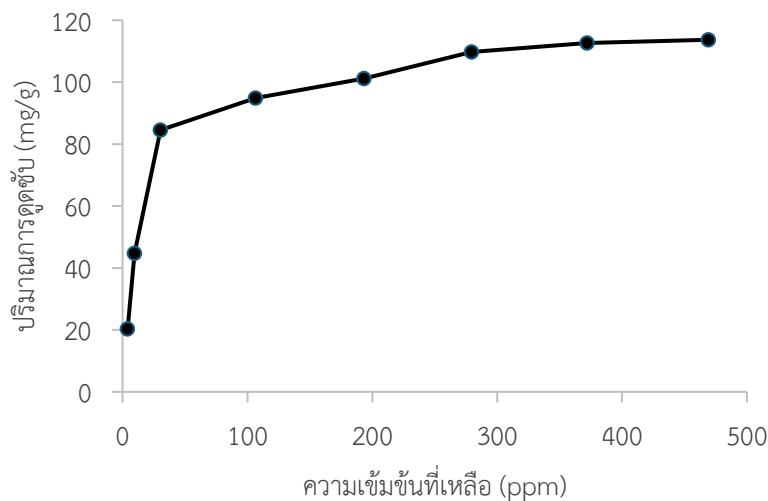
ภาพที่ 5 แสดงผลของการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู โดยใช้วัสดุดูดซับจากเปลือกสับปะรด ที่อุณหภูมิ 28, 36 และ 60 องศาเซลเซียส ในการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณการดูดซับเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยน พบว่าการเปลี่ยนแปลงของตัวดูดซับน้อยมากจึงคาดว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลน้อยมากต่อการดูดซับ



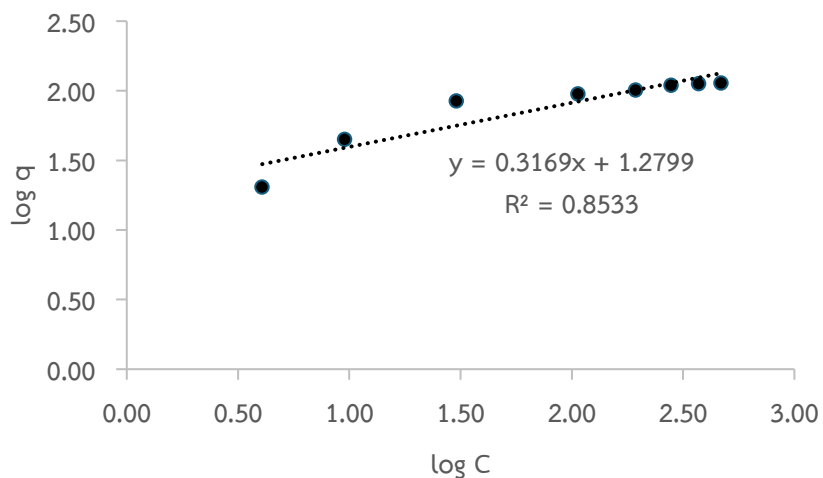
ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสีที่ถูกดูดซับโดยเปลือกสับปะรดที่อุณหภูมิ 28, 36 และ 60 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นสีเมทิลีนบลู 100 ppm วัสดุดูดซับ 0.10 กรัม เวลาเขย่า 2 ชั่วโมง

ผลของไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรดโดยเปลือกสับปะรด

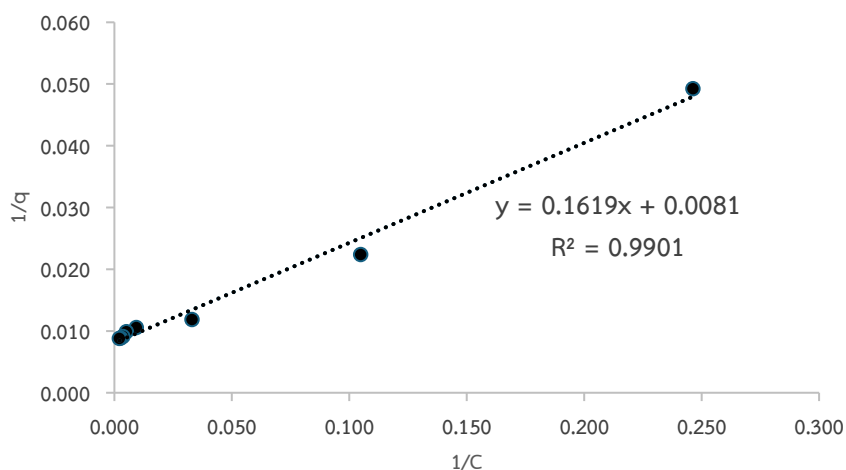
นำค่าความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูที่เหลืออยู่ในสภาวะคงที่ (C) และปริมาณสีที่ถูกดูดซับบนวัสดุดูดซับจากเปลือกสับปะรดต่อปริมาณวัสดุซับจากเปลือกสับปะรด 1.0 กรัม (q) มาสร้างกราฟปริมาณการดูดซับได้ดังภาพที่ 6 และหาความสอดคล้องของข้อมูลการทดลองกับสมการ Freundlich Isotherm และสมการ Langmuir Isotherm ดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นที่เหลือกับปริมาณสีที่ถูกดูดซับ



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่าง log C และ log q ของ Freundlich isotherm



ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์เส้นตรงระหว่าง $1/C$ และ $1/q$ ของ Langmuir isotherm

ตาราง 1 และตาราง 2 แสดงผลไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลู พบว่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรด เมื่อใช้สมการการดูดซับของฟรอนด์ลิชและสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มาอธิบายพบว่าค่า R^2 ที่ได้จากสมการสมการการดูดซับของแลงเมียร์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช มีค่า R^2 เท่ากับ 0.8533 ส่วนสมการการดูดซับของแลงเมียร์มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9901 ดังนั้น การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยตัวดูดซับเปลือกสับปะรด จึงสอดคล้องกับสมการการดูดซับของแลงเมียร์มากกว่าสมการการดูดซับของฟรอนด์ลิช ดังนั้น การดูดซับจึงเป็นแบบชั้นเดียว นอกจากนี้จากการคำนวณโดยสมการการดูดซับของแลงเมียร์พบว่าค่าการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูมีการดูดซับสูงสุด (q_m) คือ 123.46 มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

ตารางที่ 1 สมการเส้นตรงของไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm ของสีย้อมเมทิลีนบลู

สมการเส้นตรง	
Freundlich $y = 0.3169x + 1.2799$	Langmuir $y = 0.1619x + 0.0081$

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ของไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Freundlich Isotherm และ Langmuir Isotherm ของสีย้อมเมทิลีนบลู

ค่าคงที่ที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง					
Freundlich Isotherm			Langmuir Isotherm		
K	1/n	R^2	K	q_m	R^2
19.05	0.3169	0.8533	0.0500	123.46	0.9901

อภิปรายผลการวิจัย

ผลของเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรดพบว่า ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อระยะเวลาในการปั่นกวนนานขึ้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลซึ่งการดูดซับจะคงที่ โดยการดูดซับเข้าสู่สมดุลและให้ประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดและคงที่เมื่อเวลาปั่นกวน 2 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับหรือปริมาณดูดซับจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องจากแรงขับเคลื่อนที่มาก อันเนื่องมาจากผลต่างของความเข้มข้นของสีย้อมในสารละลายกับปริมาณสีย้อมบนตัวดูดซับหลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนเข้าสู่สภาวะคงที่ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีการดูดซับที่กล่าวว่า เมื่อเวลาผ่านไปจะมีจำนวนโมเลกุลตัวดูดซับไปเกาะติดกับพื้นผิวตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันโมเลกุลตัวดูดซับบางส่วนที่เกาะติดกับพื้นผิวหลุดออกมาพบว่า อัตราการหลุดจะเกิดน้อยกว่าอัตราการดูดซับเมื่อปล่อยให้กระบวนการดูดซับดำเนินไปจนกระทั่งอัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการหลุด ดังนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลการดูดซับสีย้อมคงที่ [10]

ผลของความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรดพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเมทิลีนบลูจะทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นโดยจะเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูจะมีการดูดซับคงที่เมื่อความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่สภาวะสมดุลที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูได้ 109.77 มิลลิกรัมต่อกรัม การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลู มีผลให้ค่าความสามารถในการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูในสารละลายกับบริเวณผิวของวัสดุดูดซับเพิ่มสูงขึ้นเกิดแรงขับเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้นความสามารถในการดูดซับจึงสูงขึ้น [4]

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรดพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้การแพร่ผ่านของสารที่ถูกดูดซับลงไปยังกับพื้นผิวของตัวดูดซับน้อยลงที่อุณหภูมิตั้งแต่ 28 องศาเซลเซียส การดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้นและค่อย ๆ ลดลงเมื่ออุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นอุณหภูมิที่ 36 องศาเซลเซียส และ 60 องศาเซลเซียส อาจเนื่องมาจากเมื่อโมเลกุลของสารได้รับพลังงานจากการเพิ่มอุณหภูมิทำให้โมเลกุลของสารนั้นมีพลังงานมากพอที่จะทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวดูดซับกับโมเลกุลของสารจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับลดลง [11]

ผลของไอโซเทอมของการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรดพบว่า การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยเปลือกสับปะรด เมื่อใช้สมการการดูดซับของฟรุนดลิชและสมการการดูดซับของแลงเมียร์ มาอธิบายพบว่าสมการของแลงเมียร์ ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการของฟรุนดลิช โดยมีค่าสมมติฐานของสมการแลงเมียร์ว่า ตัวดูดซับจะปกคลุมผิวของวัสดุดูดซับเพียงชั้นเดียว ซึ่งมีค่าการดูดซับสูงสุด (q_m) ของสีย้อมเมทิลีนบลูเป็น 123.46 มิลลิกรัมต่อกรัม

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการดูดซับสีเมทิลีนบลูด้วยเปลือกสับปะรด ผลของเวลาในการดูดซับพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา จนถึงสภาวะสมดุลที่เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งการดูดซับจะคงที่ การเพิ่มเวลาทำให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก ก่อนจะชะลอลงเมื่อเข้าสู่สภาวะคงที่ ตามทฤษฎีการดูดซับ ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นพบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมเมทิลีนบลูทำให้ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น จนถึงจุดสมดุลที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยดูดซับได้สูงสุด 109.77 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลของไอโซเทอม พบว่าการดูดซับสามารถอธิบายได้ดีที่สุดด้วยสมการแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) เข้าใกล้ 1 มากกว่าสมการของฟรุนดลิช โดยมีค่าสมมติฐานของสมการแลงเมียร์ว่า ตัวดูดซับจะปกคลุมผิวของวัสดุดูดซับเพียงชั้นเดียว มีค่าการดูดซับสูงสุด (q_m) ของการดูดซับที่ 123.46 มิลลิกรัมต่อกรัม และผลของอุณหภูมิ พบว่าการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณการดูดซับเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของตัวดูดซับน้อยมากจึงคาดว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีผลน้อยมากต่อการดูดซับ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุน อุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือที่จำเป็นต่อการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิรมล ปัญญาบุษกุล. (2563). ประโยชน์จากผลิตผลพลอยได้จากกระบวนการแปรรูปสับปะรด (เปลือกสับปะรด). [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.bloggang.com/m/viewdiary.php?id=zeroinspace&group=1&month=12-2020&date=03> (4 ตุลาคม 2566).
- [2] บรรพต จอมสวรรค์, ปิยดา ยศสุนทร, และปิยพร ศรีสม. (2564). การใช้ประโยชน์จากเปลือกสับปะรดทุกละเลื้อยทิ้งเพื่อพัฒนาเป็นอาหารโค. วารสารบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา, 6(2), 10–16.
- [3] ชาญชัย คหาปะนะ, และณภัทร โพธิ์วัน. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 15(2), 58–70.
- [4] พชรวรรณ อังศิริสวัสดิ์, และเฉลิม เรืองวิริยะชัย. (2559). การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้เปลือกหน่อไม้แห้ง. ใน The National and International Graduate Research Conference 2016, 343–350.
- [5] พลกฤษณ์ จิตรโต, ธัญดา ชัยกระทาง, และวรรณันต์ นาคบรรพต. (2559). การบำบัดน้ำเสียสีย้อมไหมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า. วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้, 7(2), 228–239.
- [6] ธัญวรรณ ฤกษ์นพุกต์, และชลอ จารุสุทธีรักษ์. (2559). การบำบัดสีในน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโอโซนเข้มข้นที่มีตัวเร่งปฏิกิริยา. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54, 1107–1114.

- [7] พชรนันท์ จันทร์พลอย, กฤติยาภรณ์ หลวงดี, และนภารัตน์ จิวาลักษณ์. (2563). การดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูของถ่านเปลือกส้มโอที่เตรียมจากการเผาแบบเตาลาน. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 14(1), 15–25.
- [8] เสาวภา ไวยสุศรี. (2559). การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียโดยการดูดซับด้วยแคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 26(3), 475–486.
- [9] กิตติศักดิ์ เสพศิริสุข, วิทยา ปั่นสุวรรณ, และนิพนธ์ ตังคณานุรักษ์. (2558). การเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับสารพิษฟอโรโบลเอสเทอร์ในน้ำมันสุบู่ดำโดยใช้เบนโทไนต์ชนิดต่าง ๆ ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47, 327–334.
- [10] นิสาพร มุหะมัด, สมภพ เกาทอง, อุบล ต้นสม, และปิยศิริ สุนทรนนท์. (2559). การดูดซับสีย้อมด้วยกากชา. รายงานวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- [11] อรุณ เกิดสวัสดิ์, จีระวุฒิ เฟื่องลอย, ไชยชนะ เอกราชันย์, และกัญจน์รัตน์ สุขรัตน์. (2558). การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับ 2-ฟิโคลีน บนถ่านกัมมันต์. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 7, 1654–1660.
- [12] พชรพร โสระสิงห์. (2562). การใช้ประโยชน์จากของเสียสับปรดเพื่อนำไปเป็นวัสดุดูดซับราคาถูกลำดับการจัดสี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [13] Özer, D., Dursum, G., & Özer, A. (2007). Methylene blue adsorption from aqueous solution by dehydrated peanut hull. Journal of Hazardous Materials, 144, 171–179.
- [14] Doğan, M., Abak, H., & Alkan, M. (2009). Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: Kinetics, mechanism and activation parameters. Journal of Hazardous Materials, 164, 172–181.

ผลของรูปร่างและพื้นที่ต้านอากาศของวัสดุต่อการสั่นแบบหน่วงของระบบมวลสปริง

Effects of Material Shape and Air Resistance Area on Damped Oscillation of Spring Mass System

วิไลพร ลักขมีวานิชย์^{*1}, เพ็ญศรี ประมุขกุล¹, จุฑาลักษณ์ เชื้อนเมือง², สุภัตตรา มิ่งชนวรากุล²
นรีกานต์ ปันอิน² และ ศุภาภรณ์ อาสา²

Vilaiporn Luksameevanish^{*1}, Pensri Pramookul¹, Jutalak keaunmuang²,
Supatsara Mingchonwarakul², Nareekan Pan-in² & Suphaporn Arsa²

¹ภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

¹Department of Physics and General Science, Faculty of Science and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University

²General Science Program, Faculty of Education, Chiang Mai Rajabhat University

Submitted 16/08/2024 ; Revised 25/10/2024 ; Accepted 13/12/2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปร่างและขนาดของพื้นที่ต้านอากาศที่มีต่อการสั่นและค่าคงตัวของความหน่วงเนื่องจากอากาศของระบบมวลสปริง ด้วยการบันทึกภาพการสั่นด้วยกล้องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ พื้นที่ต้านอากาศที่ทำจากฟิวเจอร์บอร์ดมี 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม ผลการวิจัยพบว่า ค่าการสั่นระบบมวลสปริงตามแนวดิ่งที่มีมวลถ่วงรวมคงตัวที่ 180 กรัม ไม่ขึ้นกับรูปร่างของพื้นที่ต้านอากาศ แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่ที่ตั้งสมการ $T(s) = 1.2525 + 5.3254 \times 10^{-5} A$ เมื่อ A คือ พื้นที่ต้านอากาศที่มีขนาดระหว่าง 25–707 ตารางเซนติเมตร ค่าคงตัวของความหน่วงเนื่องจากอากาศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ในแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสองและขึ้นกับรูปร่างของพื้นที่ต้านอากาศซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1–17 มิลลินิวตัน-วินาทีต่อเมตร โดยค่าคงตัวของความหน่วงเนื่องจากอากาศกรณีพื้นที่ต้านอากาศแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่ามากกว่ากรณีของพื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่าและพื้นที่แบบวงกลมเล็กน้อย ตามลำดับ

คำสำคัญ: การสั่นแบบหน่วง ค่าคงตัวของความหน่วงเนื่องจากอากาศ รูปร่างพื้นที่ต้านอากาศ

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: vilaiporn_luk@cmru.ac.th

Abstract

This research aims to study the influence of the shape and size of air resistance areas on the period of oscillation and the air damping constant in a spring-mass system using video recordings from a mobile phone camera and analysis with the Tracker program. The air resistance areas are made from future board and consist of three shapes: equilateral triangle, square, and circle. The results show that the vertical oscillation period of the spring-mass system, with a constant total mass of 180 grams, is independent of the shape of the air resistance area but tends to increase with area size, following the equation $T(s) = 1.2525 + 5.3254 \times 10^{-5}A$, where A represents the air resistance area ranging from 25–707 square centimeters. The air damping constant increases with area, following a second-order polynomial equation, and depends on the shape of the air resistance area, with values ranging between 1 and 17 mN·s/m. The air damping constant for square-shaped areas is slightly higher than that of equilateral triangle areas and circular areas, respectively.

Keywords: damping vibration, air damping constant, shape of air resistance area

บทนำ

การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ (simple harmonics motion) เป็นตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบสั่น (oscillation) อย่างง่าย ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุแบบสั่นรอบจุดสมดุลเดิม โดยไม่มีแรงลัพธ์ภายนอกมากระทำ ลักษณะทั่วไปของการเคลื่อนที่แบบนี้ได้แก่ (1) การกระจัดของการเคลื่อนที่เป็นรูปแบบไซน์ (sinusoidal curve) (2) แอมพลิจูด (amplitude) หรือการกระจัดสูงสุดจากแนวสมดุลคงตัว (3) คาบ (period, T) หรือเวลาในการเคลื่อนที่ครบ 1 รอบมีค่าคงที่ โดยที่คาบการเคลื่อนที่เป็นส่วนกลับของความถี่ (frequency, f) ของการสั่น และ (4) อัตราเร็วเชิงมุม (angular velocity, ω) ของการสั่นมีค่าเท่ากับ $2\pi f$ มีค่าคงตัว การเคลื่อนที่แบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์เป็นรูปแบบการเคลื่อนที่พื้นฐานที่สำคัญทางฟิสิกส์ที่สามารถพบได้ในธรรมชาติ อาทิ การสั่นของโมเลกุลในของแข็ง และการสั่นของอากาศเมื่อมีคลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน เป็นต้น การทดลองสั่นของวัตถุแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์มีคาบค่อนข้างสั้น หรือใช้เวลาในการสั่นครบรอบค่อนข้างเร็ว ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดคาบค่อนข้างสูงและสังเกตการเคลื่อนที่ได้ยาก ดังนั้นการจัดการเรียนรู้ด้วยการทดลองเรื่องซิมเปิลฮาร์โมนิกส์สำหรับระดับมัธยมศึกษาและระดับอุดมศึกษา จึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสังเกตการเคลื่อนที่ดังกล่าวเพื่อช่วยให้ผู้เรียนสังเกตการเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจริงได้อย่างชัดเจนและมีความแม่นยำสูง สามารถกระตุ้นการเรียนรู้ของผู้เรียนผ่านกระบวนการสะสมและการสืบเสาะเชื่อมโยงปรากฏการณ์ทางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

ปัจจุบันการนำเทคนิคการถ่ายภาพวิดีโอความเร็วสูงร่วมกับการใช้โปรแกรมแทรคเกอร์ (tracker program) เข้ามาช่วยในการทดลองทางฟิสิกส์ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายดังแสดงในตัวอย่างการทดลองทางฟิสิกส์ที่ใช้เทคนิคดังกล่าว ได้แก่ การศึกษาเรื่องการชน การตกอิสระแบบมีแรงต้านของวัตถุ การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์ การสะท้อนของลูกบอล และการขยายตัวทางความร้อนของวัสดุและแก๊ส [1–8] นอกจากนี้การทดลองการสั่นแบบซิมเปิลฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นจริงในห้องเรียนมีปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อคาบของการเคลื่อนที่ได้แก่ แรงต้านของอากาศ ซึ่งเป็นแรงภายนอกที่มีผลกระทบต่อคาบการเคลื่อนที่ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ส่งผลให้วัตถุเกิดการสั่นแบบหน่วง (damped oscillation) ทำให้การกระจัดและคาบของการสั่นเปลี่ยนไป การใช้เทคนิควิดีโอความเร็วสูงช่วยในการศึกษาการสั่นแบบหน่วงเป็นเทคนิควิธีที่สามารถช่วยในการวัดค่าอัตราเร็วเชิงมุม และอัตราการสูญเสียพลังงานของการสั่นแบบหน่วง (energy dissipation) ได้อย่างละเอียดและมีความแม่นยำสูง [2] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาอิทธิพลแรงต้านของอากาศต่อคาบการสั่นและค่าคงตัวของคาบเนื่องมาจากอากาศต่อการสั่นของระบบมวลสปริงด้วยเทคนิควิดีโอความเร็วสูง โดยการใช้กล้องถ่ายภาพบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ช่วยในการบันทึกภาพการสั่นแบบหน่วงของระบบมวลสปริงภายใต้แรงต้านของอากาศที่เกิดจากวัตถุที่มีขนาดพื้นที่และรูปร่างที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้เลือกศึกษาอิทธิพลของรูปร่างพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม เพื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมาซึ่งใช้พื้นที่ด้านอากาศแบบวงกลม [9, 10] และคาดหวังว่าผลการวิจัยที่ได้จะมีค่าแตกต่างกันอันเนื่องมาจากพลศาสตร์อากาศที่ด้านการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของรูปร่างและขนาดของพื้นที่ด้านอากาศที่มีต่อค่าการสั่น และค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศของระบบมวลติดสปริง ด้วยการบันทึกภาพการสั่นด้วยกล้องบนโทรศัพท์เคลื่อนที่และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการทดลอง

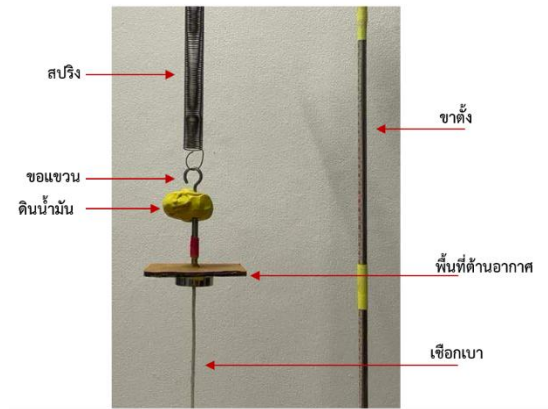
วิธีการทดลองประกอบด้วยการเตรียมพื้นที่ด้านอากาศ การจัดระบบมวลสปริงสำหรับการสั่น และการบันทึกภาพวิดีโอด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่ พื้นที่ด้านอากาศที่ใช้ทำจากฟิวเจอร์บอร์ดหนา 5 มิลลิเมตร มีความหนาแน่นเชิงพื้นที่เท่ากับ 0.08 กรัมต่อตารางเซนติเมตร¹ ฟิวเจอร์บอร์ดถูกตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า สี่เหลี่ยมจัตุรัส และวงกลม แต่ละรูปแบบมีขนาดต่างกัน 7 ค่า รูปแบบสามเหลี่ยมด้านเท่ามีความยาวด้านเท่ากับ 8, 13, 18, 24, 29, 35 และ 40 เซนติเมตร รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีความยาวด้านเท่ากับ 5, 8, 12, 15, 19, 23 และ 26 เซนติเมตร ส่วนรูปแบบวงกลมมีรัศมีเท่ากับ 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 เซนติเมตร ดังนั้นพื้นที่ด้านอากาศที่ศึกษาจึงมีความแตกต่างระหว่าง 25 ถึง 707 ตารางเซนติเมตร จัดเป็นการศึกษาอิทธิพลของพื้นที่ขนาดเล็กที่สุดไปจนถึงขนาดใหญ่ที่สุดที่มีความแตกต่างกันสูงถึงประมาณ 28 เท่า

การจัดระบบมวลสปริงเริ่มจากการนำสปริงที่มีค่าคงตัว 5.0 นิวตันต่อเมตร² แขนงไว้กับขาตั้ง (stand) ในแนวดิ่ง ปลายล่างสุดของสปริงมีขอแขวนมวลพร้อมถาดรองขนาด 50 กรัม ที่ร้อยติดกับพื้นที่ด้านอากาศผ่านร่องกึ่งกลางของแผ่นฟิวเจอร์บอร์ด จากนั้นจึงควบคุมมวลรวมที่กระทำกับสปริงให้เป็น 180 กรัม ด้วยดินน้ำมัน ผลรวมของแรงจากมวลขอแขวน พื้นที่ด้านอากาศและดินน้ำมันทำให้สปริงยืดออกตามแนวดิ่งจนถึงตำแหน่งสมดุลตามแนวแกน y ดังแสดงในภาพที่ 1 กำหนดให้ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งอ้างอิงที่การกระจัดของการสั่นเท่ากับศูนย์

การเตรียมบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของระบบมวลสปริงด้วยกล้องบันทึกภาพบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถบันทึกภาพได้ในอัตราไม่ต่ำกว่า 25 เฟรมต่อวินาที (เทียบกับคุณสมบัติการบันทึกภาพของกล้อง iPhone 11) จัดวางกล้องบนขาตั้งกล้องห่างจากระบบมวลสปริงเป็นระยะประมาณ 1 เมตร หรือจนกว่าจะเห็นภาพระบบที่อยู่นิ่งตลอดความสูงของขาตั้งอุปกรณ์ แล้วปรับระยะภาพให้คมชัด จากนั้นจึงเริ่มบันทึกภาพวิดีโอเมื่อเริ่มดึงระบบมวลสปริงด้วยเชือกเบาที่ผูกติดกับระบบด้านล่างสุดลงตามแนวดิ่งอย่างช้า ๆ เป็นระยะประมาณ 5 เซนติเมตร จัดระบบให้นิ่งเพื่อให้การสั่นหลังจากปล่อยเชือกอยู่ในแนวแกน y ไม่ส่ายไปในระนาบตั้งฉาก บันทึกภาพการสั่นเป็นเวลาประมาณ 120 วินาที และทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 3 ครั้ง

¹ มวลของพื้นที่ด้านอากาศแปรตามขนาด เช่น พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 5x5 ตารางเซนติเมตร มีมวลเท่ากับ 2.00 กรัม และขนาด 26x26 ตารางเซนติเมตร มีมวลเท่ากับ 54.08 กรัม เป็นต้น

² เป็นค่าคงตัวขณะที่ยืดช่วง 10-150% เทียบกับความยาวเดิมของสปริง 23.5 เซนติเมตร



ภาพที่ 1 ระบบมวลติดสปริง ณ ตำแหน่งสมดุล

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ภาพวิดีโอที่ได้ถูกนำไปติดตามการสั่นหรือหาตำแหน่ง y ที่เปลี่ยนไปของเครื่องหมาย (marker) ด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ เวอร์ชัน 6.1 จากนั้นจึงนำข้อมูลเชิงตัวเลขของตำแหน่งที่เปลี่ยนไปในช่วง 60 วินาทีแรกของการสั่น ไปวิเคราะห์หาคาบการสั่นจากเวลาที่แตกต่างกัน ณ ตำแหน่งการกระจัดสูงสุดหรือแอมพลิจูดด้านบวก 2 ตำแหน่งติดกัน และตำแหน่งการกระจัดต่ำสุดหรือแอมพลิจูดด้านลบ 2 ตำแหน่งติดกัน คาบที่ได้จากสองกรณีนี้เรียกว่าคาบด้านบวกและคาบด้านลบตามลำดับ คำนวณหาค่าคาบเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากคาบด้านบวกและคาบด้านลบจำนวนรวม 84 ค่า นอกจากนั้นค่าแอมพลิจูดด้านบวกและค่าแอมพลิจูดด้านลบที่เปลี่ยนกับเวลาการสั่นของแต่ละชุดการทดลองก็ถูกนำไปหาค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศ (air damping constant, b) ตามหลักการเชิงทฤษฎีการสั่นแบบหน่วง [11] ดังนี้

พิจารณาการสั่นของระบบตามแนวแกน y ด้วยสมการ ordinary differential กำลังสอง ดังสมการ (1) สมการนี้มีสมการเฉลยทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ (2)

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + ky = 0 \quad (1)$$

$$y(t) = Y_0 e^{-\frac{bt}{2m}} \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

เมื่อ	$y(t)$ คือการกระจัดที่เวลา t ใด ๆ	(หน่วย เมตร)
	Y_0 คือ แอมพลิจูดการสั่นที่เวลา $t = 0$ วินาที	(หน่วย เมตร)
	m คือ มวลถ่วงรวมของระบบ	(หน่วย กิโลกรัม)
	b คือ ค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศ	(หน่วย นิวตัน-วินาทีต่อเมตร)
	k คือ ค่าคงตัวของสปริง (spring constant)	(หน่วย นิวตันต่อเมตร)
	ω คือ อัตราเร็วเชิงมุม	(หน่วย เรเดียนต่อวินาที)
	ϕ คือ เฟสเริ่มต้นของการสั่น	(หน่วย เรเดียน)

สมการ (2) สามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 เทอม ได้แก่ $Y_0 e^{-\frac{bt}{2m}}$ และ $\cos(\omega t + \phi)$ เทอมแรก คือ แอมพลิจูดของการสั่นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาแบบเอกซ์โพเนนเชียล (exponential function) เทอมที่สอง คือ การเปลี่ยนแปลงของ y ตามฟังก์ชันโคไซน์ (cosine function) กำหนดให้ Y_m เป็นแอมพลิจูดของการสั่นที่เวลา t ใด ๆ เป็นดังสมการ (3)

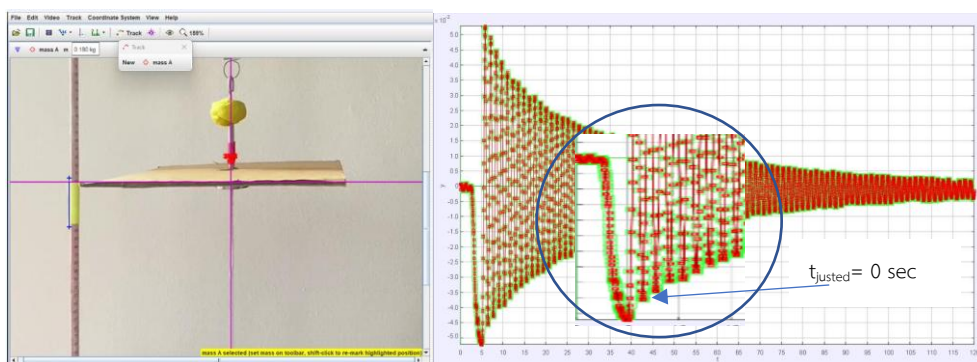
$$Y_m(t) = Y_0 e^{-\frac{bt}{2m}} \quad \text{หรือ} \quad Y_m(t) = Y_0 e^{-Bt} \quad (3)$$

$$\text{เมื่อ} \quad B = \frac{b}{2m} \quad \text{หรือ} \quad b = 2mB \quad (4)$$

งานวิจัยนี้ใช้กระดานคำนวณเอ็กซ์เซล (excel work sheet) และวิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) วิเคราะห์หาสมการที่ดีที่สุด (best fit equation) ของค่าแอมพลิจูดการสั่นที่เปลี่ยนแปลงกับเวลาสั่น ในช่วง 60 วินาทีแรก ตามสมการ (3) สมการที่ได้จะสอดคล้องกับผลการทดลองเชิงตัวเลขได้ดีที่สุด เมื่อค่าสหสัมพันธ์ (correlation coefficient, r) ของข้อมูลกับสมการที่ดีที่สุดมีค่าเข้าใกล้ 1 หรือมีค่าความแตกต่างที่แต่ละจุดทดลองรวม (sum of residual different) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ค่า b ของการสั่นหาได้จากค่า B ของสมการที่ดีที่สุด ดังสมการ (4) ดังนั้นค่า b เนลีย์และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า b จาก 6 ชุดข้อมูลของแอมพลิจูดด้านบวกและแอมพลิจูดด้านลบของการทดลอง 3 ครั้ง จึงเป็นตัวแทนของการสั่นแต่ละกรณี

ผลการวิจัย

การบันทึกภาพการสั่นของมวลติดสปริงเริ่มขึ้นหลังจากปล่อยให้ระบบที่ถูกดึงลงตามแนวตั้ง ด้วยระยะเท่ากับแอมพลิจูดเริ่มต้นของการสั่นเป็นเวลาประมาณ 120 วินาที จากนั้นจึงนำภาพวิดีโอดังกล่าวไปวิเคราะห์หาตำแหน่งเครื่องหมายบนระบบที่เปลี่ยนแปลงตามแนวแกน y ด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2 ผลการติดตามพบว่าเครื่องหมายหรือระบบมีรูปแบบการสั่นในรูปแบบไซน์รอบแนวสมดุล ข้อมูลการกระจัดถูกนำมาปรับเวลาการสั่น ให้เริ่มสั่นที่ตำแหน่งการกระจัดต่ำสุดรอบที่ 2 (ดูภาพขยาย)

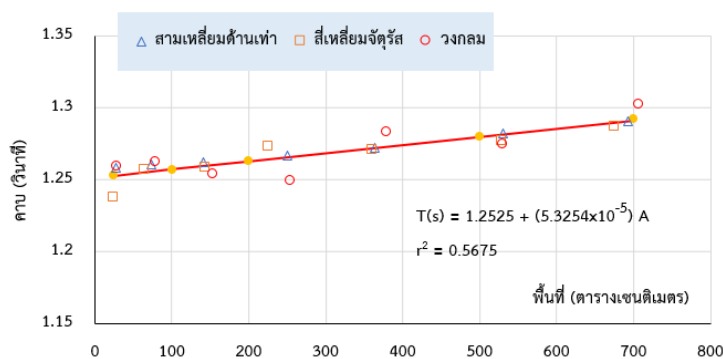


ภาพที่ 2 ภาพวิดีโอที่นำเข้าโปรแกรมแทรคเกอร์ และตำแหน่งเครื่องหมายที่ติดตามตามแนวแกน y

