

JOURNAL OF

SCIENCE AND TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Volume 42 Number 5 September- October 2023

ISSN (Print) : 2985-2617
ISSN (Online) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN



ขอขอบคุณภาพจาก : รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล แสสนสุข
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง
ศาสตราจารย์ ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมพรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.อรวิชัย กุ่มพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงษ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยนครพนม
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Dr.Adrian Roderick Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ

ผู้ช่วยเลขานุการ

พัทตรีวิไล รุ่งวิสัย
จิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดเผยแพร่

ปีละ 6 ฉบับ
ฉบับที่ 1 มกราคม-กุมภาพันธ์
ฉบับที่ 2 มีนาคม-เมษายน
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม-มิถุนายน
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม-สิงหาคม
ฉบับที่ 5 กันยายน-ตุลาคม
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน-ธันวาคม

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

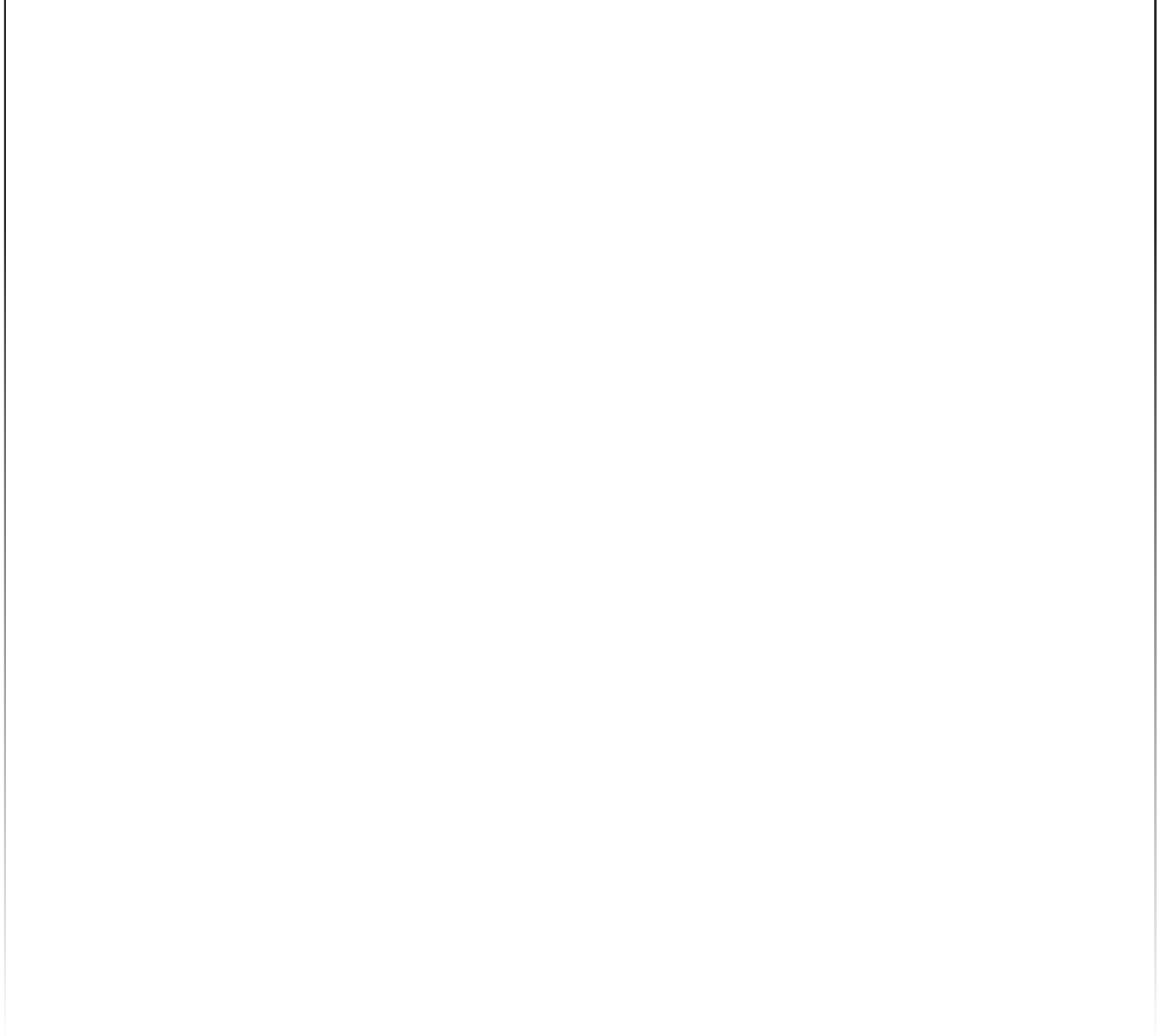
สวัสดีครับท่านผู้อ่านวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกท่าน การเปลี่ยนแปลงของโลกในมิติต่างๆ ในปัจจุบัน เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วฉับพลัน การเปลี่ยนแปลงที่สร้างความกังวลให้กับประชาคมโลกอย่างมาก คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและรุนแรงต่อสภาพแวดล้อม สิ่งตามมาซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้คือผลกระทบต่อสถานะ “อยู่ดี กินดี” ของประชากรโลก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสถานะแวดล้อมย่อมส่งผลต่อสุขภาพ เช่น การแพร่ระบาดของโรคอุบัติใหม่ ดังที่ทั่วโลกเผชิญเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ซึ่งนำไปสู่สถานะ “อยู่ไม่ดี” ทั้งที่มาจากความเจ็บป่วยจากเชื้อก่อโรคโดยตรงและที่เป็นผลกระทบข้างเคียงจากสภาพเศรษฐกิจที่ถดถอย และปัญหาสังคมต่างๆ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศยังส่งผลโดยตรงต่อห่วงโซ่การผลิตอาหาร ซึ่งจะนำไปสู่สถานะ “กินไม่ดี” จากปัญหาขาดแคลนหรือขาดความมั่นคงของอาหารได้

การศึกษาวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับการเตรียมพร้อมเพื่อให้สามารถตอบสนองหรือรับมือกับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วฉับพลันดังกล่าว การศึกษาวิจัยด้านความหลากหลายทางชีวภาพเฉพาะถิ่น เป็นประเด็นสำคัญอย่างยิ่งประเด็นหนึ่งสำหรับการแสวงหาต้นทุนเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงของโลก เนื่องจากทรัพยากรความหลากหลายทางชีวภาพเป็นต้นทุนที่สำคัญที่จะนำไปสู่การ “กินดี อยู่ดี” เป็นที่น่ายินดีที่หน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ตลอดจนนักวิชาการของประเทศไทยเห็นความสำคัญและยังมุ่งมั่นศึกษาวิจัยในประเด็นดังกล่าว ซึ่งทำให้ค้นพบทรัพยากรชีวภาพที่เป็นสมบัติล้ำค่าของมวลมนุษยชาติอยู่อย่างต่อเนื่อง เช่น การค้นพบพืชสกุลเปราะชนิดใหม่ของโลก “ตูบหมูปตะมุตะมิ” (*Kaempferia phuphanensis* Saensouk and Saensouk) ดังที่ท่านผู้อ่านได้เห็นในวารสารเล่มนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญและมีค่าเหล่านี้ จะได้รับการศึกษาวิจัยต่อยอด นำไปสู่สังคมแห่งความ “กินดี อยู่ดี” ต่อไป

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

กองบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



สารบัญ

Biological Science

- สารออกฤทธิ์จากสมุนไพรในครัวเพื่อต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และต้านการอักเสบ 145
Activities of crude extract from culinary herbs for antioxidants, antimicrobial and anti-inflammatory
ฤทัยภักดิ์ ชาญศรี และ เนาวรัตน์ กองคำ
Ruthaipak Chansri and Naowarat Kongkum

Computer and Information Technology

- การจัดการควบคุมการให้อาหารปลาอุกอนุบาลและตรวจสอบคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน 155
โดยใช้เทคนิคเอ็มคิวทีที
Catfish feeding control management and water Quality monitoring through application by using MQTT technique
รชต เรืองกาญจน์, ชลธิศา รัตนชู, วัชระ เจียมสวัสดิ์ และ ยรรยง สุรัตน์
Rachata Ruangkarn, Chonthisa Rattanachu, Watchara Jiamsawat and Yunyong Surut

Engineering

- การตรวจสอบและปรับปรุงสมบัติของอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลโดยการเติมธาตุซิลิคอนและแมกนีเซียม 166
Investigation and improvement of the properties of recycled aluminum alloy by adding Si and Mg
สุนิสา คำสุข, จันทรืษา นาควชิรตระกูล และ ณัฐพล ชมแสง
Sunisa Khamsuk, Chantra Nakvachiratrakul and Natthaphol Chomsaeng

Environmental Science

- ประสิทธิภาพการดูดซับของคอลัมน์แบบยัดติดกับที่ด้วยถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสเพื่อกำจัดแมงกานีสในน้ำบาดาล 178
Adsorption performance of eucalyptus biochar fixed-bed column for manganese removal from groundwater
อรชพร วิลามาศ, สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์ และ อนวัช พิณจศักดิ์กุล
Arachporn Wilamas, Soydoa Vinitnantharat and Anawat Pinisakul

Physical Science

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากผ้าฝ้ายย้อมสีสกัดจากแก่นฝาง 187
Development of home textile products from cotton fabric dyed with sappan wood
จิราพร ชุ่มชิต และ อติศักดิ์ เป็กศรี
Jiraporn Choomchit and Adisak Peksri

ฤทธิ์ของสารสกัดหายาบจากสมุนไพรในครัวเรือนในการต้านอนุมูลอิสระ ยับยั้งจุลินทรีย์ และต้านการอักเสบ

Activities of culinary herbs for antioxidants, antimicrobial and anti-inflammatory

ฤทัยภัคดี ชาญศรี^{1*} และ เนาวรัตน์ กองคำ¹
Ruthaipak Chansri^{1*} and Naowarat Kongkum¹

Received: 23 February 2022 ; Revised: 25 April 2022 ; Accepted: 29 December 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ และฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารสกัดเมทานอลจากสมุนไพรในครัว 7 ชนิด คือ กระชาย ขิง ข่า ตะไคร้ มะกรูด กะเพรา และชะพลู การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกรวม (Total Phenolic Content ; TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu พบว่ากระชาย ชะพลู และขิง มีปริมาณ TPC มากที่สุด เรียงตามลำดับ เมื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่าสารสกัดขิงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด รองลงมาคือกระชาย และชะพลู ตามลำดับ โดยมีค่า IC₅₀ จากวิธี DPPH เท่ากับ 0.366±0.005, 0.545±0.003 และ 0.629±0.003 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และค่า IC₅₀ จากวิธี ABTS เท่ากับ 0.193±0.003, 0.218 ±0.001 และ 0.528±0.001 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ทดสอบฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค 4 ชนิด คือ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* และ *Klebsiella pneumonia* subsp. *Pneumoniae* ด้วยวิธี microdilution พบว่า สารสกัดจากขิงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ *S. aureus*, *E. coli* และ *S. typhimurium* ได้ดีที่สุดในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เท่ากับ 1.40, 1.40 และ 5.63 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนกระชาย สามารถยับยั้งเชื้อ *K. pneumonia* subsp. *Pneumoniae* ได้ดีที่สุดในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เท่ากับ 0.70 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และพบว่าสารสกัดใบมะกรูดมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการอักเสบสูงที่สุด คือ 47.58% ที่ความเข้มข้นของสารละลาย 1000 ส่วนในล้านส่วน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ด้วยวิธี Egg's albumin protein denaturation method ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสมุนไพรในครัวบางชนิด นอกจากจะช่วยเพิ่มรสชาติ ในอาหารแล้วยังสามารถใช้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระ สารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และสารที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ

คำสำคัญ: สมุนไพรในครัว ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ปริมาณฟีนอลิกรวม ฤทธิ์ต้านการอักเสบ

Abstract

The objectives of this study were to determine total phenolic content, antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory activities of methanol extracts from 7 culinary herbs (*Boesenbergia rotunda*, *Zingiber officinale*, *Alpinia galanga*, *Cymbopogon citratus*, *Citrus hystrix*, *Ocimum sanctum* and *Piper sarmentosum*). The results revealed that total phenolic content (TPC) determined by Folin-Ciocalteu assay was highest in *B. rotunda*, *P. sarmentosum* and *Z. officinale* extracts. *Z. officinale* extract had the most antioxidant activity followed by extracts of *B. rotunda* and *P. sarmentosum*. Their IC₅₀ values from the DPPH test were 0.366±0.005, 0.545±0.003 and 0.629±0.003 mg/ml, and those from the ABTS test were 0.193±0.003, 0.218 ±0.001 and 0.528±0.001 mg/ml, respectively. Inhibition of 4 pathogenic microorganisms (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* and *Klebsiella pneumoniae* subsp. *Pneumoniae*) assayed by microdilution method showed that *Z. officinale* extract provided the most inhibitory effects against *S. aureus*, *E. coli* and *S. typhimurium* with MIC of 1.40, 1.40 and 5.63 mg/ml, respectively. Furthermore, *B. rotunda* extract showed the greatest activity against *K. pneumonia* subsp. *Pneumoniae*, with MIC of

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ. เมือง จ. สุรินทร์ 32000

¹ Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University, Muang, Surin, 32000, Thailand

* Corresponding author: Ruethaipak_d@hotmail.com

0.70 mg/ml. It was found that *Citrus hystrix* extract had the highest anti-inflammatory percentage of 47.58% at 1000 ppm solution by Egg's albumin protein denaturation method, and the result was statistically significant ($p < 0.05$). The results of this study show that some of the culinary herbs can not only enhance the taste of food but can also be used as a source of antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory effects.

Keywords: Culinary herbs, antioxidant, antimicrobial, total phenolic content, anti-inflammatory

บทนำ

พืชสมุนไพรในครัวถูกนำมาประกอบอาหารในรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่สมัยโบราณ เพื่อเพิ่มรสชาติของอาหาร ใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของอาหารทางด้านกลิ่น สี และใช้ในการถนอมอาหารเพื่อยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ นอกจากนี้ยังนำมาใช้เป็นยารักษาโรคได้อีก มีรายงานการศึกษาวิจัยพืชสมุนไพรในครัวหลายชนิดอย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากพืชสมุนไพรในครัวบางชนิดมีประโยชน์ต่อสุขภาพ และมีฤทธิ์ทางชีวภาพสูง เช่น มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และฤทธิ์ต้านการอักเสบ เป็นต้น (อินทวิธา ขุดแก้ว และ ภาริตา ลิ้มปิโซติกุล, 2561) สมุนไพรในครัวเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติอีกแหล่งหนึ่งที่ประกอบด้วยสารต้านอนุมูลอิสระกลุ่มใหญ่ เช่น สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ สารประกอบที่มีกำมะถัน แทนนิน แอลคาลอยด์ และวิตามิน เป็นต้น (Yashin *et al.*, 2017) สารประกอบอินทรีย์เหล่านี้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างและปริมาณที่พบในพืชแต่ละชนิด เช่น ฟลาโวนอยด์ จัดอยู่ในกลุ่มฟีนอลิกที่มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและสามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ จึงช่วยชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา มีการศึกษาวิจัยพืชสมุนไพรในครัวหลายชนิดพบสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้สูง เช่น ยี่ห่วย (*ocimum gratissimum*) และสะระแหน่ (*melissa officinalis*) มีสาร Naringenin และ eriodictyol ผักชีฝรั่ง (*eryngium foetidum*) และโหระพา (*ocimum basilicum*) มีสาร apigenin, chrysin, luteolin และ diosmetin หอมหัวใหญ่ (*allium cepa*) มีสาร quercetin และ kaempferol (Yao *et al.*, 2004) เป็นต้น นอกจากนี้สมุนไพรในครัวบางชนิดยังมีฤทธิ์เป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่น กานพลู (*eugenia caryophyllata*) มีสาร eugenol ที่เป็นองค์ประกอบหลัก (76.23%) ในน้ำมันหอมระเหย มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ดี โดยสามารถยับยั้งเชื้อได้ที่มีความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) 0.625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Xu *et al.*, 2016) ออริกาโน (*origanum vulgare*) มีสาร carvacrol และ thymol เป็นสารที่ให้กลิ่น มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Rodriguez-Garcia *et al.*, 2016) โหระพา (*thymus vulgaris*) มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ จึงนำมาใช้ในอาหารบาง

ชนิดเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหาร (Assiri *et al.*, 2016) อบเชย (*cinnamomum zeylanicum*) มีสาร cinnamaldehyde, cinnamyl acetate และ cinnamyl alcohol เป็นองค์ประกอบหลัก (Khasnavis & Pahan, 2012) มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ จึงนิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นต้น นอกจากนี้ ยังพบว่าสารอินทรีย์ต่างๆ โดยเฉพาะสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ เช่น 5-hydroxy-3,7-dimethoxy flavone และ 5-hydroxy-7-methoxyflavone ที่พบในสารสกัดจากพืชสมุนไพรบางชนิดยังมีประสิทธิภาพในการต้านการอักเสบที่ดีด้วย (วศพล ฉัตรเกตุ และคณะ, 2558) ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารประกอบฟีนอลิกนอกจากจะมีฤทธิ์ดังกล่าวข้างต้น ยังมีฤทธิ์ต้านการอักเสบได้ด้วยเช่นกัน

พืชสมุนไพรในครัวที่มีอยู่ภายในบ้านถูกมาปรุงเป็นอาหารซึ่งถือเป็นวัตถุดิบที่หาง่ายโดยเฉพาะครัวในชนบทพบว่าเกือบทุกหลังคาเรือนมักปลูกพืชสวนครัวไว้รับประทานเอง และในสถานการณ์ที่มีการระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ประชาชนทุกคนมีความตื่นกลัวและเร่งสร้างภูมิคุ้มกันร่างกายโดยเฉพาะคนที่อาศัยอยู่ในชนบทที่การรักษาเข้าถึงยากกว่าคนในเมืองและกำลังทรัพย์เป็นสิ่งสำคัญในภาวะวิกฤตนี้ชาวบ้านจึงอาศัยพืชสมุนไพรต่างๆ ที่มีอยู่ในครัวเรือนมาใช้บริโภคเพื่อป้องกันตนเองในเบื้องต้น เนื่องจากการบอกต่อกันมาว่าพืชสมุนไพรไทยล้วนแล้วแต่สามารถป้องกันโรคและสร้างภูมิคุ้มกันร่างกายเพื่อต่อต้านเชื้อโรคต่างๆ ทำให้อาการหนักกลายเป็นเบาได้ เมื่อเป็นเช่นนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชสมุนไพรบางชนิดที่หาได้ง่ายและคนมักนิยมนำมารับประทานในช่วงการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่ได้จากพืชสมุนไพรในครัวกลุ่มนี้คงมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยที่จะบอกถึงการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชเหล่านี้ได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคกับเชื้อ 4 สายพันธุ์ คือ *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* และ *Klebsiella pneumoniae* subsp. *Pneumoniae* และฤทธิ์ต้านการอักเสบจากพืชสมุนไพรในครัวที่นิยมนำมาใช้ประกอบอาหาร 7 ชนิด คือ กระชาย (*Boesenbergia rotunda* (L.) Mansf), ขิง (*Zingiber officinale* Roscoe.), ขะพลู (*Piper sarmentosum* Roxb), ตะไคร้ (*Cymbopogon citratus* Stapf.), ข่า (*Alpinia*

galanga (L.) Willd.), มะกรูด (*Citrus hystrix* DC.) และกะเพรา (*Ocimum sanctum* Linn.) ผลการศึกษาที่ได้สามารถใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมการกินอยู่ของชาวบ้านให้ปลอดภัยและมีสุขภาพที่แข็งแรงในสถานการณ์ที่มีโรคระบาดเกิดขึ้น สามารถนำข้อมูลที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการประกอบอาหารที่มีประโยชน์แก่ร่างกายของผู้ประชาชนทั่วไป และใช้เป็นข้อมูลทางวิชาการที่สามารถพัฒนาต่อยอดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สารยับยั้งจุลินทรีย์ และสารต้านการอักเสบชนิดใหม่ที่ปลอดภัยต่อผู้บริโภคได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เครื่องมือและสารเคมี

เครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (*Perkin Elmer Lambda 365*) และเครื่อง Microplate reader รุ่น multiskan go (thermo fisher scientific, Finland) สารเคมีที่สำคัญ ได้แก่ 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, USA), 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS) (SRL, India), Folin-Ciocalteu (SRL, India), กรดแกลลิก (gallic acid) (Sigma-Aldrich, USA), BHA (Butylated hydroxytoluene) (Sigma-Aldrich, USA), Quercetin (SRL, India) และอาหารเลี้ยงเชื้อ ได้แก่ Tryptic Soy Broth และ Mueller-Hinton Broth (Merck KGaA, Germany)

การเตรียมและสกัด

ตัวอย่างพืชสมุนไพรในครัวที่ใช้ในงานวิจัย คือ ส่วนเหง้า จากต้นกระชาย (*Boesenbergia rotunda*) ขิง (*Zingiber officinale*) และข่า (*Alpinia galanga*) ส่วนใบจากต้นกะเพรา (*Ocimum tenuiflorum*) มะกรูด (*Citrus hystrix*) และชะพลู (*Piper sarmentosum*) และส่วนลำต้นจากตะไคร้ (*Cymbopogon citratus*) เก็บจากพื้นที่อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ นำตัวอย่างพืชที่ล้างทำความสะอาดแล้วมาซอยให้บางและทำให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และบดละเอียดชนิดละ 30 กรัม หมักด้วยตัวทำละลาย เมทานอล ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน (สกัดซ้ำ 3 ครั้ง) ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยแบบสูญญากาศ (Vacuum Evaporator) และเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze dryer) จะได้สารสกัดกระชาย (6.71 กรัม) ขิง (5.33 กรัม) ข่า (7.43 กรัม) กะเพรา (5.07 กรัม) มะกรูด (5.98 กรัม) ชะพลู (4.58 กรัม) และตะไคร้ (8.84 กรัม) เพื่อใช้ในการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพต่อไป

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวม (Total phenolic content, TPC) โดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu colorimetric assay (Siddiqui *et al.*, 2017) เตรียมสารสกัดสมุนไพรในครัวแต่ละ

ชนิดที่ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นำสารละลายตัวอย่างมาชนิดละ 1 มิลลิลิตร เติมสารละลาย Folin-Ciocalteu (เจือจางด้วยน้ำ 10 เท่า) 5 มิลลิลิตร และ Sodium carbonate (เข้มข้น 7.5%) 4 มิลลิลิตร ผสมและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร ในการทดลองนี้ใช้กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน (กรดแกลลิกเตรียมที่ความเข้มข้น 250, 200, 150, 100 และ 50 ไมโครกรัมต่อลิตร) จากนั้นคำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวมจากกราฟมาตรฐานกรดแกลลิกและคำนวณให้อยู่ในหน่วยมิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อน้ำหนักกรัมของสารสกัด (mg GAE/g extract)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH

วิเคราะห์ศักยภาพการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (Veeru *et al.*, 2009) เตรียมสารสกัดสมุนไพรในครัวตัวอย่างละ 5 ความเข้มข้น (1, 0.50, 0.25, 0.125 และ 0.625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย นำสารสกัดตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ มาอย่างละ 0.1 มิลลิลิตร เติมเมทานอล 0.2 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.3 มิลลิโมลาร์ DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 0.4 มิลลิลิตร ผสมและเขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (% Inhibition) ดังสมการ (1)

$$\% \text{ Inhibition} = [(AB - AA) / AB] \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ AA คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง AB คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม (สารทั้งหมดยกเว้นสารตัวอย่าง) จากนั้นคำนวณหาค่า IC_{50} จากกราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความสามารถต้านอนุมูลอิสระกับสารตัวอย่างในแต่ละความเข้มข้น โดยที่ค่า IC_{50} แสดงถึงความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของอนุมูล DPPH ลดลงร้อยละ 50

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ABTS

วิเคราะห์ศักยภาพการกำจัดอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS (Veeru *et al.*, 2009) เตรียมอนุมูล ABTS^{•+} โดยใช้สารละลาย ABTS 0.0768 กรัม และโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 0.0132 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเจือจางด้วยเมทานอลให้ได้ค่าการดูดกลืน คลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เท่ากับ 0.700 ± 0.02 ขั้นตอนการทดสอบ เตรียมสารสกัดสมุนไพรในครัวตัวอย่างละ 5 ความเข้มข้น (1, 0.5, 0.25, 0.125 และ 0.0625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) นำมาความเข้มข้นละ 0.1 มิลลิลิตร เติมสารละลายอนุมูล ABTS^{•+} 0.9 มิลลิลิตร ผสม

และเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 6 นาที จากนั้นวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (สมการ 1) และค่า IC_{50} เช่นเดียวกับวิธี DPPH

การทดสอบฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์

ทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ (Minimum Inhibitory Concentration; MIC) โดยวิธี microdilution (พญกฤษิกร ศุภพล และ ลิตา ปรีदानนท์, 2561) ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา ศูนย์ทดสอบทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ โดยเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ทดสอบคือ *Staphylococcus aureus* 2329, *Escherichia coli* NCTC12923, *Salmonella typhimurium* NCTC12023 และ *Klebsiella pneumoniae* subsp. *Pneumoniae* 1867 นำมาเลี้ยงด้วยอาหาร TSB (Tryptic Soy Broth) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำเชื้อไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที เทส่วนที่เป็น supernatant ทิ้ง ปั่นล้างด้วย 0.85% NaCl จากนั้นปรับความขุ่นของเชื้อให้มีความขุ่นเท่ากับความขุ่นของสารมาตรฐาน McFarland No. 0.5 (1×10^8 CFU/ml) ขั้นตอนการทดสอบเตรียมสารสกัดหยาบให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 22.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แล้วใช้วิธีการเจือจางด้วยอาหาร MHB (Mueller-Hinton Broth) ให้ได้ความเข้มข้น 22.5, 11.25, 5.625, 2.81, 1.40, 0.703, 0.35 และ 0.175 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ กรองด้วย Membrane Filter 0.45 ไมโครเมตร ในสภาวะปลอดเชื้อ เตรียมยาปฏิชีวนะ Vancomycin เพื่อใช้เป็น positive control โดยเตรียมที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เจือจางลงครึ่งละ 2 เท่า จะได้ความเข้มข้นของยา Vancomycin เท่ากับ 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.156 และ 0.0781 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นเติมเชื้อที่ปรับความเข้มข้นให้เท่ากับ 1×10^8 CFU/mL ลงในแต่ละหลุมปริมาตร 100 ไมโครลิตร แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่อง Microplate reader ที่ความยาวคลื่น 650 นาโนเมตร การอ่านผลการทดลองค่าความเข้มข้นของสารในระดับต่ำสุดที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ให้สังเกตความขุ่นหรือใสของอาหารที่ไม่มีเชื้อเจริญเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่มีแต่อาหารเลี้ยงเชื้อกับสารสกัด ความเข้มข้นที่น้อยที่สุดของสารสกัดที่ไม่มีผลการเจริญของเชื้อให้บันทึกผลการทดลองเป็นค่า MIC ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ

ทดสอบการต้านการอักเสบจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (Protein denaturation) ด้วยอัลบูมินของไข่ (ไข่ขาว) ด้วยวิธี Egg's albumin protein

denaturation method โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับทดสอบ: เป็นสารผสม 5 มิลลิลิตร ประกอบด้วยอัลบูมิน ของไข่ขาว 0.2 มิลลิลิตร (ไข่ขาวจากไข่ไก่สด) น้ำเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS, pH 6.3) 4.6 มิลลิลิตร และ ตัวอย่างทดสอบ (สารสกัดสมุนไพรที่ทำละลายด้วยเมทานอลมีความเข้มข้น 1000 ppm) 0.2 มิลลิลิตร สารละลายควบคุม (control): 5 มิลลิลิตร ประกอบด้วยอัลบูมิน 0.2 มิลลิลิตร (ไข่ขาวจากไข่ไก่สด) น้ำเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS, pH 6.3) 4.6 มิลลิลิตร และ เมทานอล 0.2 มิลลิลิตร และสารละลายมาตรฐาน: 5 มิลลิลิตร ประกอบด้วยอัลบูมิน 0.2 มิลลิลิตร (ไข่ขาวจากไข่ไก่สด) น้ำเกลือบัฟเฟอร์ฟอสเฟต (PBS, pH 6.3) 4.6 มิลลิลิตร และ ยาไดโคลฟีแนคโซเดียม (Diclofenac sodium) ความเข้มข้นเดียวกับสารตัวอย่างอีก 0.2 มิลลิลิตร วิธีทดสอบนำหลอดตัวอย่างทั้งหมดที่เตรียมได้ไปบ่มที่ 37 ± 2 องศาเซลเซียส ใน water bath เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำมาอุ่นใน water bath ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทิ้งให้เย็นตัวนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร จัดแปลงจาก (Sangeetha & Vidhya, 2016) และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การต้านอักเสบ (% Inhibition) ดังสมการ (2)

$$\% \text{ Inhibition} = 100 \times [Vt / Vc - 1] \quad (2)$$

เมื่อ Vt คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง และ Vc คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวควบคุม วางแผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) แต่ละทรีทเมนต์มี 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่าง ทรีทเมนต์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ($p < 0.05$)

ผลการทดลอง

การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (TPC) โดยวิธี Folin-Ciocalteu ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรในครัว 7 ชนิด โดยเทียบกับกราฟมาตรฐานกรดแกลลิก (Table 1) พบว่าสารสกัดกระชายมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมมากที่สุด โดยมี TPC = 121.12 ± 5.51 mgGAE/g extract รองลงมาคือ ชะพลู (88.00 ± 2.31 mgGAE/g extract) ขิง (66.69 ± 0.47 mgGAE/g extract) กะเพรา (62.61 ± 6.56 mgGAE/g extract) มะกรูด (56.22 ± 3.01 mgGAE/g extract) ข่า (23.48 ± 2.70 mgGAE/g extract) และตะไคร้ (9.57 ± 0.86 mgGAE/g extract) ตามลำดับ

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และวิธี ABTS ของสารสกัดหยาบจากสมุนไพรในครัว 7 ชนิด

(Table 1) ให้ผลการทดสอบไปในทิศทางเดียวกัน สารสกัดหยาดสมุนไพรในครั้งที่มีความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระได้ในช่วง 23.77-100% โดยสารสกัดที่มีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งอนุมูลอิสระได้มากกว่า 50%

ทั้งวิธี DPPH และ ABTS คือ สารสกัดขิง (85.47, 100%) กระชาย (74.45, 98.00%) และชะพลู (67.50, 82.14%) เมื่อนำมาหาค่าความเข้มข้นในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ครั้งหนึ่ง

ของอนุมูลอิสระทั้งหมด (IC₅₀) พบว่าสารสกัดขิง กระชาย และชะพลู มีค่า IC₅₀ จากวิธี DPPH เท่ากับ 0.366±0.005, 0.545±0.003 และ 0.629±0.003 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรและค่า IC₅₀ จากวิธี ABTS เท่ากับ 0.193±0.003, 0.218±0.001 และ 0.528±0.001 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐาน Quercetin และ BHT พบว่าสารสกัดขิง กระชาย และชะพลู ยังคงแสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระได้น้อยกว่า

Table 1 Total phenolic content (TPC) and antioxidant activities of crude extracts from culinary herbs

Sample	TPC (mgGAE/g extract)	DPPH		ABTS	
		% inhibition (1 mg/ml)	IC ₅₀ (mg/ml)	% inhibition (1 mg/ml)	IC ₅₀ (mg/ml)
<i>Boesenbergia rotunda</i>	121.12 ±5.51	74.45±0.47	0.545±0.003	98.00±3.15	0.218 ±0.001
<i>Zingiber officinale</i>	66.69±0.47	85.47±1.15	0.366±0.005	100 ±0.00	0.193±0.003
<i>Alpinia galangal</i>	23.48±2.70	26.41±2.77	>1	31.47±1.61	>1
<i>Ocimum tenuiflorum</i>	62.61±6.56	33.08 ±0.86	>1	41.0±0.94	>1
<i>Citrus hystrix</i>	56.22±3.01	25.40±0.38	>1	64.51±1.17	0.688±0.003
<i>Piper sarmentosum</i>	88.00±2.31	67.50±1.78	0.629±0.003	82.14±0.74	0.528±0.001
<i>Cymbopogon citratus</i>	9.57±0.86	26.73±1.02	>1	23.77±0.94	>1
Quercetine	-	100 ±0.00	0.041±0.001	100 ±0.00	0.014±0.001
BHT	-	100 ±0.00	0.048±0.001	100 ±0.00	0.023±0.001

Note: data presented as mean±SD from analysis of three samples, in triplicate, Quercetin and BHT are positive control.