คาบการสั่นเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพื้นที่ด้านอากาศแต่ละรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงกับขนาดพื้นที่ที่แสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 3 แสดงให้เห็นคาบการสั่นมีค่าค่อนข้างคงตัวระหว่าง 1.25–1.30 วินาที และมีสมการถดถอยของค่าคาบการสั่นที่ขึ้นกับขนาดพื้นที่แบบเชิงเส้นเป็น $T(s) = 1.2525 + 5.3254 \times 10^{-5} A$ เมื่อ A คือขนาดของพื้นที่ที่มีหน่วยเป็นตารางเซนติเมตร สมการนี้มีค่าสหสัมพันธ์, r เท่ากับ +0.7533 หรือ ค่า r^2 เท่ากับ 0.5675 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงบวกของคาบ (T) กับพื้นที่ (A) อยู่ในระดับปานกลาง ค่อยไปทางสูงเล็กน้อย ตามเกณฑ์การแปลผลการวิเคราะห์ค่า r ด้วยสถิติแบบไม่ใช้พารามิทริก (none parametric)^ก และเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทาง (two way ANOVA) ของชุดข้อมูลดังกล่าวพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ .05 คาบการสั่นเฉลี่ยไม่ขึ้นกับรูปแบบพื้นที่ แต่พบความแตกต่างของคาบการสั่นที่ขึ้นกับขนาดพื้นที่ ที่ระดับนัยสำคัญ .075^จ

ตารางที่ 1 คาบการสั่นเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน กรณีพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยม ด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม ที่มีขนาดพื้นที่ระหว่าง 25 ถึง 707 ตารางเซนติเมตร

พื้นที่แบบสามเหลี่ยมด้านเท่า		พื้นที่แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส		พื้นที่แบบวงกลม	
A(cm ²)	T(s) ± SD	A(cm ²)	T(s) ± SD	A(cm ²)	T(s) ± SD
28	1.2584±0.0187	25	1.2380±0.0163	28	1.2593 ± 0.0184
73	1.2604±0.0205	64	1.2563±0.0206	79	1.2626 ±0.0174
140	1.2621±0.0222	144	1.2585±0.0245	154	1.2537 ±0.0196
249	1.2673±0.0212	225	1.2729±0.0230	255	1.2489 ±0.0202
364	1.2727±0.0263	361	1.2708±0.0242	380	1.2828 ±0.0226
530	1.2814±0.0308	529	1.2771±0.0319	531	1.2739 ±0.0301
693	1.2780±0.0732	676	1.2869±0.0260	707	1.3021 ±0.0344

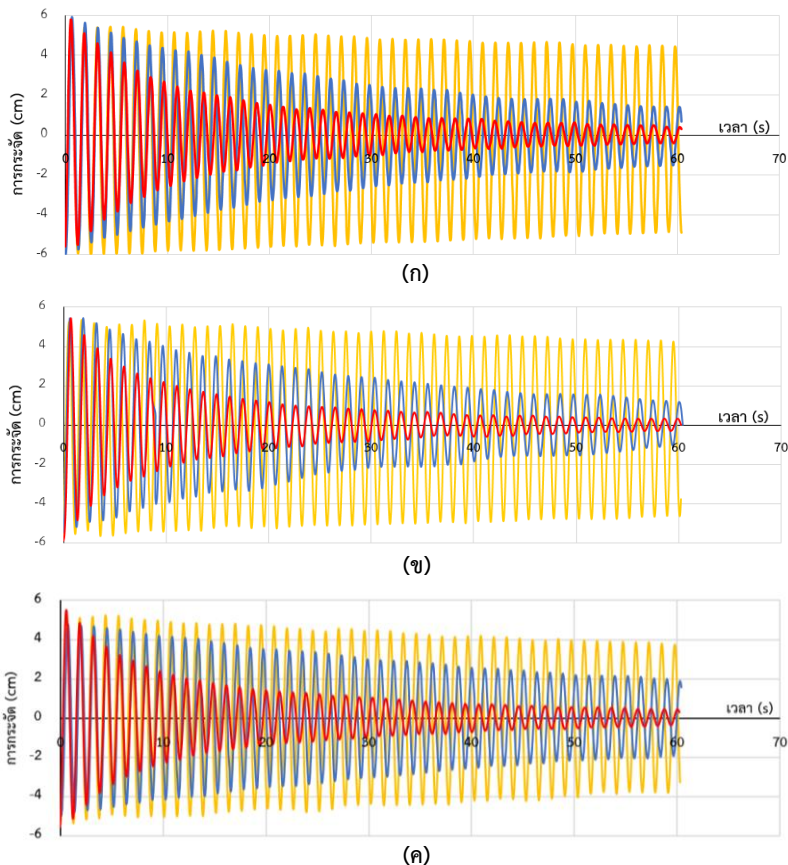


ภาพที่ 3 คาบการสั่นเฉลี่ยแปรตามขนาดพื้นที่ด้านอากาศ และรูปแบบของพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม

^ก เกณฑ์การแปลผลของ Hinkle และคณะ [12] ที่ระบุว่าช่วงระดับความสัมพันธ์ของ r ไว้ 5 ช่วง ค่า r ระหว่าง 0.70–0.89 เป็นความสัมพันธ์ระดับสูง ค่า r ระหว่าง 0.50–0.69 เป็นความสัมพันธ์ระดับปานกลาง

^จ ที่ระดับนัยสำคัญ .05 ค่า F ของคาบการสั่นที่ขึ้นกับรูปแบบพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 0.0008 น้อยกว่าค่าวิกฤติ (6.60) และค่า F ของคาบการสั่นที่ขึ้นกับขนาดพื้นที่ที่มีค่าเท่ากับ 4.06 น้อยกว่าค่าวิกฤติ (5.05) โดยมีค่า P-value เท่ากับ .075

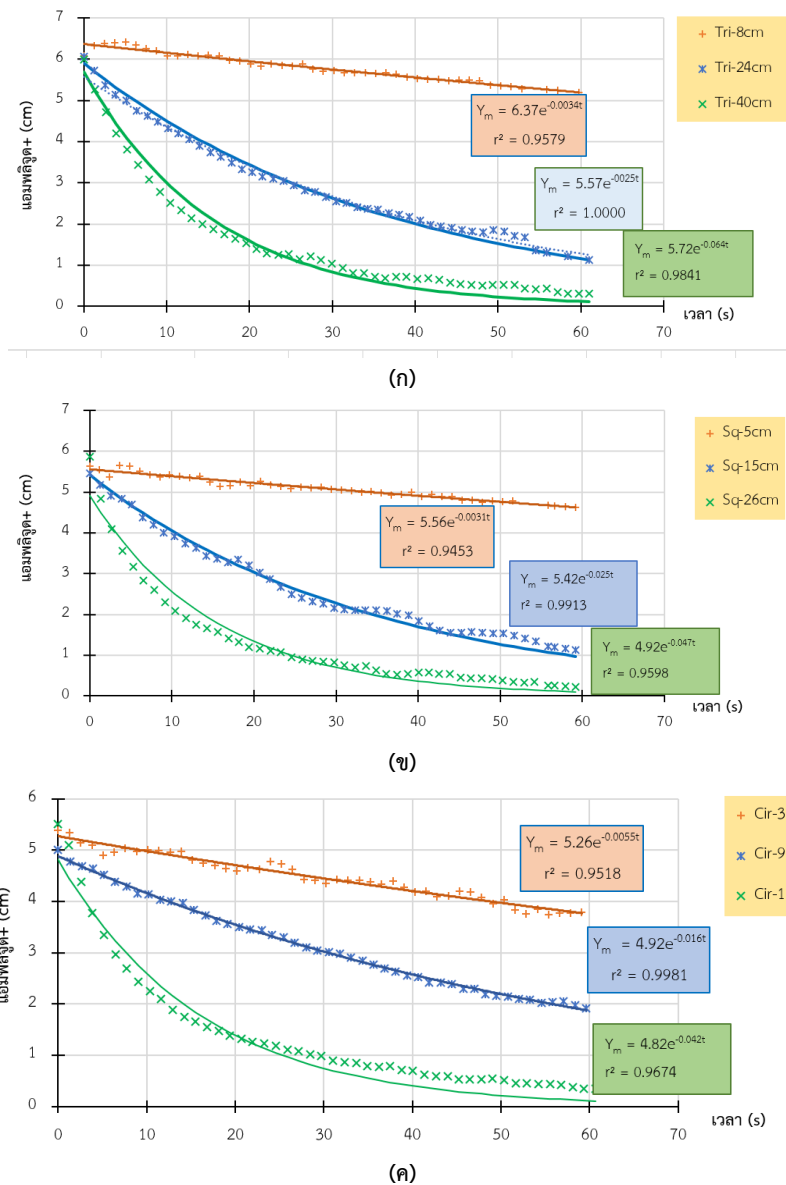
ลักษณะการสั่นของระบบมวลสปริงแสดงด้วยการกระจัดของระบบตามแนวแกน y มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างการสั่นของระบบมวลสปริงที่มีพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยม ด้านเท่า สีเหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม ที่มีพื้นที่ด้านอากาศระหว่าง 25–707 ตารางเซนติเมตร หลังจากทีระบบถูกดึงให้ต่ำกว่าแนวสมดุลเป็นระยะประมาณ 5 เซนติเมตร พบว่าการกระจัดตามแนวแกน y ดังกล่าวเป็นฟังก์ชันโคไซน์ แอมพลิจูดการสั่นของระบบที่มีพื้นที่ด้านอากาศขนาดใหญ่สุด ทั้งสามแบบลดลงตามเวลาการสั่นเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน เมื่อระบบสั่นไปเป็นเวลา 60 วินาที พบว่าแอมพลิจูดการสั่นของระบบที่มีพื้นที่ด้านอากาศขนาด 700 ตารางเซนติเมตร ลดลงประมาณร้อยละ 90 ในขณะที่กรณีของพื้นที่ด้านอากาศขนาด 25 ตารางเซนติเมตร มีแอมพลิจูดการสั่นลดลงประมาณร้อยละ 30



ภาพที่ 4 การกระจัดกับเวลาของการเคลื่อนที่ฮาร์มอนิกแบบหน่วงของมวลติดสปริง (ก) พื้นด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่าสีเหลือง สีน้ำเงิน และสีแดง แทนพื้นที่ 28, 249 และ 693 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ (ข) พื้นด้านอากาศแบบสีเหลี่ยมจัตุรัส สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีแดง แทนพื้นที่ 25, 225 และ 676 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ และ (ค) พื้นด้านอากาศแบบวงกลม สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีแดง แทนพื้นที่ 28, 254 และ 707 ตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

แอมพลิจูดที่เปลี่ยนไปกับเวลาการสั่นของแต่ละชุดการทดลอง ถูกนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลบนกระดาษคำนวณเอ็กซ์เซล เพื่อให้ได้สมการทั่วไปของแอมพลิจูดเป็น $Y_m = Y_0 \exp^{-Bt}$ ดังแสดงด้วยตัวอย่างในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดด้านบวก (ด้านที่มีการกระจัดสูงกว่าแนวสมดุล, $y=0$) จากข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จะเห็นว่าค่า Y_0 หรือแอมพลิจูดการสั่นที่เวลาเริ่มต้นของแต่ละชุดการทดลองมีค่าต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากการตั้งระบบให้ยืดออกก่อนปล่อยให้สั่นของแต่ละชุดการทดลองไม่เท่ากัน ค่า B (หน่วยเป็นต่อวินาที) หรือค่าคงตัวของสมการเอ็กซ์โพเนนเชียล กรณีพื้นที่ด้านอากาศขนาดเล็กสุดมีค่าระหว่าง 0.003–0.005 ต่อวินาที ส่วนกรณีพื้นที่ด้านอากาศขนาดกลางและใหญ่สุดมีค่าระหว่าง 0.02–0.05 ต่อวินาที ตามลำดับ ค่า B ที่เพิ่มมากขึ้นแสดงให้เห็นถึงการลดลงอย่างรวดเร็วของค่าแอมพลิจูดเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น สมการที่ดีที่สุดสำหรับการทำนายพฤติกรรมการลดลงของแอมพลิจูดต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กำลังสองมากกว่า 0.9 ชุดข้อมูลจากการสั่น 1 การทดลอง สามารถวิเคราะห์หาสมการที่ดีที่สุดของแอมพลิจูดที่เปลี่ยนไปกับเวลาได้ 2 สมการ จากค่าการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดด้านบวกและค่าบวกของแอมพลิจูดด้านลบ

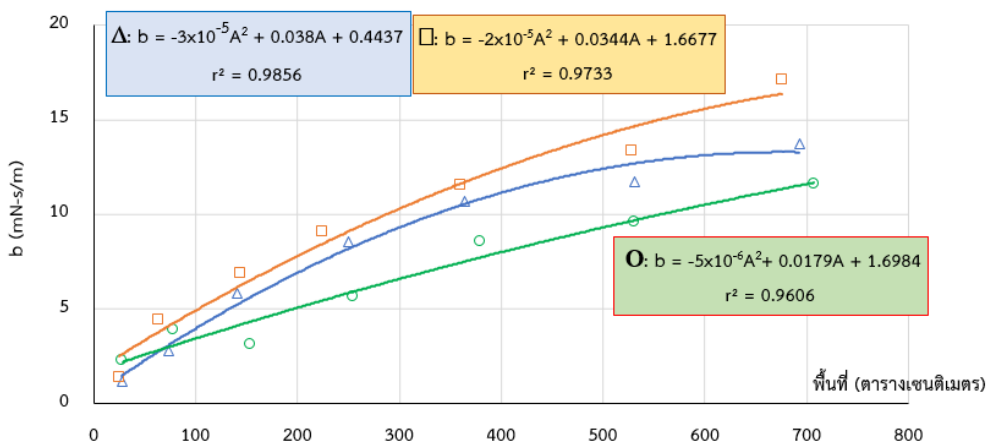
ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า B ที่ได้จากการสั่น 3 ครั้ง (6 สมการ) ถูกนำไปหาค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศ (b) ตามสมการ (4) ดังนั้น b จึงมีหน่วยเป็น kg/s หรือ N·s/m แต่เนื่องจากค่า b ของอากาศมีค่าน้อยมาก ข้อมูลที่น่าเชื่อถือจึงแสดงหน่วยของ b เป็น mN·s/m ดังแสดงในตารางที่ 2 ค่า b เฉลี่ย กรณีพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลมมีค่าระหว่าง 1.18–13.77, 1.38–17.13 และ 2.24–11.59 mN·s/m ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นกรณีพื้นที่ด้านอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการส่ายของระบบในแนวแกน x มากขึ้น ค่า b เฉลี่ยกรณีพื้นที่ด้านอากาศทั้งสามรูปแบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในรูปแบบสมการโพลิโนเมียลกำลังสองกับขนาดของพื้นที่ที่สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น $b = a_2 A^2 + a_1 A + a_0$ เมื่อ a_0 คือ ค่าคงตัวเมื่อ A มีค่าเท่ากับศูนย์ ส่วน a_1 และ a_2 เป็นค่าคงตัวที่คูณตัวแปร A และ A^2 ตามลำดับ สมการที่ดีที่สุดของค่า b แสดงในภาพที่ 6 แยกเป็น 3 กรณีตามลักษณะพื้นที่ด้านอากาศ ดังนี้ (1) กรณีพื้นที่แบบสามเหลี่ยมด้านเท่า: $b = -3 \times 10^{-5} A^2 + 0.0437A + 0.2725$ (2) กรณีพื้นที่แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส: $b = -2 \times 10^{-5} A^2 + 0.0399A + 1.2117$ และ (3) กรณีพื้นที่แบบวงกลม: $b = 4 \times 10^{-6} A^2 + 0.0186A + 1.3359$ สมการทั้งสามมีค่าคงตัว a_2 น้อยมากในระดับ 10^{-5} หรือ 10^{-6} ส่วนค่า a_0 ซึ่งหมายถึงค่าความหน่วงของอากาศในกรณีที่ไม่มีพื้นที่ด้านอากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3–1.4 mN·s/m ซึ่งจัดว่ามีค่าน้อยมาก



ภาพที่ 5 ตัวอย่างแอมพลิจูดด้านบวกที่ลดลงกับเวลา (ก) พื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า ความยาวด้าน 8, 24 และ 40 เซนติเมตร (ข) พื้นที่ด้านอากาศแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความยาวด้าน 5, 15 และ 26 เซนติเมตร และ (ค) พื้นที่ด้านอากาศแบบวงกลม รัศมี 3, 9 และ 15 เซนติเมตร (Y_m คือ แอมพลิจูดที่เวลา t วินาทีใด ๆ มีหน่วยเป็นเซนติเมตร สมการ เช่น $Y_m = 4.82e^{-0.062t}$ แสดงว่า Y_0 หรือ แอมพลิจูดที่ $t=0$ วินาที มีค่าเท่ากับ 4.82 เซนติเมตร และค่าคงตัว B ของสมการ คือ 0.062 ต่อวินาที)

ตารางที่ 2 ค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ขึ้นกับขนาดและลักษณะพื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม

พื้นที่แบบสามเหลี่ยมด้านเท่า		พื้นที่แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส		พื้นที่แบบวงกลม	
A(cm ²)	b(mN·s/m)	A(cm ²)	b(mN·s/m)	A(cm ²)	b(mN·s/m)
28	1.18±0.10	25	1.38±0.21	28	2.24±0.38
73	2.75±0.18	64	4.39±0.38	79	3.89±0.86
140	5.84±0.43	144	6.84±0.83	154	3.09±0.43
249	8.55±0.34	225	9.07±0.48	254	5.64±0.40
364	10.67±0.37	361	11.56±1.12	380	8.58±0.94
530	11.71±0.47	529	13.32±1.42	531	9.57±0.60
693	13.77±1.60	676	17.13±0.9	707	11.59±1.43



ภาพที่ 6 ค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศแปรตามขนาดและรูปร่างของพื้นที่ด้านอากาศ

อภิปรายผลการวิจัย

คาบการสั่นของมวลติดสปริงที่แสดงในภาพที่ 3 มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นกับขนาดของพื้นที่ด้านอากาศ ด้วยค่าสหสัมพันธ์กำลังสองอยู่ในระดับต่ำ นั่นหมายถึง T ก่อนข้างจะเป็นอิสระกับขนาดของ A ที่เปลี่ยนไปช่วง 25–707 ตารางเซนติเมตร ข้อมูลที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ สิริยุณานินันท์ และจิตรา เกตุแก้ว [9] และ พัฒนพงษ์ โพสพเจริญกุล และอภิก สันกลกิจ [10] โดยงานวิจัยทั้งสองใช้พื้นที่ด้านอากาศแบบวงกลมรัศมีระหว่าง 3–15 เซนติเมตร หรือมีพื้นที่ด้านอากาศขนาด 28–707 ตารางเซนติเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ สิริยุณานินันท์ และจิตรา เกตุแก้ว [8] ใช้สปริงที่มีค่าคงตัว 9.8 นิวตันต่อเมตร และมีมวลถ่วงรวม 100 กรัม พบว่าคาบการสั่นของระบบเพิ่มในช่วง 0.88–0.915 วินาที ความสัมพันธ์ระหว่างคาบกับรัศมีใกล้เคียงกับเส้นโค้งพาราโบลา หรือความสัมพันธ์ระหว่างคาบ

กับพื้นที่ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นเนื่องจากพื้นที่กับรัศมีมีความสัมพันธ์กันดังสมการ πR^2 ส่วนงานวิจัยของ พัฒนพงษ์ โพสพเจริญกุล และอภิก สันกลกิจ [10] ใช้สปริงที่ใช้มีค่าคงตัว 5.2 นิวตันต่อเมตร มีมวลถ่วงรวมคงตัวที่ 130 กรัม ตลอดจนติดตามการสั่นของระบบมวลติดสปริงด้วยการถ่ายภาพวิดีโอจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ และวิเคราะห์หาค่าคงที่ที่เปลี่ยนไปด้วยโปรแกรมแทรคเกอร์เวอร์ชัน 6.1 พบการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นของคาบการสั่นระหว่าง 1.06–1.13 วินาที ผลการวิเคราะห์หาค่าคงตัวของ การหน่วงเนื่องจากอากาศที่แสดงในภาพที่ 6 พบว่าค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศที่ได้จากงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่าระหว่าง 1–17 mN·s/m สอดคล้องกับผลการวิจัยของ สิริยญา นินันท์ และ จิตรา เกตุแก้ว [9] และ พัฒนพงษ์ โพสพเจริญกุล และอภิก สันกลกิจ [10] ที่วิเคราะห์หาค่า b ได้ระหว่าง 2–16 mN·s/m และ 8–12 mN·s/m ตามลำดับ

งานวิจัยนี้พบการเปลี่ยนแปลงของค่า b มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของพื้นที่ด้านอากาศ โดยกรณีพื้นที่ด้านอากาศน้อย ค่า b มีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นค่า b ยังขึ้นกับรูปร่างของพื้นที่ด้านอากาศ โดยค่า b กรณีพื้นที่ด้านอากาศแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีค่าสูงสุด ทั้งนี้อาจเกี่ยวข้องกับลักษณะพลศาสตร์อากาศที่ไหลผ่านพื้นที่สี่เหลี่ยมมากกว่ากรณีพื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่าหรือพื้นที่แบบวงกลม ความยากง่ายของการไหลพลศาสตร์อากาศที่ไหลผ่านสิ่งกีดขวางขึ้นกับรูปทรงของวัตถุ นิยามจากค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้าน (drag coefficient) ที่เป็นค่าคงตัวสำหรับอธิบายแรงต้าน (drag force) ขณะวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่แทรกเข้าไปในของไหลใด ๆ [13]

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของรูปร่างพื้นที่ด้านอากาศที่แตกต่างกันสามรูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ด้านอากาศแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส และแบบวงกลม ที่มีต่อการสั่นแบบหน่วงของมวลติดสปริงแบบยืดที่มีค่าคงตัวของสปริงขนาด 5 นิวตันต่อเมตร ซึ่งจัดให้มีการสั่นตามแนวดิ่งในอากาศขณะที่มีมวลถ่วงรวมคงตัวที่ 180 กรัม ผลการวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ด้านอากาศระหว่าง 25–707 ตารางเซนติเมตร คาบการสั่นของระบบเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยคาบการสั่นมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับพื้นที่ ดังสมการ $T=1.2525+5.3254 \times 10^{-5}A$ ส่วนค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศมีค่าระหว่าง 1–17 mN·s/m โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของพื้นที่ด้านอากาศ และยังขึ้นอยู่กับรูปทรงของพื้นที่ด้านอากาศด้วย ค่าคงตัวของการหน่วงเนื่องจากอากาศของพื้นที่ด้านอากาศแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากกว่ากรณีของพื้นที่สามเหลี่ยมด้านเท่าและพื้นที่แบบวงกลมเล็กน้อย อันอาจเป็นผลจากค่าสัมประสิทธิ์ของแรงต้านอากาศที่แตกต่างกันตามรูปร่างพื้นที่ด้านอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาฟิสิกส์และวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนด้านอุปกรณ์และสิ่งอำนวยความสะดวกในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown, D., & Cox, A. J. (2009). Innovative uses of video analysis. *The Physics Teacher*, 47(3), 145–150.
- [2] Kaewsutthi, C., & Wattanakasiwich, P. (2011). Student learning experiences from drag experiments using high speed video analysis. In *Proceedings of the Australian Conference on Science and Mathematics Education*, 181–186.
- [3] Wee, L. K., Tan, K. K., Leong, T. K., & Tan, C. (2015). Using tracker to understand ‘toss up’ and free fall motion: A case study. *Physics Education*, 50(4), 436–442.
- [4] Poonyawatpornkul, J., & Wattanakasiwich, P. (2015). High-speed video analysis of a rolling disc in three dimensions. *European Journal of Physics*, 36(6), 1–13.
- [5] Poonyawatpornkul, J., & Luksameevanish, V. (2018). High speed video technique analysis of an object moving on an inclined plane. *Naresuan university International Journal of Science*, 15(2), 16–24.
- [6] Chiriacescu, B., Chiriacescu, F. S., Miron, C., Berlic, C., & Bama, V. (2020). Arduino and tracker video-didactic tools for study of the kater pendulum physical experiment. *Romanian Reports in Physics*, 72, 901.
- [7] Poonyawatpornkul, J., Mangmee, K., & Methakeson, O. (2022). Oscillation of full and partial ring pendulum: Physics laboratory experiment. *Science & Technology Asia*, 27(3), 85–94.
- [8] Poonyawatpornkul, J., Snguanrat, B., & Chaiworn, P. (2024). A low-cost method for quantifying bouncing ball dynamics with smartphone video. *Physics Education*, 59(6), 065020.
- [9] สิริยญา นินนันท, และจิตรา เกตุแก้ว. (2562). ผลของแรงต้านอากาศต่อการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของระบบมวล-สปริง. ใน *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10*, 1130–1139.
- [10] พัฒนพงษ์ โพสพเจริญกุล, และอริก สันกลกิจ. (2565). ศึกษาอิทธิพลของแรงต้านอากาศต่อการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกของมวลติดสปริงโดยใช้กล้องวิดีโอความเร็วสูงจากกล้องโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโปรแกรม tracker. *รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่*.
- [11] Fowles, G. R., & Cassiday, G. L. (2005). *Analytical mechanics* (7th edition). Thomson Brooks/Cole.
- [12] Hinkle, D. E, William, W., & Stephen, G. J. (1998). *Applied statistics for the behavior sciences* (4th edition). Houghton Mifflin.
- [13] Aziz, E. S., Sven, E., & Chassapis, C. (2008). Online wind tunnel laboratory. In *Proceedings of the 2008 ASEE Annual Conference and Exposition*, 13-949.

การพัฒนากระบวนการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง สำหรับโรงพยาบาล

The Development of a Ventilator Counting System Based on the Internet of Things for Hospitals

ประณมกร ชูศรี*, ศิริรัตน์ โสฬส, ทวีวรรณ สาริบท และ โพธิ์ สินธุ

Pranomkorn Choosri*, Sirirat Solos, Tawiwan Sareebot & Po Sinchoo

สาขาวิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยคริสเตียน

Department of Biomedical Engineering, College of Health Sciences, Christian University of Thailand

Submitted 21/10/2024 ; Revised 13/11/2024 ; Accepted 25/12/2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการตรวจนับจำนวนเครื่องช่วยหายใจสำรองที่ห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานครโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงการขาดแคลนเครื่องช่วยหายใจในกรณีมีเหตุฉุกเฉิน และช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่ที่ต้องตรวจสอบจำนวนเครื่องช่วยหายใจด้วยตนเอง ระบบนี้ถูกออกแบบมาให้ตรวจนับเครื่องช่วยหายใจโดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดตรวจจับวัตถุ ซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านสัญญาณเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายและมีการแสดงผลบนเว็บไซต์ ซึ่งเจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบจำนวนเครื่องช่วยหายใจที่เหลืออยู่ได้ตลอดเวลา อีกทั้งยังมีระบบแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน เมื่อเครื่องช่วยหายใจเหลือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถดำเนินการเติมเครื่องช่วยหายใจได้ทันที ผลการทดสอบระบบพบว่าเซนเซอร์สามารถตรวจจับเครื่องช่วยหายใจได้อย่างแม่นยำคิดเป็นร้อยละ 96.67 ระบบแจ้งเตือนทำงานได้ดีโดยคิดเป็นร้อยละ 100 สำหรับการพัฒนาต่อยอดในอนาคต ทางผู้วิจัยจะออกแบบการแสดงผลของเว็บไซต์ให้มีความสวยงามมากขึ้นและพัฒนากระบวนการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ให้สามารถใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง อินฟราเรด เครื่องช่วยหายใจ โรงพยาบาล

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: pranomkornc@christian.ac.th

Abstract

The research focused on developing a counting system for spare ventilators in the emergency room of a hospital in Bangkok using Internet of Things (IoT) technology. The system aimed to prevent ventilator shortages during emergencies and reduce the workload of staff who would otherwise need to manually check the ventilator count. It was designed to count ventilators using object-detection infrared sensors and transmit the data via Wi-Fi, which was then displayed on a webpage. Hospital staff could continuously monitor the remaining number of ventilators, and a notification system via the Line application alerted them when the number of ventilators dropped below a set threshold. This allowed staff to promptly replenish ventilators as needed. The test results demonstrated that the sensors detected ventilators with 97% accuracy, while the alert system performed with 100% accuracy. For future development, improvements are expected in the aesthetic presentation of the website and the connectivity of devices in areas without wireless internet access.

Keywords: Internet of Things, infrared, ventilator, hospital

บทนำ

ในปัจจุบันโรงพยาบาลหลายแห่งในประเทศไทย โดยเฉพาะโรงพยาบาลที่ตั้งอยู่ในเมืองใหญ่ เช่น โรงพยาบาลราชวิถี โรงพยาบาลรามคำแหง และโรงพยาบาลศิริราช ซึ่งเป็นโรงพยาบาลขนาดใหญ่ที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครมีความจำเป็นต้องรับมือกับผู้ป่วยฉุกเฉินตลอดเวลา ผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษามีหลากหลายอาการ ทั้งจากอุบัติเหตุและโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ซึ่งบางครั้งมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องช่วยหายใจในการช่วยชีวิตของผู้ป่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีภาวะวิกฤติ [1, 2] การมีเครื่องช่วยหายใจสำรองไว้เพื่อรองรับเหตุการณ์ฉุกเฉินจึงมีความสำคัญอย่างมาก สำหรับหน่วยงานที่มีหน้าที่ในการดูแลเครื่องช่วยหายใจ ไม่ว่าจะเป็นการซ่อมแซม บำรุงรักษา การสอบเทียบ ตลอดจนการสำรองเครื่องช่วยหายใจให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา คือ เจ้าหน้าที่ในแผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซึ่งหนึ่งในกิจวัตรประจำวันของเจ้าหน้าที่จะต้องตรวจสอบความพร้อมของจำนวนเครื่องช่วยหายใจในแต่ละแผนกและคอยสำรองเครื่องไว้ใช้งานยามมีเหตุการณ์ฉุกเฉิน ในบางครั้งเจ้าหน้าที่วิศวกรชีวการแพทย์ในแต่ละโรงพยาบาลมีภาระงานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งอาจมีภาระงานซ้อนทับกันเป็นจำนวนมาก อาจทำให้การตรวจสอบจำนวนเครื่องช่วยหายใจในระหว่างวันมีความล่าช้าและมีโอกาสที่ทำให้จำนวนเครื่องช่วยหายใจไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things หรือ IoT) ถูกนำมาใช้ในงานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในการพัฒนานวัตกรรมต่าง ๆ [3] เนื่องจากระบบ IoT สามารถสร้างเครือข่ายและเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ลดต้นทุน ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน อีกทั้งยังช่วยให้สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ได้เป็นอย่างดี [4–6] ซึ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมทางการแพทย์ เช่น ระบบการดูแลผู้ป่วยแบบระยะไกลเพื่อลดความแออัดในโรงพยาบาลและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคติดต่อโดยเฉพาะช่วงที่มีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 [7, 8] ระบบการจัดการและติดตามเครื่องมือแพทย์ที่มีการใช้งานอยู่ในโรงพยาบาล [9, 10] นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางที่ทำให้นักวิจัยสามารถพัฒนาและต่อยอดนวัตกรรมที่เกี่ยวกับเครื่องมือแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในโรงพยาบาลได้ [11]

จากปัญหาและแนวทางในการพัฒนานวัตกรรมทางการแพทย์ที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นพัฒนาระบบการตรวจนับจำนวนเครื่องช่วยหายใจโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งเพื่อช่วยตรวจนับจำนวนเครื่องช่วยหายใจที่มีอยู่หน้าห้องฉุกเฉินแบบเรียลไทม์โดยใช้เซนเซอร์อินฟราเรดในการตรวจจับวัตถุและทำการส่งข้อมูลไปยังเว็บไซต์เพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถตรวจสอบจำนวนเครื่องช่วยหายใจได้ตลอดเวลา อีกทั้งระบบยังมีการแจ้งเตือนแบบอัตโนมัติเมื่อจำนวนเครื่องช่วยหายใจเหลือน้อยกว่าค่าที่กำหนดเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถเติมเครื่องสำรองได้ทันเวลาที่

สำหรับพื้นที่นำร่องที่ใช้ในการศึกษาของงานวิจัยนี้ได้แก่ โรงพยาบาลราชวิถี ซึ่งเป็นโรงพยาบาลของรัฐที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมากและยังประสบปัญหาเกี่ยวกับการสำรองเครื่องช่วยหายใจที่แผนกต่าง ๆ โดยเฉพาะที่ห้องฉุกเฉิน บริเวณหน้าห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลราชวิถีจะมีการสำรองเครื่องช่วยหายใจอยู่ทั้งหมด 12 เครื่อง ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นผู้วิจัยคาดหวังว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาในส่วนนี้ให้กับเจ้าหน้าที่ในแผนกวิศวกรรมชีวการแพทย์ได้

วัตถุประสงค์

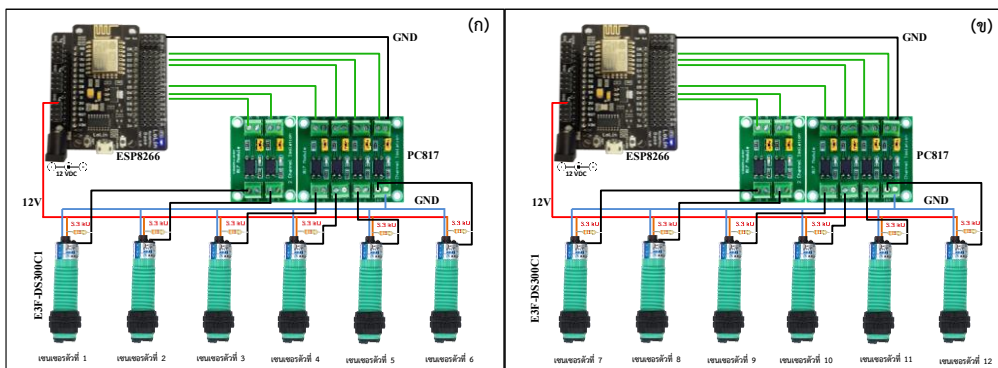
1. เพื่อสร้างระบบตรวจนับและแสดงจำนวนเครื่องช่วยหายใจที่ใช้สำรองบริเวณหน้าห้องฉุกเฉิน
2. เพื่อลดความเสี่ยงของการขาดแคลนเครื่องช่วยหายใจในสถานะฉุกเฉิน