ผลการทดสอบฤทธิ์การยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค 4 ชนิด คือ *S. aureus*, *E. coli*, *S. typhimurium* และ *K. pneumoniae* subsp. *Pneumoniae* ของสารสกัดกระชาย ขิง และชะพลู (Table 2) พบว่าสารสกัดขิงสามารถยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ *S. aureus*, *E. coli* และ *S. typhimurium* ได้ดีกว่าสารสกัดกระชาย และชะพลู โดยมีค่า MIC เท่ากับ 1.40, 1.40 และ 5.63 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการยับยั้งเชื้อ

K. pneumoniae subsp. *Pneumoniae* พบว่าสารสกัดกระชาย มีฤทธิ์ยับยั้งได้ดีกว่าสารสกัดขิงและชะพลู ที่ความเข้มข้น MIC เท่ากับ 0.70 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเปรียบเทียบกับยาปฏิชีวนะ Vancomycin ที่ใช้เป็น positive control สารสกัดสมุนไพรในครั้งทั้ง 3 ชนิด มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 4 สายพันธุ์ได้น้อยกว่า

Table 2 Minimum inhibitory concentration (MIC) of crude extracts from culinary herbs

Bacterial Strains	Minimal Inhibition Concentration (mg/ml)			
	<i>B. rotunda</i>	<i>Z. officinale</i>	<i>P. sarmentosum</i>	Vancomycin
<i>S. aureus</i> 2329	>22.5	1.40	22.5	0.00125
<i>E. coli</i> NCTC12923	>22.5	1.40	22.5	>0.01
<i>S. typhimurium</i> NCTC12023	22.5	5.63	22.5	NA
<i>K. pneumoniae</i> subsp. <i>Pneumoniae</i> 1867	0.70	5.63	22.5	0.0025

NA = No activity

ผลการทดสอบฤทธิ์ด้านการอักเสบจากสารสกัดสมุนไพรในครัวโดยดูจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของโปรตีน (protein denaturation) เปรียบเทียบระหว่างสารละลายตัวอย่างจากพืชสมุนไพรในครัว 7 ชนิด สารละลายควบคุม และสารละลายมาตรฐาน ซึ่งผลจากการทดสอบโดยวิธี Egg's albumin protein denaturation method

(Table 3) พบว่า เปอร์เซนต์การยับยั้งการอักเสบจากสารสกัดใบมะกรูดให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือสารมาตรฐาน (ไดโคลฟีแนค) ข่า และชะพลู ในขณะที่สารสกัดขิง ตะไคร้ กระชาย และกระเพรา มีฤทธิ์การต้านการอักเสบต่ำกว่า ซึ่งผลที่ได้พบว่าสารละลายทั้งหมดมีเปอร์เซนต์การยับยั้งการอักเสบที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Table 3 % Inhibition of protein denaturation (Egg's albumin) of crude extracts from culinary herbs

Sample	Absorbance at 660 nm*	% inhibition
control	0.929±0.0021 ^h	-
Diclofenac sodium	0.502±0.0027 ^b	45.96
<i>Boesenbergia rotunda</i>	0.643±0.0029 ^f	30.78
<i>Zingiber officinale</i>	0.711±0.0040 ^g	23.46
<i>Alpinia galangal</i>	0.512±0.0030 ^c	44.88
<i>Ocimum tenuiflorum</i>	0.615±0.0046 ^e	33.80
<i>Citrus hystrix</i>	0.487±0.0012 ^a	47.58
<i>Piper sarmentosum</i>	0.547±0.0010 ^d	41.12
<i>Cymbopogon citratus</i>	0.664±0.0013 ^g	28.52

- * data presented as mean±SD from analysis of three samples, in triplicate.

- ^{abc} Means ± SD with different letters are significantly different ($p < 0.05$)

อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้
 1) ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากพืชสมุนไพรในครัวเรียงจากมากไปน้อย คือ สารสกัดจากกระชาย ชะพลู ขิง กระเพรา มะกรูด ข่า และ ตะไคร้ ตามลำดับ 2) ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่วิเคราะห์ได้จากสารสกัดพืชสมุนไพรในครัวเรียงจากมากไปน้อย คือ สารสกัดจากขิง กระชาย และชะพลู ตามลำดับ สารสกัดอื่นๆ ไม่พบ ถึงแม้ว่าสารสกัดที่ได้จากกระชาย และชะพลู จะมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุดก็ตาม แต่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าสารสกัดจากขิง ดังนั้น สารประกอบฟีนอลิกที่พบในขิง จึงเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งอนุมูลอิสระ รายงานวิจัยพบว่าในขิงมีสาร 6-shogaol, 6-gingerol และ oleoresin ซึ่งเป็นสารในกลุ่มฟีนอลิกที่มีประสิทธิภาพสูงในการออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Mao *et al.*, 2019) กระชายมีสารในกลุ่มฟีนอลิก เช่น quercetin, kaempferol, naringin, hesperidin, caffeic acid, p-coumaric acid และ chlorogenic acid (Eng-Chong *et al.*, 2012) เป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ตัวอย่างเช่น 2',4'-dihydroxy-6-methoxychalcone, 5-hydroxy-7-methoxyflavanone และ 5,7-dihydroxyflavanone แสดงค่า IC₅₀ = 46.66, 62.84, และ 62.66 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ (Atun *et al.*, 2018) ส่วนชะพลู มีสาร β -sitosterol, Naringenin,

Sarmentine, Sesamin, 1-piperetyl pyrrolidine, 3',4',5'-trimethoxycinnamoyl pyrrolidine และ Pellitorine (Azelan *et al.*, 2020) โดยมีสารในกลุ่ม ฟีนอลิก คือ Naringenin ที่พบในใบของชะพลูมีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ superoxide ได้ 75.7% (Vimala & Mohd Ilham, 1999) นอกจากสารประกอบฟีนอลิกที่มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระแล้วยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น vitamin C, vitamin E, carotene และ xanthophyll เป็นต้น ที่พบว่าเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้สูง โดยมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับพืชแต่ละชนิด และ 3) ฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์จากสารสกัดสมุนไพรในครัว พบว่า สารสกัดจากขิงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S. aureus*, *E. coli* และ *S. typhimurium* มากกว่า สารสกัดจากกระชายและชะพลู ในขณะที่ผลการทดสอบเชื้อ *K. pneumoniae* subsp. *Pneumoniae* พบว่าสารสกัดจากกระชายมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อได้มากที่สุด ส่วนชะพลูมีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ต่ำกว่ากับเชื้อทุกชนิดที่ทำการทดสอบ เมื่อแบ่งความสามารถในการออกฤทธิ์ของสารสกัดตามการแบ่งกลุ่มการออกฤทธิ์ โดยใช้ค่า MIC (van Vuuren, 2008) พบว่ากระชายให้ค่าการยับยั้งได้ดี (MIC < 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) เฉพาะเชื้อ *K. pneumoniae* subsp. ขิงมีฤทธิ์การยับยั้งปานกลาง (MIC 1-2.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ต่อเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* และยับยั้งได้ต่ำต่อเชื้อ *S. typhimurium* (MIC > 2.5

มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ส่วนชะพลูมีฤทธิ์การยับยั้งต่ำกับเชื้อทุกชนิดที่ทำการทดสอบ จากการวิจัยสารสกัดขิงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *S. aureus* ได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุด (MIC) 1.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใกล้เคียงกับการศึกษาของ มณฑลวิสุทธิ (2560) ที่พบว่าสารสกัดขิงมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกลุ่ม *Staphylococci* มีค่า MIC 1.25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีรายงานสารสกัดขิงสามารถยับยั้งเชื้อ *E coli*, *Proteus sp*, *Staphylococci*, *Streptococci* และ *Salmonella* (Karuppiah *et al.*, 2012; Gull *et al.*, 2012) โดยองค์ประกอบหลักในขิงมีสาร gingerol, paradol, shogaols และ zingerone เป็นสารที่เคยมีรายงานวิจัยว่าสามารถออกฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สารสกัดกระชายมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อ *K. pneumoniae* subsp. *Pneumoniae* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบได้ที่ความเข้มข้นต่ำสุด 0.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ได้ดีกว่าสารสกัดขิงและชะพลู สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pattaratanawadee *et al.* (2006) ที่พบว่าสารสกัดกระชายที่ค่า MIC เท่ากับ 0.2-0.4 % (v/v) สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่าสารสกัดขิง ข่า และขมิ้น องค์ประกอบทางเคมีในกระชายที่มีรายงานว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ ได้แก่ boesenbergin, cardamonin, pinostrobin, 5, 7-dimethoxyflavone, 1, 8-cineole และ panduratin (Mahesh & Satish, 2008) สารสกัดจากชะพลูมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อได้ในระดับต่ำในทุกเซลล์ที่ทำการทดสอบ (MIC เท่ากับ 22.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) สอดคล้องกับงานวิจัยของ จิราภรณ์ บุราคร และคณะ (2555) ที่พบว่าสารสกัดใบชะพลูสามารถยับยั้งเชื้อ *K. pneumoniae* และ *S. aureus* ที่ค่า MIC เท่ากับ 15.62 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ที่ต่ำเช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามใบชะพลูมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีรายงานวิจัย คือ myristicin, sarmentine, brachystamide B, brachyamide B และ piperonal เป็นสารที่มีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราและแบคทีเรียได้ดี (Chanprapai *et al.*, 2017) และข้อ 4) นอกจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์แล้ว สารสกัดสมุนไพรในครัวยังคงมีฤทธิ์ต้านการอักเสบซึ่งพบว่าสารสกัดใบมะกรูดมีฤทธิ์ต้านการอักเสบได้ดีที่สุดจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ได้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเมื่อนำมาคำนวณพบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งการอักเสบสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายควบคุม สารละลายมาตรฐาน และสารสกัดสมุนไพรชนิดอื่น มีการศึกษาพบว่าใบมะกรูดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลายชนิด เช่น วิตามินซี เบต้าแคโรทีน (β -Carotene) ซิโทรเนลลาล (citronellal) เบต้าไพเนน (β -Pinene) ลิโมนีน (limonene) โดยเฉพาะสารในกลุ่ม furanocoumarin ได้แก่ สาร oxypeucedanin และ bergamottin ซึ่งมีรายงานวิจัยที่ระบุว่า มีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบได้ (วุฒิชัย วิสุทธิพรต, 2563) สารสกัดจากใบมะกรูดช่วย

ป้องกันการเสื่อมสภาพของเซลล์ประสาทที่เกิดจากกลูโคสและปรับปรุงการทำงานของเซลล์ประสาทได้ (Pattarachotanant & Tencomnao, 2020) นอกจากนี้ในปัจจุบันยังพบว่าสารสกัดจากใบมะกรูดสามารถใช้ต้านการอักเสบที่นำไปสู่การเกิดโรคต่างๆ โดยพบว่าสาร β -pinene, sabinene, citronellal และ citronellol ที่มีอยู่ในใบมะกรูดมีฤทธิ์ต้านเบาหวาน ลดไขมันในเลือด และต้านโรคอ้วน รวมทั้งป้องกันการพัฒนาไปเป็นโรคความดันโลหิตสูงได้ (Hawa *et al.*, 2022) ยังมีงานวิจัยอีกหลายๆ ชิ้นที่กล่าวถึงประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบมะกรูดที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการอักเสบได้

แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองทั้งหมดและศึกษาข้อมูลที่มีจะพบว่าสารสกัดจากสมุนไพรแต่ละชนิดมีฤทธิ์ที่แตกต่างกันออกไปซึ่งพบว่าสารสกัดจากขิงค่อนข้างมีการออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ครอบคลุม มีฤทธิ์ค่อนข้างสูง และนิยมนำมาบริโภคมากกว่าสารสกัดจากพืชสมุนไพรในครัวชนิดอื่นเมื่อเป็นเช่นนี้สารสกัดจากขิงจึงน่าสนใจต่อการนำมาศึกษาวิจัยต่อยอด ซึ่งในงานวิจัยของต่างประเทศมีจำนวนมากที่ศึกษาการใช้ประโยชน์จากสารสกัดจากขิง โดยเฉพาะฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากขิง สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิง เช่น gingerol มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี และ Shogaol เป็นสารประกอบในขิงที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพมากที่สุดและมีฤทธิ์ต้านการอักเสบได้อีกด้วย (Dugasani *et al.*, 2010) มีการศึกษาคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันของสารสกัดและส่วนประกอบต่างๆ ของขิงในหลอดทดลอง พบว่าสารต่างๆ เหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยปกป้องการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ (Shukla and Singh, 2007) สารสกัดจากขิงยับยั้งการลุกลามของเซลล์มะเร็ง ช่วยรักษาความผิดปกติของระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน และโรคทางเดินอาหาร (Mashhad *et al.*, 2013) เช่นเดียวกับที่ Mao *et al.* (2019) ได้ศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดจากขิงพบว่า gingerol, Shogaol และ paradol มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ ต้านมะเร็ง ปกป้องระบบประสาท ปกป้องหัวใจและหลอดเลือด ปกป้องระบบทางเดินหายใจ ต่อด้านโรคอ้วน โรคเบาหวาน อาการคลื่นไส้ และอาเจียน ได้ นอกจากนี้ สารสกัดจากขิงยังช่วยลดการสูญเสียเลือดในสตรีที่มีประจำเดือนมากกว่าปกติ (Kashefi *et al.*, 2015) มีการทดลองทางคลินิกโดยใช้ขิงช่วยบรรเทาอาการปวดไมเกรนได้ผลดีกว่าการใช้ยารักษาทางคลินิก (Maghbooli *et al.*, 2014) และยังพบว่าสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของขิง ได้แก่ 6-gingerol, 8-gingerol, 6-shogaol, citral และ eucalyptol มีฤทธิ์ป้องกันความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ช่วยให้เกิดการผ่อนคลายในกล้ามเนื้อเรียบของทางเดินหายใจและการลดการอักเสบของทางเดินหายใจ

ได้ (Shariatpanahi *et al.*, 2013) ในด้านการออกฤทธิ์ต่อจุลินทรีย์ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีรายงานว่ามีสารสกัดจากขิงมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส สารสกัดหยาบและชิ้นส่วนของขิงที่สกัดด้วยเมทานอลยับยั้งการสร้างไบโอฟิล์ม การสังเคราะห์กลูแคน และการเกาะติดของ *Streptococcus mutans* โดยปรับลดยีนที่รุนแรงลง สอดคล้องกับการศึกษาในหลอดทดลองที่พบว่า การพัฒนาของฟันผุที่เกิดจากเชื้อ *Streptococcus mutans* ลดลงในกลุ่มหนูที่ได้รับการบำบัด (Hasan *et al.*, 2015) นอกจากนี้ การศึกษาในหลอดทดลองยังพบว่า gingerenone-A และ 6-shogaol มีฤทธิ์ยับยั้ง *Staphylococcus aureus* โดยยับยั้งการทำงานของ 6-hydroxymethyl-7, 8-dihydropterin pyrophospho-kinase ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สำคัญในการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (Rampogu *et al.*, 2018) และยังพบว่า γ -terpinene และ citral ในน้ำมันหอมระเหยขิงยังแสดงคุณสมบัติต้านเชื้อรา มีฤทธิ์ต้านเชื้อรา *Aspergillus flavus* และลดการทำงานของยีนบางตัวที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์อะฟลาทอกซินได้ (Moon *et al.*, 2018) เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสารเคมี และขอบคุณสาขาวิชาธุรกิจการแปรรูปอาหารที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

งานวิจัยต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้ทราบข้อมูลของสารสกัดขิงและประโยชน์ที่ได้รับ ทำให้ผู้วิจัยมองเห็นศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพหรืออาหารเสริมสำหรับการป้องกันและการจัดการโรคเรื้อรังและโรคติดต่อในอนาคตได้ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าของพืชสมุนไพรพื้นบ้าน ส่งเสริมให้มีการปลูกเพื่อให้เกิดรายได้ของเกษตรกร และเพิ่มศักยภาพของประเทศในการผลิตสารสำคัญใช้เองและลดการนำเข้าจากต่างประเทศ

เอกสารอ้างอิง

จิราภรณ์ บุราคร, & เรือนแก้ว ประพฤติ. (2555). ผลของสารสกัดสมุนไพรพื้นบ้านไทยจำนวน 7 ชนิด ต่อการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย. *วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก*, 10(1), 11-21.

พิศุทธิภร ศุภพล และ สิตา ปรีदानนท์. (2561). สารต้านจุลินทรีย์และสายสัมพันธ์เชิงวิวัฒนาการของราจากดินป่าชายเลน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 26(1), 155-71.

มณฑล วิสุทธิ. (2560). ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียกลุ่ม Staphylococci ของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นบางชนิดในจังหวัดนครราชสีมา. *ว.วิทย์.มช.*, 45(4), 805-16.

วุฒิชัย วิสุทธิพรต. (2563). การศึกษาฤทธิ์ในการลดปวดอักเสบของสารสกัดจากผิวมะกรูดเพื่อพัฒนาเป็นตำรับยาทาร์กษาอาการปวดอักเสบ. *รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์*. กองทุนภูมิปัญญา การแพทย์แผนไทย.