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยออกแบบวิธีดำเนินการวิจัยไว้ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การออกแบบโครงสร้าง ส่วนที่ 2 การออกแบบระบบแสดงผลและการแจ้งเตือนจำนวนเครื่องช่วยหายใจ และส่วนที่ 3 วิธีการประเมินผลการวิจัย ซึ่งตัวแปรควบคุมที่จะส่งผลต่อการวิจัย คือ พื้นที่ที่ใช้งานจะต้องมีอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย และระยะตรวจจับระหว่างเซนเซอร์และเครื่องช่วยหายใจจะต้องไม่เกิน 3.0 เมตร

1. การออกแบบโครงสร้าง

การออกแบบโครงสร้างสำหรับติดตั้งเซนเซอร์ ใช้ท่อ PVC สีขาว เส้นผ่านศูนย์กลาง 22.0 มิลลิเมตร มีข้อต่อ ข้อต่อตรง และข้อต่อสามทาง จากนั้นนำมาต่อโครงสร้างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีขนาดความกว้าง 2.0 เมตร และความยาว 3.0 เมตร และใช้ลวดเป็นตัวยึดโครงสร้างกับเพดานที่หน้าห้องฉุกเฉิน ซึ่งเซนเซอร์ที่เลือกใช้เป็นเซนเซอร์ประเภท photoelectric sensor (รุ่น E3F-DS300C1) ที่ใช้หลักการของแสงในการตรวจจับวัตถุ โดยเซนเซอร์นี้สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการตรวจสอบ ซึ่งช่วยให้การตรวจจับมีความแม่นยำและรวดเร็ว และมีระยะการตรวจจับวัตถุได้สูงสุด 3.0 เมตร อีกทั้งสามารถปรับระยะการตรวจจับได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทำให้เหมาะสมกับการใช้งานในหลาย ๆ สถานการณ์ เช่น ระบบอัตโนมัติในสายการผลิต การตรวจสอบวัตถุในลำเลียง หรือการป้องกันความปลอดภัยในพื้นที่อันตราย [12–14] และขนาดของเซนเซอร์มีความกะทัดรัดและติดตั้งง่าย จึงทำให้สามารถนำไปใช้งานในสถานที่ที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่สำคัญยังสามารถเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 [15] ได้ง่ายโดยใช้สัญญาณดิจิทัลเพื่ออ่านค่าการตรวจจับของเซนเซอร์ ลักษณะของเซนเซอร์แสดงดังภาพที่ 1 และรูปแบบของโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์ (ก) ชุดที่ 1 สำหรับติดตั้งตามเครื่องช่วยหายใจเครื่องที่ 1–6 (ข) ชุดที่ 2 สำหรับติดตั้งตามเครื่องช่วยหายใจเครื่องที่ 7–12

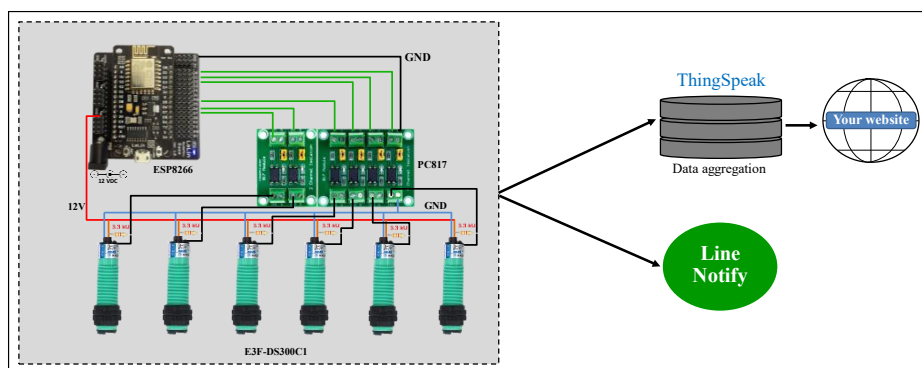


ภาพที่ 2 ลักษณะของการติดตั้งชุดอุปกรณ์ที่หน้าห้องฉุกเฉิน

จากภาพที่ 2 ระบบการตรวจจับเครื่องช่วยหายใจชุดที่ 1 จะตรวจนับเครื่องช่วยหายใจรุ่น high flow จำนวน 6 เครื่อง และชุดที่ 2 จะตรวจนับเครื่องช่วยหายใจรุ่น Vela จำนวน 4 เครื่อง และ BiPAP จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งแต่ละเครื่องจะมีระยะความสูงจากพื้นถึงเซนเซอร์ไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงออกแบบให้ชุดที่ 1 ติดตามเครื่องประเภทเดียวกัน เพื่อสะดวกต่อการปรับระยะของเซนเซอร์ ส่วนชุดที่ 2 จะต้องปรับระยะแยกตามประเภทของเครื่องช่วยหายใจ

2. การออกแบบระบบแสดงผลและการแจ้งเตือนจำนวนเครื่องช่วยหายใจ

ในส่วนของการแสดงผลและการแจ้งเตือน ผู้วิจัยได้สอบถามเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงาน พบว่าเจ้าหน้าที่ต้องการให้มีการแสดงผลในรูปแบบของแดชบอร์ด (dashboard) ที่แผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์และให้มีการแจ้งเตือนไปยังไลน์ของส่วนงานวิศวกรรมชีวการแพทย์หากเครื่องช่วยหายใจเหลือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบ โดยสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากการอ่านของเซนเซอร์จะถูกส่งไปยัง ThingSpeak [16] ซึ่งเป็นเว็บแอปพลิเคชันที่ให้บริการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่องตามเวลา และนำข้อมูลที่ได้นั้นแสดงผลบนหน้าเว็บ Thingspeak.com อีกทั้งยังสามารถเก็บเป็นสถิติเพื่อดูข้อมูลย้อนหลังได้ว่าในแต่ละวันมีการใช้งานเครื่องมากน้อยเพียงใด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกสร้างเว็บไซต์ด้วยแพลตฟอร์มของ Google Sites เนื่องจากง่ายต่อการใช้งานและสามารถเลือกตกแต่งหน้าเว็บไซต์ได้ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ระบบยังเชื่อมต่อกับไลน์แอปพลิเคชันเพื่อแจ้งจำนวนเครื่องช่วยหายใจหากมีจำนวนเหลือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานของระบบแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบการทำงานของแสดงผลและการแจ้งเตือน

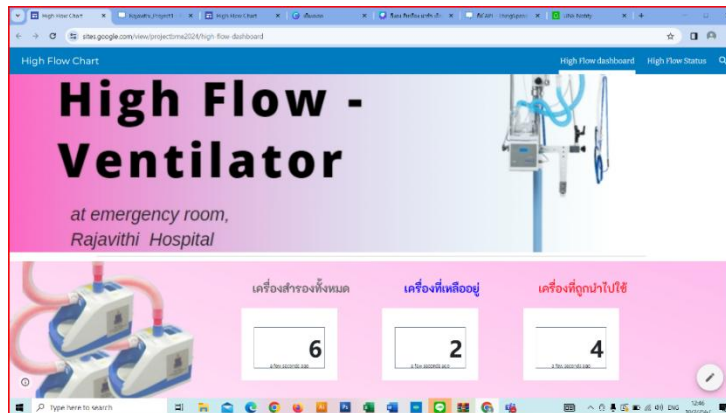
เมื่อผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างและระบบเรียบร้อยแล้วนั้น ผู้วิจัยจะทดสอบระบบพร้อมกับตั้งค่าจำนวนเครื่องช่วยหายใจที่จะทำให้มีการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันของส่วนงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกำหนดให้เครื่องช่วยหายใจเหลือไม่น้อยกว่า 3 เครื่อง (จำนวนเครื่องนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้จากผู้ใช้งาน)

3. วิธีการประเมินผลการวิจัย

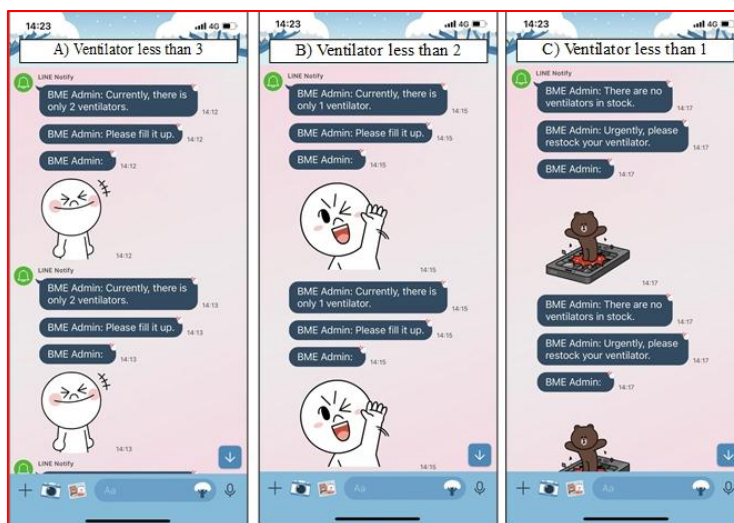
ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีการประเมินผลการวิจัยทั้งหมด 3 วิธี ได้แก่ 1) การทดสอบการตรวจจับเครื่องช่วยหายใจของเซนเซอร์ 2) การทดสอบการส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak และเว็บไซต์ 3) การทดสอบการแจ้งเตือนข้อมูลโดยใช้ไลน์แอปพลิเคชัน

ผลการวิจัย

สำหรับผลการวิจัยในส่วนของการแสดงผลในหน้าเว็บไซต์ของ Google Sites ผู้วิจัยได้แสดงตัวเลขของเครื่องทั้งหมดที่มีอยู่ รวมทั้งเครื่องที่มีการใช้งานไปแล้วที่หน้าห้องฉุกเฉิน ซึ่งหน้าตานี้จะแสดงผลอยู่ที่แผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ หรือผู้ปฏิบัติงานสามารถเข้าดูเว็บไซต์ได้ในโทรศัพท์มือถือเช่นเดียวกัน (ภาพที่ 4) และเมื่อเครื่องช่วยหายใจที่หน้าห้องฉุกเฉินเหลือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ เช่น เหลืออยู่ 2 เครื่อง จะมีแจ้งเตือนไปที่ไลน์แอปพลิเคชันของแผนกวิศวกรรมชีวการแพทย์ทันที (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างหน้าเว็บไซต์ที่แสดงสถานะ ณ ขณะที่มีเครื่องเหลืออยู่ 2 เครื่อง และเครื่องที่เหลือใช้ 4 เครื่อง



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชัน

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้ทดสอบการทำงานของระบบ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การทดสอบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจของเซนเซอร์ทั้ง 12 ตัว การทดสอบการส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak และหน้าเว็บไซต์ การทดสอบการแจ้งเตือนข้อมูลโดยใช้ไลน์แอปพลิเคชัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการตรวจจับเครื่องช่วยหายใจของเซนเซอร์

ครั้งที่/ เซนเซอร์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ คือ ตรวจจับได้ทันที ○ คือ ตรวจจับได้แบบมีเงื่อนไข

จากตารางที่ 1 พบว่าการตรวจจับเครื่องช่วยหายใจด้วยเซนเซอร์ทั้ง 12 ตัว มีความแม่นยำสูง โดยในสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบสูงสุด เซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 4 มีเวลาตอบสนองช้ากว่าเซนเซอร์ตัวอื่น ๆ ประมาณ 5 วินาที อย่างไรก็ตาม ความล่าช้านี้ยังคงอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ และไม่มีผลกระทบต่อการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจโดยรวม

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak และหน้าเว็บไซต์ (ส่งทุก ๆ 15 วินาที)

ครั้งที่/ เซนเซอร์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	✓	✓	✓	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	○	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ คือ ตรวจจับได้ทันที ○ คือ ตรวจจับได้แบบมีเงื่อนไข

จากตารางที่ 2 พบว่า เซนเซอร์ทั้ง 12 ตัวสามารถส่งข้อมูลที่สามารถอ่านได้ไปยัง ThingSpeak และหน้าเว็บไซต์ได้สำเร็จ โดยความเร็วสูงสุดในการส่งข้อมูลถูกกำหนดไว้ที่ทุก ๆ 15 วินาที ซึ่งเป็นข้อจำกัดของแพลตฟอร์ม ThingSpeak อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดดังกล่าวไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริง

ในสถานการณ์ที่ส่งผลกระทบสูงสุดพบว่า เซนเซอร์ตัวที่ 1 และตัวที่ 4 มีความล่าช้าในการส่งข้อมูลในบางครั้ง แต่ความสามารถในการส่งข้อมูลโดยรวมยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดของระบบ และไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานและแสดงผลข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการแจ้งเตือนข้อมูลโดยใช้ไลน์แอปพลิเคชัน

ครั้งที่	จำนวนเครื่องสำรองที่เหลืออยู่		
	2 เครื่อง	1 เครื่อง	0 เครื่อง
1	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ คือ ตรวจจับได้ทันที ○ คือ ตรวจจับได้แบบมีเงื่อนไข

จากตารางที่ 3 เป็นการทดสอบการแจ้งเตือนจำนวนของเครื่องช่วยหายใจที่เหลืออยู่น้อยกว่า 3 เครื่อง ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นว่าเมื่อเซนเซอร์ตรวจจับได้ว่ามีเครื่องช่วยหายใจอยู่ 2 เครื่อง 1 เครื่อง และไม่มีจำนวนเครื่องช่วยหายใจเหลืออยู่เลย ระบบสามารถส่งข้อมูลไปยังไลน์แอปพลิเคชันของแผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ได้ทันที และเมื่อเติมเครื่องช่วยหายใจจนกระทั่งมีจำนวนเครื่องช่วยหายใจมากกว่า 2 เครื่อง ระบบก็จะหยุดการแจ้งเตือน

สำหรับกลไกในการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันนั้น หากจำนวนเครื่องช่วยหายใจเหลือ 2 เครื่อง ระบบจะส่งข้อมูลผ่านไลน์แอปพลิเคชันของแผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ ทุก ๆ 5 นาที จนกว่าจะมีการเติมเครื่องช่วยหายใจให้มีจำนวนมากกว่า 2 เครื่อง จึงจะหยุดการทำงาน หากจำนวนเครื่องช่วยหายใจเหลือ 1 เครื่อง ระบบจะแจ้งเตือนทุก ๆ 2 นาที และหากไม่มีจำนวนเครื่องช่วยหายใจไม่เหลืออยู่เลย ระบบจะแจ้งเตือนทุก ๆ 30 วินาที เพื่อให้เจ้าหน้าที่รีบเติมเครื่องช่วยหายใจแบบเร่งด่วน ก่อนที่จะเกิดเหตุฉุกเฉิน

อภิปรายผลการวิจัย

การพัฒนาาระบบตรวจนับจำนวนเครื่องช่วยหายใจโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งที่ห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลราชวิถี ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างและระบบการทำงานของชุดอุปกรณ์ ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า เซนเซอร์อินฟราเรดสามารถตรวจจับเครื่องช่วยหายใจได้อย่างแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องช่วยหายใจคนละประเภทที่มีความสูงแตกต่างกัน แต่อาจจะมียางครั้งที่เซนเซอร์มีการส่งสัญญาณล่าช้า แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบและแสดงผลข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน ในส่วนของการแสดงผลและการแจ้งเตือนถือว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีการแจ้งเตือนได้อย่างรวดเร็ว แต่อาจจะต้องมีการออกแบบเว็บไซต์ให้มีความสวยงามมากขึ้น หรืออาจจะเลือกใช้แพลตฟอร์มอื่นในการสร้างเว็บไซต์

นอกจากนี้ ผลการทดลองของงานวิจัยยังสอดคล้องกับงานของ กรกนก สาระนั้น และ นันทิยา ชัยบุตร [12] เกี่ยวกับความแม่นยำในการตรวจจับของเซนเซอร์แบบอินฟราเรดที่ใช้ในการตรวจจับการลุ่มในท้องน้ำในระย 0.20–1.50 เมตร และมีระบบการแจ้งเตือนผ่านไลน์แอปพลิเคชันเช่นเดียวกัน อีกทั้งยังมีงานวิจัยของ นิรมล เรืองพยุงค์ดี [13] ที่ใช้เซนเซอร์อินฟราเรดในการติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบในระย 0.20–1.50 เมตร และความเร็วในการตรวจวัดค่อนข้างเร็วและแม่นยำ สำหรับความแตกต่างของงานวิจัยนี้ คือ เซนเซอร์อินฟราเรดที่เลือกใช้สามารถตรวจจับวัตถุในระยสูงสุดได้ถึง 3.0 เมตร ซึ่งจะครอบคลุมกับความสูงของเครื่องช่วยหายใจในแต่ละรุ่นที่ทางโรงพยาบาลได้ใช้งาน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับโรงพยาบาลที่ห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลราชวิถี โดยมีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงในการขาดแคลนเครื่องช่วยหายใจและช่วยลดภาระงานของเจ้าหน้าที่แผนกวิศวกรรมชีวการแพทย์ ซึ่งผลการทดสอบของระบบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจที่พัฒนาขึ้น พบว่า เซนเซอร์สามารถตรวจนับเครื่องช่วยหายใจได้อย่างแม่นยำ และยังสามารถรายงานผลการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจในหน้าแดชบอร์ดได้ตลอดเวลา

อีกทั้งหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินที่เครื่องช่วยหายใจเหลือน้อยกว่าค่าที่กำหนด ระบบสามารถแจ้งเตือนไปยังแผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ได้อย่างทันท่วงที ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการพัฒนาระบบนี้เป็น การตอบโจทย์ต่อปัญหาที่พบเจอในปัจจุบัน และยังสามารถพัฒนาต่อยอดไปยังแผนกต่าง ๆ ในโรงพยาบาลได้ รวมทั้งยังเป็นการพัฒนาที่สอดคล้องกับแนวคิดโรงพยาบาลอัจฉริยะ (smart hospital) ที่มุ่งเน้นการใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการและดูแลผู้ป่วย สำหรับ ข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้ หากมีการพัฒนาต่อยอดในอนาคตจะพัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้ ทุกพื้นที่โดยเฉพาะพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย รวมทั้งการแสดงข้อมูลการใช้งานของ เครื่องช่วยหายใจในแต่ละประเภทเพื่อเก็บข้อมูลเชิงสถิติให้กับทางผู้ใช้งานและนำไปสู่การวางแผน บริหารจัดการเครื่องมือแพทย์ในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่แผนกงานวิศวกรรมชีวการแพทย์ โรงพยาบาลราชวิถี ที่ให้คำแนะนำ ในการพัฒนาระบบการตรวจนับเครื่องช่วยหายใจด้วยอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งสำหรับโรงพยาบาลและ อำนาจความสะดวกในการติดตั้งชุดอุปกรณ์บริเวณห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาลราชวิถี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gholamhosseini, L., Sadoughi, F., & Safaei, A. (2019). Hospital real-time location system (a practical approach in healthcare): A narrative review article. *Iranian Journal of Public Health*, 48(4), 593–602.
- [2] Uslu, B. C., Okay, E., & Dursun, E. (2020). Analysis of factors affecting IoT-based smart hospital design. *Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications*, 9(1), 1–23.
- [3] Lampropoulos, G., Siakas, K., & Anastasiadis, T. (2019). Internet of Things in the context of industry 4.0: An overview. *International Journal of Entrepreneurial Knowledge*, 7(1), 4–19.
- [4] จุฬาลักษณ์ มณีเลิศ, พิรุฬห์ แก้วรุ่งรังษี, ประธาน คำจันะ, และพรวนา รัตนชูโชค. (2567). การพัฒนา เครื่องตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิเมล็ดกาแฟด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง. *วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต*, 8(2), 24–38.
- [5] สุวิทย์ ภูมิฤทธิกุล, และปานวิทย์ ชูระนุติ. (2559). Internet of Thing เพื่อการเฝ้าระวังและเตือนภัยต่อสุขภาพของมนุษย์และการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรม Hadoop. *วารสารวิชาการ ปทุมวัน*, 6(15), 61–72.
- [6] กรวิวัฒน์ ไตรวิทย์, ขจร ฝ่ายเทศ, และวราพรณ อภิสุกะโชค. (2566). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับ นวัตกรรมบริการทางการแพทย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของบุคลากรทางการแพทย์ในโรงพยาบาล ส่งเสริมสุขภาพตำบล. *วารสารมหาจุฬานาครทรรณ*, 10(4), 198–211.

- [7] Hong, Y. R., Lawrence, J., Williams, D., Jr., & Mainous, I. A. (2020). Population-level interest and telehealth capacity of US hospitals in response to COVID-19: Cross-sectional analysis of Google search and national hospital survey data. *JMIR Public Health and Surveillance*, 6(2), 1–8.
- [8] Abdulmalek, S., Nasir, A., Jabbar, W. A., Almuhaaya, M. A. M., Bairagi, A. K., Khan, M. A., & Kee, S. H. (2022). IoT-based healthcare-monitoring system towards improving quality of life: A review. *Healthcare*, 10(10), 1–32.
- [9] ลัดดาวัลย์ ทองเกลี้ยง. (2564). ผลการพัฒนาสมรรถนะของพยาบาลวิชาชีพยุค 4.0 ในการดูแลผู้ป่วยใช้เครื่องช่วยหายใจชนิดควบคุมด้วยปริมาตร หอผู้ป่วยไอซียูอายุรกรรม 4 โรงพยาบาลสุราษฎร์ธานี. *วารสารวิจัยและนวัตกรรมทางสุขภาพ*, 4(2), 54–64.
- [10] Saleh, N., & Salem, A. R. (2017). An automated medical equipment management system proposed for small-scale hospitals. *Journal of Clinical Engineering*, 42(4), 1–8.
- [11] Bhan, R. K., & Dhar, V. (2019). Recent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization. *Opto-Electronics Review*, 27(2), 174–193.
- [12] กรกนก สาระนั้น, และนันทิยา ชัยบุตร. (2563). การตรวจจับและแจ้งเตือนอัตโนมัติของการล้นในห้องน้ำโดยเซนเซอร์อินฟราเรด. *วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 15(1), 45–53.
- [13] นิรมล เรืองพุงศักดิ์. (2557). การติดตามเส้นทางการเคลื่อนที่ของวัตถุบนระนาบด้วยกล้องและเซนเซอร์อินฟราเรด. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 24(2), 247–256.
- [14] Kumar, A., Dhanagopal, R., Albreem, M. A., & Le, D.-N. (2021). A comprehensive study on the role of advanced technologies in 5G based smart hospital. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5527–5536.
- [15] Mariza, W. (2022). Prototype smart home dengan NodeMCU ESP8266 berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(2), 101–107.
- [16] Parida, D., Behera, A., Naik, J. K., Pattanaik, S., & Nanda, R. S. (2019). Real-time environment monitoring system using ESP8266 and ThingSpeak on Internet of Things platform. In *International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS)*, 225–229.

ระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไพบี และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

A Real-Time Hand Gesture Recognition System for Elderly Care Using MediaPipe and Line Application

พรwana รัตนชูโชค* และ จุฬาวาลี มณีเลิศ

Ponwana Rattanachuchok* & Chulawalee Maneelert

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

Submitted 07/01/2025 ; Revised 16/02/2025 ; Accepted 21/03/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไพบีและแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ วัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไพบี และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เมื่อตรวจพบท่าทางมือตามที่กำหนดไว้ ระบบส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ การพัฒนาต้นแบบ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย Raspberry Pi 5 และ Raspberry Pi Camera Module 3 และส่วนของซอฟต์แวร์ ระบบแจ้งเตือนการตรวจจับท่าทางแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ พบว่าต้นแบบระบบสามารถตรวจจับท่าทางการขอความช่วยเหลือได้จำนวน 3 ท่า และแสดงผลการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ได้ ผลการวัดความถูกต้อง ท่าที่ 1 ท่าเลิฟ มีความถูกต้อง 93% ท่าที่ 2 ท่าชี้ขึ้น มีความถูกต้อง 98.5% และท่าที่ 3 ท่าชูสองนิ้ว มีความถูกต้อง 99.5% สามารถนำไปใช้งานกับผู้สูงอายุในการส่งสัญญาณท่าทางมือให้กับผู้ดูแลต่อไปได้

คำสำคัญ: ท่าทางมือ ผู้สูงอายุ มีเดียไพบี

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: ponwana.r@g.cmru.ac.th

Abstract

This research presented a real-time hand gesture recognition system for elderly care using MediaPipe and the LINE application. The primary objective was to develop a prototype of a real-time hand gesture recognition system for elderly care using MediaPipe and the LINE application. When predefined hand gestures were detected, the system sent notification alerts to users via the LINE application. The prototype development was divided into two main components: hardware, consisting of a Raspberry Pi 5 and a Raspberry Pi Camera Module 3; and software, featuring a gesture detection notification system integrated with LINE. The innovation effectively identified three specific gestures used for requesting assistance and delivered alerts via the LINE application. Accuracy measurements for the system showed that Gesture 1 ("love") achieved 93%, Gesture 2 ("pointing up") reached 98.5%, and Gesture 3 ("victory") attained 99.5%. This innovation demonstrated its potential applicability in assisting elderly individuals by enabling them to communicate with caregivers using simple hand signals.

Keywords: hand gesture, elderly, MediaPipe

บทนำ

ผู้สูงอายุ หมายถึง บุคคลที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีบริบูรณ์ขึ้นไป ประเทศไทยก้าวเข้าสู่การเป็นสังคมสูงอายุ (ageing society) มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 เป็นต้นมา โดย 1 ใน 10 ของประชากรไทยเป็นประชากรที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปีขึ้นไป [1] เมื่อเข้าสู่วัยสูงอายุร่างกายย่อมเสื่อมไปตามกาลเวลา แต่ละคนมีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกทั้งพฤติกรรมการใช้ชีวิต อาหาร ความเครียด การออกกำลังกาย จากการวิจัยการวิเคราะห์ภาวะสุขภาพ ภาวะโรคและความต้องการบริการด้านสุขภาพในผู้สูงอายุ โดยมูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย (มส.ผส.) และ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) พบว่าจำนวนผู้ป่วยสูงอายุชายที่มารับบริการในสถานบริการของกระทรวงสาธารณสุขในปี 2562 จำนวนกว่า 5.1 ล้านคน มีผู้ป่วยอันดับหนึ่งคือ โรคเบาหวาน คิดเป็นร้อยละ 19.90 อันดับสองคือ โรคเลือดสมอง ร้อยละ 5.83 อันดับสามคือ โรคข้อเสื่อม ร้อยละ 5.80 และอันดับสี่คือ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง [2]

ท่าทางมือ (hand gesture) เป็นรูปแบบหนึ่งของการสื่อสารที่ไม่ใช้คำพูด ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น การสื่อสารระหว่างผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน บกพร่องทางการพูด ใช้ท่าทางมือควบคุมหุ่นยนต์ การใช้งานระบบอัตโนมัติที่เชื่อมต่อระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ไปจนถึงการใช้งานทางการแพทย์ [3] การตรวจจับท่าทางมือ (hand gesture recognition) เป็นการประยุกต์ใช้งาน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (computer vision) และการตรวจจับวัตถุ (object detection) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการโต้ตอบระหว่างมนุษย์กับเครื่องจักร เกม และการดูแลสุขภาพ [4] โดยตรวจจับตำแหน่งบนมือ และติดตามตำแหน่งรวมถึงท่าทางของมือ ปัจจุบันมีการนำไปประยุกต์ใช้งานหลายด้าน เช่น การใช้ท่าทางมือในการโต้ตอบ สิ่งงานด้วยท่าทางมือ ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถจับภาพ และตีความท่าทางมือและคำสั่งที่ดำเนินการได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์จริง [5, 6] การดูแลสุขภาพที่บูรณาการกับแนวคิดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยการดูแลสุขภาพผู้ป่วยในระยะไกลโดยจดจำท่าทางและตรวจสอบการทำกิจกรรมของผู้ป่วย [7]

มีเดียไปป์ (MediaPipe) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการใช้งานเกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ และการเรียนรู้ของเครื่อง โครงการที่พัฒนาเป็นโครงการโอเพ่นซอร์สสำหรับการให้บริการหลายแพลตฟอร์ม เช่น การตรวจจับวัตถุ (object detection) การตรวจจับจุดสำคัญบนร่างกาย (pose landmark detection) การตรวจจับจุดของมือ (hand landmark detection) การตรวจจับมือเป็นโมเดลที่ออกแบบมาเพื่อจดจำมือ และจุดสำคัญบริเวณมือ นิ้วมือ ฝ่ามือ สามารถตรวจจับข้อมูลนำเข้าที่เป็นภาพนิ่ง วิดีโอ หรือวิดีโอแบบเรียลไทม์ [8] มีเดียไปป์เป็นเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูงในการจำแนกท่าทางมือซึ่งใช้รูปแบบการจำแนกประเภท support vector machine [9, 10] ปัจจุบันมีการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ดังงานวิจัยเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุใช้งานมีเดียไปป์ ตรวจจับจุดสำคัญบนร่างกายใช้ตรวจจับการล้ม [11] การประยุกต์ใช้มีเดียไปป์ตรวจจับจุดของมือสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยภาษามือ สามารถใช้แปลงภาษาทางมือเป็นข้อความได้ [12] ทั้งยังมีงานวิจัยที่ใช้มีเดียไปป์ ช่วยเกี่ยวกับการพิมพ์ข้อความอักขระโดยการใช้สัญญาณมือ [13]

จากที่กล่าวมาข้างต้น ประเทศไทยเข้าสู่สังคมสูงอายุ และอัตราการเจ็บป่วยที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น มีผู้ป่วยจำนวนหนึ่งที่ไม่สามารถพูด หรือเคลื่อนไหวร่างกายได้อย่างสะดวก และบางรายได้รับการดูแลที่บ้าน ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และแจ๊สเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ จัดทำในลักษณะของกล่องจับภาพไปยังผู้สูงอายุ เมื่อผู้สูงอายุใช้ท่าทางหรือส่งสัญญาณมือไปทางกล่อง ระบบทำการแจ้งเตือนโดยการแสดงข้อความการร้องขอความช่วยเหลือของผู้สูงอายุ เช่น ต้องการความช่วยเหลือ ต้องการไปห้องน้ำ หรือสบายดี เป็นต้น ไปยังผู้ดูแล หรือญาติ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ สามารถเป็นต้นแบบที่ดีในการดูแล และให้ความช่วยเหลือผู้สูงอายุต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาต้นแบบระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และแจ๊สเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุ

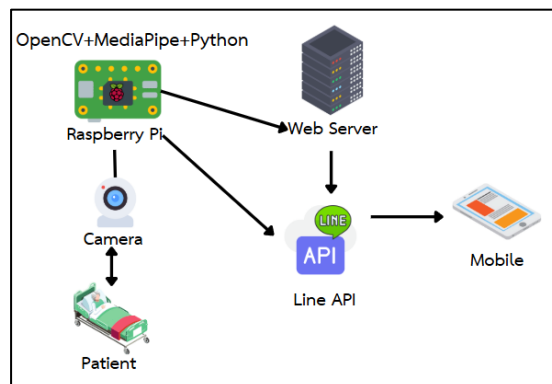
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิเคราะห์และออกแบบส่วนของอุปกรณ์การตรวจจับท่าทางมือ

การวิเคราะห์และออกแบบส่วนของอุปกรณ์ การตรวจจับท่าทางมือ สำหรับการตรวจจับท่าทางของมือในการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ หรือความต้องการบางอย่างให้กับผู้ดูแล การวิเคราะห์และออกแบบส่วนของอุปกรณ์มีดังนี้

- 1) Raspberry Pi สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ Raspberry Pi 5
- 2) โมดูลกล้อง สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ Raspberry Pi Camera Module 3 - 12MP

การพัฒนาส่วนอุปกรณ์ตรวจจับท่าทางของมือสำหรับการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือ แสดงการเชื่อมต่อส่วนอุปกรณ์ตรวจจับท่าทางมือ และการทำงานโดยรวมของระบบ ดังนี้



ภาพที่ 1 การทำงานโดยรวมของระบบ

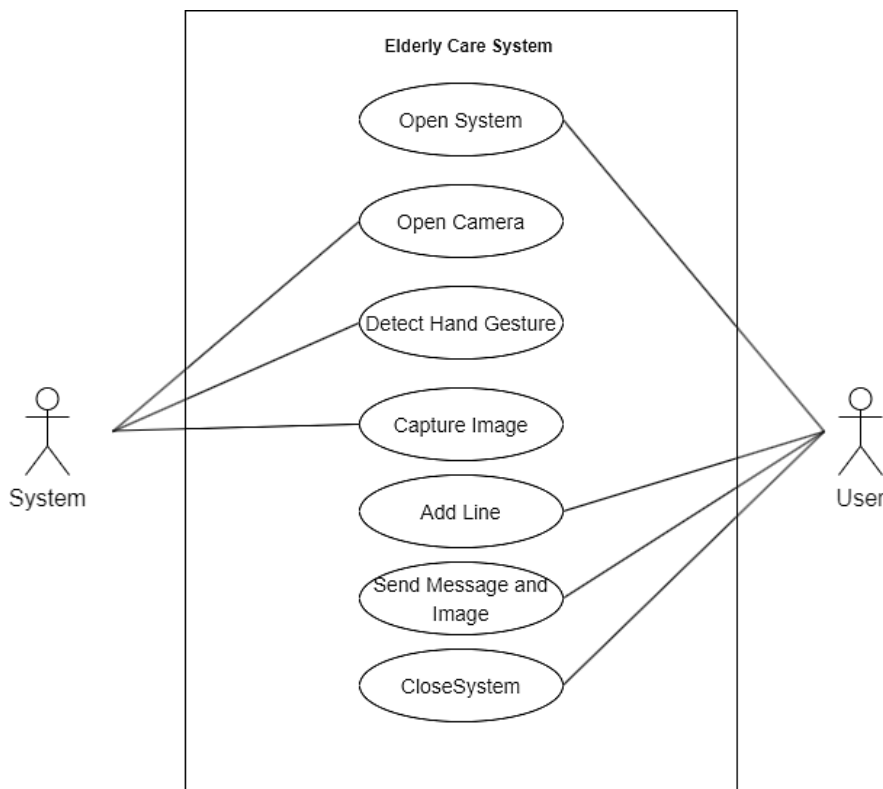
ระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์ และแจ๊สเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

จากการทำงานโดยรวมของระบบ (ภาพที่ 1) มีกล้องตรวจจับการเคลื่อนไหวของมือ จับภาพมือของผู้ป่วย ส่งข้อมูลไปยัง Raspberry Pi ประมวลผลด้วย Open CV มีเดียไปป์ และ Python ส่งผลการทำงานไปที่เซิร์ฟเวอร์ และ Line API แสดงผลการแจ้งเตือนให้ผู้ดูแลทางไลน์แอปพลิเคชัน

การวิเคราะห์และออกแบบระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุ

1) แผนภาพยูสเคส ไดอะแกรม

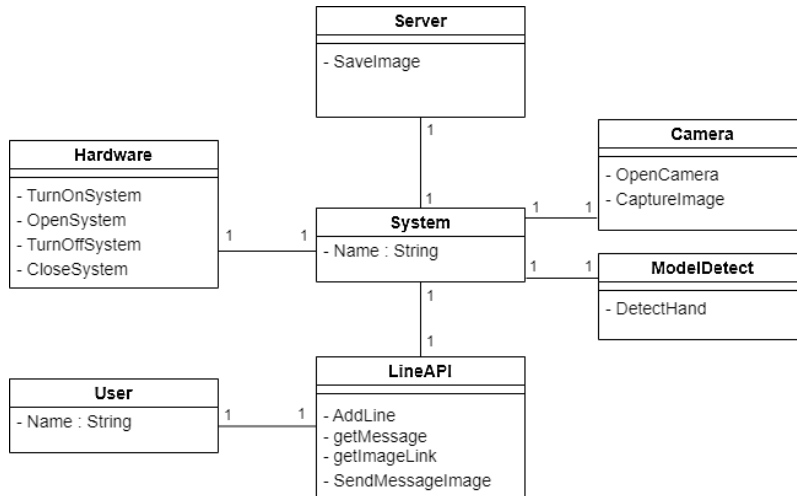
การทำงานของระบบ ผู้ใช้งานทำหน้าที่เปิด ปิดระบบ โดยระบบมีหน้าที่หลัก ๆ ได้แก่ ระบบทำการเปิดกล้อง ตรวจจับท่าทางมือ หากตรวจพบท่าทางที่กำหนดระบบจับภาพส่งไปที่เซิร์ฟเวอร์ จากนั้นส่งข้อความแจ้งเตือนและรูปภาพไปยังไลน์ ผู้ใช้งานเพิ่มเพื่อนด้วยไลน์ และรับข้อความการส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือจากผู้ป่วยที่ถูกส่งมายังแอปพลิเคชันไลน์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 แผนภาพยูสเคส ไดอะแกรมระบบดูแลผู้สูงอายุ

2) แผนภาพคลาสไดอะแกรม

แผนภาพคลาสไดอะแกรม แสดงมุมมองการทำงานของแอปพลิเคชัน ความสัมพันธ์ของระบบ แสดงการทำงาน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 คลาสไดอะแกรมการทำงานของระบบ

พัฒนานวัตกรรมดูแลผู้สูงอายุ และระบบแจ้งเตือน

1) ส่วนของฮาร์ดแวร์

ส่วนของฮาร์ดแวร์ เชื่อมต่อกับ Camera Module 3 กับ Raspberry Pi 5 ตามที่ได้ออกแบบไว้ (ภาพที่ 4)

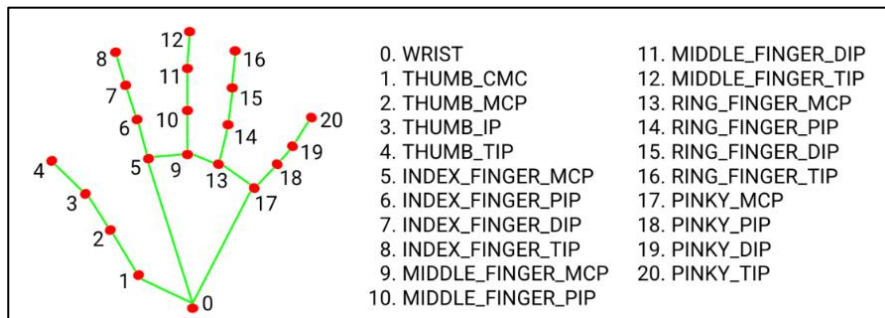


ภาพที่ 4 เชื่อมต่อกับ Camera Module 3 กับ Raspberry Pi 5

ระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์ และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

2) ส่วนของซอฟต์แวร์ ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์โดยใช้มีเดียไปป์ และ Open CV

ในงานวิจัยนี้ใช้งาน hand landmark detection เป็นเฟรมเวิร์คแบบโอเพ่นซอร์ส สร้างพิกัดสำหรับแต่ละจุดสังเกตบนมือเป็นอาตัพุด แบบจำลองการจำแนกประเภท ได้รับเป็นอาร์เรย์หนึ่งมิติ ที่มีพิกัดที่ได้จากมีเดียไปป์เป็นอินพุต ชุดโมเดลของมีเดียไปป์ตรวจจับตำแหน่งสำคัญของมือและข้อต่อจำนวน 21 จุด (ภาพที่ 5) โดยโมเดลนี้สามารถทำงานได้ดีเนื่องจากผ่านการฝึกฝนจากภาพจริงประมาณ 30,000 ภาพ จากพื้นหลังภาพที่มีความหลากหลาย [8]



ภาพที่ 5 จุดสังเกตบนมือที่ใช้มีเดียไปป์

3) การกำหนดท่าทางมือเพื่อขอความช่วยเหลือ

การกำหนดท่าทางมือของงานวิจัยได้กำหนดท่าทางมือไว้จำนวน 3 ท่า เป็นท่าทางที่สามารถทำได้ง่ายเหมาะกับผู้สูงอายุ และไม่ได้ใช้ท่าทางปกติทั่วไปขณะยืน หรือเดินไปมา ท่าที่กำหนดท่าทาง การส่งสัญญาณขอความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ ได้แก่ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การกำหนดท่าทางมือและความหมาย

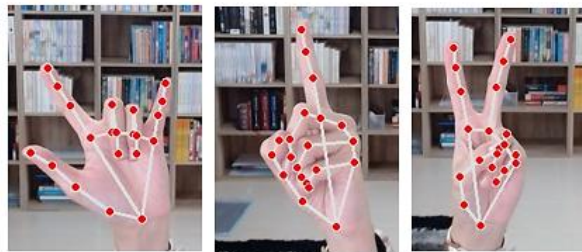
ท่าทางมือ	ชื่อ	ความหมาย
	ท่าเลิฟ (love)	สบายดี
	ท่าชี้ขึ้น (pointing up)	ขอความช่วยเหลือ
	ท่าชูสองนิ้ว (victory)	ขอความช่วยเหลือด่วนที่สุด

ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ศึกษาพัฒนาระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน และทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งประกอบด้วยผลการทดลองการตรวจจับท่าทางมือ ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบ และผลการประเมินความแม่นยำของการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน

1) ผลการทดลองการตรวจจับท่าทางมือ

การทดสอบการทำงานโดยการตรวจจับท่าทางมือจากผู้ใช้งานอายุ 10-70 ปี ทั้งเพศชาย และเพศหญิง จำนวน 12 คน จากการกำหนดท่าทางมือและความหมายจำนวน 3 ท่า ทำการทดลองเปิดระบบตลอดเวลาทดลองตรวจจับท่าทางมือ จำนวน 3 ท่า ท่าละ 100 ครั้ง (ภาพที่ 6) และตรวจสอบการตรวจจับจำนวน 2 ระยะ ได้แก่ ระยะห่าง 70 เซนติเมตร และระยะห่าง 170 เซนติเมตร แสดงผลการตรวจจับ (ดังตารางที่ 2)



ภาพที่ 6 การตรวจจับท่าทางมือ

ตารางที่ 2 สรุปผลการทดลองการตรวจจับท่าทางมือทั้ง 3 ท่า

ระยะห่าง	ท่าที่ 1 ท่าเลิฟ	ท่าที่ 2 ท่าชี้ขึ้น	ท่าที่ 3 ท่าชูสองนิ้ว
70 เซนติเมตร	93%	98%	99%
170 เซนติเมตร	93%	99%	100%
ค่าเฉลี่ยทั้งหมด	93%	98.5%	99.5%

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อทดสอบการทำงานของระบบการตรวจจับท่าทางมือทั้ง 3 ท่า พบว่าโปรแกรมมีความถูกต้อง ทั้ง 3 ท่า โดยท่าที่ 1 ท่าเลิฟมีความถูกต้อง 93% ท่าที่ 2 ท่าชี้ขึ้นมีความถูกต้อง 98.5% และท่าที่ 3 ท่าชูสองนิ้ว มีความถูกต้อง 99.5%

2) ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบ

การวัดประสิทธิภาพในการทำนายของระบบ ในการทดลองนี้ใช้การคำนวณจากตารางประเมินผลลัพธ์ (confusion matrix) [14] ในการวัดผลด้วย confusion matrix แบ่งผลการทำนายออกเป็น 4 กรณี ได้แก่

True Positive (TP) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่า “จริง” และ มีค่าเป็น “จริง”
 True Negative (TN) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่า “ไม่จริง” และ มีค่า “ไม่จริง”
 False Positive (FP) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่า “จริง” แต่ มีค่าเป็น “ไม่จริง”
 False Negative (FN) คือ สิ่งที่โปรแกรมทำนายว่า “ไม่จริง” แต่ มีค่าเป็น “จริง”

โดยทั่วไปแล้วจะมีตัววัดที่นิยมใช้กันในงานวิจัยและการทำงานต่าง ๆ คือ

Precision เป็นการวัดความแม่นยำของข้อมูล โดยพิจารณาแยกทีละคลาส โดยคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\text{Precision} = \frac{TP}{(TP+FP)} \quad (1)$$

Recall เป็นการวัดความถูกต้องของ Model โดยพิจารณาแยกทีละคลาส โดยคำนวณได้จาก สมการที่ (2)

$$\text{Recall} = \frac{TP}{(TP+FN)} \quad (2)$$

Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของ Model โดยพิจารณารวมทุกคลาส โดยคำนวณได้จาก สมการที่ (3)

$$\text{Accuracy} = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)} \quad (3)$$

F1-Score เป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิกระหว่าง Precision และ Recall โดยคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$F1 = 2 \times \frac{\text{precision} \times \text{recall}}{(\text{precision} + \text{recall})} \quad (4)$$

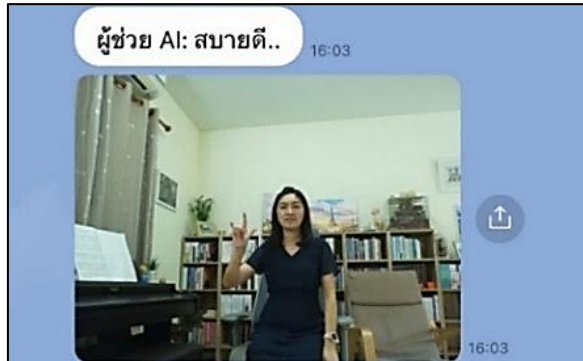
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลด้วยชุดข้อมูลทดสอบ

ท่า	จำนวนครั้ง	Precision	Recall	Accuracy	F1-Score
ท่าเลิฟ	200	0.94	0.99	0.93	0.96
ท่าขึ้น	200	0.99	0.99	0.99	0.99
ท่าชูสองนิ้ว	200	1.00	1.00	1.00	1.00

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของโมเดลที่ค่าสูงมากอยู่ในระหว่าง 0.93–1.00 ในทุกท่าทดสอบ

3) ผลการประเมินความแม่นยำของการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน

การทดสอบการทำงานของแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ สามารถส่งข้อความ และรูปภาพแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ได้ (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 การแสดงข้อความและรูปภาพแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์

การทดสอบประเมินความแม่นยำของการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ เป็นการทดสอบการจับภาพ และรับข้อความแจ้งเตือนผ่านทางไลน์ จำนวน 600 ครั้ง แบ่งเป็นท่าที่ 1 ท่าเลิฟ แจ้งเตือนข้อความ “สบายดี” จำนวน 200 ภาพ ท่าที่ 2 ท่าชี้ขึ้น แจ้งเตือนข้อความ “ขอความช่วยเหลือ” จำนวน 200 ภาพ และ ท่าที่ 3 ท่าชูสองนิ้ว แจ้งเตือนข้อความ “ขอความช่วยเหลือด่วนที่สุด” จำนวน 200 ภาพ ทดสอบอัตราความแม่นยำในการจำแนก (corrected rate) [15] โดยหาได้จากสมการที่ 5 และหาค่าความผิดพลาด (error) ด้วยสมการที่ 6 โดยที่ correct classification หมายถึง ภาพข้อมูลทดสอบที่สามารถจำแนกได้ถูกต้อง incorrect classification หมายถึง จำนวนภาพทดสอบที่จำแนกที่ไม่ถูกต้อง และ total classification หมายถึง จำนวนภาพทั้งหมดที่นำมาทดสอบ ผลการทดสอบการจับท่าทางมือและส่งข้อความแจ้งเตือนแสดงได้ดัง ตารางที่ 4

$$\text{อัตราความแม่นยำในการจำแนก} = \left(\frac{\text{Correct Classification}}{\text{Total Classification}} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$\text{ค่าความผิดพลาด} = \left(\frac{\text{Incorrect Classification}}{\text{Total Classification}} \right) \times 100 \quad (6)$$

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของการทำงานของการแจ้งเตือน ผ่านทางแอปพลิเคชัน โดยสรุปค่าเฉลี่ยความแม่นยำในการแจ้งเตือนทั้ง 3 ท่า เท่ากับ 96.83% ซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำอยู่ในระดับดี ท่าทางที่แอปพลิเคชันสามารถแจ้งเตือนได้ถูกต้องมากที่สุด ได้แก่ ท่าชูสองนิ้ว ได้ค่าความถูกต้อง 99.5%

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชัน

ท่า	จำนวนภาพที่ทดสอบ	ค่าความผิดพลาด (%)	อัตราความแม่นยำในการจำแนก (%)
ท่าเลิฟ	200	7.0	93.0
ท่าซิกซ์	200	1.5	98.5
ท่าซูลองนิว	200	0.5	99.5

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้สร้างระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และการจดจำท่าทางมือของผู้ป่วย หรือผู้สูงอายุ เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมในการรับรู้และช่วยเหลือผู้ป่วย เป็นระบบช่วยตรวจสอบการดูแลสุขภาพที่บูรณาการกับแนวคิดของอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง [7] มีการนำมาประยุกต์ใช้ในสถานพยาบาลในด้านการดูแลสุขภาพ ช่วยในการติดตามผู้ป่วย ช่วยลดภาระงานของผู้ดูแล [16] ต้นแบบนวัตกรรมที่พัฒนา มีการตรวจจับท่าทางการขอความช่วยเหลือ และประมวลผลท่าทางที่ตรวจจับ เมื่อท่าทางตรงกับท่าทางที่กำหนดไว้ 3 ท่าทาง ระบบส่งสัญญาณแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ในการพัฒนานวัตกรรมได้ผ่านกระบวนการตั้งแต่การวางแผน การวิเคราะห์ การออกแบบ และนำไปใช้ เพื่อให้ นวัตกรรมออกมามีประสิทธิภาพ อีกทั้งระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ยังผ่านการวัดประสิทธิภาพของระบบ ได้ทดสอบความถูกต้องในท่าทางการตรวจจับในแต่ละท่ามีความถูกต้องตั้งแต่ 93% ขึ้นไป สอดคล้องกับงานวิจัยที่พัฒนาส่วนของระบบปัญญาประดิษฐ์ที่จะใช้ในการทำระบบสแกนใบหน้า และมีการแจ้งเตือนการเข้า-ออกงานของพนักงานผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของตัวระบบ ผ่านการทดสอบความแม่นยำในการระบุตัวตนเพื่อเช็คชื่อเข้า-ออกงานด้วยตาราง confusion matrix หลังจากที่ทำหาคำนวนค่าสถิติทำให้ได้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) คิดเป็น 97.8% [17] และ สอดคล้องกับงานวิจัยเรื่องการจดจำท่าทางมือเพื่อติดตามผู้ป่วยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือผู้ป่วย และมีการใช้ มีเดียไปป์ และ OpenCV เพื่อจดจำท่าทางมือและส่งข้อความไปยังแอปพลิเคชันโดยมุ่งเป้าไปที่ผู้ป่วยที่มีความบกพร่องทางการเคลื่อนไหว และมีการใช้โมเดล Raspberry Pi และเว็บแคม แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ Raspberry Pi และ Raspberry Pi Camera Module 3 ระบบนี้ราคาไม่แพง ใช้งานง่าย และผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการตรวจจับท่าทางมือได้อย่างแม่นยำ [18] การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ระบบสามารถแจ้งเตือนการขอความช่วยเหลือได้อย่างถูกต้อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ นโรตม์ และคณะ [19] เรื่อง ระบบการแจ้งเตือนการล้มอัจฉริยะเพื่อการระบุตัวตนและท่าทางการล้ม มีการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ทำให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถเข้าถึงการแจ้งเตือนได้ง่าย สะดวกและรวดเร็ว ระบบที่พัฒนาใช้ทรัพยากรของเครื่องด้านฮาร์ดแวร์น้อย และประสิทธิภาพการทำงานสูงมีความแม่นยำในการจำแนก สามารถทำงานแบบเรียลไทม์ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้มีเดียไปป์การจดจำท่าทางมือในการพัฒนาแอปพลิเคชันและการโต้ตอบกับมนุษย์กับคอมพิวเตอร์

แบบเรียลไทม์ที่มีความแม่นยำสูง [20, 21] ทั้งยังช่วยอำนวยความสะดวกสำหรับผู้ดูแลผู้สูงอายุ โดยมีการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันพื้นฐานที่มีอยู่ในอุปกรณ์เคลื่อนที่ของทุกคน ทำให้ไม่ต้องเรียนรู้การใช้งานเพิ่มเติม ประกอบกับท่าทางในการร้องขอความช่วยเหลือของผู้สูงอายุเป็นท่าทางมือที่ทำได้ง่ายเหมาะกับผู้ป่วย ในอนาคตสามารถเพิ่มท่าทางในการร้องขอความช่วยเหลือ เพื่อเฉพาะเจาะจงรายละเอียดการร้องขอความช่วยเหลือได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และปรับปรุงการทำงานร่วมกันระหว่างมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ช่วยในการปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรกับผู้สูงอายุ เช่น ช่วยให้ผู้สูงอายุสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ ด้วยการใช้ท่าทางมือในการเปิดปิดไฟ หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ หรือประยุกต์ใช้เกี่ยวกับเกมฝึกทักษะสำหรับผู้สูงอายุโดยใช้ท่าทางมือ อีกทั้งยังนำเอาไปประยุกต์ใช้กับงานด้านอื่นนอกเหนือจากการดูแลผู้สูงอายุ อาจใช้กับการดูแลเด็กพิเศษ ผู้ที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน ผู้ที่มีความบกพร่องทางการพูดได้อีกด้วย

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้พัฒนาระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์ และระบบแจ้งเตือนการตรวจจับท่าทางแสดงผลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ ผ่านกระบวนการออกแบบส่วนของฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย บอร์ด Raspberry Pi 5 เป็นตัวควบคุมประมวลผล และโมดูลกล้อง Camera Module 3 ในการจับภาพ ส่วนของระบบแจ้งเตือนทำการแจ้งเตือนผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์ได้ ต้นแบบนวัตกรรมผ่านกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบระบบ จากนั้นพัฒนาระบบตรวจจับท่าทางมือแบบเรียลไทม์สำหรับการดูแลผู้สูงอายุด้วยมีเดียไปป์ และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ก่อนนำไปใช้งานได้ทำการทดสอบการตรวจจับท่าทางมือทั้ง 3 ท่า โดยทำการทดลองที่ระยะห่างจากกล้อง 70 เซนติเมตร และระยะห่างจากกล้อง 170 เซนติเมตร โปรแกรมมีความถูกต้องทั้ง 3 ท่า โดยท่าที่ 1 ท่าเลิพมีความถูกต้อง 93% ท่าที่ 2 ท่าชี้ขึ้นมีความถูกต้อง 98.5% และท่าที่ 3 ท่าชูสองนิ้ว มีความถูกต้อง 99.5% และทำการวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ในระบบการตรวจจับท่าทางทั้ง 3 ท่า ด้วยชุดทดสอบจำนวน 200 ครั้ง ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลที่ค่าสูงมากอยู่ในระหว่าง 0.93-1.00 ในทุกท่าทดสอบ สามารถนำไปใช้งานกับผู้สูงอายุได้ และการแสดงท่าทางบางครั้งมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากตำแหน่ง และระยะห่างที่ใช้ในการรับภาพ หากมีระยะห่างเกิน 170 เซนติเมตร และสภาพแวดล้อมแสงไม่เพียงพออาจทำให้บางท่าทางระบบไม่สามารถตรวจจับท่าทางของมือได้ ในอนาคตอาจมีการนำเอาโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกเพิ่มเติม เช่น CNN และ RNN เพื่อปรับปรุงความแม่นยำในการจำแนกท่าทาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนทุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทว.) ผ่านมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2564). สังคมผู้สูงอายุในปัจจุบันและเศรษฐกิจในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://www.dop.go.th/th/know/15/926> (25 พฤศจิกายน 2567).
- [2] มูลนิธิสถาบันวิจัยและพัฒนาผู้สูงอายุไทย. (2566). รายงานสถานการณ์ผู้สูงอายุไทย พ.ศ. 2565. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://thaitgri.org/?wpdmpo=รายงานสถานการณ์ประจำปี> (25 พฤศจิกายน 2567).
- [3] Veluri, R. K., Sree, S. R., Vanathi, A., Aparna, G., & Vaidya, S. P. (2022). Hand gesture mapping using MediaPipe algorithm. In Proceedings of the Third International Conference on Communication, Computing and Electronics Systems, 597–614.
- [4] Nguyen, T. T., Nguyen, N. C., Ngo, D. K., Phan, V. L., Pham, M. H. P., Nguyen, D. A., Doan, M. N., & Le, T. L. (2022). A continuous real-time hand gesture recognition method based on skeleton. In Proceedings of the 11th International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS), 273–278.
- [5] Jo, B. J., Kim, S. K., & Kim, S. (2023). Enhancing virtual and augmented reality interactions with a MediaPipe-based hand gesture recognition user interface. International Information and Engineering Technology Association, 28(3), 633–638.
- [6] Indriani, I., Harris, M., & Agoes, A. S. (2021). Applying hand gesture recognition for user guide application using MediaPipe. In Proceedings of the 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT), 101–108.
- [7] Mahmoud, N. M., Fouad, H., & Soliman, A. M. (2021). Smart healthcare solutions using the internet of medical things for hand gesture recognition system. Complex & Intelligent Systems, 7(3), 1253–1264.
- [8] Google for Developers. (2023). Hand landmarks detection guide. [ออนไลน์], สืบค้นจาก https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker (25 พฤศจิกายน 2567).
- [9] Osipov, A., & Ostanin, M. (2021). Real-time static custom gestures recognition based on skeleton hand. In International Conference "Nonlinearity, Information and Robotics" (NIR), 1–4.
- [10] Mahmood, N. T., Jabbar, M. S., & Abdalrazak, M. (2024). A real-time hand gesture recognition based on Media-Pipe and support vector machine. In F. Saeed, F. Mohammed, & Y. Fazea (eds.), Advances in intelligent computing techniques and applications, Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies (pp. 263–273). Springer.

- [11] Kim, J. W., Choi, J. Y., Ha, E. J., & Choi, J. H. (2023). Human pose estimation using MediaPipe pose and optimization method based on a humanoid model. *Applied Sciences*, 13(4), 1–21.
- [12] Sundar, B., & Bagyammal, T. (2022). American sign language recognition for alphabets using MediaPipe and LSTM. *Procedia Computer Science*, 215, 642–651.
- [13] Mallik, B., Rahim, M. A., Miah, A. S. M., Yun, K. S., & Shin, J. (2024). Virtual keyboard: A real-time hand gesture recognition-based character input system using LSTM and MediaPipe Holistic. *Computer Systems Science and Engineering*, 48(2), 555–570.
- [14] Hernández-Del-Toro, T., Martínez-Santiago, F., & Montejó-Ráez, A. (2022). Chapter 7 - Assessing classifier's performance. In Torres-García, A. A., Reyes-García, C. A., Villaseñor-Pineda, L., & Mendoza-Montoya, O. (eds.), *Biosignal processing and classification using computational learning and intelligence* (pp. 131–149). Academic Press.
- [15] ณัฐวดี หงษ์บุญมี, และนันทวดี บุญสะอาด. (2566). ระบบวิเคราะห์สายพันธุ์อะโวคาโดด้วยเทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกผ่านสมาร์ทโฟน. *วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต*, 7(1), 46–58.
- [16] เอกรินทร์ แสงยอ, ศุภชัย รอดฤทธิ์, ภาณุวัฒน์ เมฆะ, พยุงศักดิ์ เกษมสำราญ, และกิตติกร หาญตระกูล. (2568). การพัฒนาระบบสแกนใบหน้าในการบริหารงานทรัพยากรบุคคล : กรณีศึกษา บริษัท ดุติ อินดิส จำกัด. *วารสารแม่โจ้เทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม*, 11(3), 54–82.
- [17] Lindroth, H., Nalaie, K., Raghu, R., Ayala, I. N., Busch, C., Bhattacharyya, A., Moreno Franco, P., Diedrich, D. A., Pickering, B. W., & Herasevich, V. (2024). Applied artificial intelligence in healthcare: A review of computer vision technology application in hospital settings. *Journal of Imaging*, 10(4), 1–29.
- [18] Rahul, A., Priyanka, S. S., Dappuri, B., Lakshmi, N. D., & Koneru, A. (2024). Hand gesture recognition for patient monitoring in the medical field: A deep convolution neural networks approach. In *Proceedings of the 7th International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, 1533–1539.
- [19] นโรตม์ นิลสุขุม, และวิดา ยะไวทย์. (2567). ระบบการแจ้งเตือนการล้มอัจฉริยะเพื่อการระบุตัวตนและท่าทางการล้ม. *วารสารวิทยาการสารสนเทศและเทคโนโลยีประยุกต์*, 6(1), 65–83.
- [20] Dhuzuki, N. H. M., Zainuddin, A. A., Zaman, N. A. S. K., Razmi, A. N. M. A., Kaitane, W. S., Puzi, A. A., Johar, M. N., Yazid, M., Nordin, N. A. M., Sidek, S. N., & Zaki, H. F. M. (2025). Design and implementation of a deep learning-based hand gesture recognition system for rehabilitation Internet-of-Things (RIoT) environments using MediaPipe. *IJUM Engineering Journal*, 26(1), 353–372.

- [21] Sánchez-Brizuela, G., Cissal, A., de la Fuente-López, E., Fraile, J., & Pérez-Turiel, J. (2023). Lightweight real-time hand segmentation leveraging MediaPipe landmark detection. *Virtual Reality*, 27, 3125–3132.

องค์ประกอบและคุณสมบัติของดินแดงสุราษฎร์ธานีเพื่อพัฒนาสีธรรมชาติในงานศิลปะ Composition and Properties of Red Soil from Surat Thani for Developing Natural Color in Art

ธนุพล ฉันทกุล¹, อานนท์ ชูแก้ว², ชัญญา อุดมประมวณ¹ และ วิโรจน์ เชาว์วิเศษ^{*3}
Tanupol Chantakul¹, Arnon Chukaew², Chanya Udompramuan¹ & Wirot Chaowiset^{*3}

¹สาขาวิชาศิลปศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

³สาขาวิชาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

¹Art Education Program, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University

²Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

³Plant Science Program, Faculty of Science and Technology, Suratthani Rajabhat University

Submitted 02/04/2025 ; Revised 15/05/2025 ; Accepted 22/05/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของสีธรรมชาติจากดินแดงท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานี และสร้างองค์ความรู้เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติ โดยเลือกศึกษาดินในอำเภอพนมและคีรีรัฐนิคมจากกลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) และกลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ซึ่งมีโทนาสีแดงโดดเด่น สุ่มเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 3 ระดับ (0-10, 10-20, 20-30 เซนติเมตร) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เนื้อดิน ความเป็นกรด-เบส ค่าการนำไฟฟ้า ค่าสีดิน ศึกษารูปร่างและการยึดเกาะบนพื้นผิวของอนุภาคดินระดับนาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ผลการศึกษาพบว่า ดินจากอำเภอคีรีรัฐนิคมมีศักยภาพสูงในการเป็นเม็ดสีธรรมชาติเนื่องจากมีปริมาณแร่เฮมาไทต์ สติลโนเมลาน และคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ซึ่งให้น้ำตาลแดงเข้มในปริมาณที่สูง โดยพบในดินบริเวณ KRN-A มากที่สุด การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นว่าอนุภาคดินมีรูปร่างและขนาดที่หลากหลายส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดเกาะและการกระจายตัวบนพื้นผิวต่าง ๆ กัน ดังนั้น ดินแดงจากอำเภอคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งมีปริมาณแร่เฮมาไทต์และแร่ที่ให้สีแดงสูง มีขนาดอนุภาคที่เหมาะสม สามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติสำหรับงานศิลปะ โดยเฉพาะในพื้นที่ KRN-A ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นที่สุด ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาการใช้สังเคราะห์ เป็นแนวทางการใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: สุราษฎร์ธานี ดินแดง สีธรรมชาติ งานศิลปะ

***ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)**

E-mail: wirot.cha@sru.ac.th

Abstract

This research aimed to investigate the properties of natural pigments derived from local red soils in Surat Thani Province and establish knowledge for the development of natural clay pigment products. Soil samples were collected from Phanom and Khiri Rat Nikhom districts, focusing on Soil Group 26 (Ao Luk soil series) and Soil Group 34 (Fang Daeng soil series), both known for their distinct red hues. Soil sampling was conducted at three depth levels (0-10, 10-20, and 20-30 cm). The analysis included physical and chemical properties, including soil texture, pH, electrical conductivity, and soil color. The morphology, adhesion structure, and surface characteristics of pigment nanoparticles were examined using a scanning electron microscope (SEM). Mineral components in the soil were analyzed using the X-ray diffraction (XRD) technique. The results revealed that soil from Khiri Rat Nikhom exhibited high potential as a natural pigment source, containing significant amounts of hematite, stilpnomelane, and copper vanadium oxide, which contribute to a deep reddish-brown hue, particularly in the KRN-A area. SEM analysis revealed diverse shapes and sizes of soil particles, affecting their adhesion properties and dispersion on different surfaces. Therefore, red soil from Khiri Rat Nikhom District, Surat Thani Province, which has a high amount of hematite and red-colored minerals, and has an appropriate particle size, can be developed into natural color products for art, especially in the KRN-A area, which has the most outstanding properties. This will help reduce the reliance on synthetic colors, and provide a guideline for using environmentally friendly materials.