วศพล ฉัตรเกตุ, นันทพงศ์ ชำทอง และ ชีวทัศน์ สุดสาย. (2559). ฤทธิ์ต้านการอักเสบและต้านอนุมูลอิสระของสารบริสุทธิ์ที่แยกได้จากส่วนสกัดเฮกเซนของเหง้าว่านเปรี้ยว. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต*. มหาวิทยาลัย รังสิต.

อินทิรา ขูดแก้ว, ภาริตา ลิ้มปิโซติกุล. (2561). การศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันและสหสัมพันธ์ของสารต้านออกซิเดชันของสมุนไพรในสวนครัว 8 ชนิด. *วารสารวิจัย มสค.*, 10(1), 137-152.

Assiri, A.M., Elbanna, K., Abulreesh, H.H., Ramadan, M.F. (2016). Bioactive compounds of cold- pressed Thyme (*Thymus vulgaris*) Oil with antioxidant and antimicrobial properties. *Journal of Oleo Science*, 65(8), 629-40.

Atun, S., Handayani, S., Rakhmawati, A. (2018). Potential bioactive compounds isolated from *Boesenbergia rotunda* as antioxidant and antimicrobial. *Journal Pharmacognosy*, 10(3), 513-8.

Azelan, A., Taher, Z.M., Sasano, S., Ariga, T., & Aziz, A.A. (2020). Chemical constituents and bioactivity of *Piper sarmentosum*: a mini review. *Food Research*, 4(2), 14-8.

Chanprapai, P., & Chavasiri, W. (2017). Antimicrobial activity from *Piper sarmentosum* Roxb. against rice pathogenic bacteria and fungi. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(11), 2513-24.

Dugasani, S., Pichika, M.R., Nadarajah, V.D., Balijepalli, M.K., Tandra, S., & Korlakunta, J.N. (2010). Comparative antioxidant and anti-inflammatory effects of [6]-gingerol, [8]-gingerol, [10]-gingerol and [6]-shogaol. *J. Ethnopharmacol*, 127, 515-20.

Eng-Chong, T., Yean-Kee, L., Chin-Fei, C., Choon-Han, H., Sher-Ming, W., & Thio Li-Ping, C. (2012). *Boesenbergia rotunda* From Ethno medicine to Drug Discovery. *Evidence- Based Complementary and Alternative Medicine*. 473637.

- Sangeetha, G., & Vidhya, R. (2016). In-vitro anti-inflammatory activity of different parts of *Pedaliom murex*. *International Journal of Herbal Medicine*, 4(3), 31-36.
- Gull, I., Saeed, M., Shaukat, H., Aslam, S.M., Samra, Z.Q., & Athar, A.M. (2012). Inhibitory effect of *Allium sativum* and *Zingiber officinale* extracts on clinically important drug resistant pathogenic bacteria. *Annals of clinical microbiology and antimicrobials*, 11, 1-8.
- Hasan, S., Danishuddin, M., & Khan, A.U. (2015). Inhibitory effect of *Zingiber officinale* towards *Streptococcus mutans* virulence and caries development: in vitro and in vivo studies. *BMC Microbiol*, 15, 1.
- Hawa, N. S., Suhaila, M., Yusof, K. (2022). Potential therapeutic effects of *citrus hystrix* DC and its bioactive compounds on metabolic disorders. *Pharmaceuticals (Basel)*, 15(2), 167.
- Karuppiah, P., & Rajaram, S. Antibacteria. (2012). effect of *Allium sativum* cloves and *Zingiber officinale* rhizomes against multiple-drug resistant clinical pathogens. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 2(8), 597- 601.
- Kashefi, F., Khajehei, M., Alavinia, M., Golmakani, E. & Asili, J. (2015). Effect of ginger (*Zingiber officinale*) on heavy menstrual bleeding: a placebo- controlled, randomized clinical trial. *Phytother. Res*, 29(1), 114-9.
- Khasnavis, S., & Pahan, K. (2012). Sodium benzoate, a metabolite of cinnamon and a food additive, upregulates neuroprotective Parkinson disease protein DJ-1 in astrocytes and neurons. *J Neuroimmune Pharmacol*. 7(2), 424-35.
- Maghbooli, M., Golipour, F., Esfandabadi, A.M. & Yousefi, M. (2014). Comparison between the efficacy of ginger and sumatriptan in the ablative treatment of the common migraine. *Phytother. Res.*, 28, 412-5.
- Mahesh, B. & Satish, S. (2008). Antimicrobial activity of some important medicinal plant against plant and human pathogens. *World Journal of Agriculture Sciences*, 4(S), 839-43.
- Mao, Q.Q., Xu, X., Cao, S.Y., Gan, R.Y., Corke, H., & Beta, T. (2019). Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6), 185.
- Mashhadi, N. S., Ghiasvand, R. Askari, G., Hariri, M., Darvishi, L., & Mofid, M.R. (2013). Anti-oxidative and anti-Inflammatory effects of ginger in health and physical activity: Review of current evidence. *Int J Prev Med*, 4(Suppl 1), S36-S42.
- Moon, Y., Lee H., Lee S. (2018). Inhibitory effects of three monoterpenes from ginger essential oil on growth and aflatoxin production of *Aspergillus flavus* and their gene regulation in aflatoxin biosynthesis. *Appl. Biol. Chem.*, 61, 243-50.
- Pattarachotanant, N. & Tencomnao, T. (2020). *Citrus hystrix* Extracts Protect Human Neuronal Cells against High Glucose-Induced Senescence. *Pharmaceuticals*, 13(10), 283.
- Pattaratanawadee, E., Rachtanapun, C., Wanchai - tanawong, P., & Mahakarnchanakul, W. (2006). Antimicrobial activity of spice extracts against pathogenic and spoilage microorganisms. *Kasetsart Journal Natural Science*, 40, 159-65.
- Rampogu, S., Baek, A., Gajula, R.G., Zeb, A., Bavi, R.S., Kumar, R., Kim, Y. (2018). Ginger (*Zingiber officinale*) phytochemicals- gingerenone-A and shogaol inhibit SaHPPK: molecular docking, molecular dynamics simulations and in vitro approaches. *Ann. Clin. Microb. Anti.*, 17, 16.
- Shukla, Y., Singh, M. (2007). Cancer preventive properties of ginger: A brief review. *Food Chem Toxicol.*, 45, 683-90.
- Shariatpanahi, Z.V., Mokhtari, M., Taleban, F.A., Alavi, F., Surmaghi, M.H.S., & Mehrabi, Y. (2013). Effect of enteral feeding with ginger extract in acute respiratory distress syndrome. *J. Crit. Care.*, 28, 217 e1-6.
- Siddiqui, N., Rauf, A., Latif, A., & Mahmood, Z. (2017). Spectral and fluorescence study of the herbal Unani drug Gul-e-Zoofa. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 10(1), 64-70.

- Rodriguez-Garcia, I., Silva-Espinoza, B.A., Ortega-Ramirez, L.A., Leyva, J.M., & Siddiqui, M.W. (2016). Cruz-Valenzuela, M.R. and et al. Oregano essential Oil as an Antimicrobial and antioxidant additive in Food Products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), 1717-27.
- van Vuuren, S.F. (2008). Antimicrobial activity of South African medicinal plants. *Journal of Ethno-pharmacology*, 119(3), 462-72.
- Veeru, P., Kishor, M.P., & Meenakshi, M. (2009). Screening of medicinal plant extracts for antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(8), 608-12.
- Vimala, S., & Mohd Ilham A. (1999). Malaysian tropical forest medicinal plants: a source of natural antioxidants. *Journal of Tropical Forest Products*, 5(1), 32-8.
- Xu, J. G., Liu, T., Hu, Q. P., and Cao, X. M. (2016). Chemical Composition, Antibacterial Properties and Mechanism of Action of Essential Oil from Clove Buds against *Staphylococcus aureus*. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 21(9), 1194.
- Yao, L.H., Jiang Y.M., Shi, J., Tomas-Barberan F.A., Datta, N., Singganusong, R., & Chen. (2004). S.S. Flavonoids in food and their health benefits, flavanones in cumin, peppermint, flavones in parsley, thyme and flavonoid in onions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 59, 113-22.
- Yashin, A., Yashin, Y., Xia, X., & Nemzer, B. (2017). Antioxidant Activity of Spices and Their Impact on Human Health: A Review. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 6(3), 70.

การจัดการให้อาหารปลาดุกอนุบาลและตรวจสอบคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน โดยใช้เทคนิคเอ็มคิวทีที

Nursery catfish feeding management and water quality monitoring through application using MQTT technique

รชต เรืองกาญจน์¹, ชลธิศา รัตนชู¹, วัชระ เจียมสวัสดิ์^{1*} และ ยรรยง สุรัตน์¹

Rachata Ruangarn¹, Chonthisa Rattanachu¹, Watchara Jiamsawat¹ and Yunyong Surut¹

Received: 22 September 2022 ; Revised: 6 December 2022 ; Accepted: 29 December 2022

บทคัดย่อ

ภาครัฐได้ส่งเสริมการพัฒนาการประมงน้ำจืด หรือประมงพื้นบ้าน จากกลุ่มสถิติการประมง กองนโยบายและแผนพัฒนาการประมง กรมประมง ส่งเสริมให้ทำประมงน้ำจืด ในกลุ่มปลา 3 ชนิด คือ ปลานิล ปลาดุก และปลาดุกเทศ ปัญหาที่พบของการทำประมงน้ำจืด คือ คุณภาพน้ำ และขั้นตอนกระบวนการการให้อาหาร ในการทำประมงน้ำจืดที่ให้ปริมาณอาหารไม่เหมาะสม มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และต้นทุนแรงงานในการอนุบาลปลาดุก ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นปัญหาดังกล่าว โดยพัฒนาระบบให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ และตรวจสอบคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชันโดยนำเอาเทคโนโลยีเอ็มคิวทีที มาจัดการบริหารการทำงาน และตรวจสอบข้อมูลให้เหมาะสมกับการทำประมงน้ำจืดให้มีคุณภาพด้านการเติบโต และควบคุมปริมาณอาหารให้เหมาะสม และสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านอาหาร โดยงานวิจัยนี้ได้แบ่งส่วนงานออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์ได้แก่ โหนดเอ็มคิวทีที โดยมีการใช้โมดูลเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH sensor module) และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (waterproof temperature sensor) ในส่วนของซอฟต์แวร์ ใช้ภาษาไพทอน (python language) ทำหน้าที่เป็นแพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานในงานวิจัยนำไปใช้กับกลุ่มประมงน้ำจืดในการเลี้ยงปลาดุก จากผลการทดลองพบว่า เกษตรกรมีความพึงพอใจเนื่องจากคุณภาพน้ำที่ดี ส่งผลให้อัตราการรอดตายของปลาดุกในการอนุบาลเพิ่มขึ้น สามารถเพิ่มอัตราการรอดตายของปลาดุกในการอนุบาลจากเดิมร้อยละ 92% หลังการทดลองใช้งานปลาดุกมีอัตราการรอดตายร้อยละ 100% และลดต้นทุนการใช้แรงงานในการดูแลปลาดุกอนุบาลได้ 1,725 บาท/เดือน เนื่องจากสามารถตรวจสอบข้อมูลต่างๆ และควบคุมการทำงานได้ผ่านแอปพลิเคชันและเวลาเหลือในการประกอบอาชีพอื่นๆ

คำสำคัญ: ประมงน้ำจืด ให้อาหารปลาอัตโนมัติ ตรวจสอบคุณภาพน้ำ เอ็มคิวทีที

Abstract

The government has supported the development of freshwater fisheries or local fisheries via the Fisheries Statistics Group, Fisheries Development Policy and Planning Division of the Department of Fisheries. In the development of local areas, freshwater fishing is encouraged for a group of 3 species of fish: Tilapia, Catfish and Tapia. The problems encountered by freshwater fisheries are water quality and feeding procedures in freshwater fisheries that provide food with not actual proportional. Consequently there are increasing labor costs and deteriorating water quality. We found a way to manage fish feeding automatically and check water quality through the application of MQTT technology to manage work and to monitor the data to suit freshwater fishing, providing quality of growth and proper control of the amount of food supplied, thereby reducing food costs. The research was divided into two parts: hardware and software. Hardware was an M.C.U. node with a relay used to control the motor. In addition, there was a PH sensor module and waterproof temperature sensor. Python programming served as a platform for developing applications used to

¹ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ จังหวัดนราธิวาส 96000

¹ Computer Engineering Department Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University, Narathiwat, 96000 Thailand

* Corresponding author +668 3656 8643 e-mail: watchara.j@pnu.ac.th

communicate with users. The results showed that Farmers were satisfied because the good quality of water provided survival rates of catfish in the nursery which increased from the original 92% to 100% after the trial and also reduced the labor cost of taking care of the nursery catfish for 1,725 baht/month. This was possible because information can be checked and controlled through an application as can the remaining time for other occupations.

Keywords: Freshwater fisheries, automatic fish feeding, water quality monitoring, MQTT

บทนำ

ปลาถูกเป็นปลาที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืด น้ำที่ค่อนข้างกร่อยหรือแม้แต่ในหนองน้ำที่มีน้ำเพียงเล็กน้อยในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 5 ชนิดด้วยกัน แต่ที่เป็นที่รู้จักมีเพียง 2 ชนิดคือปลาดุกอูย และปลาดุกด่าน ปลาดุกที่นิยมเลี้ยงคือ ปลาดุกด่าน เพราะเนื้อปลาดุกด่านค่อนข้างแข็ง (กรมประมง, 2563) ทำให้สามารถขนส่งได้ในระยะทางไกลๆ

การเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์ วิธีดั้งเดิมเลี้ยงต้องหมั่นดูแลเข้าใจใส่ เปลี่ยนน้ำ 2-3 วัน/1 ครั้ง ในช่วงฤดูหนาวปลาดุกมีโอกาสเกิดโรค สามารถใช้ อี เอ็มในการยื่นอายุของการถ่ายเปลี่ยนน้ำ และลดการทำให้ปลาไม่เครียด แต่เนื่องจากปัจจุบัน การเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์ ก็ยังเป็นเพียงแค่อาศัยเสริมเท่านั้น ทำให้ผู้เลี้ยงไม่มีเวลาว่างในการดูแลปลาได้อย่างทั่วถึง ปัญหาที่พบคือ คุณภาพน้ำที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต และขั้นตอนกระบวนการการให้อาหาร การให้ปริมาณอาหารไม่เหมาะสม ส่งผลต่ออัตราการการรอดชีวิตปลาดุกอนุบาล อีกทั้งยังมีต้นทุนในการจ้างแรงงานเพื่อการอนุบาลปลาดุก

จากปัญหาดังกล่าวผู้จัดทำโครงการงานเล็งเห็นถึงความสำคัญของการควบคุมระบบในการเลี้ยงปลาดุก จึงจัดทำเครื่องมือวัดอัจฉริยะขึ้นมา เครื่องมือวัดนี้สามารถวัดอุณหภูมิ วัดค่า pH ต่างๆ ของน้ำ รวมไปถึงให้อาหารปลาได้อัตโนมัติตามช่วงเวลาเวลาที่ปลาต้องการกินอาหารอีกด้วย (จามจุรี กุลยอด และ ศิลป์ณรงค์ ฉวีวัฒน์, 2560) เพื่อความสะดวก และแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต และตอบโต้ภัยตามความต้องการของผู้เลี้ยงได้อย่างดี

1. คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

สัตว์น้ำจำเป็นต้องอาศัยในการดำรงชีวิต คุณสมบัติของน้ำจะแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมและที่ตั้งต่างกัน เช่น แม่น้ำ ลำธารคลอง จะมีคุณสมบัติของน้ำแตกต่างจากหนอง บึง อ่างเก็บน้ำ ซึ่งเป็นแหล่งน้ำนิ่งรวมถึงบาดาลที่มีคุณสมบัติแตกต่างจากแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ การตรวจวัดคุณภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะได้ปรับปรุงให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมกับการอยู่อาศัยของสัตว์น้ำซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้ประสบความสำเร็จ