Keywords: Surat Thani, red soils, natural color, art work

บทนำ

การศึกษาทางด้านศิลปกรรมเป็นการเรียนรู้ที่มีรูปแบบการปฏิบัติการเพื่อฝึกทักษะในด้านการสร้างสรรค์ผลงานทั้งด้านจิตรกรรม ประติมากรรม และภาพพิมพ์ จึงเป็นเรื่องที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ในการสัมผัสโดยตรงกับกับสารเคมีต่าง ๆ ในลักษณะของสื่อดิจิทัลที่อาจสร้างปัญหาเกี่ยวกับสุขภาพได้ พื้นฐานส่วนประกอบของสีเหล่านี้ได้มาจากแหล่งปิโตรเลียมซึ่งโดยทั่วไปจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำแต่ย่อยสลายได้ยาก [1] สารโลหะหนักบางชนิดส่งผลต่อระบบประสาทหรือระบบไต [2] การจัดการเพื่อลดความเสี่ยงของปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการใช้สีเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์สีที่ได้จากวัตถุดิบธรรมชาติจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ยั่งยืนทั้งต่อสุขภาพของผู้ใช้และต่อสิ่งแวดล้อม สีของดินมีบทบาทสำคัญในการแสดงออกทางศิลปะตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน [3] $\text{FeO}(\text{OH})$ หรือแร่ธาตุหุติยภูมิอย่างโกเอไทต์ซึ่งเป็นเหล็กออกไซด์ที่มีไฮดรอกไซด์บางส่วน เช่น lepidocrocite ($\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$) ที่ได้จากการออกซิเดชันของแร่ธาตุแร่เหล็กที่พบในแร่เหล็กสีน้ำตาล และสีน้ำตาลเขียนนํ้าเป็นเม็ดสีเอิร์ธโทนที่มีธาตุเหล็กออกไซด์และแมงกานีสออกไซด์เป็นส่วนประกอบ [4]

ช่างศิลปะไทยในอดีตได้นำพืช ดิน หิน และแร่ท้องถิ่นมาสกัดสีและใช้ในการเขียนภาพจิตรกรรมฝาผนัง ซึ่งกระบวนการการสกัดสีจากวัตถุดิบธรรมชาติสำหรับงานศิลปะโดยเน้นที่ประเพณีศิลปะไทยโดยเฉพาะ จากการศึกษาเทคนิคที่ศิลปินไทยโบราณเป็นการสืบทอดภูมิปัญญาวัฒนธรรมรวมทั้งการสร้างวัสดุศิลปะที่ยั่งยืน [5] การศึกษาวัตถุดิบจากธรรมชาติที่ให้สี ในบริบทของศิลปะไทยมีการใช้จากธรรมชาติมาอย่างยาวนาน โดยเนื้อสัมผัสกับส่วนผสมอื่นทำให้เกิดสีชนิดต่าง ๆ การศึกษาเหล่านี้เป็นพื้นฐานสำคัญในการพัฒนาสีธรรมชาติจากดินท้องถิ่นให้สามารถนำมาใช้สร้างสรรค์ผลงานศิลปะที่มีความปลอดภัยและยั่งยืน ซึ่งจะช่วยลดการพึ่งพาเม็ดสีสังเคราะห์ที่มีข้อเสียด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ดังนั้น การวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติและองค์ประกอบของดินแดงในท้องถิ่นของจังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อวิเคราะห์ศักยภาพของการนำมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์สีจากดินโทนสีแดงโดยมุ่งเน้นที่ความเหมาะสมในการนำมาใช้งานโดยการศึกษาคุณสมบัติและคุณค่าทางศิลปะที่เป็นไปได้ของเม็ดสีจากดินที่จะนำไปสู่การลดการพึ่งพาเม็ดสีสังเคราะห์ สร้างความเข้าใจในการใช้สีธรรมชาติจากดินที่จะช่วยให้นักศึกษาและนักวิจัยด้านศิลปะและบุคคลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องมีความตระหนักต่อการใช้วัสดุจากธรรมชาติอย่างยั่งยืน ซึ่งในอำเภอพนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี มีกลุ่มชุดดินที่มีคุณสมบัติให้เฉดสีแดงสูง ได้แก่ กลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) และกลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ที่มีศักยภาพและลักษณะสีรวมถึงองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นเพียงพอที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สีดินแดงธรรมชาติได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาองค์ประกอบและคุณสมบัติของสีธรรมชาติจากดินแดงท้องถิ่นในจังหวัดสุราษฎร์ธานีสำหรับประยุกต์ใช้และสร้างสรรค์ผลงานศิลปะ
2. เพื่อสร้างองค์ความรู้กระบวนการสกัดสีและสร้างผลิตภัณฑ์สีธรรมชาติต้นแบบจากดินแดงท้องถิ่น

วิธีดำเนินการวิจัย

การสำรวจและเก็บตัวอย่างดิน

พื้นที่สำหรับการวิจัย ได้แก่ อำเภอพนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยพิจารณาข้อมูลชุดดินจากกรมพัฒนาที่ดิน [6] โดยเลือกกลุ่มชุดดินที่ 26 (ชุดดินอ่าวลึก) กลุ่มชุดดินที่ 34 (ชุดดินฝั่งแดง) ซึ่งมีโหนดของดินอยู่ในกลุ่มสีแดง สีส้มแดง หรือสีน้ำตาลแดง สุ่มเก็บตัวอย่างแบบเป็นระบบ (systematic sampling) ที่ความลึก 3 ระดับ ได้แก่ ดินผิวดิน (0-10 เซนติเมตร) ดินใต้ผิวดิน (10-20 เซนติเมตร) ดินลึก (20-30 เซนติเมตร) รูปแบบการเก็บข้อมูลแบบลำดับขั้น บันทึกข้อมูลของพิกัดที่อยู่และความสูงจากระดับน้ำทะเล นำตัวอย่างดินแต่ละระดับชั้นใส่ถุงพลาสติกตัวอย่างละ 1 กิโลกรัม จากนั้นนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 72 ชั่วโมง เมื่อแห้งสนิทแล้วนำมาบดให้ละเอียด จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงรูที่มีขนาด 2 มิลลิเมตร เก็บใส่ภาชนะที่ปิดมิดชิดสำหรับใช้วิเคราะห์คุณสมบัติดินและองค์ประกอบของดินต่อไป

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

นำดินตัวอย่างที่อบแห้งและร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 2 มิลลิเมตร ไปศึกษาชนิดของเนื้อดินด้วยวิธีวิเคราะห์การแยกขนาดของอนุภาคของดินโดยการหาปริมาณทราย (sand) ทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) โดยใช้เทคนิค Pipette method ตามวิธีการของ USDA โดยใช้สามเหลี่ยมการแจกเนื้อดิน (USDA soil texture triangle) [7] วัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) ของดินโดยใช้เครื่องวัด pH meter โดยใช้อัตราส่วนดินต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:2 (W/V)

การวิเคราะห์สีดิน

วิเคราะห์ค่าสีดิน $L^* a^* b^*$ แต่ละจุดและแต่ละระดับความลึกด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Konica Minolta Model CR-10 Plus และใช้แผ่นเทียบสีมาตรฐาน RSH Color Chart ของ The Royal Horticultural Society เพื่อบันทึกเฉดสี (hue) หลังจากทีวิเคราะห์สีดินแล้วทำการคัดเลือกตัวอย่างดินที่มีความเข้มของเฉดสีแดงเพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของดินสำหรับใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์สีดินธรรมชาติต่อไป

การวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน

นำตัวอย่างดินที่คัดเลือกมาผสมน้ำอัตราส่วนดินต่อน้ำ 1:2 กวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูขนาด 25 ไมโครเมตร นำดินตัวอย่างผ่านการกรองมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 48 ชั่วโมง เพื่อให้ตกตะกอน ดูดน้ำส่วนที่ใสด้านบนออก นำดินที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างดินที่ได้ไปวิเคราะห์วิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction, XRD) ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์รุ่น D2 Phaser X-ray diffractometer เพื่อระบุเฟสผลึกและองค์ประกอบแร่ธาตุในดิน เปรียบเทียบตัวอย่างดินเพื่อประเมินศักยภาพเป็นเม็ดสีธรรมชาติ ศึกษาโครงสร้างและการยึดเกาะของเม็ดสีดินธรรมชาติบนผิววัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereo microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (compound light microscope) และศึกษารูปร่างและพื้นผิวของอนุภาคดินระดับนาโนเมตรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning

electron microscope, SEM) แบ่งตัวอย่างดินที่เหมาะสมไว้ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์สัณนิษฐานต่อไป

ผลการวิจัย

คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และชนิดเนื้อดิน

ตัวอย่างดินแดงจากอำเภอยะนิง จ. ปน-เอ มีค่าความเป็นกรด-เบส โดยเป็นเบสเล็กน้อย (pH 7.47-7.82) ส่วนจุด ปน-บี และ ปน-ซี เป็นกรดอ่อนจนถึงกรดปานกลาง (pH 4.32-5.22) จุด ปน-เอ และ ปน-ซี มีค่าการนำไฟฟ้าใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าจุด ปน-บี และดินชั้นบนมีแนวโน้มของการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินชั้นที่ลึกลงไปอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนมีปริมาณมากกว่า ทำให้มีปริมาณฮิวมัสและธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยผสมอยู่ในดินชั้นบนมากกว่า ส่วนชนิดของเนื้อดินพบว่า จุด ปน-เอ มีเนื้อดินชนิดดินเหนียวปนดินร่วน (silty clay) จุด ปน-บี เป็นดินชนิดดินร่วนปนดินเหนียว (clay loam) และจุด ปน-ซี เป็นดินชนิดดินเหนียว ส่วนตัวอย่างดินจากอำเภอศรีรัฐนิคม มีค่าความเป็นกรด-เบสไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งดินมีลักษณะเป็นกรดอ่อน (pH 5.89-6.69) ค่าการนำไฟฟ้าในจุด ปน-เอ มีค่าเฉลี่ยโดยรวมสูงกว่าจุด ปน-บี และ ปน-ซี เล็กน้อย และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันจากอำเภอยะนิง โดยในดินชั้นบนจะมีค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินที่ลึกลงไป เมื่อวิเคราะห์ชนิดของเนื้อดินพบว่าในทุกจุดเป็นชนิดดินเหนียว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเคมี องค์ประกอบ และชนิดของเนื้อดินของตัวอย่างดินจากอำเภอยะนิง (ปน) และอำเภอศรีรัฐนิคม (กรน) จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ตัวอย่างดิน	ความลึก (ซม.)	กรด-เบส (1:2)	ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.)	ทราย (เปอร์เซ็นต์)	ทรายแป้ง (เปอร์เซ็นต์)	ดินเหนียว (เปอร์เซ็นต์)	ชนิดเนื้อดิน
ปน-เอ*	10	7.82	200	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
ปน-เอ	20	7.47	121	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
ปน-เอ	30	7.51	125	8.63	43.71	47.66	ดินเหนียวปนดินร่วน
ปน-บี	10	5.22	161	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
ปน-บี	20	5.09	70	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
ปน-บี	30	4.82	72	25.73	41.63	32.64	ดินร่วนปนดินเหนียว
ปน-ซี	10	4.74	116	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
ปน-ซี	20	4.45	123	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
ปน-ซี	30	4.32	111	23.10	32.76	44.14	ดินเหนียว
กรน-เอ	10	6.69	110	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
กรน-เอ	20	6.13	83	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
กรน-เอ	30	5.96	76	0	11.90	88.10	ดินเหนียว
กรน-บี	10	5.89	75	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
กรน-บี	20	6.13	70	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
กรน-บี	30	6.22	69	0	10.26	89.74	ดินเหนียว
กรน-ซี	10	5.98	68	0	15.00	85.00	ดินเหนียว
กรน-ซี	20	5.97	61	0	15.00	85.00	ดินเหนียว
กรน-ซี	30	6.17	63	0	15.00	85.00	ดินเหนียว

*อักษรภาษาอังกฤษ A หมายถึงบริเวณที่ 1, B หมายถึงบริเวณที่ 2, C หมายถึงบริเวณที่ 3

การวิเคราะห์กลุ่มสีของดินตัวอย่าง

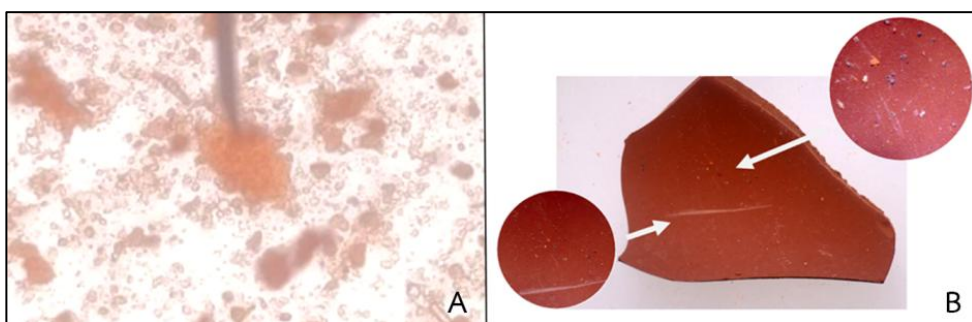
ค่าสี รหัสสี และกลุ่มสีของดินใช้วิธีมาตรฐานของการวัดสีตามหลักของ Commission International de l'Eclairage และสมุดคู่มือเทียบสีมาตรฐาน (RHS colour chart) พบว่า ค่าสีที่วัดได้จากเครื่องวัดสีของดินตัวอย่างในทุกจุดและทุกระดับความลึกเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการประเมินด้วยสายตาและการใช้สมุดคู่มือเทียบสี โดยดินในบริเวณที่ PN1-A-C (10-30 เซนติเมตร) และ PN2-B-C (10-30 เซนติเมตร) จำแนกกลุ่มสีอยู่ในกลุ่มสีน้ำตาล (brown) ส่วนตัวอย่างดิน PN2-A (10-30 เซนติเมตร) จำแนกได้อยู่ใน กลุ่มสีส้มเทา (grayed-orange) แต่มีความแตกต่างกันของรหัสสี และดินบริเวณที่ PN3-A-C (10-30 เซนติเมตร) จะมีสีอ่อนที่สุดในกลุ่ม กลุ่มสีส้มเทา หากวิเคราะห์ลักษณะสีดินตัวอย่างร่วมกับค่าความเป็นกรด-เบสของดินจะพบว่า ดินที่มีสีอ่อนและมีค่าความสว่างมาก (L^*) มักจะเป็นดินที่มีสภาพเป็นกรดจัด ส่วนดินที่มีสีเข้มและมีความสว่างน้อยจะมีค่าความเป็นกรด-เบสที่อยู่ในช่วงที่เป็นกรดอ่อนจนถึงเบสอ่อน ส่วนกลุ่มสีของดินตัวอย่างจากอำเภอกีร์รัฐนิคม พบว่า ค่าสีทุกจุดสามารถจำแนกกลุ่มสีอยู่ในกลุ่มสีส้มเทา แต่จะมีความแตกต่างของความสว่างของสี (L^*) จากเครื่องวัดสีและรหัสสีจากแผ่นเทียบสีมาตรฐาน ซึ่งโดยภาพรวมพบว่ากลุ่มสีส้มเทาเดียวกัน ตัวอย่างดิน KRN1-A-C (10-30 เซนติเมตร) จะมีความเข้มของสีมากที่สุด รองลงมาคือ KRN2-A-C (10-30 เซนติเมตร) และ KRN3-A-C (10-30 เซนติเมตร) ซึ่งมีสีอ่อนที่สุด ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

Soil sample	Depth. (cm)			Soil sample	Depth. (cm)		
	10	20	30		10	20	30
PN1-A				KRN1-A			
PN1-B				KRN1-B			
PN1-C				KRN1-C			
PN2-A				KRN2-A			
PN2-B				KRN2-B			
PN2-C				KRN2-C			
PN3-A				KRN3-A			
PN3-B				KRN3-B			
PN3-C				KRN3-C			

ภาพที่ 1 สีของดินตัวอย่างจากอำเภอนน (PN) และอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN) จังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ระดับความลึกต่าง ๆ

การวิเคราะห์ลักษณะอนุภาคเม็ดสีดินแดงด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงแสดงให้เห็นถึงความซับซ้อนและลักษณะเฉพาะของอนุภาคเม็ดสีในดินแดงที่กำลังขยายต่างกันที่กำลังขยายภาพ 10, 20 และ 40 เท่า อนุภาคดินจะมีรูปร่าง ขนาด และเนื้อสัมผัสที่หลากหลาย โดยมีทั้งมีลักษณะที่เป็นเหลี่ยมและมน การมีรอยแตกและรูพรุนขนาดเล็ก รวมถึงการรวมตัวของอนุภาคดินเหนียว (ภาพที่ 2A) ภาพจากกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอของดินที่ผ่านกระบวนการกรองและระเหยน้ำแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอนุภาคดินอย่างชัดเจน โดยอนุภาคดินจะเรียงตัวกันแน่นเป็นพื้นผิวที่เรียบและต่อเนื่องเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง มีช่องว่างระหว่างอนุภาคดินลดลงซึ่งทำให้มีความพรุนลดลงตามไปด้วย ส่งผลให้ผิวของดินมีความเรียบเนียนมากขึ้นและมีความหนาแน่นสูง (ภาพที่ 2B)



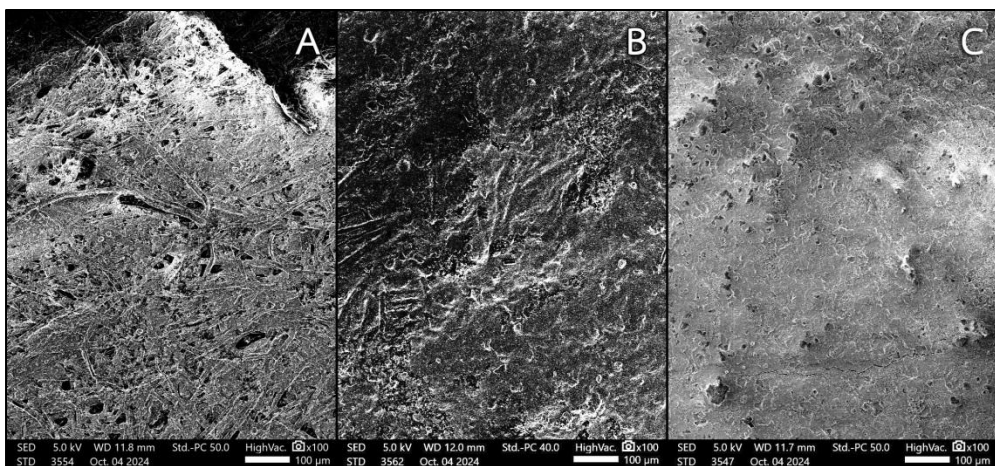
ภาพที่ 2 ลักษณะของอนุภาคดินจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (A) และจุลทรรศน์สเตอริโอ (B) ที่กำลังขยาย 40 เท่า (40x)

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 100 เท่า แสดงอนุภาคดินเหนียวสีแดงที่มีรูปแบบการยึดเกาะที่แตกต่างกันบนพื้นผิวตัวอย่าง ได้แก่ กระจาด ผ่าใบ และไม้กระดานดินสอพอง พบว่า โครงสร้าง ความพรุน และลักษณะพื้นผิวมีผลโดยตรงต่อการกระจายตัวและความสม่ำเสมอของชั้นเม็ดสี [8] ลักษณะโครงสร้างและการกระจายตัวของอนุภาคดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติทางกายภาพของพื้นผิว [9] พื้นผิวกระจาดมีการกระจายตัวของอนุภาคตามแนวเส้นใยและมีช่องว่างที่ชัดเจนในขณะที่ผ่าใบแสดงโครงสร้างเป็นร่องและมีการสะสมตัวของอนุภาคตามแนวเส้นใยที่ถักทอ ส่วนพื้นผิวไม้กระดานดินสอพองแสดงการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นและสม่ำเสมอมากกว่า (ภาพที่ 3) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kadhim & Alyounis [10] ที่พบว่าความพรุนและความขรุขระของพื้นผิวมีผลโดยตรงต่อการยึดเกาะของอนุภาคดินเหนียว ผลการศึกษานี้มีนัยสำคัญต่อการเลือกวัสดุรองพื้นที่เหมาะสมสำหรับการใช้สีดินธรรมชาติในงานศิลปะ

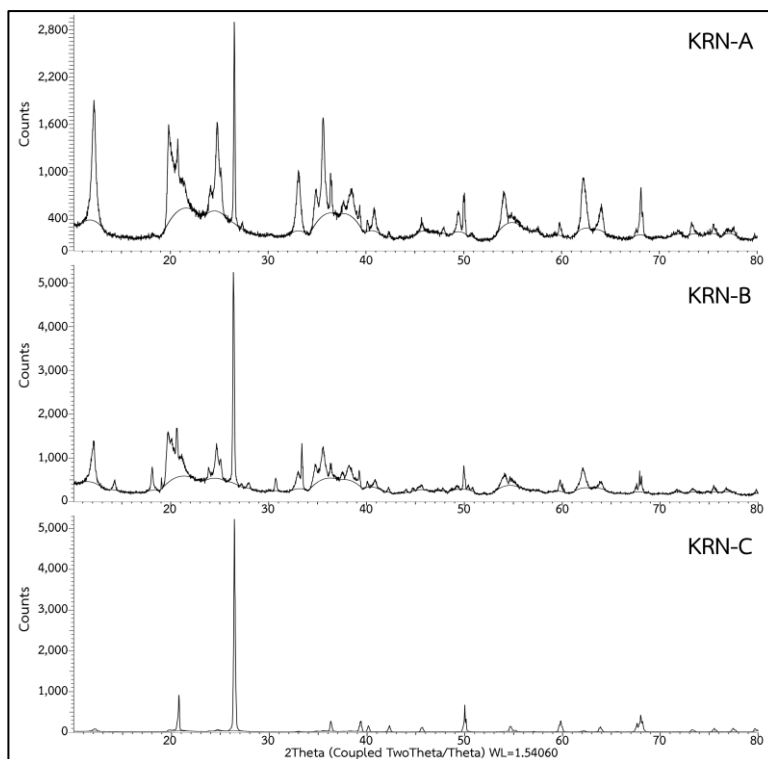
การวิเคราะห์องค์ประกอบของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างดินจากอำเภอนมและคีรีรัฐนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากลักษณะทางเคมีและกายภาพ และค่าของสีดินพบว่า ดินแดงจากอำเภอกีรีรัฐนิคมทั้ง 3 บริเวณ (KRN-A-C) มีศักยภาพการเป็นเม็ดสีธรรมชาติ และเมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบของดินโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ซึ่งปรากฏลักษณะ แผนภูมิการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างดินทั้ง

3 บริเวณ (ภาพที่ 4) พบว่า สารประกอบหลักของดินส่วนใหญ่เป็นชนิดเดียวกันกันแต่มีปริมาณที่ต่างกัน จากการเทียบกับฐานข้อมูล Powder Diffraction File™ (PDF®) (ตารางที่ 2) ดังนี้ ดินบริเวณ KRN-A มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนต์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) 12.6% ซึ่งเป็นแร่ที่ให้สีน้ำตาลแดงเข้ม แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Ba_3AlF_9) 12.2% สีขาว ซิงค์คลอไรด์ ($\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$) 9.8% เป็นสีขาว สติลโนเมลาน ($(\text{Fe,Mn,Mg})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4\cdot\text{H}_2\text{O}$) 9.7% ให้สีน้ำตาลหรือดำ คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) 9.0% ให้สีน้ำตาล และแร่ เฮมาไทต์ (Fe_2O_3) ซึ่งพบอยู่ที่ 8.2% จะให้สีน้ำตาลแดงเข้ม ส่วนดินตัวอย่างบริเวณ KRN-B มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนต์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) พบอยู่ที่ 19.4% เท่ากับคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) และพบซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 , Quartz) ที่ 15.5% เป็นองค์ประกอบหลัก และดินบริเวณ KRN-C มีแคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนต์ ($\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$) 37.0% แบเรียมแมงกานีสออกไซด์ (BaMnO_3) 16.3% ซึ่งเป็นแร่ที่มีสีขาว ซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2 , Quartz) 15.2% แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (Ba_3AlF_9) 10.4% คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ($\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$) 7.8% โดยแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลัก 5 ลำดับแรกของดินแต่ละบริเวณมีความสอดคล้องกับการวัดประเมินค่าสีด้วยเครื่องวัดสีและแผ่นเทียบสีมาตรฐานที่ได้



ภาพที่ 3 ลักษณะของอนุภาคดินบนผิววัสดุชนิดต่าง ๆ จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 100 เท่า กำลังไฟ 5.0 kV บนกระดาษวาดเขียน (A) ผ้าใบ (B) และ กระดาษดินสอพอง (C)



ภาพที่ 4 แผนภูมิการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของตัวอย่างดิน 3 บริเวณจากอำเภอกีร์รัฐนิคม

ตารางที่ 2 แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (PDF®)

ลำดับที่	แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน (PDF)	สูตรเคมี	ปริมาณที่พบ (เปอร์เซ็นต์)		
			KRN-A	KRN-B	KRN-C
1	แคดเมียมคอปเปอร์แกลเลียมซีลีไนด์ (PDF 00-026-0828)	$\text{CuCd}_2\text{GaSe}_4$	12.6	19.4	37.0
2	แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ (PDF 00-028-0116)	Ba_3AlF_9	12.2	4.7	10.4
3	ซิงค์คลอไรด์ (PDF 00-044-0216)	$\text{Zn}(\text{ClO}_4)_2$	9.8	6.6	1.0
4	สตีลโนเมธาน (PDF 00-015-0048)	$(\text{Fe,Mn,Mg})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	9.7	7.0	1.1
5	คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ (PDF 00-018-0463)	$\text{Cu}_0.95\text{V}_2\text{O}_5$	9.0	19.4	7.8
6	เฮกซะเดคาไฮโดรไพรีน (PDF 00-070-1330)	$\text{C}_{16}\text{H}_{26}$ (3aR, 5aS, 8aR, 10aS)	8.6	7.8	0.6
7	เฮมาไทต์ (PDF 00-005-0637)	Fe_2O_3	8.2	4.7	0.2

ตารางที่ 2 แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม วิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (PDF®) (ต่อ)

ลำดับที่	แร่ที่เป็นองค์ประกอบของดิน (PDF)	สูตรเคมี	ปริมาณที่พบ (เปอร์เซ็นต์)		
			KRN-A	KRN-B	KRN-C
8	เบตา-โซเดียมยูเรเนียมฟลูออไรด์ (PDF 00-010-0163)	Na_2UF_6	8.0	-	-
9	เฮกซะคลอโรไซโคลเฮกเซน (PDF 00-011-0725)	$\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$	7.6	4.8	6.9
10	ฟิลลิปไซต์-แคลเซียม (ซีโอไลต์) PDF 00-039-1375)	$\text{KCa}(\text{Si}_5\text{Al}_3)\text{O}_{16} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	5.3	3.3	0.4
11	ฟลูออรีนไมกาที่แทนที่ด้วยนิกเกิล (PDF 00-051-0046)	$\text{KLiMgNiSi}_4\text{O}_{10}\text{F}_2$	4.8	4.5	1.9
12	แร้ซิลิกา (PDF 01-089-1961)	SiO_2	4.4	15.5	15.2
13	โซเดียมอลูมิเนียมออกไซด์ (PDF 00-019-1177)	NaAlO_2	-	2.3	1.1
14	บาร์เซียมแมงกานีสออกไซด์ (PDF 00-015-0232)	BaMnO_3	-	-	16.3

อภิปรายผลการวิจัย

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางกายภาพและเคมี มีผลต่อสีของดินทั้งโทนสีและความเข้มของสีดินโดยพบว่า ดินตัวอย่างเกือบทุกจุดจะมีดินชั้นบนที่มีแนวโน้มของค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าดินชั้นที่ลึกลงไปอาจเนื่องมาจากการย่อยสลายของอินทรีย์วัตถุในดินชั้นบนมีปริมาณมากกว่าทำให้มีปริมาณธาตุอาหารที่ถูกปลดปล่อยผสมอยู่ในดินชั้นบนมากกว่าและมีอิทธิพลสูงที่ทำให้ดินมีสีเข้ม ลักษณะของชั้นดินบน เป็นชั้นดินที่มีสีเข้มเนื่องจากมีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูง และมักมีค่าความเป็นกรดต่ำ ($\text{pH} < 5.5$) ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสีเข้มของดินกับความเป็นกรดของดิน [11] ดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคมมีโทนสีโดยรวมที่เข้มกว่าสีจากอำเภอยะนิง และดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคมทั้ง 3 บริเวณที่ศึกษามีความแตกต่างกันของโทนสี ดินบริเวณ KRN-A มีสีน้ำตาลแดงเข้มที่สุด รองลงมา คือ KRN-B และ KRN-C ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อความเข้มของสีเกิดจากองค์ประกอบของดินที่วิเคราะห์ได้ซึ่งมีความสอดคล้องกัน โดยแร่ประกอบของดินที่ให้สีน้ำตาลแดง คือ แคลเซียมคอปเปอร์แอลเลียมซิลิไนต์ [12] ที่เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกันในตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด ส่วนความเข้มของสีแต่ละตัวอย่างแปรผันตามส่วนประกอบของแร่ธาตุรองที่พบคือคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ สติลปโนเมลาน [13] และแร่เฮมาไทต์ในรูปของเหล็กออกไซด์ที่เป็นส่วนของแร่ธาตุที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลแดงเข้มตามธรรมชาติและมีเสถียรภาพที่ดี [14] ซึ่งพบในตัวอย่างดิน KRN-A ในอัตราส่วนที่มากกว่า KRN-B และ KRN-C ตามลำดับ ทำให้ KRN-A มีสีน้ำตาลแดงเข้มที่สุด ส่วนแร้ซิลิกอนไดออกไซด์ แบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ ฟลูออรีนไมกาหรือแร้ซีโอไลต์เป็นแร่สีขาวหรือใสไม่มีสีซึ่งจะพบในตัวอย่างดิน KRN-C มากที่สุดด้วย ซึ่งเกณฑ์การใช้เม็ดสีในทางศิลปะจะต้องมีคุณสมบัติของความเข้มของสี (การวัดความสามารถของเม็ดสีในการถ่ายทอดสีให้กับวัสดุอื่น) ความสามารถในการทำให้สว่างขึ้น (การวัดความสามารถของ

เม็ดสีขาวในการทำให้วัสดุอื่นสว่างขึ้น) การปกปิด (การวัดความสามารถในการซ่อนพื้นผิวของวัตถุ) มีขนาดอนุภาค องค์ประกอบทางเคมี การกระจายขนาดอนุภาค ความหนาแน่น ปริมาณความชื้น และเกลือ ปริมาณของส่วนประกอบที่ละลายน้ำและกรด ค่า pH และการนำไฟฟ้าของดินมีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพของสีธรรมชาติในงานศิลปะ โดยดินที่เป็นกรด (pH ต่ำกว่า 7) มักอุดมด้วยแร่ธาตุละลายอย่างเหล็กและอะลูมิเนียม ให้โทนสีเข้มแดง ส้ม หรือเหลือง แต่อาจทำให้วัสดุประสานเสื่อมสภาพเร็ว ขณะที่ดินเป็นเบส (pH สูงกว่า 7) มักมีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงให้โทนสีอ่อนกว่า และอาจทำให้สีดูหม่นหรือเปลี่ยนโทนเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนค่าการนำไฟฟ้ายิ่งต่ำยิ่งดีต่อการทำสี เพราะมีสารละลายน้อยไม่ก่อให้เกิดคราบเกลือบนผลงานทำให้สียึดเกาะวัสดุได้ดีและมีความสม่ำเสมอ ต่างจากดินที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูงซึ่งอาจทำให้เกิดการตกผลึกบนผิวงานและส่งผลกระทบต่อความคงทนของสีในระยะยาว ความคงตัวต่อแสงในเม็ดสีดินแดงสามารถทนต่อการสัมผัสแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานานโดยไม่ซีดจางหรือเปลี่ยนสี ตัวอย่างเช่น ภาพเขียนในถ้ำยุคก่อนประวัติศาสตร์ที่ใช้ดินแดงยังคงสีสดใสชัดเจนแม้ผ่านเวลามามากหลายพันปี [15] คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของดินแดงมีผลต่อความคงทนของสีเมื่อสัมผัสกับแสงแดด โดยเฉพาะการมีแร่เหล็กออกไซด์ เช่น เฮมาไทต์ [16] และมีพฤติกรรมกระจายตัวและการตอบสนองกับส่วนประกอบของสารยึดเกาะ [17, 18]

ดังนั้น ศักยภาพในการใช้ดินแดงเป็นแหล่งเม็ดสีธรรมชาติ ดินจากอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN-A) เหมาะสำหรับการพัฒนาเป็นเม็ดสีโทนน้ำตาลแดงเข้ม การพัฒนาผลิตภัณฑ์สีจากดิน KRN-A เป็นการสร้างทางเลือกวัสดุศิลปะที่มีคุณภาพสูงและยั่งยืน คุณสมบัติการละลายและการไหลซึมที่ดี เหมาะสำหรับเทคนิคสีน้ำและเม็ดสีผงที่ใช้ในงานศิลปะในการประยุกต์ใช้ทางศิลปะ โดยมีการทดสอบใช้ในการวาดภาพร่วมแสดงนิทรรศการ ศิลปณจารย์ ประจำปี 2567 ณ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ตัวอย่างภาพวาดด้วยสีดินแดงธรรมชาติจากอำเภอกีร์รัฐนิคม (KRN-A)

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และสีของดินแดงจากอำเภอนมและอำเภอบัณฑิตนิคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี ดินจากอำเภอนมอยู่ในกลุ่มสีน้ำตาล และ กลุ่มสีส้มเทา ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรด-เบสของดิน ดินที่มีความเป็นกรดสูงมักมีสีอ่อนกว่าดินที่มีค่าความเป็นเบสอ่อน ดินตัวอย่างจากอำเภอบัณฑิตนิคม ส่วนใหญ่อยู่ใน กลุ่มสีส้มเทา แต่มีความแตกต่างกันในระดับความเข้มของสี โดยบริเวณ KRN1-A-C มีสีเข้มที่สุด และ KRN3-A-C มีสีอ่อนที่สุด เมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นว่าอนุภาคดินมีรูปร่างและขนาดที่ต่างกัน มีรอยแตกและรูพรุนที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของสี ซึ่งดินชั้นบน (0-20 เซนติเมตร) มีศักยภาพสูงสุดเนื่องจากมีปริมาณแร่ที่ให้สี โครงสร้าง และอนุภาคเม็ดสีที่มีคุณภาพมากที่สุด พื้นผิวของวัสดุที่ใช้รองรับเม็ดสี (กระดาษ ผ้าใบ และไม้กระดานดินสอพอง) มีผลต่อการกระจายตัวของเม็ดสี สีของดินได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของแร่และปัจจัยทางกายภาพ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ พบว่า ดินจากอำเภอบัณฑิตนิคม (KRN-A, KRN-B, KRN-C) มีศักยภาพในการใช้เป็นเม็ดสีธรรมชาติ ซึ่งมีผลมาจากแร่ที่มีอิทธิพลต่อสีของดิน ได้แก่ เฮมาไทต์ที่ให้สีน้ำตาลแดงเข้ม สติลโนเมลานให้สีน้ำตาลหรือดำ คอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์ ให้สีน้ำตาล แร่ไม่มีสี เช่น ซิลิกอนไดออกไซด์และแบเรียมอะลูมิเนียมฟลูออไรด์ทำให้ดินมีสีอ่อนลง ดังนั้น ศักยภาพในการนำไปใช้เป็นสีดินแดงจากธรรมชาติ ดินจากอำเภอบัณฑิตนิคม (KRN-A) ซึ่งมีแร่เฮมาไทต์ สติลโนเมลาน และคอปเปอร์แวนาเดียมออกไซด์สูงเป็นองค์ประกอบมีศักยภาพสูงสุดในการพัฒนาเป็นเม็ดสีธรรมชาติในโทนสีน้ำตาลแดงเข้มที่สามารถนำไปใช้พัฒนาเม็ดสีจากดินธรรมชาติในอุตสาหกรรมสีและงานศิลปะได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนการวิจัย (N33A670093) และมหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี สำหรับสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Thoyib, M., Harsito, C., Basuki, Suyitno, S., & Hadi, S. (2018). Formulating water-based paint with red natural dyes. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 52(2), 259–265.
- [2] Affat, S. S. (2021). Classifications, advantages, disadvantages, toxicity effects of natural and synthetic dyes: A review. *University of Thi-Qar Journal of Science*, 8(1), 130.
- [3] Hradil, D., Grygar, T., Hradilova, J., & Bezdzicka, P. (2003). Clay and iron oxide pigments in the history of painting. *Applied Clay Science*, 22, 223–236.
- [4] Siddall, R. (2018). Mineral pigments in archaeology: Their analysis and the range of available materials. *Minerals*, 8(5), 201.

- [5] เก่งกาจ ต้นทองคำ, และจิตาภา ศรีสวัสดิ์. (2563). การศึกษาวัตถุจากธรรมชาติที่ให้สี เพื่อใช้ในการสร้างสรรค์งานจิตรกรรมไทย. ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 3626-3634.
- [6] กรมพัฒนาที่ดิน (2548). ลักษณะและสมบัติของชุดดินในภาคใต้และชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน.
- [7] Soil Survey Staff. (2014). Soil survey field and laboratory methods manual: Soil survey investigations report No. 51 Version 2.0. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- [8] Li, Y., & He, B. (2011). Characterization of ink pigment penetration and distribution related to surface topography of paper using confocal laser scanning microscopy. *BioResources*, 6(3), 2690–2702.
- [9] CILAS. (n.d.). Particle size and shape analysis in the paint, ink, and pigment industry. CILAS.
- [10] Kadhim, H. K., & Alyounis, M. (2024). Effect of surface roughness on the interface behavior of clayey soils. *Open Engineering*, 10, 20220578.
- [11] Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., & Yanai, J. (2014). Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Science of the Total Environment*, 271(1), 123–133.
- [12] Shi, W. (2020). Thermoelectric transport control using single phase materials and metamaterial composites. Doctor of Philosophy Dissertation. University of South Florida.
- [13] Lu, Y., Dong, W., Wang, W., Ding, J., Wang, Q., Hui, A., & Wang, A. (2018). Optimal synthesis of environment-friendly iron red pigment from natural nanostructured clay minerals. *Nanomaterials*, 8(11), 925.
- [14] Vodyanitskii, Y. N., & Savichev, A. T. (2017). The influence of organic matter on soil color using the regression equations of optical parameters in the system CIE-L*a*b*. *Annals of Agrarian Science*, 15(3), 380–385.
- [15] Eastaugh, N., Walsh, V., Chaplin, T., & Siddall, R. (2004). *The pigment compendium: A dictionary of historical pigments*. Butterworth-Heinemann.
- [16] Sirisathitkul, Y., & Sirisathitkul, C. (2025). Decoding Soil Color: Origins, Influences, and Methods of Analysis. *Agri Engineering*, 7(3), 58.
- [17] Coccato, A., Moens, L., & Vandenabeele, P. (2017). On the stability of mediaeval inorganic pigments: A literature review of the effect of climate, material selection, biological activity, analysis and conservation treatments. *Heritage Science*, 5, 12.