ตรวจคุณภาพน้ำอย่างไร เอน้ำใส่ขวดประมาณ 700 มิลลิลิตร ควรมีน้ำหนักเบาและไม่แตกง่าย ที่สำคัญก่อนการใช้ขวดเก็บตัวอย่างทุกครั้งควรล้างด้วยน้ำสะอาดหลายๆ ครั้ง เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสร็จแล้วควรปิดฝาให้สนิทปิดฉลากทุกใบให้ชัดเจน โดยฉลากจะต้องแจ้งข้อมูลที่จำเป็นให้ละเอียด เช่น สถานที่เก็บตัวอย่าง วัน เวลาของการเก็บตัวอย่าง แหล่งน้ำของตัวอย่าง ชื่อสกุลของผู้เก็บตัวอย่าง สี กลิ่นของน้ำ ความขุ่น ขนาดบ่อและปลาที่เลี้ยงมาบอกเจ้าหน้าที่ เพื่อจะได้วิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างถูกต้องคุณภาพน้ำบ่ออะไรกับเกษตรกร อุณหภูมิ น้ำ ควรอยู่ในช่วง 23-32 องศาเซลเซียส วิชาต่างๆ คือสัมผัสด้วยมือ น้ำจะต้องไม่ร้อนหรือเย็นจนเกินไป ถ้าน้ำเย็นมากปลากินอาหารน้อยลงควรลดปริมาณน้ำในบ่อและลดปริมาณอาหารลง (กรมประมง, 2563) ปริมาณออกซิเจน โดยเฉลี่ยปริมาณออกซิเจนในรอบวันไม่ควรต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าต่ำกว่านี้อาจทำให้ปลาเจริญเติบโตไม่ดีหรือตายได้ เมื่อปริมาณออกซิเจนต่ำให้ใช้เครื่องตีน้ำหรือสูบลมเข้าไปในอากาศก็ได้ เพื่อช่วยเพิ่มปริมาณในน้ำ โดยเฉพาะเวลากลางคืนและเช้ามืด

กรด-ด่าง(pH) ควรอยู่ระหว่าง 6.5-9 (กาญจนา จ้ายเกิด, 2557) การเปลี่ยนแปลงของ pH ที่เกิดขึ้นจะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนไป และมีผลต่อความเป็นพิษของสารบางชนิดได้ เช่น ความเป็นพิษของแอมโมเนียมากขึ้นหรือลดลงได้

ความกระด้าง น้ำอ่อนหรือน้ำที่กระด้างเกินไปถือว่าไม่มีความเหมาะสม ถ้าน้ำอ่อนเมื่อทำการเพาะเลี้ยงจะต้องมีการเติมปูนขาว เพื่อที่จะทำให้น้ำมีความกระด้างสูงขึ้นเกณฑ์ที่เหมาะสมกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำควรมีค่าอยู่ระหว่าง 75-300 มิลลิกรัมต่อลิตร หากกระด้างจนเกินไปสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการพักน้ำและติดตั้งเครื่องกรอง

ความเป็นด่าง เป็นตัวที่คอยควบคุมไม่ให้แหล่งน้ำมีการเปลี่ยนแปลง pH ควรมีค่าอยู่ในระหว่าง 100-200 มิลลิกรัมต่อลิตร

แอมโมเนีย เป็นแก๊สที่มีพิษต่อปลาเกิดจากของเสียและมูลต่างๆ ที่สัตว์น้ำขับถ่าย

2. ขั้นตอนการเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์

1) อัตราปล่อยปลาดุก ควรปรับสภาพของน้ำในบ่อที่เลี้ยงให้มีสภาพเป็นกลางหรือเป็นด่างเล็กน้อย แต่ต้องแน่ใจว่าบ่อซีเมนต์ จะต้องหมักฤทธิ์ของปูนขนาด ลูกปลา 2-3 ซม. ควรปล่อยในอัตราประมาณ 100 ตัว/ตรม. เพื่อป้องกันโรคซึ่งอาจจะติดมากับลูกปลา ใช้น้ำยาฟอร์มาลินใสในบ่อเลี้ยง อัตราความเข้มข้น ประมาณ 30 ส่วนในล้าน (30 มิลลิกรัม/น้ำ 1 ตัน) ในวันที่ปล่อยลูกปลาไม่จำเป็นต้องให้อาหาร ควรเริ่มให้อาหารในวันรุ่งขึ้น (บัญญัติ มนเทียรอาสน์, 2556)

2) การให้อาหาร เมื่อปล่อยลูกปลาลงในบ่อแล้ว อาหารที่ใหในช่วงที่ลูกปลาดุกมีขนาดเล็ก (2-3 ซม.) ควรให้อาหารผสมคลุกน้ำเป็นก้อนให้ลูกปลากิน โดยให้กินวันละ 2 ครั้งหว่านให้ กิน ทัวบ่อโดยเฉพาะในบริเวณขอบบ่อ เมื่อลูกปลามีขนาดโตขึ้นความยาวประมาณ 5-7 ซม. สามารถฝึกให้ กิน อาหารเม็ดได้ หลังจากนั้นเมื่อปลาโตขึ้นจนมีความยาว 15 ซม. ขึ้นไป จะให้อาหารเม็ดเพียงอย่างเดียวหรือ อาหารเสริมชนิดต่างๆ ได้ เช่น ปลาเป็ดผสมรำละเอียดอัตรา 9:1 (มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี, 2558) หรือ ให้อาหารที่ลดต้นทุน เช่น อาหารผสมบดจากส่วนผสมต่างๆ เช่น กระจุกไก่ ใสไก่ เศษขนมปัง เศษเส้นหมี่ เศษเลือดหมูเศษกล้วย เลือดไก่ หรือ เศษอาหารเท่าที่สามารถหาได้ นำมาบดรวมกันแล้วผสมให้ปลากิน แต่การให้อาหารประเภทนี้จะต้องระวัง เรื่องคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงให้ดี เมื่อเลี้ยงปลาได้ประมาณ 2 เดือนปลาจะมีขนาดประมาณ 125 กรัม/ตัว ซึ่งผลผลิตที่ได้ จะประมาณ 10 กก./บ่อ อัตรารอดตาประมาณ 80%

3) การถ่ายน้ำ เมื่อตอนเริ่มเลี้ยงใหม่ๆ ระดับความลึกของน้ำในบ่อควรมีค่าประมาณ 30-40 ซม. เมื่อลูกปลาเจริญเติบโตขึ้นในเดือนแรกจึงเพิ่มระดับน้ำสูงเป็นประมาณ 50 ซม. การถ่ายน้ำควรเริ่มตั้งแต่การเลี้ยงผ่านไปประมาณ 1 เดือนโดยถ่ายน้ำประมาณ 20% ของน้ำในบ่อ 3 วัน/ครั้งหรือถ้าในบ่อเริ่ม เสียจะต้องถ่ายน้ำมากกว่าปกติ

4) การป้องกันโรคการเกิดโรคของปลาดุกที่เลี้ยงมักจะเกิดจากปัญหาคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยงไม่ดี ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการให้อาหารมากเกินไปจนอาหารเหลือเน่าเสียเราสามารถป้องกันไม่ให้เกิด โรคได้โดยต้องหมั่นสังเกตว่าเมื่อปลากินอาหารจะต้องหยุดให้อาหารทันทีเพราะปลาดุก ลูกผสมมีนิสัยชอบกินอาหารที่ให้ใหม่ โดยถึงแม้ จะกินอิ่มแล้ว ถ้าให้อาหารใหม่อีกก็จะคายหรือสำรอกอาหารเก่าทิ้งแล้วกินอาหารให้ใหม่ อีกซึ่งปริมาณอาหารที่ให้ไม่ควรเกิน 4-5% ของน้ำหนักตัวปลา

3. โรคของปลาดุก

ในกรณีที่มีการป้องกันอย่างดีแล้วแต่ปลาก็กินป่วยเป็นโรค ซึ่งมักจะแสดงอาการให้เห็นโดยแบ่งอาการของโรค

เป็นกลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1) การติดเชื้อจากแบคทีเรีย จะมีการตกเลือด มีแผลตามลำตัว และครีบกร่อน ตาขุ่น หนองหิก กกหูบวม ท้องบวม มีน้ำในช่องท้อง กินอาหารน้อยลงหรือไม่กินอาหารเลยตัว

2) อาการจากปรสิตเข้าเกาะตัวปลา จะมีเมือกมาก มีแผลตามลำตัว ครีบเปื่อย ตกเลือด จุดสีขาวตาม ลำตัว สีตามลำตัวซีดหรือเข้มผิดปกติ เหงือกซีด ว่ายน้ำทวนทวนยวงควงควงหรือไม่ตรงทิศทาง

3) อาการจากอาหารมีคุณภาพไม่เหมาะสม คือ ขาดวิตามินบี กะโหลกร้าว บริเวณใต้คางจะมีการตก เลือด ตัวคด กินอาหารน้อยลง ถ้าขาดวิตามินบีปลาจะว่ายน้ำตัวเกร็งและชักกระตุก

4) อาการจากคุณภาพน้ำในบ่อไม่ดี ปลาจะว่ายน้ำขึ้นลงเร็วกว่าปกติ ครีบกร่อนเปื่อย หนองหิก เหงือกซีด และ บวม ลำตัวซีด ไม่กินอาหาร ท้องบวมตามตัวมีแผลหนึ่ง ในการรักษาโรคปลาควรจะได้ พิจารณาให้รอบคอบก่อนการตัดสินใจเลือกใช้ยาหรือสารเคมีสาเหตุของโรค ระยะเวลา ค่าใช้จ่ายในการรักษา

4. วิธีการป้องกันโรคในปลาดุกลูกผสม

ควรเตรียมบ่อและน้ำตามวิธีการที่เหมาะสมก่อน ปล่อยลูกปลา ชื้อพันธุ์ปลาจากแหล่งที่เชื่อถือได้ว่าแข็งแรง และปราศจากโรค หมั่นตรวจดูอาการของปลาอย่างสม่ำเสมอ ถ้าเห็นอาการผิดปกติต้องรีบหาสาเหตุและแก้ไขโดยเร็ว หลังจากปล่อยปลาลงเลี้ยงแล้ว 3-4 วัน ควรสาดน้ำยาฟอร์มาลิน 2-3 ลิตร/ปริมาตร น้ำ 100 ตัน และหากปลาที่เลี้ยงเกิดโรคพยาธิภายนอกให้แก้ไข โดยสาดน้ำยาฟอร์มาลินในอัตรา 4-5 ลิตร/ปริมาตรน้ำ 100 ตัน เปลี่ยนถ่ายน้ำจากระดับก้นบ่ออย่างสม่ำเสมอ อย่านให้อาหารจนเหลือ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา จำเริญ การศึกษาผลกระทบของการเลี้ยงปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำบริเวณอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่ ปี 2557 เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเลี้ยงปลาในกระชังที่มีผลต่อคุณภาพน้ำโดยมีการเก็บตัวอย่างน้ำแล้วนำไปวิเคราะห์คุณภาพของน้ำ ซึ่งพบว่า การเลี้ยงปลาในกระชังอาจทำให้ปลาดายได้จึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นประจำทุกปี

สุภาวดี ศิริรัฐนิคม การเลี้ยงปลาดุกลูกผสมในกระชังด้วยอาหารสูตรสำหรับเลี้ยงขุนเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า ปี 2556 การวางแผนการทดลองแบบสุ่มโดยมีสูตรสำหรับการเลี้ยงแบบขุนและอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า การให้

อาหารวันละ 2 เวลา คือ 08.00-09.00 น. และ 16.00-17.00 น. โดยให้อาหารในปริมาณ 3-5% ของน้ำหนักตัวต่อวัน ผลการตรวจสอบการเจริญเติบโตของปลา การรอดตาย ทั้งสองสูตรมีค่า 82.00-88.33% ซึ่งไม่แตกต่างกันทางสถิติ ผลการวิจัยการเจริญเติบโตของปลา: น้ำหนักเฉลี่ยต่อวันของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า (ปริตา ภูมิ, 2560) และอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงขุนเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า พบว่า เมื่อน้ำหนักเฉลี่ยของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรไม่แตกต่างกันทางสถิติและเมื่อดำเนินการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์จนถึงขนาดที่เหมาะสมสำหรับใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า (120-180 กรัม/ตัว) พบว่าปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้าและอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงขุน เพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัวไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีค่าระหว่าง 150.21-155.42 กรัมต่อตัว อัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาดุกลูกผสมที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า เปรียบเทียบกับอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงขุนเพื่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ปลาดุกร้า พบว่า ทั้งอัตราการเจริญเติบโต และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) ในขณะที่ค่า FCR ของปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า และอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีค่าแตกต่างกัน ทางสถิติ ($P<0.05$) โดยเห็นได้ชัดเจนว่าปลาที่ได้รับอาหารทดลองสูตรสำหรับเลี้ยงปลาดุกร้ามีค่า FCR ต่ำกว่า ปลาที่ได้รับอาหารสำเร็จรูปเชิงการค้า อย่างไรก็ตามการรอดตายของปลาที่ได้รับอาหารทั้ง 2 สูตรมีค่าระหว่าง 82.00-88.33% ซึ่งไม่แตกต่างกัน ทางสถิติ

ผลของรูปแบบการให้อาหารที่มีโปรตีนต่างกันต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอดของปลานิลแดง ปี 2560 เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนด้านอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลานิลแดง โดยทำการศึกษารูปแบบการให้อาหารที่มีโปรตีนต่างกันต่อการเจริญเติบโต การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอด และต้นทุนในการเลี้ยงปลานิลแดง นำลูกปลานิลแดงมาพักในบ่อซีเมนต์เพื่อปรับสภาพให้ปลาคู่กันเคยกบบระบบการทดลอง โดยให้อาหาร สำเร็จรูป (สำหรับปลากินพืช) วันละ 2 มื้อ คือ เช้า และเย็น ผลรอดตาย 100%

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี การเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์แบบคริวเรือน ปี 2558 เพื่อคริวเรือนที่ต้องการเลี้ยงปลาดุกในบ่อซีเมนต์ โดยมีขั้นตอนการเลี้ยงและการป้องกันโรคที่ทำให้ปลาดุกตาย เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ปลาดุกสามารถเจริญเติบโตได้ดีทั้งใน บ่อดิน บ่อพลาสติก และ บ่อซีเมนต์ ส่วนชนิดปลาดุกที่ เหมาะสมในการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์นั้น ปลาดุกเทศและปลาดุกเทศอุยกเทศ (ลูกผสมระหว่างแม่ปลาดุกอุยกเทศกับพ่อปลาดุกเทศ) เหมาะสมมากที่สุด

Angani *et al.* (2019) พัฒนาโปรแกรมประยุกต์บนมือถือด้วยการสื่อสารด้วย MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) เพื่อตรวจสอบและควบคุมสภาวะอุณหภูมิของน้ำ ระดับออกซิเจน ระดับ pH และ DO ของน้ำด้วยมือถือหรืออัตโนมัติ สภาวะที่จำเป็นของน้ำเพื่อให้ปลามีสุขภาพแข็งแรงคืออุณหภูมิ 22 -25 องศาเซลเซียส ค่า PH อยู่ระหว่างใน 6.5 - 8.5 และ DO สูงกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร

A. K. Saputro, A. R. Anditya and A. F. Ibadillah การประยุกต์ใช้ MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ในการเพิ่มประสิทธิภาพ Internet Of Things โดยใช้ สำหรับการตรวจสอบอาหารปลา: การส่งข้อมูลเป็นหนึ่งในความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เริ่มพัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกในการทำงานของมนุษย์ การส่งข้อมูลเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง เช่น การส่งข้อความจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่ต้องการเพื่อรับและแลกเปลี่ยนข้อมูล การส่งข้อมูลจะทำงานได้อย่างเหมาะสมต่ออาศัยเทคโนโลยีและเครื่องมือที่สนับสนุนกระบวนการส่งข้อมูล หนึ่งในเทคโนโลยีที่รองรับกระบวนการรับส่งข้อมูลคือ WSN (Wireless Sensor Network)

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. การดำเนินงานการสร้างเครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำ

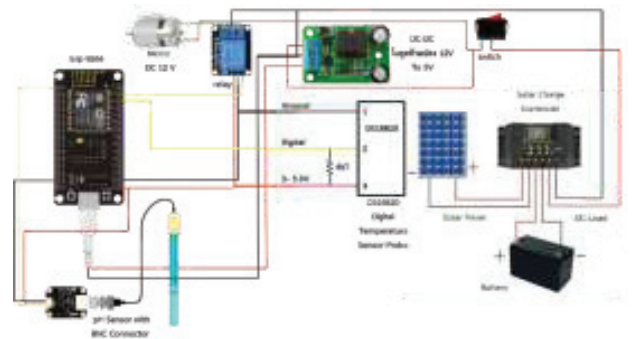


Figure 1 Operation of creating fish feeders and checking water quality

การดำเนินงานการสร้างเครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำ จาก Figure 1 เป็นการต่อวงจรของ Sensor เข้า Node MCU, การต่อ Relay เพื่อบังคับ Motor และการต่อแหล่งจ่าย

2. อุปกรณ์การทดลอง

Module Wi-Fi ESP8266 โมดูล WiFi ที่มีความพิเศษตรงที่ตัวมันสามารถโปรแกรมลงไปได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย และมีพื้นที่โปรแกรมที่

มากถึง 4MB ทำให้มีพื้นที่เหลือมากในการเขียนโปรแกรมลงไปที่ ESP8266 เป็นชื่อของชิปไอซีบนบอร์ดของ โมดูล ซึ่งไอซี ESP8266 ไม่มีพื้นที่โปรแกรม (flash memory) ในตัว ทำให้ต้องใช้ไอซีภายนอก (external flash memory) ในการเก็บโปรแกรม ที่ใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล SPI ซึ่งสาเหตุนี้เองทำให้โมดูล ESP8266 มีพื้นที่โปรแกรมมากกว่าไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดอื่นๆ ESP8266 ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3V - 3.6V การนำไปใช้งานร่วมกับเซ็นเซอร์อื่นๆ ที่ใช้แรงดัน 5V ต้องใช้วงจรแบ่งแรงดันมาช่วย เพื่อไม่ให้โมดูลพังเสียหาย กระแสที่โมดูลใช้งานสูงสุดคือ 200mA ความถี่คริสตัล 40MHz ทำให้เมื่อนำไปใช้งานอุปกรณ์ที่ทำงานรวดเร็วตามความถี่ เช่น LCD ทำให้การแสดงผลข้อมูลรวดเร็วกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ยี่ห้ออื่น

แบตเตอรี่ (Battery) สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้าสามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุ

เซลล์แสงอาทิตย์ 12V (solar cell) สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการนำสารกึ่งตัวนำ ทันทีที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดด ออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

รีเลย์ ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระตุ้นให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน (ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระตุ้นให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน และส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่เราต้องการนั่นเอง จุดต่อใช้งานมาตรฐาน ประกอบด้วย จุดต่อ NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟ

ให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลาเช่น จุดต่อ NO ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิดเช่น โคมไฟสนามเหนือหน้าบ้าน จุดต่อ C ย่อมาจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor) อุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลการทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์จุดลาก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้า มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่าบ่ม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสูบน้ำจืดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่นๆ

เครื่องวัดค่า pH ของน้ำ ใช้ในการวัดความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย - หรือที่เรียกว่าค่า pH และ การสอบเทียบ pH meter มีหลายวิธีที่ใช้ในการวัดระดับค่า pH รวมถึงการทดสอบกระดาษลิตมัสสีย้อมตัวบ่งชี้และอิเล็กโทรดพีเอช หรือมาดออุปกรณ์เหล่านี้ในรายละเอียดเพิ่มเติมและเข้าใจว่าทำไมจึงมีความสำคัญในการทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์สำหรับพวกเขา ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) หมายถึงการประมาณค่ากิจกรรมของไฮโดรเจนไอออนในสารหรือเพียงแค่กรด (ส่วนใหญ่ของไฮโดรเจนไอออน) หรือพื้นฐาน (ส่วนใหญ่ของไฮดรอกซิลไอออน) เป็นอย่างไร คุณลักษณะนี้วัดจากระดับ 0-14 โดยที่ 0 มีความเป็นกรดมากที่สุดและ 14 เป็นพื้นฐานที่สุด ค่า pH 7 นั้นเป็นกลางคือไม่มีทั้งกรดและพื้นฐาน

3. ซอร์ฟแวร์

ไพธอน (Python) เป็นภาษาโปรแกรมในลักษณะภาษาอินเตอร์พรีเตอร์โปรแกรมมิ่ง (interpreted programming language) ผู้คิดค้นคือ Guido van Rossum ในปี 1990 ซึ่งไพธอนเป็นการจัดการชนิดของตัวแปรแบบแปรผันตามข้อมูลที่บรรจุอยู่ (fully dynamically typed) และใช้การจัดการหน่วยความจำเป็นอัตโนมัติ (automatic memory management) โดยได้เป็นการพัฒนาและผสมผสานของภาษาอื่นๆ ได้แก่ ABC, Modula-3, Icon, ANSI C, Perl, Lisp, Smalltalk และ Tcl และภาษาไพธอนยังเป็นแนวคิดที่ทำให้เกิดภาษาใหม่ๆ ซึ่งได้แก่ Ruby และ Boo (ภาสกร แพรญาติ, 2562)

Kivy Python Application แพลตฟอร์มสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ เนื่องจากมีการออกแบบที่เรียบง่าย ด้วยความง่ายของ Kivy จึงทำให้เป็นที่นิยมสำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยภาษา Python

Arduino ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนางานสำหรับบอร์ด Arduino นั่นคือโปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด IDE ย่อมาจาก (Integrated Development Environment) คือ ส่วนเสริมของระบบการพัฒนาหรือตัวช่วยต่างๆ ที่จะคอยช่วยเหลือ Developer หรือช่วยเหลือคนที่พัฒนา Application เพื่อเสริมให้เกิดความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำตรวจสอบระบบที่จัดทำได้ ทำให้การพัฒนางานต่างๆ เร็วมากขึ้น

โปรโตคอล MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ช่องทางสื่อสารสำหรับโปรแกรมชนิดหนึ่งที่ทำงานลักษณะแบบเดียวกับ Cloud แต่ต่างกันตรงที่ตัว MQTT จะทำงานด้าน รับ-ส่ง ข้อมูลเพียงอย่างเดียว ข้อดีคือสามารถข้ามแพลตฟอร์ม (บัญญัติ มนเทียรอาสน์, 2556) ในการเขียนโปรแกรมได้โดยมี ลักษณะการเรียกใช้งานไม่ต่างกันมาก จึงช่วยลดเวลาในการพัฒนาโปรเจกต์ได้เยอะพอสมควร ในการใช้งาน MQTT เราสามารถเลือกใช้งานในแบบ Local Network หรือ Cloud ก็ได้ ตามความเหมาะสมของลักษณะโปรเจกต์

แผนภาพการทำงานของระบบ (A) แสดงแผนภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน (B) Figure 2 ในการทำงานของระบบ (A) เริ่มต้นรับค่าจาก Sensor จากนั้นจะส่งค่าไปยัง Node MCU และจะไปแสดงค่าไปยัง Application สิ้นสุด ในส่วนของแสดงแผนภาพการทำงานของ Application (B) ก็คือเริ่มต้น Application จะแสดงผลของ pH / Temp บนหน้าจอ สิ้นสุด และการทำงานของแอปพลิเคชันหน้าต่างควบคุม (C) และเมื่อเปิด Application ขึ้นมาก็จะมีการแสดงผลบนหน้าจอจะมีปุ่มควบคุม relay และจะให้เลือกระหว่าง manual กับ Auto

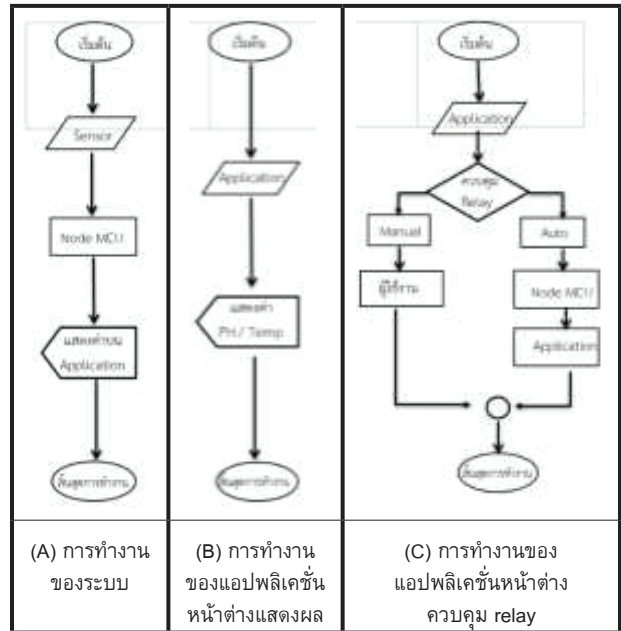


Figure 2 System operation and shows a working diagram of the application.

หากเลือก manual ก็คือจะเลือกโดยผู้ใช้งาน สิ้นสุด แต่หากเลือก Auto ก็ส่งค่าไปยัง Node MCU และ Node MCU ก็จะส่งไปยัง Application อีกทีหนึ่ง ถือว่าสิ้นสุดการทำงาน

4. การออกแบบระบบการทำงานและโครงสร้างเครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำ

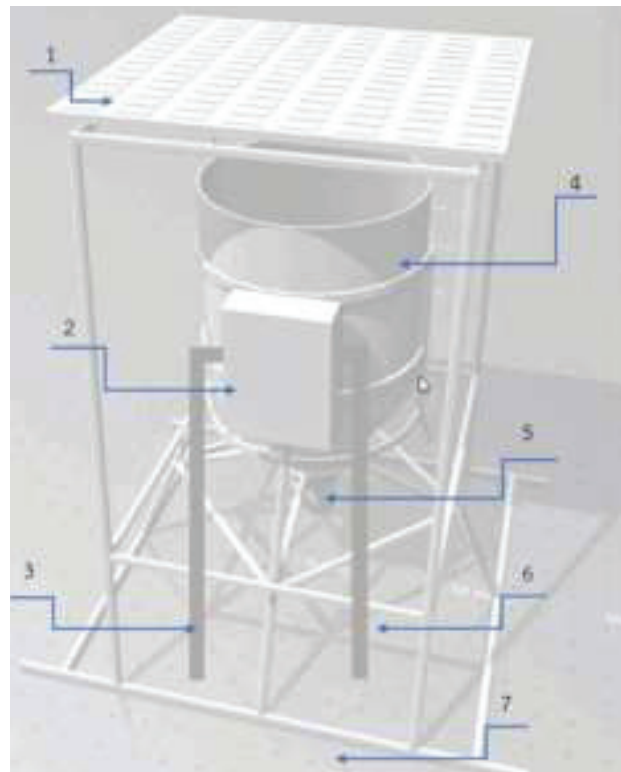


Figure 3 System design and structure of fish feeders monitor water quality.



Figure 4 Fish feeder application display screen with water quality check

การออกแบบระบบการทำงานและโครงสร้างเครื่องให้อาหารปลาตรวจสอบคุณภาพน้ำ จาก Figure 3 โครงสร้างนี้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Auto cat ซึ่งมีความสูงขนาด 70 เซนติเมตร (วัดจากฐานถึงโซล่าเซลล์) และจะมีความสูงขนาด 90 เซนติเมตร (วัดจากเซนเซอร์ไปถึงโซล่าเซลล์) และจะมีขนาดกว้างคูณยาว 180×180 เซนติเมตร โดยจะมีรายละเอียดดังนี้ 1. แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 12 V. 2. ตู้ควบคุมวงจรตั้ง Figure 3 3. Sensor วัดค่า pH 4. ถังบรรจุอาหารปลา 5. ช่องสำหรับปล่อยอาหารปลา 6.Sensor วัดอุณหภูมิ 7. ที่วางหุ่น

5. แอปพลิเคชันเครื่องให้อาหารปลาตรวจสอบคุณภาพน้ำ

หน้าจอแสดงผลของแอปพลิเคชันเครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำ Figure 4 (A) จะใช้ Pycharm ในการเขียนโปรแกรม แสดงหน้าต่างการใช้งานต่างๆ (B) จะมีรายละเอียดดังนี้ 1. หน้าอ้างอิง ดังรูป (C) 2. ค่า pH 3. ปุ่มเปิดปิดให้อาหารแบบอัตโนมัติ 4. ค่าอุณหภูมิ 5.แสดงค่าที่บันทึก (สีขาว เป็นค่า pH สีฟ้า เป็นค่าอุณหภูมิ) 6.ปุ่มเปิดปิดให้อาหารแบบไม่อัตโนมัติ

6. ไดอแกรมของระบบ

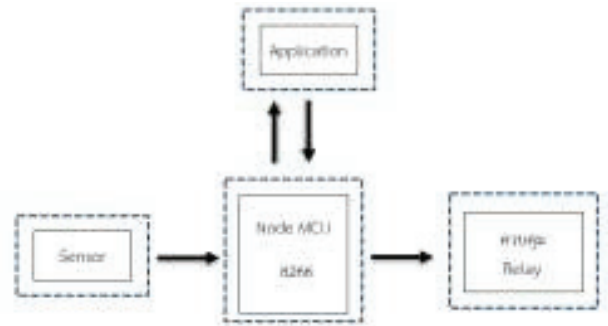


Figure 5 system diagram

ไดอแกรมการทำงานของระบบเครื่องให้อาหารปลาและตรวจสอบคุณภาพน้ำ จาก Figure 5 ซึ่งจะมีอินพุตคือ Sensor และ Application เมื่อมีการอินพุต Node MCU 8266 จะทำหน้าที่ประมวลผล และ Node MCU 8266ประมวลผลเสร็จ จะส่งค่ากลับมาให้ Application และมีการควบคุม Relay

7. เก็บผลการทดลอง

เครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อทดลอง



Figure 6 Fish feeder ready for inspection water quality in the experimental pond

เกษตรกรชื่อ นายมะหายุ บินหามะประกอบอาชีพทำการเกษตร มีพื้นที่ทำการเกษตรจำนวน 23 ไร่ กิจกรรมดำเนินการด้านพืช มีการปลูกมะพร้าวน้ำหอม ด้านประมงมีการเลี้ยงปลาดุก ปลานิล และเพาะพันธุ์ปลาเพื่อจำหน่าย ที่อยู่ 65/1 หมู่ 5 ตำบลละลุวเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา อบรมตั้งแต่การนำปลากลับไปเพื่อลงบ่อเลี้ยงปลาและวิธีการแก้ไขสภาพน้ำรวมไปถึงการให้อาหารสำหรับการเลี้ยงปลาอนุบาล ปลาดุกอนุบาลจำนวนกว่าพันตัวในบ่อเลี้ยงปลา จากที่ศูนย์เรียนรู้ด้านการเพาะปลาน้ำจืดเพื่อจำหน่าย และทดสอบใช้งานจริง เครื่องให้อาหารปลาพร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำในบ่อจริง หลังจากที่ได้ทำการคาลิเบรทเซนเซอร์วัดค่า pH

และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐานแล้วพร้อมใช้งาน ศูนย์เรียนรู้ด้านการเพาะปลาน้ำจืด

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลที่ได้จากการดำเนินงานตามวิธีดังกล่าวหลังจากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผล ปลาที่นำมาวิเคราะห์ผล เป็นปลาดุกอนุบาลพันธุ์เอเชียจำนวน 50 ตัว เมื่อค่า pH และอุณหภูมิอยู่ในสถานะที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา ทำให้สามารถนำปลาลงในบ่อได้ และในหน้าแอปพลิเคชันจะมีปุ่ม bottom เปิด-ปิดให้อาหาร ทั้งอัตโนมัติ และ ไม่อัตโนมัติ

1. การเลี้ยงปลาดุกและคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา

ค่า pH และ อุณหภูมิ จากเซ็นเซอร์ในเครื่องให้อาหารปลาและค่าจากเครื่องมือวัด pH และอุณหภูมิจำนวนการรอดตายของปลา อุณหภูมิต้อง 25 - 32 องศาเซลเซียส และ ความเป็นกรด - ด่าง (pH)

- ค่า pH 4 ปลาจะตาย, ไม่สืบพันธุ์
- ค่า pH 5 - 6.5 ปลาไม่สืบพันธุ์
- ค่า pH 6.5 เติบโตช้า
- ค่า pH 6.5 - 9 ปลาเติบโตได้ดี
- ค่า pH 9 - 11 ปลาเติบโตช้า, ไม่สืบพันธุ์
- ค่า pH 11 ขึ้นไป ปลาจะตาย

2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่น้อยกว่า 3 มิลลิกรัม/ลิตร (ppm)

น้อยกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร อาจถึงตายถ้าเกิดเป็นเวลานานหลายๆ ชั่วโมง

1-5 มิลลิกรัม/ลิตร ปลาที่มีชีวิตอยู่ได้ แต่ถ้าเกิดอย่างต่อเนื่องปลาก็จะเจริญเติบโตช้า และไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ดี

มากกว่า 5 มิลลิกรัม/ลิตร เหมาะสำหรับการเจริญเติบโต และขยายพันธุ์แต่ไม่เกินจุดอิ่มตัวความขุ่นใสของน้ำ 30-50 เซนติเมตร น้ำที่ขุ่นมากจะทำให้ปลาโตช้าและหายใจลำบาก

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ก๊าซแอมโมเนีย น้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม/ลิตร ถ้าความเข้มข้นเกิน 2 มิลลิกรัม/ลิตร ปลาจะเบื่ออาหารและเคลื่อนไหวช้าลง

ความเข้มข้นเกิน 5 มิลลิกรัม/ลิตร ปลาบางชนิดจะตายก๊าซไซเน่า (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร

ถ้าเกิน 1 ppm ปลาจะมึนงงและตายความเป็นต่างและความกระด้าง 100 -300 (ppm) มิลลิกรัม/ลิตร