- [18] Natural Pigments. (n.d.). Pigment particle size: The role of particle size in art. [online], retrieved from <https://www.naturalpigments.com/artist-materials/pigment-particle-size-role-in-art> (28 April 2025).

การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต ในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง Enhancing Productivity Through Object Detection Systems on Production Conveyors in the Carton Milk

เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี, ฤดี นิยมรัตน์, สมเกียรติ กอบัวแก้ว,

ปริญวัฒน์ ธนศิริเยียรชัย และ กฤษดา สารรราช*

Benchalak Muangmeesri, Ruedee Niyomrath, Somkiat Korbuakaew,

Parinwat Thanasiratheerachai & Krissada Satornrach*

สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Engineering Management Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Suan Sunandha Rajabhat University

Submitted 17/03/2025 ; Revised 02/04/2025 ; Accepted 23/05/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจจับวัตถุบนสายพานและนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกผลิตภัณฑ์นม โดยทำการทดลองและเก็บข้อมูลการคัดแยกของเครื่องจักรและคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ ผลการศึกษาระบบ ตรวจจับวัตถุบนสายพานที่มีความยาว 5 เมตร พร้อมระบบการติดตั้งกล้องอุตสาหกรรมและระบบเซนเซอร์ มีหน้าที่เป็นอินพุต โดยเมื่อมีชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านมา กล้องและเซนเซอร์จะเป็นตัวตรวจจับและส่งสัญญาณ ไปยังพีแอลซีเพื่อประมวลผลว่าถูกต้องหรือไม่ หลังจากนั้นสามารถส่งสัญญาณเอาต์พุต เพื่อให้ทำการส่ง ผลิตภัณฑ์นมออกไปสู่แผนกบรรจุภัณฑ์ต่อไป โดยมีการเขียนโปรแกรมให้ตรวจจับกล่องนม 3 ชนิด หรือ 3 สี นำไปประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตในอุตสาหกรรมนม การศึกษาประสิทธิภาพของสายพานพบว่า ความเร็วของสายพานที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยก กล่องนมได้จำนวน 1,200 กล่อง ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยกกล่องนม ได้จำนวน 2,400 กล่อง และ ความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถทำการตรวจจับและคัดแยกกล่องนมได้ จำนวน 3,600 กล่อง ภายใน 1 ชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดสอบนี้ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตของ กระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่องในอุตสาหกรรมนมที่เป็นกรณีศึกษายานนิคมอุตสาหกรรมจังหวัด พระนครศรีอยุธยา ซึ่งทางบริษัทกรณีศึกษาให้ความคิดเห็นว่าหากมีการปรับความเร็วให้สายพานมี ค่าความเร็วที่มากกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถเพิ่มผลผลิตด้านการคัดแยกชนิดของนมและลดต้นทุน การผลิตได้โดยทางบริษัทมุ่งเป้าหมายของอัตราการคัดแยกที่ 6,000 กล่องต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: สายพาน แมชชีนวิชัน พีแอลซี เซนเซอร์

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: s65122546004@ssru.ac.th

Abstract

This research investigates the application of an object detection system on a conveyor belt for sorting carton milk products. The study involves experimentation, data collection on machine-based sorting processes, and the calculation of energy consumption. The implemented system consists of a 5-meter-long conveyor integrated with industrial cameras and sensors functioning as input devices. When a product moves along the conveyor, the camera and sensor detect the object and send a signal to the PLC (Programmable Logic Controller) to verify its accuracy. The system then sends output signals to direct the carton milk products to the packaging department. The system was programmed to detect three types or colors of milk cartons and was applied to the production line in a dairy factory. The performance of the conveyor system was evaluated at three different speeds: 0.2, 0.4, and 0.6 meters per second. The detection and sorting capacities were found to be 1,200, 2,400, and 3,600 cartons per hour, respectively. The system was applied to a dairy industry case study located in an industrial estate in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province. Based on feedback from the case study company, increasing the conveyor speed beyond 0.6 meters per second could further enhance sorting productivity and reduce production costs. The company aims to achieve a target sorting rate of 6,000 cartons per hour.

Keywords: conveyor belt, machine vision, PLC, sensors

บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจที่สูงขึ้นแต่ละอุตสาหกรรมการผลิตจึงไม่ใช่เพียงแค่การผลิตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ยังต้องมีการหากลยุทธ์ เครื่องมือ เครื่องจักรและวิธีการ ที่ใช้ในการบริหารงานที่ทำให้ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุด และให้ได้คุณภาพของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด เพื่อให้องค์กรสามารถอยู่รอดได้และนำหน้าคู่แข่งในตลาดอุตสาหกรรมเดียวกัน การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมจึงเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะส่งผลให้ผลผลิตของบริษัทเพิ่มขึ้น ของเสียลดลงความบกพร่องในกระบวนการผลิตจะถูกควบคุมและกำจัดลงให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและผลผลิตที่เพิ่มมากขึ้น [1] และโดยเฉพาะปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันด้านการควบคุมการผลิตให้เป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรมและระบบขับเคลื่อนเครื่องจักรกลจะเน้นใช้วิธีการประหยัดพลังงาน และการผลิตด้วยกระบวนการอัตโนมัติซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตสินค้ามีคุณภาพและได้มาตรฐาน ในอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบเทคโนโลยีการลำเลียงหรือสายพานลำเลียงเพื่อการผลิตมีหลักการทำงานอย่างง่ายก็เพื่อเป็นประโยชน์ในการรับเข้าวัตถุดิบหรือสินค้าจะถูกนำเข้าสู่ระบบผลิตผ่านสายพานลำเลียงโดยการใช้อุปกรณ์ในการนำข้อมูลเข้าเพื่อให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพสูงสุด การเคลื่อนที่และการแยกแยะ สายพานลำเลียงทำหน้าที่เคลื่อนย้ายวัตถุดิบหรือสินค้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมีการแยกแยะสินค้าในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การแยกสินค้าตามประเภท ขนาด หรือปริมาณ การควบคุมความเร็วและทิศทาง ระบบควบคุมความเร็วและทิศทางของสายพานลำเลียงใช้เซนเซอร์และระบบควบคุมเพื่อให้สายพานทำงานอย่างเหมาะสมและปลอดภัย การจัดเก็บและการนำออก หลังจากที่วัตถุดิบหรือสินค้าผ่านกระบวนการผลิตแล้ว สายพานลำเลียงจะใช้ในการจัดเก็บสินค้าหรือการนำส่งสินค้าออกจากกระบวนการผลิต เทคโนโลยีการลำเลียงหรือสายพานลำเลียงเพื่อการผลิตนั้น เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของโรงงานอุตสาหกรรม

การศึกษาอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับอาหารมีผลิตภัณฑ์ประเภทหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนไทยมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เด็กจนเป็นผู้ใหญ่ ได้แก่ผลิตภัณฑ์นม ซึ่งผลิตภัณฑ์นมมีหลายประเภทที่เป็นนมพร้อมดื่มโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์นมจากโคนมที่เราเห็นวางจำหน่ายในท้องตลาด สามารถแบ่งออกเป็นได้ 10 ประเภท [2] คือ นมสด หรือน้ำนมดิบ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่รีดออกมาสดใหม่ โดยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการต่าง ๆ นมพาสเจอร์ไรส์ เป็นนมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อน 63-72 องศาเซลเซียส นมสเตอไรล์ คือ นมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์เช่นเดียวกับนมพาสเจอร์ไรส์ แต่จะทำในอุณหภูมิที่สูงกว่าและใช้เวลานานกว่าเล็กน้อย นมยูเอชที เป็นนมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนอีกประเภทหนึ่ง โดยจะใช้ความร้อนที่สูงถึง 135-150 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 2-4 วินาที นมไขมันต่ำหรือนมพร่องมันเนย คือ นมที่ถูกสกัดแยกมันเนยออกให้เหลือไม่เกินร้อยละ 15 ทำให้มีปริมาณไขมันเพียงเล็กน้อยและให้พลังงานต่ำ แต่ยังคงมีสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย นมขาดมันเนยเป็นนมที่ถูกสกัดไขมันออกไปจนเหลือเพียงร้อยละ 0.15 เท่านั้น ทำให้สูญเสียวิตามินที่ละลายในไขมันออกไปพอสมควร นมปรุงแต่ง คือ นมวัวหรือนมผงที่นำมาผ่านกรรมวิธีการผลิตต่าง ๆ และปรุงแต่งกลิ่น สี รสชาติเข้าไป ทำให้น่ารับประทานมากขึ้น นมแลคโตสฟรีพาสเจอร์ไรส์ คือ นมปราศจากน้ำตาลแลคโตสที่มีการนำไปผ่านกระบวนการย่อน้ำตาลแลคโตสด้วยเอนไซม์แลคเตส ทำให้น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนมแปรรูปจากโมเลกุลใหญ่กลายเป็นโมเลกุลเล็ก นมเปรี้ยว เป็นนมที่มีรสชาติแตกต่างจากน้ำนมประเภทอื่น

มากที่สุด ด้วยกระบวนการที่ต้องมีการเติมแบคทีเรียที่ช่วยให้กระเพาะอาหารและลำไส้ทำงานได้เป็นปกติลง ในน้ำนมสด และนำไปหมักต่อเพื่อเพิ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ โยเกิร์ตพร้อมดื่ม หรือนมเปรี้ยวโยเกิร์ต พร้อมดื่มมีกระบวนการหมักเหมือนกับโยเกิร์ต คือใช้วัตถุดิบเป็นน้ำนมวัว จากนั้นผ่านกระบวนการหมักด้วย เชื้อจุลินทรีย์แลคโตบาซิลลัส บัลการิส และสเตรปโตคอกคัส เทอร์โมฟิลัส เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดแลคติก

การศึกษาการผลิตนมนี้ทำให้ทราบว่ากระบวนการในการผลิตและแปรรูปผลิตภัณฑ์นมที่จะทำให้มี คุณภาพและมาตรฐานนั้นมีกระบวนการที่แตกต่างกัน อาทิเช่น เวลาในการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ใน การผลิต บรรจุภัณฑ์แบบต่าง ๆ ที่ต้องมีความเหมาะสมในการบรรจุน้ำนมแต่ละชนิด การศึกษาใน กระบวนการผลิตจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ ผสมส่วนประกอบ กระบวนการฆ่าเชื้อ การบรรจุและซีล การบรรจุในกล่อง การบรรจุในภาชนะเอนกประสงค์ การเก็บรักษาและจัดส่ง หลังจากผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้น กระบวนการที่น่าสนใจในการศึกษาเพื่อให้ความสำคัญกับการจัดการวิศวกรรมนั้น ซึ่งหมายถึงการให้ ความสำคัญกับกระบวนการผลิต วิศวกรรมศาสตร์ เทคโนโลยี หรือผลิตภัณฑ์นั้น คือการเพิ่มผลผลิตให้กับ กระบวนการ หรือในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้สินค้า บริการ หรืองานที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการ ของลูกค้าด้วยวิธีการลดต้นทุน ลดการสูญเสียทุกรูปแบบ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การใช้เทคโนโลยีที่ เหมาะสม การพัฒนาศักยภาพของผู้ปฏิบัติงานและการใช้เทคนิคการทำงานต่าง ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพในการทำงาน การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมนั้นเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของการผลิตนม ตามที่ได้ศึกษาปัญหาในการผลิตของบริษัทผลิตภัณฑ์นมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบว่า ในกระบวนการผลิตบางขั้นตอน เช่นการคัดแยกผลิตภัณฑ์ของนม 3 ชนิด ได้แก่ นมสเตอริไลซ์ฉลากเหลือง ชนิดแคลเซียมสูง นมสเตอริไลซ์ฉลากฟ้าชนิดไขมันต่ำ และนมสเตอริไลซ์ฉลากขาวชนิดไม่มีไขมัน ยังคงใช้ รถเข็นทรงสูงที่มีลักษณะเป็นตะแกรงสูงปิดล้อมฐานทั้ง 4 ด้าน เพื่อรับบรรจุภัณฑ์ของนมที่ออกจากไลน์ การผลิตเพื่อส่งต่อไปยังคลังสินค้าหรือส่งไปยังสถานที่ต่าง ๆ ยังคงใช้คนงานไปรื้อรับการผลิตภัณฑ์กล่องนม หรือชนิดของนมตามสายการผลิต จากที่ได้ศึกษาระบบการขนถ่ายวัตถุและอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งใช้ระบบสายพาน ลำเลียงในการลำเลียงสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ไปยังแผนกบรรจุภัณฑ์ งานด้าน การตรวจสอบสินค้าเพื่อให้ได้มาซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการตรวจสอบเริ่มมีความนิยมสูงขึ้นเรื่อย ๆ นับตั้งแต่โรงงานผลิตอาหาร โรงงานผลิตรถยนต์ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ เป็นต้น

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่ทำการศึกษาและพัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกสีวัตถุอัตโนมัติ บนสายพานลำเลียงที่ถูกควบคุมด้วยอาคูโน ตัวเครื่องสามารถปฏิบัติงานได้ตามการออกแบบ ให้แยกชนิด วัตถุที่เป็นสีแดง สีเขียว สีน้ำเงินและสีอื่นๆ และเคลื่อนย้ายวัตถุไปยังภาชนะที่กำหนดไว้อัตโนมัติโดยอาศัย การควบคุมของอาคูโน ใช้ตัวตรวจจับแบบโฟเบอร์ออปติก เซนเซอร์อ่านค่าปริมาณของความเข้มของแสง ที่กระทบกับวัตถุและสะท้อนกลับมายังเซนเซอร์แปลผลเป็นสัญญาณที่แตกต่างกันตามแต่ละสีของวัตถุ [3] และผลงานวิจัยการสร้างเครื่องคัดแยกพริกหวานอัตโนมัติ โดยอาศัยหลักการตรวจจับสีของพริกด้วยการ ประมวลผลภาพใน ระบบภาพ HSV ผ่านระบบสายพานลำเลียง จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะควบคุมส่วนคัดแยกให้พริกหวานไหลลงสู่ช่องตามที่กำหนด โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ กับงานที่เกี่ยวข้องได้เพื่อประหยัดเวลาและประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงงานได้เป็นอย่างดี [4, 5]

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะทำการวิจัยโดยการศึกษานำระบบสายพานที่มีการติดตั้งระบบคัดแยกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติด้วยระบบเซนเซอร์และกล้องอุตสาหกรรม เพื่อศึกษาการทำงานให้มีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น สะดวกขึ้น เหนื่อยล้าน้อยลงและประสิทธิภาพการตรวจจับผลิตภัณฑ์นมในการคัดแยกและลำเลียงผลิตภัณฑ์นมที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตและลดเวลาการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตอุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมควรพิจารณาหลักเกณฑ์ทางวิจัย เช่น ความแม่นยำ (accuracy) ความน่าเชื่อถือ (reliability) และความสามารถในการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบน โดยกำหนดขอบเขตของการวิจัยไว้เป็น 3 ขั้นตอน เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

การเตรียมและติดตั้งสายพาน

ผู้วิจัยทำการประกอบโครงสร้างของสายพานที่มีความยาว 5 เมตร และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมระบบอัตโนมัติ โดยใช้โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ หรือ พีแอลซี (PLC, Programmable Logic Controller) คือ คอมพิวเตอร์อุตสาหกรรมที่ใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักรในโรงงาน การใช้พีแอลซีนีเพื่อควบคุมและสั่งการการทำงานของสายพานเป็นการประยุกต์ในงานขั้นสูงจะประกอบไปด้วยการทำงาน 4 สถานีทดลอง ดังนี้ สถานีจ่ายชิ้นงาน (distribution station) สถานีตรวจสอบชิ้นงาน (testing station) สถานีขบวนการผลิต (processing station) และสถานีขนถ่ายวัสดุ (handling station) การทำงานของ 4 สถานีนี้จะมีหน้าที่การทำงานมากมาย เช่น การตรวจจับชิ้นงาน การแยกสีชิ้นงาน การวัดขนาดชิ้นงาน การลำเลียงชิ้นงาน [6] และอื่น ๆ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมกรณีศึกษา มีการอบรมการควบคุมด้วย พีแอลซี ทุก ๆ 1 ปี และทำการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินความสามารถของระบบและกระบวนการในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ แม่นยำและมีความรวดเร็วในการคัดแยกผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดออกจากกัน โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือบนสายพาน เช่น กล้องอุตสาหกรรม เซนเซอร์ และระบบตรวจจับภาพ [8] ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกผลิตภัณฑ์ตามสีของกล่องนม ขนาดของกล่องนม หรือรูปทรงของกล่องนม โดยกำหนดความเร็วของสายพาน (conveyor speed) ประกอบด้วยความเร็ว 3 ระดับ ได้แก่ 0.2 เมตรต่อวินาที, 0.4 เมตรต่อวินาที และ 0.6 เมตรต่อวินาที ด้วยเหตุผลในข้อจำกัดของอุปกรณ์ซึ่งมีความสามารถในการจับภาพสูงสุดที่ 200 เฟรมต่อวินาที (fps) ที่ความละเอียด 1.3 ล้านพิกเซล ด้วยความเร็วในการลำเลียงที่เลือกมากกล้องสามารถจับภาพของกล่องนมได้น้อย 2-3 เฟรมต่อกล่อง ซึ่งเพียงพอสำหรับการประมวลผลภาพและการวิเคราะห์ตำแหน่งหรือข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งข้อจำกัดของระบบ

มอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนสามารถรองรับความเร็วในช่วง 0-0.8 เมตรต่อวินาที โดยค่าที่เลือก 3 ระดับนี้ ยังอยู่ในช่วงที่ระบบควบคุมสามารถส่งสัญญาณและรับข้อมูลจากเซนเซอร์ได้ทันโดยไม่เกิดความคลาดเคลื่อน การเลือกค่าความเร็วทั้ง 3 ระดับ ยังช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบกลิ้งภายใต้เงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างเป็นระบบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วสายพานกับความแม่นยำในการตรวจจับ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การเตรียมและติดตั้งสายพาน (ก) สายพานที่ใช้ในการวิจัย (ข) การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับสายพาน (ค) อุปกรณ์ในการส่งการและควบคุมสายพาน (ง) ไฟสัญญาณแจ้งเตือนระบบ

ตั้งค่าพารามิเตอร์ของกล่องและเซนเซอร์เพื่อให้ระบบสามารถตรวจจับและคัดแยกผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การปรับความไวแสง ความเร็วของสายพาน และการตั้งค่าเกณฑ์การคัดแยกตามสีของกล่องนม ขนาดของกล่องนม รูปทรงของกล่องนม [7] ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ เพื่อการเก็บรวบรวมข้อมูลการคัดแยกผลิตภัณฑ์กล่องนมผลิตภัณฑ์นมสเตอริไลซ์จำนวน 3 สี ได้แก่ บรรจุภัณฑ์สีเหลืองหรือนมแคลเซียมสูง บรรจุภัณฑ์สีฟ้าหรือนมไขมันต่ำ และบรรจุภัณฑ์สีขาวหรือนมไม่มีไขมัน จัดวางบรรจุภัณฑ์นมชนิดละ 3 กล่อง สลับกัน (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การจัดเรียงบรรจุภัณฑ์เพื่อทดลองการคัดแยกตามเวลาที่กำหนด

การเก็บข้อมูลและการประมวลผลการเพิ่มผลผลิต

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำงานของระบบ เช่น จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดแยกถูกต้อง จำนวนข้อผิดพลาด ความเร็วในการคัดแยก และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น
- 2) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อประเมินประสิทธิภาพ เช่น อัตราการคัดแยกที่ถูกต้อง ความเร็วในการคัดแยก ต้นทุนการผลิต และการลดของเสีย

การวิเคราะห์การเพิ่มผลผลิตตามปัจจัยของการเพิ่มผลผลิต

- 1) ดำเนินการทดสอบระบบคัดแยกด้วยผลิตภัณฑ์ตัวอย่างเพื่อประเมินความถูกต้อง ความแม่นยำและความรวดเร็วในการคัดแยก ผู้วิจัยดำเนินการแต่ละระดับความเร็วของสายพาน (เมตร/วินาที) จำนวน 3 ระดับ ทำการทดสอบ 10 ครั้งต่อวันเป็นจำนวน 3 วัน รวมจำนวนทั้งสิ้น 90 ครั้ง ในการทดสอบ โดยการควบคุมบรรยากาศและอุณหภูมิไม่ให้แตกต่างกัน
- 2) ตรวจสอบว่าระบบสามารถแยกผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดที่กำหนดไว้โดยไม่มีข้อผิดพลาดหรือปัญหา

ผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อง จากการศึกษาสายพานลำเลียงจากการสร้างระบบสายพานจำลองและชุดทดลองคัดแยกชิ้นงานบนสายพานลำเลียงขนาดเล็กโดยใช้ระบบเซนเซอร์ในการตรวจจับและแยกสีของนมกล่องตามรสชาติของนมกล่อง ผู้วิจัยทำการทดลองสร้างสายพานที่ใช้ในการเทียบเคียงระบบการผลิตจริง ทำการทดลองปล่อยกล่องนมที่ใช้ในการทดลอง น้ำหนักรวม 182 กรัม จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ กล่องนมสีเหลือง แทนนมชนิดสตอร์อริจินัล กล่องนมสีฟ้า แทนนมสูตรไขมันต่ำ และกล่องนมสีขาว แทนนมสูตรไม่มีไขมัน ทำการวิจัยโดยใช้สายพานทดลองที่มีความยาว 10 เมตร แทนค่าสายพานการผลิตจริงที่ 100 เมตร การศึกษากระบวนการตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตอุตสาหกรรมโดยการเก็บข้อมูลจากระบบผู้วิจัยได้ทำการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงาน การบันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิต โดยใช้ความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที ในแต่ละความเร็วของสายพานใช้เวลาในการทดสอบในการปล่อยกล่องนม 30.0 วินาที

ผลการวิจัยระบบการตรวจจับด้วยกล้องอุตสาหกรรมจำนวน 90 ครั้ง พบว่าระบบสามารถตรวจจับและคัดแยกชิ้นงานได้อย่างถูกต้องครบถ้วนทุกครั้ง โดยมีค่าเฉลี่ยความแม่นยำเท่ากับร้อยละ 100 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0 และไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนในการตรวจจับ ($SE = 0$) แสดงถึงเสถียรภาพและประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขการทดลองดังกล่าว โดยผลการทดสอบความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 600 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 1,200 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที และ ความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 1,800 กล่อง ในระยะเวลา 30 วินาที โดยไม่มีความผิดพลาดในการคัดแยก (ตารางที่ 1)

สำหรับการศึกษาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการผลิต ซึ่งจากการวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์ได้จาก (1) ต้นทุนคงที่ก่อนการปรับปรุงมีต้นทุนที่ 5,325,000 บาท หลังการปรับปรุงมีต้นทุนลดลงเหลือเพียง 710,000 บาท (2) ต้นทุนผันแปรก่อนการปรับปรุงมีต้นทุน 75,000 บาท หลังการปรับปรุงมีต้นทุนลดลงเหลือเพียง 65,786 บาท (3) จำนวนการผลิต (กล่อง) ก่อนการปรับปรุงสามารถคัดแยกได้จำนวน 4,492,800 กล่อง หลังการปรับปรุงความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 748,800 กล่อง ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 2,995,200 กล่อง และความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที สามารถคัดแยกนมกล่องได้ 4,492,800 กล่อง ซึ่งเป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุดในการประยุกต์ใช้การผลิต (4) ต้นทุนต่อหน่วย (บาท) ก่อนการปรับปรุงมีต้นทุนที่ 1,500 บาท หลังการปรับปรุงความเร็วที่สายพาน 0.2 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 7,700 บาท ซึ่งสูงกว่าก่อนการปรับปรุง ความเร็วที่สายพาน 0.4 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 1,925 บาท ซึ่งสูงกว่าก่อนการปรับปรุงเช่นกัน และความเร็วที่สายพาน 0.6 เมตรต่อวินาที มีต้นทุน 1,283 บาท ซึ่งต่ำกว่าก่อนการปรับปรุง ซึ่งเป็นต้นทุนต่อหน่วยที่เหมาะสม (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที

	จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
ความเร็ว (เมตร/วินาที)	0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)			
1.0	20	40	60
1.5	30	60	90
2.0	40	80	120
2.5	50	100	150
3.0	60	120	180
3.5	70	140	210
4.0	80	160	240
4.5	90	180	270
5.0	100	200	300
5.5	110	220	330
6.0	120	240	360
6.5	130	260	390
7.0	140	280	420
7.5	150	300	450
8.0	160	320	480
8.5	170	340	510
9.0	180	360	540
9.5	190	380	570
10.0	200	400	600
10.5	210	420	630
11.0	220	440	660
11.5	230	460	690
12.0	240	480	720
12.5	250	500	750

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที (ต่อ)

	จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
ความเร็ว (เมตร/วินาที)	0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)			
13.0	260	520	780
13.5	270	540	810
14.0	280	560	840
14.5	290	580	870
15.0	300	600	900
15.5	310	620	930
16.0	320	640	960
16.5	330	660	990
17.0	340	680	1,020
17.5	350	700	1,050
18.0	360	720	1,080
18.5	370	740	1,110
19.0	380	760	1,140
19.5	390	780	1,170
20.0	400	800	1,200
20.5	410	820	1,230
21.0	420	840	1,260
21.5	430	860	1,290
22.0	440	880	1,320
22.5	450	900	1,350
23.0	460	920	1,380
23.5	470	940	1,410
24.0	480	960	1,440
24.5	490	980	1,470
25.0	500	1,000	1,500
25.5	510	1,020	1,530

ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดสอบระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานการผลิต ความเร็ว 0.2, 0.4 และ 0.6 เมตรต่อวินาที (ต่อ)

		จำนวนกล่องที่คัดแยกได้ (กล่อง)		
ความเร็ว (เมตร/วินาที)		0.2	0.4	0.6
ระยะเวลาที่ใช้ (วินาที)				
26.0		520	1,040	1,560
26.5		530	1,060	1,590
27.0		540	1,080	1,620
27.5		550	1,100	1,650
28.0		560	1,120	1,680
28.5		570	1,140	1,710
29.0		580	1,160	1,740
29.5		590	1,180	1,770
30.0		600	1,200	1,800

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังจากระบบตรวจจับวัตถุบนสายพาน

ต้นทุนคงที่ (บาท)		ต้นทุนผันแปร (บาท)		จำนวนการผลิต (กล่อง)		ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	748,800	1,500	7,700
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	2,995,200	1,500	1,925
5,325,000	710,000	75,000	65,786	4,492,800	4,492,800	1,500	1,283

อภิปรายผลการวิจัย

จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาระบบตรวจจับวัตถุบนสายพานและนำไปประยุกต์ใช้ในการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมขึ้นนั้นเพื่อประโยชน์ในการนำไปพัฒนาการผลิตตลอดถึงการตรวจจับคัดแยกชนิดของนมหรืออาจจะไปปรับปรุงกระบวนการผลิตในโรงงานโดยใช้ระบบสายพานลำเลียงหรือระบบคลังอุตสาหกรรมในการตรวจจับและคัดแยกอื่น ๆ ทำให้พบว่าการลงทุนนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยโดยเฉพาะระบบอัตโนมัติที่มีส่วนช่วยให้ต้นทุนคงที่ซึ่งสอดคล้องกับ Gaikwad และคณะ [9] ซึ่งพบว่าในกระบวนการผลิตหรืออุตสาหกรรมการผลิตวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องถูกขนส่งจากขั้นตอนการผลิตหนึ่งไปยังอีกขั้นตอนหนึ่ง อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกให้สามารถขนส่งได้ง่าย ราคาถูก รวดเร็ว และปลอดภัย โดยมีการใช้มนุษย์ที่น้อยที่สุด ซึ่งการวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบสายพานลำเลียงสามารถนำมาใช้เพื่อการขนถ่ายวัสดุที่มีน้ำหนักมากและความสูงเกินขีดความสามารถที่มนุษย์จะสามารถทำได้ วิจัยนี้เป็นการศึกษาในด้าน

วิศวกรรมเครื่องกลกล่าวถึงการคำนวณการออกแบบและข้อพิจารณาของระบบสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องกดโลหะในแง่ของขนาด ความยาว ความจุและความเร็ว เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง กำลังและแรงดึง ระยะห่างของลูกกลิ้งรองรับ ประเภทของชุดขับเคลื่อน เส้นผ่านศูนย์กลาง ตำแหน่งและการจัดเรียงของมู่เล่ย์ มุมและแกนของการหมุน โหมดควบคุม วัสดุที่จะขนถ่ายรวมถึงความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดเพื่อให้มั่นใจถึงการเคลื่อนย้ายวัสดุที่รวดเร็วต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้สำเร็จจะช่วยพัฒนาให้เกิดระบบสายพานลำเลียงอัตโนมัติที่รวดเร็ว ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดภาระของพนักงานและในขณะเดียวกันเพิ่มระดับผลผลิตและความแม่นยำที่ไม่สามารถทำได้ด้วยการปฏิบัติงานแบบแมนนวล นอกจากนี้ ยังสอดคล้องกับ Husár และคณะ [10] ที่สนับสนุนการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตด้วยระบบสายพานลำเลียงโดยใช้แนวคิดของเจาดิจิทัล ซึ่งผลการวิจัยเชิงดิจิทัลเป็นแบบจำลองดิจิทัลที่เหมือนจริงของระบบสายพานลำเลียงในโลกจริงทำให้สามารถจำลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานจริงได้อย่างละเอียด ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึกและการระบุจุดที่สามารถปรับปรุงได้ เป้าหมายของแนวทางนี้ไม่เพียงแต่เพื่อให้เข้าใจพลวัตและประสิทธิภาพของระบบสายพานลำเลียงที่มีอยู่ได้ดียิ่งขึ้นเท่านั้น แต่ยังมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมผ่านการจำลองเชิงพยากรณ์และอัลกอริธึมการเพิ่มประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้สถิติการบูรณาการเจาดิจิทัลเข้ากับกระบวนการจำลองสามารถช่วยให้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในสภาพแวดล้อมการผลิตได้ดีขึ้น ลดระยะเวลาหยุดทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระแสการผลิต และสอดคล้องกับ Li และคณะ [11] ซึ่งดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจจบบัตถุแตกปลอมบนสายพานลำเลียงโมลิบดีนัมที่ได้รับการปรับปรุงโดยอิงจากการจดจำภาพในกระบวนการทำเหมืองโมลิบดีนัมที่มีสายพานลำเลียงที่ทอดยาวหลายไมล์ถูกใช้ในการขนส่งสินแร่ระหว่างจุดระเบิด สถานีบดย่อย และโรงแต่งแร่ เพื่อให้มั่นใจถึงความปลอดภัยและเสถียรภาพของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม การวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการตรวจจบบัตถุแตกปลอมบนสายพานลำเลียงโดยใช้การเรียนรู้เชิงลึกโดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาความสามารถในการสกัดสิ่งที่ไม่ใช่คุณลักษณะที่ต้องการซึ่งในวิธีการตรวจจบบัตถุแตกปลอมที่ใช้กล้องอุตสาหกรรม [10] นอกจากนี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวิจัยนี้อาจต้องศึกษาเพิ่มเติมถึงปัญหาเรื่อง ผุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ปิดหน้าเลนส์ของกล้องเซนเซอร์ ส่งผลต่อความแม่นยำของการตรวจจับซึ่งถือเป็นข้อจำกัดที่พบบ่อยในงานวิจัยที่ใช้กล้องเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น งานภาคสนาม โรงงาน หรือสถานที่กลางแจ้ง ซึ่งสอดคล้องกับ Kim และคณะ [12] ที่พบว่าลักษณะของหยดน้ำ เช่น ปริมาตร จำนวน และรูปร่าง มีอิทธิพลอย่างมากต่อทั้งคุณภาพของภาพและประสิทธิภาพในการตรวจจบบัตถุ โดยให้ข้อมูลเชิงลึกที่สำคัญในการเลือกวัสดุของเลนส์กล้องที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบระหว่างพื้นผิวที่ขรุขระและไม่ขรุขระ พร้อมทั้งเน้นถึงความไวของอัลกอริธึมอัจฉริยะต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม และเน้นย้ำถึงความสำคัญของเทคนิคการทำความสะอาดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งการวิจัยทั้งหมดนี้เป็นการศึกษาที่ต้องใช้ระบบสายพานและระบบการตรวจจับทั้งเส้นซึ่งเป็นผลดีต่อการศึกษาระบบการคัดแยกวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่องและการประยุกต์กับการผลิตอื่น ๆ และในอนาคตสามารถพัฒนาให้ระบบสายพานนอกจากจะเป็นเพียงระบบอัตโนมัติที่ยังใช้มนุษย์ควบคุม ส่วนหนึ่งอาจจะมีการพัฒนาโดยการใช้อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ซึ่งสอดคล้องกับ Zeng และ Xie [13] เป็นการศึกษาแบบควบคุมแบบประสานงานเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

(Internet of Things) สามารถตรวจวัดความเร็วของสายพาน ปริมาณการไหลของวัสดุ และการใช้พลังงานของสายพานแต่ละระดับได้แบบเรียลไทม์ โดยใช้เซนเซอร์และโมดูลเก็บข้อมูล

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อ่งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตอุตสาหกรรมและประยุกต์ใช้ระบบตรวจจับวัตถุดิบสายพานการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการคัดแยกผลิตภัณฑ์นมกล่อ่ง โดยใช้สถานที่เป็นกรณีศึกษาจากบริษัทผลิตอาหารและนมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา วิธีการดำเนินการวิจัยเป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ และผสมผสานกับการวิจัยเชิงปริมาณ โดยการศึกษากระบวนการสายพานที่มีการติดตั้งระบบคัดแยกผลิตภัณฑ์อัตโนมัติด้วยระบบเซนเซอร์และกล้องอุตสาหกรรม ประกอบโครงสร้างของสายพานที่มีความยาว 5 เมตร และติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการควบคุมระบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมเมเบิล ลอจิก คอนโทรลเลอร์ หรือ พีแอลซี ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทำงานของระบบ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกคัดแยกถูกต้อง จำนวนข้อผิดพลาด ความเร็วในการคัดแยก และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น การวิจัยครั้งนี้ใช้สายพานการผลิตที่มีความเร็ว 0.2 เมตรต่อวินาที ความเร็ว 0.4 เมตรต่อวินาที และความเร็ว 0.6 เมตรต่อวินาที ผลการวิจัยพบว่าความเร็วที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ได้แก่ ความเร็วที่ 0.6 เมตรต่อวินาที เพราะมีต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าติดตั้งเครื่องจักร ค่าแรงงานถาวร ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าวัสดุบำรุงเครื่องจักร ค่าไฟฟ้า ที่ลดลงก่อนการติดตั้งระบบตรวจจับ ผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต้นทุนของสายพานไว้ที่ 100 เมตร ซึ่งมีต้นทุนรวมทั้งหมด 969,286 บาทต่อปี ประกอบด้วย (1) ต้นทุนทางตรง (direct costs) ได้แก่ ค่าวัสดุสิ้นเปลืองจำนวน 15,000 บาท ค่าจ้างพนักงาน (แรงงานทางตรง) จำนวน 710,000 บาท และ (2) ต้นทุนทางอ้อม (overhead costs) ประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักรจำนวน 193,500 บาท ค่าไฟฟ้าจำนวน 15,786 บาทและค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมจำนวน 35,000 บาท โดยทั้งนี้ต้นทุนรวมไม่รวมต้นทุนเครื่องจักรเริ่มต้นจำนวน 3,875,000 บาท เนื่องจากเป็นต้นทุนการลงทุน (capital cost) ไม่ใช่ต้นทุนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตประจำปี จากการสัมภาษณ์และให้ข้อมูลโดยบริษัทกรณีศึกษามีความคิดเห็นสอดคล้องกับผลการศึกษาวิจัยที่ต้องการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้โดยการสร้างสายพานในสายการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการคัดแยกชนิดของนม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาทุกท่าน ตลอดถึงพนักงานและบุคลากรทุกท่านของอุตสาหกรรมนม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจสอบข้อมูลและให้การสนับสนุนในการทดลองตลอดถึงสาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณาให้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบอัตโนมัติของกล้องอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรธัญ ปาละพรพิสุทธิ์. (2560). LEAN 4.0 Manufacturing. กรุงเทพฯ: ไอ พี อาร์ ไอ.
- [2] บริษัท เซาท์เทิร์นแดรี่ จำกัด. (2567). ประเภทของนมพร้อมดื่ม. All Seasons Dairy. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://allseasondairy.com/th/blog> (5 เมษายน 2567).
- [3] สนทร ก้องสินธุ์, อนุชิต สิงห์จันทร์, สมนึก ดำาญ, และณัฐวิชัย สุขสง. (2561). การออกแบบชุดทดลองคัดแยกสีอัตโนมัติบนระบบสายพานลำเลียง โดยโมดูลแยกสีอัตโนมัติ. วารสารวิจัยและนวัตกรรมสถาบันการอาชีวศึกษากรุงเทพมหานคร, 1(2), 56–68.
- [4] ณัฐพงศ์ พัน้อย, อภิรักษ์ คงประเวช, เดชาธร เหล็กอยู่ม่น, และปฏิพล ทรัพย์ทวีปัญญา. (2564). การสร้างต้นแบบระบบสายพานลำเลียงสำหรับเครื่องบรรจุน้ำดื่มอัตโนมัติโดยใช้พีแอลซี. Engineering Transactions, 24(1), 28–36.
- [5] Siva Vardhan, D. S. V., & Narayan, Y. S. (2015). Development of an automatic monitoring and control system for the objects on the conveyor belt. In 2015 International Conference on Man and Machine Interfacing (MAMI), 1–6.
- [6] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2559). คัมภีร์การใช้งานหุ่นยนต์. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [7] เดชฤทธิ์ มณีธรรม. (2564). คัมภีร์การใช้งาน Machine Vision ควบคุมด้วย LabVIEW และ Vision Builder. ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- [8] Hornberg, A. (2006). Handbook of machine vision. Wiley-VCH.
- [9] Gaikwad, A., Raut, Y., Desale, J., Palhe, A., Shelar, G., & Pawar, S. (2018). Design and development of automated conveyor system for material handling. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 15(2), 31–34.
- [10] Husár, J., Hrehova, S., Trojanowski, P., & Brillinger, M. (2024). Optimizing the simulation of conveyor systems through digital shadow integration to increase assembly process efficiency. Technologia I Automatyizacja Montażu, 123(1), 16–22.
- [11] Li, M., Lu, C., Yan, X., He, R., & Zhao, X. (2024). Enhanced detection of foreign objects on molybdenum conveyor belt based on anchor-free image recognition. Applied Sciences, 14(16), 7061.
- [12] Kim, H., Yang, Y., Kim, Y., Jang, D.-W., Choi, D., Park, K., Chung, S., & Kim, D. (2025). Effect of droplet contamination on camera lens surfaces: Degradation of image quality and object detection performance. Applied Sciences, 15(5), 2690.
- [13] Zeng, F., & Xie, Z. (2018). Coordinated control system of multi-level belt conveyors for promotion of energy efficiency based on IoT technology. In 5th International Conference on Information Science and Control Engineering (ICISCE), 675–679.

แบบจำลองการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก: บอลลูน The Expansion of the Small Universe Model: Balloon

สมยศ ศรีคงรักษ์, สุขพิชญา จรรย์ชล และ โชติ เนืองนนท์*
Somyot Srikongrug, Sookpichaya Charrunchon & Chote Nuangnun*

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี
Department of Physics, Faculty of Science and Technology,
RambhaiBarni Rajabhat University

Submitted 05/04/2025 ; Revised 22/05/2025 ; Accepted 26/05/2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็กและศึกษา ลักษณะทางกายภาพของการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก ตลอดจนศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎี การขยายตัวของเอกภพด้วยเทคนิคการใช้บอลลูน ที่เป็นวัสดุที่หาง่าย มีราคาถูก สะดวกสำหรับการทดลอง ผลการวิจัยพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับผลทางทฤษฎี โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ออกห่างและความยาวส่วนโค้งแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงที่สอดคล้องกับสมการ

$$v = H(t)l \text{ การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ฮับเบิลในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปตามสมการ } v = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = \frac{1}{3}t$$

การเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้งระหว่างจุด 2 จุดกับเวลา(วินาที) เป็นไปตามสมการ

$$l(t) = \left(\sqrt{\frac{3Q}{4\pi}} \theta_0 \right) t^{\frac{1}{3}} \text{ และท้ายที่สุดเป็นการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นผิวของการขยายตัวของบอลลูน พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับผลทางทฤษฎีโดยพื้นฐาน}$$

$$s(t) = 0.0316(t^{\frac{1}{3}})^2 + 0.0004(t^{\frac{1}{3}}) + 0.0027$$

คำสำคัญ: บอลลูน กฎของฮับเบิล การขยายตัวของเอกภพ

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)

E-mail: chote.n@rbru.ac.th

Abstract

This research emphasized on create a model of the expansion of the small universe and study the physical characteristics of the expansion of the small universe, including a comparative study with the theory of universe expansion using balloon technique, which is an easy-to-find material, cheap and convenient for experimentation. The research results found that the experimental data were consistent with theoretical results. The regression velocity and arc length show a linear relationship that corresponds to the equation $v = H(t)l$. The change in the value of the Hubble constant over time is given by $v = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = \frac{1}{3}t$. The change of arc length between two points with time (seconds) is given by $l(t) = \left(\sqrt{\frac{3Q}{4\pi}} \theta_0 \right) t^{\frac{1}{3}}$. Finally, the analysis of the motion of objects on the surface of the balloon expansion found that the experimental results were basically consistent with the theoretical results $s(t) = 0.0316(t^{\frac{1}{3}})^2 + 0.0004(t^{\frac{1}{3}}) + 0.0027$

Keyword: balloon, Hubble law, universe expansion

บทนำ

การค้นพบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการศึกษาเอกภพสมัยใหม่ คือ การสังเกตการขยายตัวของเอกภพด้วยความเร่งของจักรวาล [1] มีหลายทฤษฎีที่ใช้อธิบายกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพ [2, 3] ทฤษฎีบิกแบง (big bang theory) เป็นหนึ่งในทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในการอธิบายเอกภพที่กำเนิดมาจากจุดเล็ก ๆ ที่มีความหนาแน่นและอุณหภูมิที่สูงมากเมื่อประมาณ 13.8 พันล้านปีที่ผ่านมานี้ [4] การค้นพบการเลื่อนของทางแดงของระบบกาแล็กซีของ Edwin Hubble ในศตวรรษที่ 20 นำไปสู่ข้อสรุปว่ากาแล็กซีมีการขยายตัว [5] การค้นพบนี้สอดคล้องกับทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปของไอสไตน์ซึ่งกล่าวว่าจักรวาลไม่ได้อยู่นิ่งแต่มีการเคลื่อนที่ [6] โดยพบว่าทุกกาแล็กซีมีการเคลื่อนที่ออกจากโลกและยังสรุปว่า กาแล็กซีที่อยู่ห่างไกลจากโลกออกไปกำลังเคลื่อนที่ออกไปด้วยความเร็วที่มากขึ้น ความเร็วของกาแล็กซี v เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะห่างจากโลก d ซึ่งเป็นกฎที่มีชื่อเรียกของฮับเบิล $v = H_0 d$ ที่ H_0 คือ ค่าคงที่ของฮับเบิล จึงตีความเพื่อบ่งชี้ว่าเอกภพกำลังขยายตัวอย่างสม่ำเสมอในทุกทิศทาง ดังนั้น กาแล็กซีรอบ ๆ ทั้งหมดจึงเคลื่อนที่ออกจากศูนย์กลางกาแล็กซี ต่อมาในปี ค.ศ.1998 Perlmutter และคณะ [7] สรุปพื้นฐานจากการสังเกตซูเปอร์โนวาประเภท I_a พบว่า การขยายตัวของเอกภพเป็นไปด้วยความเร่ง จากการศึกษาสังเกตทางดาราศาสตร์ของ Peebles และคณะ [8] พบว่า สสารมืดและพลังงานมืดทำให้เอกภพเกิดการขยายตัวด้วยความเร่ง

การขยายตัวของเอกภพเป็นตัวอย่างของการขยายตัวของอวกาศ 3 มิติในกาลอวกาศ 4 มิติ ซึ่งเป็นแนวคิดเชิงนามธรรมที่ทำนายสำหรับผู้เริ่มศึกษาดาราศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่ายังมีความเข้าใจผิดเกี่ยวกับการขยายตัวของเอกภพ [9] ในตำราทางดาราศาสตร์เปรียบเอกภพได้กับบอลูนที่กำลังขยายตัวโดยพื้นผิวของบอลูนจะขยายตัวในอวกาศและจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวของบอลูนจะเคลื่อนที่ออกจากกัน [10] แต่อย่างไรก็ตาม มีการทดลองเพียงไม่กี่ครั้งเกี่ยวกับกฎที่เกี่ยวกับการขยายตัวของจักรวาล โดยการใช้บอลูนมีน้อย [11, 12] จึงมีข้อจำกัดต่อการส่งเสริมความเข้าใจของเอกภพ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจการศึกษาเจาะลึกทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงทดลอง แบบจำลองพฤติกรรมของการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็กบนพื้นผิวของบอลูน ที่ใช้เครื่องมือทดลองอย่างง่ายและความรู้พื้นฐานทางฟิสิกส์ และการเคลื่อนที่ของอนุภาคบนพื้นผิวของบอลูนที่กำลังขยายตัวนั้นจะถูกตรวจสอบในทางทฤษฎี กฎการขยายตัวที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการทดลองและจากกฎการขยายตัวของบอลูนเพื่อเปรียบเทียบกับกฎการขยายตัวของเอกภพ

การขยายตัวของบอลูนทรงกลม: สมมติว่าบอลูนทรงกลมถูกสูบลมให้พองโดยปั๊มลมในระหว่างที่กระแสลม Q ไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาตรของลูกโป่งกำลังขยายตัว สมการแสดงการเปลี่ยนแปลงตามเวลาที่มีความสัมพันธ์ดังนี้ [12]

$$\frac{4}{3}\pi R(t)^3 = Qt \quad (1)$$

ดังนั้น รัศมีของบอลูนจึงสามารถกำหนดได้เป็น

$$R(t) = \sqrt[3]{\frac{3Q}{4\pi}t} \quad (2)$$

จากภาพที่ 1 (ก) ในระหว่างที่บอลลู่นขยายตัว กำหนดให้อนุภาค 2 อนุภาคบนผิวของบอลลู่นเป็น a และ b ให้เป็นจุด 2 จุดบนพื้นผิวของบอลลู่นในขณะที่บอลลู่นมีรัศมี R ต่อมาเมื่อบอลลู่นขยายตัวโดยมีรัศมีเป็น R' ซึ่งจะกำหนดสัญลักษณ์จุด 2 จุดบนพื้นผิวบอลลู่นเป็น a' และ b' มุมศูนย์กลางระหว่าง 2 จุดนี้คือ θ_0 จะคงที่ และความยาวส่วนโค้งระหว่าง 4 จุดดังกล่าวเปลี่ยนเป็น $l' = R'\theta_0$ รูปแบบอนุภาค 2 อนุภาค a และ b บนพื้นผิวบอลลู่นที่มีรัศมี R เป็นอนุภาค a' และ b' บนพื้นผิวบอลลู่นที่มีรัศมี R' ที่บอลลู่นขยายตัว ความเร็วในการเคลื่อนที่ออกห่างของสองอนุภาคนี้นี้คือ [10]

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{l' - l}{\Delta t} = \frac{dR}{dt} \theta_0 = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} l \quad (3)$$

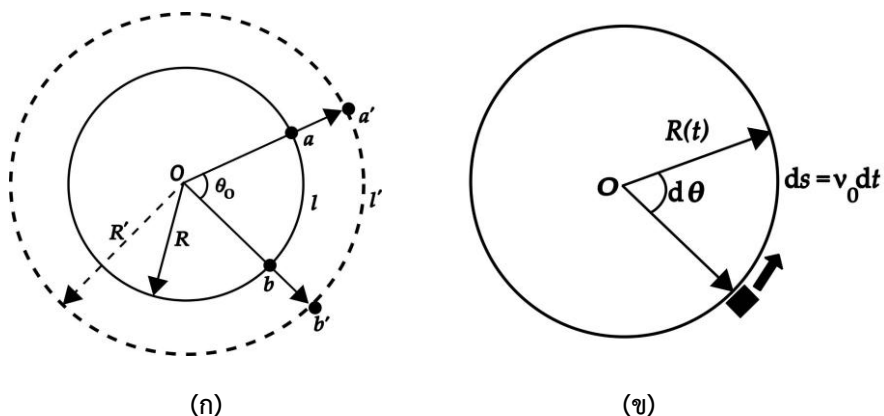
ปริมาณทางฟิสิกส์ที่อธิบายอัตราการขยายตัวของบอลลู่นหรือค่าคงที่ของฮับเบิล สามารถกำหนดเป็น

$$H(t) = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} \quad (4)$$

ตามกฎของฮับเบิล [13]

$$v = H(t)l \quad (5)$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของฮับเบิลจึงแปรผันตามเวลามากกว่าจะเป็นค่าคงที่



ภาพที่ 1 (ก) บอลลู่นขยายตัวจากรัศมี R เป็น R' (ข) วัตถุเคลื่อนที่บนพื้นผิวของบอลลู่นที่ขยายตัวด้วยความเร็ว v_0

ในทางดาราศาสตร์ค่าคงที่ของฮับเบิลจะแปรผันตามเวลาเมื่อการเคลื่อนทางแดงของกาแล็กซีมีค่ามาก [10, 14] ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งความเร็ว v ของจุดใด ๆ บนพื้นผิวบอลลู่นที่สัมพันธ์กับจุด a จะเป็นสัดส่วนกับความยาวส่วนโค้ง l ซึ่งบ่งชี้ว่าจุดทั้งหมดบนพื้นผิวบอลลู่นกำลังเคลื่อนที่ออกจากกัน

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าบอลลู่นำลงขยายตัวในอากาศ เมื่อแทนค่าสมการที่ (2) $R(t) = \sqrt[3]{\frac{3Q}{4\pi}} t^{\frac{1}{3}}$ ในสมการที่ (4) $H(t) = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)}$ ปริมาณ H สามารถเขียนได้เป็น [12]

$$H(t) = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = \frac{1}{3t} \quad (6)$$

ดังนั้น ค่าคงที่ของฮับเบิลจึงไม่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศแต่จะแปรผกผันกับเวลา จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าคงที่ฮับเบิลสำหรับเอกภพยุคสสาร (The matter-dominated universe) มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับเวลาในแบบจำลองจักรวาลวิทยามาตรฐาน [10]

เมื่อพิจารณากรณีการเปลี่ยนแปลงของความยาวส่วนโค้ง $l(t)$ ระหว่างสองอนุภาค a และ b กับเวลา ในการวิเคราะห์กระบวนการขยายตัวของบอลลู่น โดยนิพจน์ต่อไปนี้สามารถอธิบายบนพื้นฐานของสมการ $l(t) = R(t)\theta_0$ ดังนั้นเมื่อแทนค่า $R(t)$ จะได้

$$l(t) = \left(\sqrt[3]{\frac{3Q}{4\pi}} \theta_0 \right) t^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

ขณะที่มุมศูนย์กลางระหว่าง 2 อนุภาค (θ_0) ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงในขณะที่บอลลู่นขยายตัว ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่า ความยาวส่วนโค้งระหว่าง 2 อนุภาคเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $t^{\frac{1}{3}}$ จากการสังเกตทางดาราศาสตร์พบว่า การขยายตัวของเอกภพเป็นรูปแบบเทอร์ฟากฟ้าที่มีการขยายตัวด้วยเช่นกัน

ต่อมาลองพิจารณาแบบจำลองที่ 2 โดยกำหนดให้วัตถุเคลื่อนที่ไปบนผิวบอลลู่นขณะที่กำลังขยายตัว โดยวัตถุนั้นเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_0 การเคลื่อนที่แบบนี้มักเรียกว่าเคลื่อนที่แบบแปลกประหลาด (The peculiar motion) [10] ดังภาพที่ 1 (ข) จะได้

$$v_0 dt = R(t) d\theta \quad (8)$$

จากระยะเวลา t_0 ถึง t ความยาวส่วนโค้งที่วัตถุเคลื่อนที่บนผิวบอลลู่นสามารถเขียนให้เป็น

$$s(t) = R(t) \int_{t_0}^t \frac{v_0}{R(t)} dt \quad (9)$$

แทนค่า $R(t)$ ลงในสมการจะได้

$$s(t) = \frac{3}{2} v_0 t^{\frac{1}{3}} \left(t^{\frac{2}{3}} - t_0^{\frac{2}{3}} \right) \quad (10)$$

ความยาวส่วนโค้งที่วัตถุเคลื่อนที่ถือว่าเป็นผลรวมของการขยายตัวและการเคลื่อนที่ที่อยู่ในลักษณะแปลกประหลาดของวัตถุนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการไหลของอากาศในบอลลู่นแต่เป็นสัดส่วนกับความเร็วการเคลื่อนที่ของวัตถุ v_0

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างแบบจำลองการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็กโดยใช้บอลูน
2. เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็ก
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกับทฤษฎีการขยายตัวของเอกภพ

วิธีดำเนินการวิจัย

ตอนที่ 1 การเตรียมการก่อนการทดลอง: การขยายตัวของเอกภพ

การศึกษาต้นแบบการขยายตัวของเอกภพโดยใช้บอลูน ถูกออกแบบการทดลองดังภาพที่ 1 บอลูน ผลิตโดย Jelly Balloon Ball 2.0 ที่ถูกทำให้ขยายตัว ณ เวลาต่าง ๆ โดยเครื่องปั๊มลมไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 2 (ก) และ (ข) ในการทดสอบกฎการขยายตัวของเอกภพโดยการขยายตัวของบอลูน กระทำการโดยกำหนดจุดบนบอลูน จำนวน 11 จุด รวมจุดอ้างอิง โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยกำหนดจุด หลังจากการสูบลมเข้าครั้งที่ 1 ดังภาพ 2 (ก) โดยปากกามาร์คเกอร์ลงบนพื้นผิวบอลูนและมีป้าย สติกเกอร์กำกับระบุแต่ละจุด และเวลาการขยายตัวของบอลูนจะถูกจับเวลาโดยนาฬิกาจับเวลา ทำการวัดระยะระหว่างจุดที่กำหนดไว้บนบอลูนแต่ละจุดที่เวลาต่าง ๆ ที่กระจายไปทั่วพื้นผิวบอลูน



(ก)

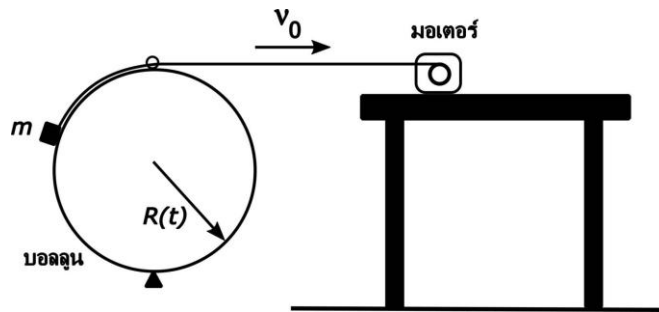


(ข)

ภาพที่ 2 การออกแบบการขยายตัวของเอกภพโดยใช้บอลูน (ก) บอลูนที่ขยายตัวที่ระยะเวลา t_1
(ข) บอลูนที่ขยายตัวที่ระยะเวลา t_2 ใดๆ

ตอนที่ 2 การเตรียมการก่อนการทดลอง: วัตถุเคลื่อนที่บนพื้นผิวบอลูนที่ขยายตัวด้วยความเร็ว v_0

การทดลองถูกออกแบบโดยวัตถุขนาดเล็กที่ถูกแขวนโดยเชือกและถูกวางบนพื้นผิวบอลูนที่ขยายตัวที่ระยะหนึ่ง เพื่อป้องกันการไถลตัวของเชือกที่แขวนวัตถุ วงแหวนพลาสติกขนาดเล็กจะผูกติดกับผิวที่สูงที่สุดของบอลูน เชือกถูกร้อยผ่านวงแหวนต่อไปยังมอเตอร์ขนาดเล็ก ดังภาพที่ 3

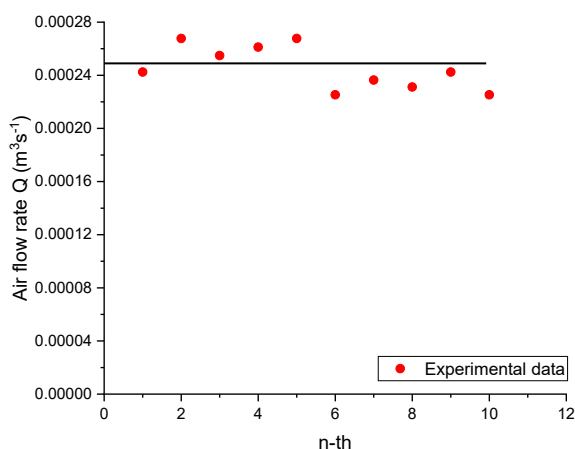


ภาพที่ 3 การเคลื่อนที่ของวัตถุบนบอลหมุนที่กำลังขยายตัว

ผลการวิจัย

การขยายตัวของเอกภพ

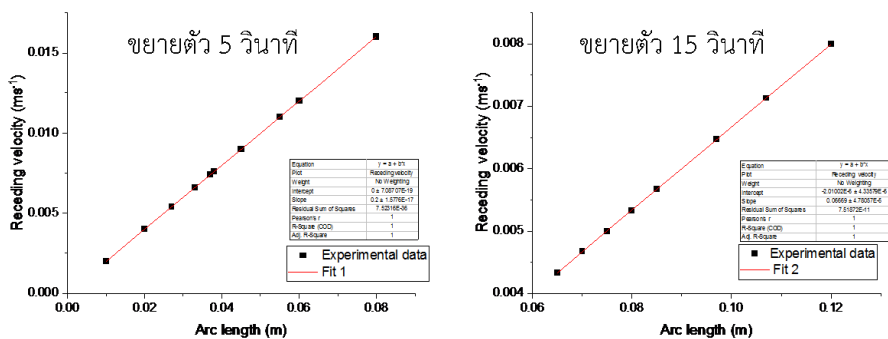
ขั้นที่ 1 ทำการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยเฉลี่ยของปั๊ม Q ที่ระยะเริ่มต้นบอลหมุนอยู่ในลักษณะว่างเปล่า ขณะที่ยังไม่ได้สูบลมเข้าไปในบอลหมุน และต่อจากนั้นบอลหมุนจะถูกทำให้ขยายตัวโดยเครื่องปั๊มลมไฟฟ้า โดยกำหนดเวลาสูบลมเข้าบอลหมุน เป็นเวลา $t = 15$ วินาที แล้วทำการวัดเส้นรอบวงของบอลหมุน เพื่อนำไปสู่การหาค่ารัศมีของบอลหมุน ทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศโดยเฉลี่ยของปั๊มลม Q โดยการคำนวณจากสมการ $\frac{4}{3}\pi R(t)^3 = Qt$ ในที่นี้ทดลองจำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศ Q ผลที่ได้คือ $2.45 \pm 0.16 \times 10^{-4} m^3 s^{-1}$ (ภาพที่ 4)



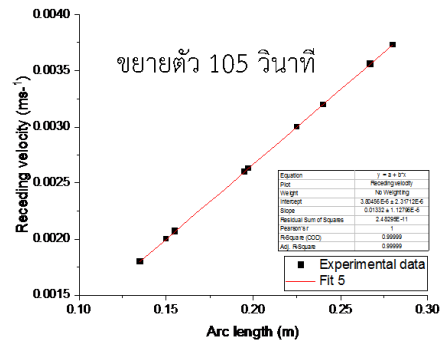
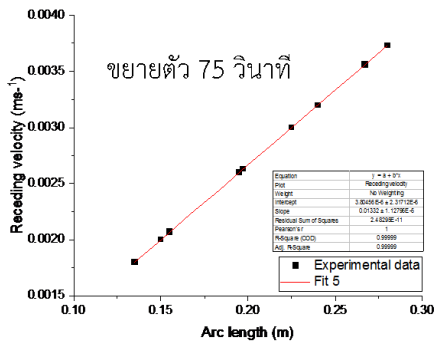
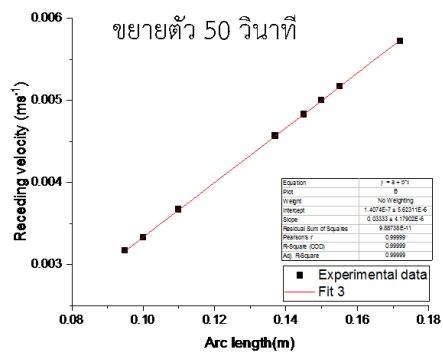
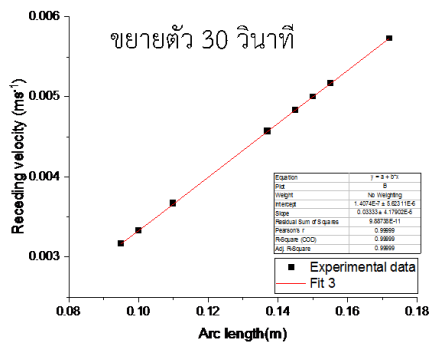
ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของอากาศ $Q = 2.45 \pm 0.16 \times 10^{-4} m^3 s^{-1}$

ขั้นที่ 2 เป็นผลการทดสอบกฎของฮับเบิลบนพื้นผิวบอลูน กระทำโดยการเลือกจุดอ้างอิงบนพื้นผิวบอลูน จำนวน 1 จุด จากนั้นจึงตรวจสอบการเคลื่อนที่สัมพันธ์กับอื่น ๆ อีก 10 จุด เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงที่กำหนด เริ่มต้นจับเวลาขณะที่บอลูนว่างเปล่าแล้วทำการสูบลมเข้าสู่บอลูนเริ่มขยายตัวและหยุดการขยายตัวที่ระยะเวลาต่าง ๆ เมื่อหยุดการขยายตัวของบอลูน ทำการจับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา t_1 และทำการวัดความยาวส่วนโค้งระหว่างจุดอ้างอิง และจุดต่าง ๆ ทั้ง 10 จุด ต่อจากนั้นการขยายตัวของบอลูนจะดำเนินการต่อไปและจับเวลาต่อจาก t_1 ที่ระยะเวลาหนึ่ง การขยายตัวของบอลูนจะหยุดลงอีกครั้ง เป็นเวลา t_2 และทำการวัดความยาวส่วนโค้งระหว่างจุดอ้างอิง และจุดต่าง ๆ อีกครั้ง ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถทำซ้ำได้ตามต้องการ ต่อจากนั้นความเร็วของการเคลื่อนที่ออกจากแต่ละจุดที่กำหนดเทียบกับจุดอ้างอิง ความเร็ว v จะถูกคำนวณโดยสมการ $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ โดยในการศึกษารั้งนี้ คือ

ความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ถอยห่าง การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว และความยาวส่วนโค้งในช่วงเวลาหนึ่งจะถูกวิเคราะห์ผลจากงานวิจัยครั้งนี้ ความเร็วในการเคลื่อนที่ออกห่างและความยาวส่วนโค้งของจุดต่าง ๆ ที่กำหนดบนพื้นผิวบอลูนแต่ละจุดเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงจะถูกคำนวณแยกกัน ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง v และ l ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 6 ช่วงเวลา จากภาพจะพบว่า v และ l แสดงความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงที่สอดคล้องกับทฤษฎีกำหนดดังสมการ (5) $v = H(t)l$ จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าส่วนต่าง ๆ ของบอลูน Wubble Bubble ball ขยายตัวโดยประมาณอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของบอลูนเพิ่มขึ้นความชันของเส้นกราฟจะลดลง หมายความว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของจุดที่ระบุเมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงจะลดลง



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง v ณ จุดต่าง ๆ เทียบกับจุดอ้างอิงและความยาวส่วนโค้ง l ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 6 ช่วงเวลา



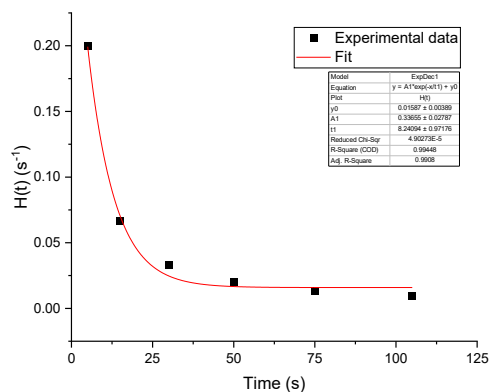
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง v ณ จุดต่าง ๆ เทียบกับจุดอ้างอิงและความยาวส่วนโค้ง l ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน 6 ช่วงเวลา (ต่อ)

การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ฮับเบิลตามเวลา

จากสมการฮับเบิล $v = H(t)l$ ความชันของเส้นตรงในภาพที่ 5 สอดคล้องกับค่าคงที่ฮับเบิล ณ ช่วงเวลาหนึ่ง การเปลี่ยนแปลง $H(t)$ ในแต่ละช่วงเวลาแสดงดังภาพที่ 6

จากภาพที่ 6 ทำให้พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับข้อมูลการอนุมานเชิงทฤษฎี

โดยการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ฮับเบิลกับเวลาเป็นไปตามสมการ (6) $H(t) = \frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = \frac{1}{3t}$

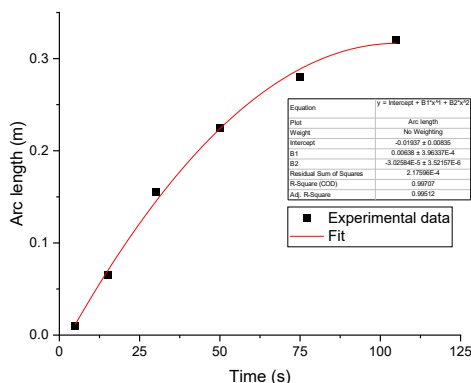


ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ฮับเบิลตามเวลาที่ต่างกัน 6 ช่วงเวลา

การเปลี่ยนแปลงความยาวส่วนโค้งระหว่างจุดใด ๆ 2 จุดตามเวลา

ผู้วิจัยทำการเลือกจุด 2 จุดบนพื้นผิวบอลลูก เพื่อทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของความยาวส่วนโค้งระหว่าง 2 จุดนี้กับเวลาในระหว่างที่บอลลูกขยายตัว การที่บอลลูกเกิดการขยายตัวเป็นระยะ ๆ และทำการบันทึกเวลาที่สอดคล้องกับการขยายตัว (t) และความยาวส่วนโค้งระหว่าง 2 จุด (l) ที่ความยาวส่วนโค้งจะถูกวัดในช่วงเวลาหลายช่วงเวลา ในการศึกษาครั้งนี้ถือว่ามุมระหว่างจุด 2 จุดใด ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างบอลลูกขยายตัว โดยมุม θ คำนวณจากความยาวส่วนโค้งระหว่าง 2 จุดต่อรัศมีของบอลลูก ความสัมพันธ์ระหว่าง (l) และ (t) แสดงดังภาพที่ 7

จากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลจากการทดลองสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎีตามสมการที่ (7) $l(t) = \left(\sqrt[3]{\frac{3Q}{4\pi}} \theta_0 \right) t^{\frac{1}{3}}$