3. วิธีการปรับปรุงคุณภาพน้ำ

เปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยเติมน้ำที่มีคุณภาพดีเข้าบ่อ ดีน้ำหรือพ่นน้ำเป็นฝอย หรือใช้เครื่องให้อากาศ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ใส่ปูนขาว เพื่อลดความเป็นกรดของ ความขุ่น และก๊าซไซเน่า ในขนาด 50 กก./ไร่ ใส่เกลือแกงขนาด 200-250 กก./ไร่ ทุก 1-2 สัปดาห์ เพื่อลดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไซเน่า

4. ค่ามาตรฐานของน้ำที่นำมาใช้เลี้ยงปลาดุก

1. ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6.5-8.5
2. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(DO) ไม่ต่ำกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. อุณหภูมิ น้ำ (tw) 19-28 องศาเซลเซียส
4. ความขุ่นใส (turbidity) 30-60 เซนติเมตร
5. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อิสระ (free Co2) ไม่สูงเกิน 8 มิลลิกรัมต่อลิตร
6. ความเป็นด่าง (alkalinity) 100-120 มิลลิกรัมต่อลิตร
7. ความกระด้าง (hardness) 75-150 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. ผลการจากทดลอง

การให้อาหารปลาอัตโนมัติและตรวจสอบคุณภาพน้ำ จะได้ผลการทดลองตรงความเหมาะสมในการเลี้ยงปลาควรมีค่า pH อยู่ที่ 6.5-9 และอุณหภูมิ 25-32 องศาเซลเซียส

Table 1 Comparison of pH and Temperature Per the number of fish in the pond, there is an automatic fish feeder and haven't automatic fish feeder

Date	Value of measurement	measurement of automatic fish feeder			Number of fish in automatic fish feeder			amount of food (g)	measurement of manual fish feeder			Number of fish in manual fish feeder		
		Experiment			1	2	3		Experiment			1	2	3
		1	2	3					1	2	3			
1	pH	6.67	6.71	6.95	50	50	50	25	6.95	6.67	6.71	50	50	50
	Temp	29.64	29.66	29.67					29.64	29.66	29.67			
2	pH	7.37	7.39	7.14	50	50	50	25	7.14	7.37	7.39	50	50	50
	Temp	28.94	28.94	28.96					28.94	28.94	28.96			
3	pH	7.93	7.37	7.37	50	50	50	25	7.37	7.93	7.94	50	50	50
	Temp	28.94	28.12	28.11					28.94	28.12	28.11			
4	pH	7.39	7.4	7.39	50	50	50	25	7.39	7.34	7.4	50	50	49
	Temp	28.92	28.93	28.95					28.92	28.93	28.95			
5	pH	7.33	7.32	7.41	50	50	50	25	7.41	7.32	7.33	49	50	49
	Temp	29.2	28.99	29.1					29.2	28.99	29.1			
6	pH	7.52	7.53	7.5	50	50	50	25	7.5	7.52	7.53	49	49	49
	Temp	29.5	28.94	29					29.5	28.94	29			
7	pH	7.48	7.46	7.52	50	50	50	25	7.52	7.48	7.46	49	49	49
	Temp	29.6	29.61	29.63					29.6	29.61	29.63			
8	pH	6.81	6.79	6.8	50	50	50	25	6.8	6.79	6.79	48	48	49
	Temp	28.94	28.91	28.92					28.94	28.91	28.92			
9	pH	7.91	7.77	7.89	50	50	50	25	7.61	7.89	7.91	48	48	49
	Temp	28.84	28.22	28.24					28.84	28.22	28.24			
10	pH	7.92	7.81	7.93	50	50	50	25	7.65	7.92	7.93	48	48	49
	Temp	28.9	28.24	28.26					28.9	28.24	28.26			
11	pH	7.92	7.81	7.93	50	50	50	50	7.66	7.94	7.95	48	48	49
	Temp	28.84	28.22	28.24					29.1	29.3	29.5			
12	pH	7.66	7.99	7.98	50	50	50	50	7.68	7.95	7.98	47	48	49
	Temp	29.3	29.4	29.6					29.3	29.4	29.6			
13	pH	7.75	7.84	7.98	50	50	50	50	7.69	7.95	7.98	47	48	48
	Temp	29.5	29.6	29.8					29.5	29.6	29.8			
14	pH	7.78	7.98	7.99	50	50	50	50	7.7	7.97	7.99	47	47	48
	Temp	29.6	29.7	29.8					29.6	29.7	29.8			
15	pH	6.99	6.7	6.69	50	50	50	50	6.62	6.64	6.69	47	47	48
	Temp	29.64	29.66	29.65					29.64	29.66	29.65			
16	pH	6.67	6.68	6.72	50	50	50	50	6.65	6.69	6.7	46	47	48
	Temp	29.65	29.68	29.66					29.65	29.68	29.66			

Table 1 Comparison of pH and Temperature Per the number of fish in the pond, there is an automatic fish feeder and haven't automatic fish feeder (cont.)

Date	Value of measurement	measurement of automatic fish feeder			Number of fish in automatic fish feeder				amount of food (g)			measurement of manual fish feeder			Number of fish in manual fish feeder		
		Experiment										Experiment					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
17	pH	6.69	6.75	6.74	50	50	50	50	6.66	6.7	6.73	46	47	48			
	Temp	29.64	29.98	30											29.66	29.73	29.69
18	pH	6.7	6.72	6.75	50	50	50	50	6.7	6.77	6.78	46	47	48			
	Temp	29.67	29.7	29.75											29.68	29.7	29.7
19	pH	6.8	6.84	6.86	50	50	50	50	7.21	7.22	7.31	46	47	48			
	Temp	29.7	29.74	29.75											29.7	29.67	29.88
20	pH	7.12	7.15	7.18	50	50	50	50	7.28	7.25	7.29	46	47	47			
	Temp	29.81	29.85	29.83											29.8	29.82	29.91
21	pH	6.66	6.68	6.7	50	50	50	75	6.71	6.75	6.76	46	46	47			
	Temp	29.65	29.67	29.77											28.91	28.95	28.94
22	pH	6.52	6.46	6.51	50	50	50	75	6.66	6.7	6.71	45	46	47			
	Temp	28.9	28.81	28.91											28.9	28.91	28.93
23	pH	6.52	6.81	6.92	50	50	50	75	6.8	6.85	6.84	45	46	47			
	Temp	28.9	28.93	28.97											29.01	29.12	29.15
Avg.	pH	7.22	7.22	7.25	50				-	7.19	7.29	7.31	46				
	Temp	29.31	29.20	29.24						29.30	29.21	29.26					

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเลี้ยงปลาดุกอนุบาลจำนวน 50 ตัว ระยะเวลาการทดลอง 23 วัน ขนาดบ่อที่ใช้เลี้ยง 2x2 เมตร มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ จำนวน 3 บ่อ และไม่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ จำนวน 3 บ่อ จะสังเกตเห็นได้ว่าการเลี้ยงปลาในรูปแบบที่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ ดัง table1 การให้อาหารปลาอัตโนมัติและตรวจสอบคุณภาพน้ำบ่อที่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ ทำให้เราสามารถเห็นค่า pH และ อุณหภูมิของบ่ออยู่ตลอด หากตรวจสอบแล้วมีความผิดปกติเกษตรกรสามารถนำผลมาวิเคราะห์เพื่อนำไปแก้ไขได้ทันที่ โดยจากการทดลองวิธีการแก้ไขคือการเปลี่ยนถ่ายน้ำปลา

ซึ่งในการทดลองผู้จัดทำได้มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำอาทิตย์ละหนึ่งครั้ง บ่อที่ไม่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพน้ำและเกษตรกรไม่สามารถนำผลมาวิเคราะห์เพื่อนำไปแก้ไขจาก table 1 เปรียบเทียบจากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าจำนวนปลานับตั้งแต่วันแรก

ถึงการทดลองวันสุดท้ายที่ 23 ในบ่อที่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ มีจำนวนปลา 50 ตัว คิดเป็น 100% ส่วนบ่อที่ไม่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ มีจำนวนปลารอดตายทั้ง 3 บ่อ 45 46 และ 47 ตัวตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าจำนวนปลาลดลงอย่างต่อเนื่อง คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46 ตัว หรือ 92% เนื่องจากการให้อาหารในปริมาณที่ไม่เหมาะสม มากเกินไป หรือน้อยเกินไปส่งผลทำให้คุณภาพน้ำไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้ว่าบ่อที่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติสามารถเพิ่มอัตราการรอดตายของปลาดุกอนุบาลได้

คณะผู้จัดทำโครงการนี้ได้ทำการศึกษาทฤษฎี และหลักการในการสร้างเครื่องให้อาหารปลา พร้อมตรวจสอบคุณภาพน้ำโดยใช้ปลาดุกอนุบาลพันธุ์เอเซีย จำนวน 50 ตัว ขนาดบ่อกว้างคูณยาว 2x2 เมตร โดยความกว้างของตัวเครื่องให้อาหาร มีขนาด 1.8x1.8 เมตร โดยมีเซนเซอร์ที่ใช้วัดสภาพน้ำคือ เซ็นเซอร์อุณหภูมิและ เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เครื่องให้อาหารปลาจะทำงานโดยการนำค่าเซนเซอร์

ทั้ง 2 ค่าส่งไปยังโหนดเอ็มซียู แล้วโหนดเอ็มซียูจะส่งค่าไปที่ MQTT แล้วส่งต่อมาที่ Applications (การเขียนแอปพลิเคชัน จะใช้ pycharm community edition 2020.1x64) เพื่อแสดงผล หน้าจอ เมื่อค่า pH และอุณหภูมิอยู่ในสถานะ ที่เหมาะสมในการเลี้ยงปลา เราสามารถนำปลาลงในบ่อได้ และในหน้า แอปพลิเคชันจะมีปุ่ม เปิด-ปิด ให้อาหารทั้งอัตโนมัติ และไม่อัตโนมัติ จากการทดลองพบว่า การเลี้ยงปลาในรูปแบบที่มี เครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ สามารถลดการใช้แรงงานคน ได้ เนื่องจากสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจ้างแรงงาน คนที่ไปดูแลปลา จากปกติค่าแรงงานวันละ 300 บาท เวลา 8 ชั่วโมง ทำงาน 2 ชั่วโมงต่อวัน รวมค่าแรงงานวันละ 75 บาท ทำงาน 23 วันรวมเป็นเงิน 1,725 บาท และสามารถเพิ่มอัตราการรอดตายของปลาดุกอนุบาล จากผลการทดลองที่ได้จาก บ่อที่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ จำนวนปลาที่รอดตาย คือ 100% และจากบ่อที่ไม่มีเครื่องให้อาหารปลาอัตโนมัติ จำนวนปลาที่รอดตายคือ 92% ทำให้เห็นได้ชัดว่า ในการใช้ งานในระยะยาว สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการจ้าง แรงงานคนดูแล และสามารถเพิ่มอัตราการรอดตายของปลา อนุบาลได้อย่างชัดเจน

ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

ระบบการจัดการควบคุมการให้อาหารปลาดุกอนุบาล และตรวจสอบคุณภาพน้ำผ่านแอปพลิเคชัน โดยใช้เทคนิค เอ็มคิวทีที จากการทดลองพบว่า มีปลาอาศัยอยู่ในบริเวณเครื่อง มือวัด ทำให้ผลจากค่าเซนเซอร์ เกิดการผิดพลาดไป อีกทั้ง ระบบอาศัยกระแสไฟฟ้า และระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ในการทำงาน อีกทั้งสภาพแวดล้อมแบบเปิด ทำให้เกิดปัจจัย ภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น สภาพอากาศความชื้นแสง ตลอดจนสัตว์ต่างๆ ที่เข้ามาทำร้ายปลาดุก เช่น หนู ตัวเงินตัว ทอง แนวทางการพัฒนา อาจจะระบบสำรองไฟ และควรมี ช่องให้อาหารปลาหลายๆ ขนาด ตามช่วงวัยของปลา เพื่อ ความเหมาะสมในการให้อาหาร ในส่วนของการเปลี่ยนถ่ายน้ำ

ยังคงจำเป็นต้องอาศัยแรงงานคนในการเปลี่ยนถ่ายน้ำ ใน อนาคตหากมีกลไกในการเปลี่ยนถ่ายน้ำอัตโนมัติได้อย่าง เหมาะสม จะสามารถลดเวลาในการดูแล และต้นทุนในส่วน ของแรงงานลงได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. (2563). *วารสารการประมงอิเล็กทรอนิกส์ ฉบับที่ 1*. [www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_ activities/1282/79128](http://www4.fisheries.go.th/local/index.php/main/view_activities/1282/79128).
- กาญจนา จ้ายเกิด. (2557). *การศึกษาผลกระทบของการเลี้ยง ปลาในกระชังต่อคุณภาพน้ำบริเวณอำเภอลำปาง จังหวัดกระบี่*.
- จามจุรี กุลยอด และศิลาปิ่นรงค์ ฉวีพัฒน์. (2560). *ต้นแบบ ระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟผ่านแอปพลิเคชันบนระบบ ปฏิบัติการแอนดรอยด์*. คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.
- บัญญัติ มนเทียรอาสน์. (2556). *ผลของรูปแบบการให้อาหาร ที่มีโปรตีนต่างกันต่อการเจริญเติบโต และอัตราการรอด ของปลานิลแดงในรูปแบบ MQTT*. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ภาสกร แพรญาติ. (2562). *GUI และ Kivy ชั้นพื้นฐาน*. [https:// m61-3013-5.blogspot.com/2019/07/gui-kivy.html](https://m61-3013-5.blogspot.com/2019/07/gui-kivy.html).
- มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี. (2558). *การเลี้ยงปลาดุกในบ่อ ซีเมนต์แบบครีวเรื่อนเพื่อครีวเรื่อนที่ต้องการเลี้ยงปลา ดุกในบ่อซีเมนต์*. มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
- Angani, A., Oh, S.M., Kim E. S., & Shin, K. J. (2019). Realization of eel fish farm with artificial intelligence Part2: IoT based flow control using MQTT. *IEEE International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH), 2019* (pp. 97-100). doi: 10.1109/ICACEH48424 .2019.9041842.

การตรวจสอบและปรับปรุงสมบัติของอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลโดยการเติมซิลิคอนและแมกนีเซียม

Investigation and improvement of the properties of recycled aluminum alloy by adding Si and Mg

สุนิสา คำสุข^{1*}, จันทรืทา นาควชิรตระกูล¹ และ ณัฐพล ชมแสง²

Sunisa Khamsuk^{1*}, Chantra Nakvachiratrakul¹ and Natthaphol Chomsaeng²

Received: 30 October 2022 ; Revised: 20 January 2023 ; Accepted: 1 February 2023

บทคัดย่อ

การศึกษานี้กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ใช้แล้วถูกนำกลับมารีไซเคิล องค์ประกอบทางเคมีของแท่งอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากการรีไซเคิลกระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียมที่ใช้แล้วถูกทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องอิมิตชันสเปกโทรมิเตอร์ แท่งอะลูมิเนียมผสมที่ได้จากการรีไซเคิลถูกนำกลับมาหลอมอีกครั้งที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมผงซิลิคอนในปริมาณร้อยละ 0.25 และร้อยละ 0.5 และผงแมกนีเซียมในปริมาณร้อยละ 1.5 และร้อยละ 3 เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสม โครงสร้างจุลภาคและสมบัติเชิงกลของแท่งอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลและอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลผสมแมกนีเซียมและซิลิคอนที่ปริมาณส่วนผสมซิลิคอนและแมกนีเซียมแตกต่างกันถูกทำการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องทดสอบความแข็งและเครื่องทดสอบแรงดึงตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลประกอบด้วยเฟสสารละลายของแข็งอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและแมกนีเซียและตะกอนเฟสที่ 2 จำนวน 4 เฟส คือ $Al_{19}(Fe_3SiMn)$, $Al_{33}(Fe_3SiMn)$, $Al_{11}(Fe_2Mn)$ และ $Al_{19}(Mg_2Si)$ ความแข็งและความแข็งแรงดึงของอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลเพิ่มขึ้นเมื่อเติมผงซิลิคอนและแมกนีเซียม เมื่อเพิ่มปริมาณผงแมกนีเซียมจากร้อยละ 1.5 เป็นร้อยละ 3 ปริมาณตะกอนเฟสที่ 2 $Al_{19}(Mg_2Si)$ เพิ่มขึ้น ผลการศึกษานี้บ่งชี้ว่าการเติมซิลิคอนและแมกนีเซียมสามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคและปรับปรุงสมบัติเชิงกลของอะลูมิเนียมผสมรีไซเคิลได้

คำสำคัญ: กระป๋องเครื่องดื่มอะลูมิเนียม อะลูมิเนียมผสมรีไซเคิล อะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมและซิลิคอน โครงสร้างจุลภาค สมบัติเชิงกล

Abstract

In this study, used aluminum beverage cans were recycled and chemical composition of an aluminum alloy ingot obtained from the recycled cans was examined by emission spectroscopy. The ingots were remelted at 750 °C, and then 0.25 wt.% Si, 0.5 wt.% Si, 1.5 wt.% Mg and 3 wt.% Mg powders were added to improve the mechanical properties of the alloy. The microstructure and mechanical properties of the as-cast recycled aluminum alloy and recycled Al-Mg-Si alloy at different Si and Mg contents were investigated via optical microscopy (LOM), scanning electron microscopy (SEM), hardness tester, and universal testing machine (UTM). The results revealed that the microstructure of the recycled aluminum alloy ingot consisted of Al-Mg-Mn solid solution and four different secondary phases: $Al_{19}(Fe_3SiMn)$, $Al_{33}(Fe_3SiMn)$, $Al_{11}(Fe_2Mn)$, and $Al_{19}(Mg_2Si)$ phase. The hardness and tensile strength of the recycled

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุขั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Saensuk Municipality, Muang District, Chonburi Province, 20131, Thailand

² Department of Advanced Materials Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Saensuk Municipality, Muang District, Chonburi Province, 20131, Thailand

* Corresponding author: sunisak@eng.buu.ac.th

aluminum alloy increased with the addition of Si and Mg powders. As the Mg content increased from 1.5 wt.% to 3 wt.%, the volume fraction of the $Al_{19}(Mg_2Si)$ secondary phase increased. The experimental results indicated that the addition of Si and Mg can modify the microstructure and improve the mechanical properties of the recycled aluminum alloy.