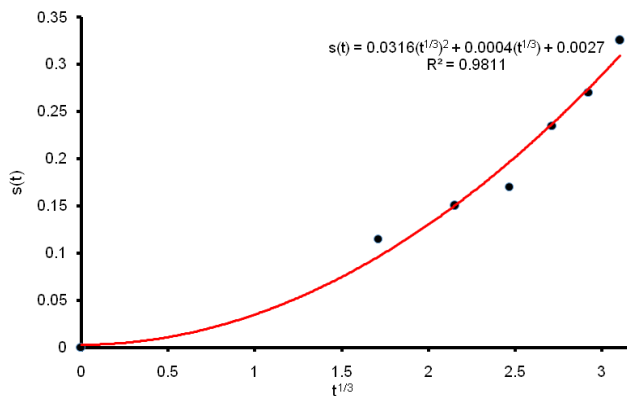
ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของความยาวส่วนโค้ง l (เมตร) ระหว่างจุด 2 จุดกับเวลา t (วินาที)

การเคลื่อนที่ของวัตถุบนบอลลูกที่กำลังขยายตัว

การทดลองเพื่อศึกษาการเคลื่อนที่บนพื้นผิวของบอลลูกที่กำลังขยายตัว ดังภาพที่ 3 วัตถุขนาดเล็กถูกแขวนด้วยเชือกที่วางบนพื้นผิวบอลลูกที่ขยายตัวที่ระยะหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้เชือกหลุดจากพื้นผิวบอลลูก วงแหวนพลาสติกขนาดเล็กจะถูกยึดไว้ด้านบนบอลลูกและเชือกจะถูกร้อยผ่านวงแหวนที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถปรับความเร็วได้ เมื่อเชือกถูกดึงด้วยความเร็ว v_0 หลังจากนั้นทำการวัดเส้นรอบวงของบอลลูกเพื่อทำการคำนวณค่ารัศมีของบอลลูกและเวลา t_0 จะถูกคำนวณตามสมการ $\frac{4}{3}\pi R(t)^3 = Qt$ (เวลาที่บอลลูกว่างเปล่าและเริ่มถูกทำให้ขยายตัวโดยปั๊มลมที่ระยะหนึ่งถูกกำหนดในการศึกษาส่วนนี้) มอเตอร์จะเริ่มทำงานในขณะที่การขยายตัวเริ่มขึ้น การเคลื่อนที่ของวัตถุจะถูกบันทึกไว้ที่วิดีโอ ที่วัตถุขนาดมวล m เกาะติดบนพื้นผิวบอลลูกอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นวัตถุจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_0 แล้ววัตถุยังมีส่วนร่วมในการขยายตัวของบอลลูกด้วย ระยะทางที่วัตถุขนาดเล็ก

เคลื่อนที่เมื่อเทียบกับพื้นผิวบอลลูน จะถูกวิเคราะห์โดยโปรแกรม Tracker ภาพที่ 8 แสดงผลการทดลองที่ $v_0 = 0.93 \text{ m/s}$

จากภาพที่ 8 แสดงถึงการทดลองเมื่อตั้งเชือกด้วยความเร็ว $v_0 = 0.93 \text{ m/s}$ ทำให้การเคลื่อนที่ของวัตถุมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้นเสมอไปดังสมการ $s(t) = 0.0316(t^{1/3})^2 + 0.004(t^{1/3}) + 0.0027$ จากข้อมูลข้างต้นพบว่าสอดคล้องกับผลทางทฤษฎีสมการ (10)



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวส่วนโค้งที่วัตถุขนาดเล็กเคลื่อนที่เทียบกับบอลลูนที่ขยายตัวตามระยะเวลาที่ขยายตัว

อภิปรายผลการวิจัย

การขยายตัวของบอลลูนได้แสดงถึงการอุปมาสำหรับการขยายตัวของเอกภพได้อย่างชัดเจน และสอดคล้องกับทฤษฎีพื้นฐานทางฟิสิกส์ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในผลการวิจัย อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของการขยายตัวของบอลลูนมีความแตกต่างจากการขยายตัวของเอกภพอยู่ 3 ประการสำคัญ คือ ประการแรก การขยายตัวของบอลลูนเป็นการขยายตัวของพื้นผิวทรงกลม 2 มิติ ในปริภูมิ 3 มิติ แต่ในขณะที่การขยายตัวของเอกภพ หมายถึงการขยายตัวของปริภูมิ 3 มิติ ในปริภูมิเวลา 4 มิติ เพื่อให้เข้าใจง่าย การวิจัยครั้งนี้จึงเปรียบเทียบการขยายตัวของเอกภพกับการขยายตัวของพื้นผิวทรงกลม 3 มิติ คือ บอลลูน การวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคบนพื้นผิวของบอลลูนระหว่างการขยายตัวผ่านการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการจำลองการมีอยู่ของเอกภพขนาดเล็กบนพื้นผิวบอลลูน และตรวจสอบกฎที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของอนุภาคเกี่ยวกับ (1) กฎของฮับเบิล ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาคและความยาวส่วนโค้ง (2) การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่ของฮับเบิลตามเวลา (3) การเปลี่ยนแปลง ความยาวส่วนโค้งระหว่างอนุภาคสองอนุภาคตามเวลา และ (4) การเคลื่อนที่ของวัตถุบนพื้นผิวบอลลูน ผลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี [10, 13] และสอดคล้องกับผลการทดลองของ Zenderi และคณะ [12] ประการที่สอง ในเอกภพวิทยา $R(t)$ หมายถึง ปัจจัยของมาตราส่วนของการขยายตัวของเอกภพมากกว่ารัศมีของเอกภพ ประการที่สาม ในแบบจำลองเอกภพวิทยามาตรฐาน (FLRW) [10] การขยายตัวของเอกภพเป็นไปตามสมการฟรีดมันน์

(Friedmann equation) [15] และวิวัฒนาการของ $R(t)$ ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของส่วนประกอบต่าง ๆ ในเอกภพ ในช่วงเริ่มต้นของการเกิดบิกแบง สำหรับเอกภพยุคสสาร $R(t)\alpha t^{\frac{2}{3}}$ สำหรับเอกภพยุครังสี (the radiation-dominated universe) $R(t)\alpha t^{1/2}$ โดยปัจจัยมาตราส่วนสามารถขยายได้เป็น $R(t)\alpha t^\alpha$ โดย (1) เมื่อ $0 < \alpha < 1$ เอกภพจะขยายตัวด้วยความเร็วลดลง (2) เมื่อ $\alpha > 1$ เอกภพกำลังขยายตัวด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น และ (3) เมื่อ $\alpha = 1$ เอกภพกำลังขยายตัวด้วยความเร็วคงที่ ในการทดลองที่น่าสนใจคือรัศมีของบอลลูน $R(t)\alpha t^{\frac{1}{3}}$ นั่นคือ $\alpha = \frac{1}{3}$ ซึ่งสอดคล้องกับเอกภพที่กำลังขยายตัวด้วยความเร็วที่ลดลง ดังนั้น การขยายตัวของบอลลูน ถือได้ว่าเป็นวิธีการที่ชัดเจนและน่าสนใจในการใช้อธิบายการขยายตัวของเอกภพ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็กโดยการใช้บอลลูน ดังการทดลองที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้นเป็นการนำเสนอวิธีการทดลองที่เรียบง่าย ประหยัดและมีความน่าสนใจในการศึกษาการขยายตัวของเอกภพขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการพื้นฐาน เพื่อให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจได้อย่างลึกซึ้งมากยิ่งขึ้น และผลการทดลองทั้งหมดสอดคล้องกับการวิเคราะห์เชิงทฤษฎี แม้ว่ากาขยายตัวของบอลลูนและการขยายตัวของเอกภพจะแตกต่างกันหลาย ๆ ประเด็นสำคัญ แต่การขยายตัวของบอลลูนสามารถใช้เป็นวิธีการอันมีค่าในการสำรวจแนวคิดการขยายตัวของเอกภพได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lehnert, J. L., & Quintin, J. (2024). A small Universe. *Physics Letters B*, 850, 138488.
- [2] Burde, G. I. (2024). Small-scale cosmology independent of the standard model. *Universe*, 10(4), 180.
- [3] Capolupo, A., & Quaranta, A. (2023). Boson mixing and flavor vacuum in the expanding universe: A possible candidate for the Dark Energy. *Physics Letters B*, 840, 137889.
- [4] Hubble, E. (1929). A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 15, 168–173.
- [5] Sandler, U. (2023). Evolutionary quantization and matter-antimatter distribution in accelerated expanding of Universe. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 611, 128459.
- [6] Ulianov, P. Y. (2024). Revolutionizing cosmology: The small bang model and its implications on universe genesis. *Physics & Astronomy International Journal*, 8(2), 93–102.

- [7] Perlmutter, S., et al. (1998). Discovery of a supernova explosion at half the age of the Universe. *Nature*, 391, 51–54.
- [8] Peebles, P. J. E., & Ratra, B. (2003). The cosmological constant and dark energy. *Reviews of Modern Physics*, 75(2), 559–606.
- [9] Prather, E. E., Slater, T. F., & Offerdahl, E. (2003). Hints of a fundamental misconception in cosmology. *Astronomy Education Review*, 1, 28–34.
- [10] Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2017). *An introduction to modern astrophysics*. Cambridge University Press.
- [11] Criado, C., & Alamo, N. (2007). Round an expanding world: A simple model to illustrate the kinematical effects of the cosmological expansion. *American Journal of Physics*, 75, 331–335.
- [12] Zendri, G., Rosi, T., & Oss, S. (2016). The Hubble party balloon and the expanding universe. *European Journal of Physics*, 37, 055701.
- [13] Kutner, M. L. (2003). *Astronomy: A physical perspective* (2nd edition). Cambridge University Press.
- [14] Camus, R. R. (1999). The observational determination of the age of the universe as a laboratory exercise. *American Journal of Physics Education*, 44, 91–95.
- [15] Fischer, A. E. (2018). Friedmann's equation and the creation of the universe. *International Journal of Modern Physics D*, 27(14), 1847013.

กระบวนการเตรียมต้นฉบับ วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต

วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต มีวัตถุประสงค์ เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (research article) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางด้านวิทยาศาสตร์ธรรมชาติ ประกอบด้วย ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ และทางด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ประกอบด้วย วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ทางทะเล วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้ แนวคิด ที่เกี่ยวข้องกับการผลงานวิจัย จัดพิมพ์ออกเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม) ดำเนินการเผยแพร่ในรูปแบบวารสารออนไลน์เท่านั้น โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ผู้เขียนส่งบทความต้นฉบับได้ตลอดทั้งปี
2. กองบรรณาธิการตรวจสอบความสมบูรณ์ ความถูกต้อง และคุณภาพของบทความต้นฉบับ
3. กองบรรณาธิการเตรียมต้นฉบับจัดส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน เพื่อประเมินบทความ
4. กองบรรณาธิการส่งต้นฉบับที่ปรับแก้ไขแล้วพร้อมสรุปผลการประเมินคุณภาพต้นฉบับ
5. ผู้เขียนเพื่อปรับแก้ไข และชี้แจงการปรับแก้ไขกลับมายังกองบรรณาธิการ
6. กองบรรณาธิการตรวจสอบการปรับแก้ไข ความถูกต้อง และรูปแบบการเขียนต้นฉบับ
7. กองบรรณาธิการออกหนังสือตอบรับการตีพิมพ์ และเผยแพร่ต้นฉบับดังกล่าว ผ่านทางเว็บไซต์
8. กองบรรณาธิการ ดำเนินการรวบรวมต้นฉบับที่จะตีพิมพ์ และส่งต้นฉบับให้ผู้เขียนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเป็นรอบสุดท้าย
9. กองบรรณาธิการดำเนินการเผยแพร่วารสารวิชาการชาชนไทย มรภ. ภูเก็ต

ข้อตกลงการส่งบทความสำหรับผู้แต่ง

1. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารใดวารสารหนึ่งมาก่อน
2. ผู้เขียนต้องเขียนต้นฉบับตามรูปแบบของวารสารวิชาการ ชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต
3. ต้นฉบับที่ผู้เขียนส่งมาเพื่อการพิจารณาต้องไม่อยู่ระหว่างเสนอขอตีพิมพ์ในวารสารอื่น
4. เนื้อหาในต้นฉบับควรเกิดจากการสังเคราะห์ความคิดขึ้นโดยผู้เขียนเอง ไม่ได้ลอกหรือตัดทอนมาจากผลงานวิจัยของผู้อื่น หรือจากบทความอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตหรือปราศจากการอ้างอิงที่เหมาะสม
5. กรณีที่มีการวิจัยในสัตว์หรือในมนุษย์ ต้นฉบับที่จะได้รับการพิจารณาเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ต้องแสดงข้อมูลการรับรองการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์หรือการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ไว้ในส่วนของวิธีดำเนินการวิจัย
6. ผลการประเมินต้นฉบับ มี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ระดับการแก้ไข แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ไม่มีการแก้ไข แก้ไขน้อย แก้ไขปานกลาง และแก้ไขมาก ส่วนที่ 2 ผลการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิต่อการตีพิมพ์เผยแพร่ แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่มีการแก้ไข แก้ไขก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ เขียนใหม่ก่อนตีพิมพ์เผยแพร่ และไม่ควรตีพิมพ์เผยแพร่ ในการพิจารณาบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ ชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต จะพิจารณาผลจากการประเมินในส่วนที่ 2 ซึ่งต้นฉบับนั้นต้องได้รับผลการประเมินตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่มีการแก้ไข หรือแก้ไขก่อนตีพิมพ์เผยแพร่เท่านั้น จึงจะได้รับการตอบรับการตีพิมพ์ (accepted)
7. เมื่อได้รับผลการอ่านประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว ผู้เขียนต้องปรับแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิ (reviewer) และชี้แจงการแก้ไขต้นฉบับดังกล่าวมายังกองบรรณาธิการ หลังจากผู้เขียนได้แก้ไขต้นฉบับแล้ว กองบรรณาธิการจะทำการตรวจสอบความถูกต้องอีกครั้ง
8. กองบรรณาธิการจะส่งร่างต้นฉบับเพื่อให้ผู้เขียนตรวจสอบความถูกต้องก่อนตีพิมพ์เผยแพร่
9. วารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ปรับค่าธรรมเนียมการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต สำหรับบทความที่ส่งเข้าสู่ระบบตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2568 เป็นต้นไป จากเดิม บทความละ 5,000 บาท โดยแบ่งจ่ายเป็น 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 จำนวน 3,500 บาท ชำระเมื่อได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นโดยกองบรรณาธิการแล้ว และครั้งที่ 2 จำนวน 1,500 บาท

ชำระเมื่อผ่านกระบวนการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและเห็นชอบให้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต เป็น 3,500 บาท โดยชำระค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์ 2 ครั้ง ดังนี้ ครั้งที่ 1 ชำระค่าธรรมเนียม จำนวน 2,500 บาท เมื่อได้รับการพิจารณาเชิงคุณภาพเบื้องต้นจากกองบรรณาธิการ และครั้งที่ 2 ชำระค่าธรรมเนียม จำนวน 1,000 บาท เมื่อผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการเห็นชอบให้ตีพิมพ์ในวารสาร (หมายเหตุ ในกรณีที่บทความของผู้นิพนธ์ไม่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิหรือจากการตัดสินใจของบรรณาธิการหรือกรณีอื่นใด หรือเกิดจากบทความบกพร่องของผู้นิพนธ์ ทางวารสารฯ ขอสงวนสิทธิ์ไม่คืนค่าธรรมเนียม)

10. จำนวนหน้า บทความต้นฉบับมีความยาวอยู่ระหว่าง 10–12 หน้า รวมตารางรูปภาพ และเอกสารอ้างอิง

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความ

กองบรรณาธิการได้กำหนดระเบียบในการจัดทำเพื่อให้ผู้เขียนยึดเป็นแนวทางในการดำเนินการสำหรับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนนเทศ มรภ.ภูเก็ต ดังนี้

1. การตั้งค่าน้ำกระดาษของบทความต้นฉบับ ใช้ขนาด B5 โดยระยะห่างของขอบกระดาษ 1 นิ้ว ทั้ง 4 ด้าน
2. ต้นฉบับจัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ เนื้อหาหลักใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดชิดขอบกระดาษทั้งสองด้าน
3. เนื้อหาเป็นภาษาไทยเท่านั้น ควรแปลคำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นภาษาไทยให้มากที่สุด ในกรณีที่คำศัพท์ภาษาอังกฤษเป็นคำเฉพาะที่แปลไม่ได้หรือแปลแล้วไม่ได้ความหมายชัดเจนให้ใช้คำศัพท์ภาษาอังกฤษได้ และควรใช้ภาษาที่ผู้อ่านเข้าใจง่ายชัดเจน
4. หัวข้อหลัก ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย
5. หัวข้อย่อย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ระบุหมายเลขหน้าหัวข้อย่อยโดยเรียงตามลำดับหมายเลขตำแหน่ง ให้ Tab 1 เซนติเมตร จากอักษรตัวแรกของหัวข้อหลัก
6. หากใช้คำย่อต้องเขียนคำเต็มไว้ครั้งแรกก่อน
7. ท้ายกระดาษ ประกอบด้วย เลขหน้า ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านขวาล่าง

8. รูปภาพและตารางควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก โดยขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 300 pixel (บันทึกเป็น .png, .jpeg, .tiff) และแนบไฟล์ต้นฉบับของรูปแยกมาด้วย

การเรียงลำดับเนื้อหาและรายละเอียดส่วนต่าง ๆ ในต้นฉบับ

1. ชื่อเรื่องภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด (ไม่ควรเกิน 100 ตัวอักษร)
2. ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด โดยขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่เว้นคำบุพบท
3. ชื่อผู้แต่ง ต้องเขียนทั้งภาษาไทยและอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งกึ่งกลางหน้ากระดาษ ได้ชื่อเรื่อง ให้ใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) กำหนดเป็นตัวยก กำกับท้ายนามสกุล ของผู้ประสานงานหลัก
4. หน่วยงานหรือสังกัดที่ทำวิจัย ต้องเขียนทั้งภาษาไทยและอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง ตำแหน่ง กึ่งกลางหน้ากระดาษได้ชื่อผู้เขียน ให้ใส่ตัวเลชยกกำกับท้ายนามสกุล และ ด้านหน้าหน่วยงานหรือสังกัด
5. เจริญพร กำหนดเจริญพรในหน้าแรกของบทความ ให้ใส่เครื่องหมายดอกจันตามด้วยข้อความ ดังนี้ *ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา และระบุ E-mail: โดยใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวเอียง
6. หัวข้อบทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญ ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)
7. หัวข้อคำสำคัญภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาไทย ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิดตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วยการเคาะ 1 ครั้ง

8. หัวข้อบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้ายใต้ที่อยู่/หน่วยงานสังกัดของผู้เขียน เนื้อหาบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวธรรมดา จัดพิมพ์เป็น 1 คอลัมน์ บรรทัดแรกเว้น Tab 1 เซนติเมตร จากขอบกระดาษด้านซ้าย และพิมพ์ให้ชิดขอบทั้งสองด้าน (ควรเขียนสรุปสาระสำคัญ ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือ 15 บรรทัด)
9. หัวข้อคำสำคัญภาษาอังกฤษ (Keyword) ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวหนา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย ใต้บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ใช้รูปแบบอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14 ชนิด ตัวธรรมดา ไม่เกิน 4 คำ เว้นระหว่างคำด้วย Comma “,”
10. บทนำ บอกถึงที่มา นำไปสู่การศึกษาวิจัย รวมถึงการอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
11. วัตถุประสงค์ ชี้แจงจุดมุ่งหมายของงานวิจัย
12. วิธีดำเนินการวิจัย ควรอธิบายวิธีดำเนินการวิจัย โดยกล่าวถึงวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างที่มาของกลุ่มตัวอย่าง แหล่งที่มาของข้อมูล การเก็บและรวบรวมข้อมูล การใช้เครื่องมือ สถิติที่ใช้ในการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูล
13. ผลการวิจัย ควรนำเสนอสิ่งที่ได้จากการศึกษา ในรูปแบบตาราง กราฟ หรือ แผนภาพ ทั้งนี้ถ้าแสดงด้วยตาราง ควรเป็นตารางแบบไม่มีเส้นขอบตารางด้านซ้าย และขวา หัวตารางแบบธรรมดาไม่มีสี ไม่ควรมีเกิน 5 ตาราง สำหรับรูปภาพประกอบควรเป็นรูปภาพที่ชัดเจน (ความละเอียดอย่างน้อย 300 pixel) และมีคำบรรยายใต้รูป (ดัง Template) กรณีที่ผู้เขียนต้นฉบับประสงค์จะใช้ภาพสี จะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายดังกล่าว
14. อภิปรายผลการวิจัย ควรมีการอภิปรายผลการวิจัยว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่ และควรอ้างทฤษฎีหรือเปรียบเทียบการทดลองของผู้อื่นที่เกี่ยวข้อง ประกอบ เพื่อให้ผู้อ่านเห็นด้วยตามหลักการหรือคัดค้านทฤษฎีที่มีอยู่เดิม รวมทั้งแสดงให้เห็นถึงการนำผลไปใช้ประโยชน์ และการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต
15. สรุปผลการวิจัย ควรให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์และระเบียบวิธีการวิจัย
16. กิตติกรรมประกาศ ควรกล่าวถึงแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัยอย่างกระชับ
17. เอกสารอ้างอิง ชิดขอบซ้าย เนื้อหาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษใช้ TH SarabunPSK ขนาด 14 pt ชนิดตัวธรรมดา ตำแหน่งชื่อผู้เขียนชิดขอบซ้าย หากยาวเกิน 1 บรรทัด ให้ตัวอักษรในบรรทัดถัดไปตรงกับตัวอักษรแรกของชื่อในบรรทัดแรก การอ้างอิงเอกสารให้เขียนตามรูปแบบที่วารสารกำหนด ดังนี้

- 17.1 การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ให้ใส่เลขลำดับการอ้างอิงอยู่ในวงเล็บ [...] เช่น แผ่นเปลือกโลกมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาและแบ่งการเคลื่อนที่ของแผ่นโลกออกเป็น 3 แบบ คือ การชนกัน การแยกจากกัน และแบบรอยเลื่อน [1]
- 17.2 การเขียนรายการอ้างอิงท้ายบทความให้เรียงลำดับรายการตามการอ้างอิงในบทความ ไม่ใช่ตามตัวอักษรของรายการที่อ้างอิง
- 17.3 ลงชื่อผู้แต่งทุกคน โดยคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค (,) ระหว่างผู้แต่งแต่ละคน และให้ใช้คำว่า “และ” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “&” นำหน้าผู้แต่งคนสุดท้ายในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ กรณีชื่อผู้แต่งชาวไทย: ชื่อและนามสกุลเต็ม กรณีชื่อผู้แต่งชาวต่างประเทศ: นามสกุล, ตัวอักษรย่อของชื่อต้นและชื่อกลาง
- 17.4 ปีที่พิมพ์อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ (...) หากอยู่ในระหว่างการพิมพ์ ให้ใช้ “(อยู่ระหว่างการพิมพ์)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาไทย หรือใช้ “(in press)” ในกรณีเอกสารอ้างอิงนั้นเป็นภาษาอังกฤษ
- 17.5 ชื่อเรื่องที่เป็นภาษาอังกฤษให้ขึ้นต้นด้วยอักษรตัวพิมพ์ใหญ่เฉพาะคำแรก อักษรตัวแรกของชื่อเรื่องย่อยและ/หรือชื่อเฉพาะ (ถ้ามี) ใช้อักษรตัวเอียงในการพิมพ์

ตัวอย่างการอ้างอิง

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่ปรากฏบทความในวารสาร.

[1] นรภัทร น้อยหลบลู และชวิศร ปุคภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(2), 141–149.

[2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. Journal of Applied Polymer Science, 119(6), 3305–3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (book)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง (ครั้งที่พิมพ์). สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & l'Anson, H. (2014). Integrated principles of zoology (6th edition). McGraw-Hill.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทในหนังสือ (Book chapter)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบท. ใน ชื่อบรรณาธิการ (บ.ก.). ชื่อหนังสือ (พิมพ์ครั้งที่, หน้า). สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules. In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). Advances in knowledge discovery and data mining (pp. 307–328). AAAI Press.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. รายงานผลการวิจัย. ชื่อหน่วยงานหรือสังกัด.

[6] จิตราภรณ์ ภูมิไชย, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย. (2557). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม้ยางพารา. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท/มหาบัณฑิต หรือ Doctoral/Master's thesis. สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

[7] พรธณี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจืด จังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ใน ชื่องานประชุมวิชาการ (จัดงานครั้งที่). หน้า.

[8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอแกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี. ในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 161–170.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

[...] ผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. [ออนไลน์], สืบค้นจาก ระบุ URL ของเว็บไซต์ (วัน เดือน ปี ที่สืบค้น)

[9] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับแมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://km.dmcrc.go.th> (6 พฤศจิกายน 2562).

การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับเพื่อตีพิมพ์ในระบบ ThaiJo2.0

<https://www.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>

การประเมิน และลิขสิทธิ์

1. การอ่านประเมินบทความต้นฉบับ ต้นฉบับจะได้รับการอ่านประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิจากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยในสาขาวิชานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน ต่อเรื่อง และส่งผลการประเมินคืนผู้เขียนเพื่อปรับปรุง แก้ไข หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี ทั้งนี้กองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องเป็นบุคคลที่อยู่คนละหน่วยงานกับผู้เขียนไม่น้อยกว่า 2 ใน 3 และผู้ทรงคุณวุฒิทั้งหมดต้องไม่เป็นผู้มีส่วนได้ส่วนเสียต่อผู้เขียนหรือบทความวิจัยดังกล่าว

2. เนื้อหาต้นฉบับที่ปรากฏในวารสารเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียน ทั้งนี้ไม่รวมความผิดพลาดอันเกิดจากเทคนิคการพิมพ์

3. ลิขสิทธิ์ต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต ถือเป็นกรรมสิทธิ์ของวารสารวิชาการชาชนไทย มรภ.ภูเก็ต

ชื่อเรื่องภาษาไทย (TH SarabunPSK, 16 pt, ตัวหนา, ยาวไม่เกิน 2 บรรทัด)

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ (ขึ้นต้นทุกคำด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ยกเว้นคำบุพพท)

ชื่อ นามสกุล^{*1} ชื่อ นามสกุล¹ และ ชื่อ นามสกุล²

Full name^{*1}, Full name¹, & Full name²

(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา ใช้เครื่องหมาย * ตัวยก หลังนามสกุลของผู้ประสานงาน)

ที่อยู่หน่วยงานที่สังกัด (TH SarabunPSK, 12 pt, ตัวเอียง)

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต

¹Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

²Environmental Science Program, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University

บทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ
เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำสำคัญ (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

*ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author) (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

E-mail: (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวเอียง)

E-mail: ผู้วิจัยร่วม ทุกคน (อีเมลของผู้วิจัยร่วมนี้จะไม่ปรากฏในบทความวิจัย แต่ทาง
วารสารจำเป็นต้องบันทึกอีเมลของนักวิจัยทุกคนในระบบ ThaiJo)

Abstract (TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา)

เนื้อหาบทคัดย่อ (TH SarabunPSK, 14 pt, Tab 1 cm) ความยาวสูงสุดไม่ควรเกิน 250 คำ เขียนเพียง 1 ย่อหน้า และไม่มีการเขียนอ้างอิงในส่วนของบทคัดย่อ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Keywords(TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา): (ไม่เกิน 4 คำ) (TH SarabunPSK, 14 pt)

keywords เป็นตัวพิมพ์เล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อคน ชื่อสถานที่ และคำศัพท์เฉพาะ (technical term)

ข้อแนะนำ

1. บทความวิจัยควรมีความยาวไม่เกิน 10-12 หน้า กระดาษ B5
2. ลักษณะการเขียนเป็นรูปแบบ 1 คอลัมน์
3. หัวข้อใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวหนา
4. เนื้อหาใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK, 14 pt, ตัวปกติ
5. Line and Paragraph Spacing ให้ใช้ 1.0
6. การอ้างอิงให้ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของการอ้างอิงท้ายบทความ

โดยมีรายละเอียดหัวข้อ ดังนี้

บทนำ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

บทนำสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า โดยอธิบายถึงที่มา ปัญหาวิจัย คำถามวิจัย และการทบทวนวรรณกรรม (literature review) โดยไม่ต้องแยกเป็นหัวข้อย่อย

การอ้างอิงในตัวเนื้อหา ใช้ระบบตัวเลขอยู่ภายใน [...] (TH SarabunPSK, 14 pt) เช่น [1] หรือ [1, 2, 4] หรือ [1-3] โดยตัวเลขจะเป็นลำดับของการอ้างอิง และจะต้องเรียงลำดับเช่นนี้ในส่วนของการอ้างอิงท้ายบทความ

วัตถุประสงค์ (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

1.(TH SarabunPSK, 14 pt)
2.(TH SarabunPSK, 14 pt)

วิธีดำเนินการวิจัย (TH SarabunPSK, 14 pt ตัวหนา)

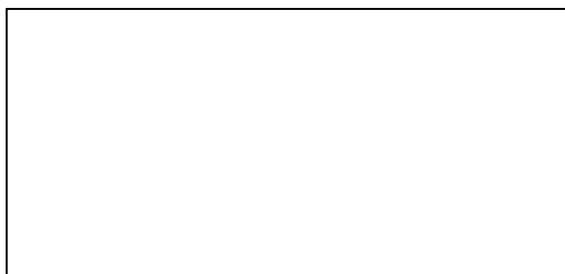
หัวข้อย่อย

ถ้าผู้เขียนต้องการเขียนหัวข้อย่อย ให้ทำตัวหนา แต่ต้องไม่ขีดขอบเป็นแนวเดียวกับหัวข้อหลัก
รูปภาพควรวางใกล้กับตำแหน่งที่ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรก ขนาดของรูปภาพควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า
300 dpi (โดยบันทึกเป็น .png .gif หรือ .tif)

.....

หัวข้อย่อย

.....
.....
..... (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

ผลการวิจัย

หัวข้อย่อย

.....
.....
..... (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1

No.	Heading 1	Heading 2	Heading 3
1	Data 1.1	Data 1.2	Data 1.3
2	Data 2.1	Data 2.2	Data 2.3
3	Data 3.1	Data 3.2	Data 3.3
4	Data 4.1	Data 4.2	Data 4.3

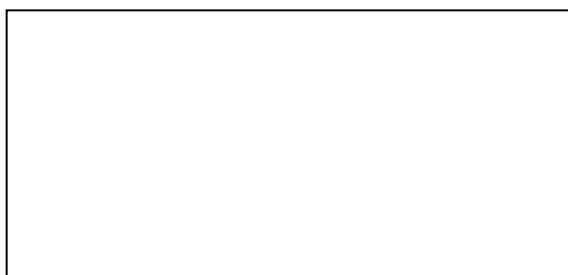
ข้อแนะนำ

1. ตารางควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก
2. ตารางควรจัดตัวอักษรให้อยู่ตรงกลาง
3. เส้นตารางใช้เฉพาะแนวนอน

หัวข้อย่อย

.....

 (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ภาพควรวางใกล้ตำแหน่งที่มีการกล่าวถึงเป็นครั้งแรก

อภิปรายผลการวิจัย

อภิปรายผลการวิจัยสามารถเขียนได้มากกว่า 1 ย่อหน้า และสามารถมีหัวข้อย่อยได้ โดยอธิบายว่าทำไมจึงได้ผลการวิจัยเป็นเช่นนั้น สอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้หรือไม่อย่างไร อธิบายถึงประโยชน์ การประยุกต์ใช้ ปัญหาและอุปสรรค หรือโจทย์วิจัยที่จะต่อยอดจากงานวิจัยครั้งนี้ เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

.....

กิตติกรรมประกาศ

.....

.....

.....

เอกสารอ้างอิง เรียงลำดับตามการกล่าวถึงในบทความ

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทความในวารสารวิชาการ (research/review article)

- [1] นรภัทร น้อยหลุบเลา, และชวีศร ปุคะภาค. (2559). การพัฒนากังหันเติมอากาศโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 35(2), 141-149.
- [2] Lu, Y., & Larock, R. C. (2011). Synthesis and properties of grafted latices from a soybean oil-based waterborne polyurethane and aryls. Journal of Applied Polymer Science, 119(6), 3305-3314.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น หนังสือ (Book)

- [3] บพิธ จารุพันธุ์, และนันทพร จารุพันธุ์. (2558). สัตววิทยา (พิมพ์ครั้งที่ 7). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] Hickman, C. P. Jr., Roberts, L. S., Keen, S. L., Eisenhour, D. J., Larson, A., & L'Anson, H. (2014). Integrated principles of zoology (6th edition). McGraw-Hill.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น บทในหนังสือ (Book chapter)

- [5] Agrawal, R., Mannila, H., Srikant, R., Toivonen, H., & Verkamo, A. I. (1996). Fast discovery of association rules. In Fayyad, U. M., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., & Uthurusamy, R. (eds). Advances in knowledge discovery and data mining (pp. 307-328). AAAI Press.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานการวิจัย (research report)

- [6] วิฑิตาภรณ์ ภูมิไชย, กฤษดา สังข์สิงห์, และเฉลิมพล ภูมิไชย. (2557). การศึกษาลักษณะทางกายภาพของสมบัติไม่ยางพารา. รายงานการวิจัย. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น วิทยานิพนธ์ (thesis)

- [7] พรณี สอาดฤทธิ์. (2545). ความหลากหลายและการแพร่กระจายของคลาโดเซอราในแหล่งน้ำจัดจังหวัดตรัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceedings)

- [8] วันวิสาข์ ชิดเชื้อ, และพงษ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา. (2553). อนุกรมวิธานของหอยทากบกในเขตอำเภอ แกลง จังหวัดระยอง และอำเภอแก่งหางแมว จังหวัดจันทบุรี. ใน การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48, 161-170.

ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็น เว็บไซต์ (website)

- [9] สถาบันวิจัยและพัฒนาทรัพยากรทางทะเล ชายฝั่งทะเล และป่าชายเลน. (2562). องค์ความรู้เกี่ยวกับ แมงกะพรุนพิษในประเทศไทย. [ออนไลน์], สืบค้นจาก <https://km.dmcr.go.th> (6 พฤศจิกายน 2562).

วารสารวิชาการชาชนิเทศ มรภ.ภูเก็ต
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต
21 ม. 6 ต.เทพกระษัตรี ต.รัษฎา อ.เมือง จ.ภูเก็ต 83000
โทรศัพท์ : 076 - 523094 - 7 ต่อ 4000
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/pkruscitech/index>
E-mail : researchscience@pkru.ac.th