Keywords: Aluminum beverage cans, recycled aluminum alloy, Al-Mg-Si alloy, microstructure, mechanical property

Introduction

Aluminum alloy is a metal with many outstanding properties, such as a lightweight, high ductility, good corrosion resistance, and recyclability (Sharma *et al.*, 2020). Hence, it is widely used in a wide range of applications, such as automotive parts, electrical appliance parts, window frames, and food packaging (Sharma *et al.*, 2020, Miller *et al.*, 2000, Borgert & Homberg, 2022, Cooper & Allwood, 2012, Brough & Jouhara, 2020). Based on reports, 50.6 million tons of aluminum alloy products were used in 2013, the need for these consumptions has increased to 59 million tons by 2016, and the demand for aluminum alloy products tends to grow every year (Galevsky *et al.*, 2018). Thus, aluminum alloy wastes are increasing, especially the wastes from food packaging with single-use products (i.e., beverage cans, aluminum foil, and food cans). Common waste disposal methods are reuse, composting, recycling, and sanitary landfill (Sakai *et al.*, 1996). Recycling is probably the most beneficial method for aluminum and its alloy waste disposal. Recycling aluminum uses only 5% of the energy expended to produce the aluminum from bauxite ore and produces carbon dioxide lower than primary aluminum production by 20 times (Raabe *et al.*, 2022). Hence, it could be a promising method to sustain environmentally friendly aluminum products and is beneficial for a country that does not have much bauxite ore reserves.

Aluminum beverage cans were invented in 1959 as alcoholic drink containers (Buffington & Peterson, 2013). A beverage can made of aluminum alloy is lighter, has higher corrosion resistance, and make drinks much cooler than steel cans in a short span of time. The shape of the aluminum beverage cans has been continuously modified to meet consumer needs (Hosford & Duncan, 1994). Aluminum beverage cans are composed of two parts: can body and can lip. Many researchers have reported that the can body and can lid parts are made of aluminum alloy grade 3004 and aluminum alloy grade

5182, respectively (Dagwa & Adama, 2018, Alsaffar & Bdeir, 2008, Risonarta *et al.*, 2019, Padmanabhan *et al.*, 2011).

Nowadays, recycle of used aluminum beverage cans could be conducted via two techniques: (i) melting the main body and lid parts separately and (ii) melting the beverage can without disassembling it (Hosford & Duncan, 1994, Dagwa & Adama, 2018, Alsaffar & Bdeir, 2008, Risonarta *et al.*, 2019, Padmanabhan *et al.*, 2011). From an economical point of view, the second recycling method appears to be the most effective way to recycle aluminum beverage cans at a low cost. This approach is easy to perform and consumes a short operation time. The recovery mass of recycled aluminum via this technique is 52.5% - 59.1% (Alsaffar & Bdeir, 2008). However, in this method a recycled aluminum alloy ingot has complex physical and chemical properties because it was casted from two different aluminum alloys. The ingot has a Mg, Mn, and other trace elements with incompatible content from the trace aluminum alloy. Therefore, the properties of the recycled aluminum alloy ingot must be improved to enhance its mechanical properties and become a commercial aluminum alloy. The most widely used method for improving the performance of aluminum alloy ingots is the addition of alloying elements (e.g., Mg, Si, Cu Fe, and Cr) (Rana *et al.*, 2012). However, the type and quantity of the alloying elements significantly affect the aluminum alloys' properties (Jiang *et al.*, 2020, Simsek & Özyürek, 2019, Wang *et al.*, 2014). Moreover, aluminum has a solubility limit. Hence, the addition of an excess quantity would create a different secondary phase and reflect the physical and mechanical properties of an ingot. Improving the properties of recycled aluminum beverage cans by adding alloying elements has been rarely studied.

Therefore, this research aims to investigate the properties of recycled aluminum beverage cans and improve their properties with the addition of Si and Mg elements. The Si and Mg elements were added to

enhance the mechanical properties and modify the chemical composition of recycled aluminum alloys. The microstructure and mechanical properties of the recycled aluminum alloy and recycled Al-Mg-Si alloy were systematically studied. The role of Si and Mg on the changes in the microstructure and mechanical properties of the aluminum alloy were also examined.

Materials and methods

Raw materials

Used aluminum beverage cans were utilized in this study. The chemical compositions of the can lid and can body are shown in Table 1. The used aluminum beverage cans were recycled in seven steps: (i) clean the used cans with water, (ii) compress the cleaned cans into small pieces (Figure 1(a)), (iii) put them in a refractory crucible (Figure 1(b)), (iv) melt them in a gas furnace (Figure 1(c)), (v) add flux to the melt to remove impurities, (vi) pour the molten into a rectangle permanent steel mold (with a dimension of $45 \times 150 \times 30 \text{ mm}^3$), and (vii) quench using water to room temperature. The recycled aluminum alloy ingots were used as initial

materials. The chemical composition of the ingots was determined using the emission spectroscopy model Thermo ARL 3460. The results of the as-cast recycled aluminum beverage can specimen (defined as the as-cast recycled Al alloy) are shown in Table 2.

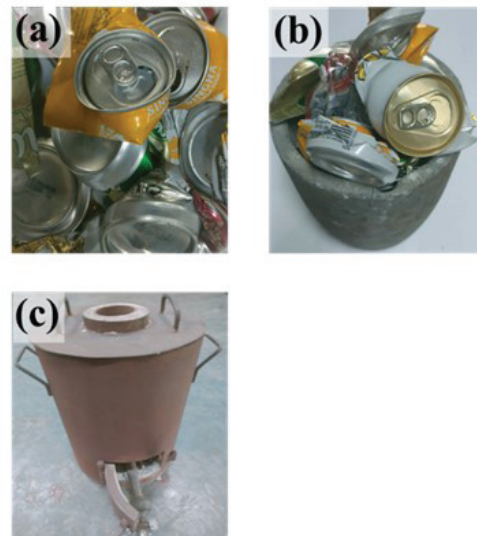


Figure 1 Raw materials and equipment used in this study: (a) compressed aluminum beverage cans, (b) refractory crucible, and (c) gas furnace.

Table 1 Chemical composition of the can body and lid used in this study (wt.%).

Part	Mg	Mn	Fe	Si	Al
Investigated from the as-cast ingot					
Body	0.72	0.96	0.44	0.29	Bal.
Lid	3.51	0.34	0.25	0.10	Bal.
From the literature reviews					
Body (Al3004)	1.0	1.2			Bal.
Lid (Al5182)	4.5	0.35	0.26		Bal.
(Alsaffar & Bdeir, 2008)					
Body	4.82	0.27	0.26		Bal.
Lid	2.53	0.33	0.32		Bal.
(Risonarta <i>et al.</i> , 2019)					

Table 2 Chemical composition of the as-cast recycled Al alloy (wt.%).

Mg	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Al
1.26	0.86	0.43	0.28	0.17	0.06	Bal.

Experimental procedure

The as-cast recycled Al alloy ingot was cut into small pieces. The magnesium powder with a purity of 99.9% and mean particle size of 177 μm was used as a reinforced alloying element of the recycled Al alloy. A commercial silicon powder with an average particle size of 56 μm was also used as a reinforced alloying element. The mixture composition in this study is reported in Table 3. The sectioned ingots were melted at 750 ± 5 °C in the

electrical furnace under an ambient atmosphere. Then Mg and Si powders were added to the melt at different amounts to improve the properties of the recycled Al alloy and investigate the role of Mg and Si on the evolution of the microstructure and mechanical properties in the recycled Al alloy. Afterward, the mixture was stirred for two minutes, cast in a preheated (550 °C) 14 mm in diameter permanent steel mold, and then water quenched to room temperature.

Table 3 The mixture composition of Mg and Si particles reinforced the recycled Al alloy.

Alloy	Element (wt.%)		
	Recycled Al alloy	Mg	Si
Recycled Al alloy	100		
Al-0.25%Si	99.75		0.25
Al-0.5%Si	99.50		0.50
Al-1.5%Mg	98.50	1.50	
Al-3%Mg	97.00	3.00	
Al-1.5%Mg-0.25%Si	98.25	1.50	0.25
Al-1.5%Mg-0.5%Si	98.00	1.50	0.50
Al-3%Mg-0.25%Si	96.75	3.00	0.25
Al-3%Mg-0.5%Si	96.50	3.00	0.50

Characterization and Property testing

Density analysis

The density and porosity of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy specimens were evaluated and computed using Equations (1) and (2) (Michailidis & Stergioudi, 2011):

$$\rho_s = \frac{m}{V} \quad (1)$$

$$\text{Porosity} = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_t} \times 100 \quad (2)$$

$$\rho_t = \rho_{RA}V_{RA} + \rho_{Mg}V_{Mg} + \rho_{Si}V_{Si} \quad (3)$$

where ρ_s is the density of a specimen (g/cm^3); m is the mass of the specimen evaluated using a digital balance (g); V is the volume of the specimen computed

from its dimension (cm^3); ρ_t is the total theoretical density of specimen; ρ_{RA} is the theoretical density of the recycled Al alloy, which was computed based on its chemical composition ($2.761 \text{ g}/\text{cm}^3$); ρ_{Mg} and ρ_{Si} are the densities of Mg and Si (i.e., 1.7 and $2.33 \text{ g}/\text{cm}^3$); V_{RA} , V_{Mg} and V_{Si} are the volume fractions of the recycled Al alloy, Mg, and Si elements, respectively.

Microstructural evaluation

The microstructure of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy specimens were characterized via light optical microscopy (LOM) and using the scanning electron microscopy (SEM) model FEI Quanta 450 equipped with an energy dispersive spectrometer (EDS X-Max). LOM was used to examine the morphology and distribution of the secondary phase in the casted specimens. With SEM having a better resolution, it is used to obtain a precise characterization of the formation of the secondary phase during the casting process.

The specimens for the microstructural observation were mechanically polished using SiC paper no. 400, 600, 800, 1,000, and 1,200 grits, followed by alumina powder particle with sizes of 0.5, 0.3, and 0.05 μm .

Mechanical properties

The hardness and tensile strength of the specimens were evaluated using the hardness tester equipped with a Brinell indenter model INNOVATEST Europe BV and universal testing machine model NRI-TS500-50B. The hardness specimens were mechanically polished using SiC paper ranging from 400 to 1,000 grits. The hardness test was performed on the polished surface of the specimens. A steel ball indenter with a diameter of 2.5 mm, load of 16.25 kgf, and dwelling time of 10 s was applied in all the specimens. The tensile test specimens were prepared according to the tensile test specimen standard ASTM E8, with 6 ± 0.1 mm in diameter and 24 ± 1 mm gauge length. A tensile test was conducted at a constant crosshead speed of 1 mm/min under ambient temperature.

Estimation cost

In this study, the cost of a recycled Al alloy was computed using Equation (4) (Apisithpinyo, 2006). Five repeat experiments were conducted in each study. The production yield of the recycled Al alloy was also investigated by Equation (5) (Risonarta *et al.*, 2019):

$$\text{Estimation cost} = DM + DL + OH \quad (4)$$

$$\text{Production yield} = \frac{m_{out}}{m_{input}} \quad (5)$$

where DM is the direct materials cost, DL is the direct labor cost and OH is the manufacturing overhead cost, m_{out} is the mass of the recycled Al alloy ingot, and m_{input} is the mass of the used aluminum beverage cans. The prices of the used aluminum beverage can, liquefied petroleum gas, and labor cost were 40 baht/kg, 21.50 baht/kg and 40 baht/h, respectively. In particular, the OH cost in this study was computed from the main equipment depreciation only. The gas furnace and refractory crucible prices were 60,000 and 1,200 baht,

respectively. The salvage value of all equipment was estimated as 60% of the product price. Therefore, the overhead cost computed based on the above data was estimated to be 30 baht/time.

Results and discussion

Density and porosity analysis

The density and porosity of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy specimens are shown in Figure 2. It was found that the density of the as-cast recycled Al alloy was 2.73 g/cm³

The density of the specimens decreased from 2.73 g/cm³ to 2.71 g/cm³ when 0.25 wt.% Si powder was added. By further increasing the Si powder content to 0.5 wt.%, the density of the specimens gradually decreased to 2.70 g/cm³. Similar results were also observed in the added Mg powder specimen, where the density specimen decreased with the increase in the Mg powder content. At 0.5 wt.% Si and 3 wt.% Mg addition, the density reduced by approximately 3% compared to the as-cast recycled Al alloy. This is attributed to the Si and Mg having a density (i.e., 2.33 and 1.7 g/cm³) lower than that of the as-cast recycled Al alloy (2.73 g/cm³). Hence, the addition of Si and Mg powders caused a decrease in the recycled Al alloy density. The porosity results in Figure 2 also reveal that the porosity of the specimens tended to increase when Si and Mg powders were added. With the addition of 1.5 and 3 wt.% Mg powders, the porosity rose from 1.27% to 1.74% and 2.13%, respectively. The increasing porosity in the recycled Al-Mg-Si specimen may cause by the fabrication method (Khamsuk *et al.*, 2020) and the rise of Mg and Si powder content. In this study, a stirring process was used to mix magnesium and silicon powders in molten recycled Al alloy to disperse those alloying powders evenly in the specimen. This process generally creates gas bubbles in the melt, those bubbles might get trapped in the specimen and become a pore. Meanwhile, the addition of Mg and Si powder in recycled Al alloy casting also caused gas bubbles and enhanced hydrogen solubility in the molten recycled Al alloy (Jang *et al.*, 2019). So, the amount of porosity in the specimen increased with increasing the Mg and Si powder content.

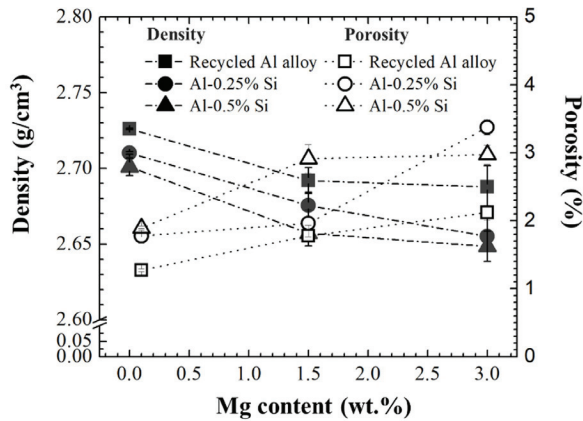


Figure 2 Density and porosity of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si at different Si and Mg contents.

Microstructural observation

The microstructures of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy at different amounts of Si and Mg content specimens are shown in Figure 3. The as-cast recycled Al alloy specimen consisted of a dendrite microstructure and secondary phases localized at the dendrite boundary (Figure 3(a)). With the addition of 0.25 wt.% Si, the grain size of the specimens decreased (Figure 3(b)). By increasing the Si content to 0.5 wt.%, grain size gradually decreased and dark particle secondary phase was observed (Figure 3(c)). The microstructure of the recycled Al alloy obviously changed when Mg powders

were added (Figure 3(d)-(i)). With the addition of 1.5 wt.% Mg, the specimen had a finer and higher volume fraction in the secondary phase (Figure 3 (d)) compared to those in the non-Mg added Al alloy specimen (Figure 3(a)-(c)). Furthermore, the secondary phase was homogeneously distributed throughout the specimen. Figure 3(e) and (f) show that the volume fraction of the secondary phases in the Al-0.25%Si-1.5%Mg and Al-0.5%Si-1.5%Mg specimens were higher than that of the Al-1.5%Mg specimens (Figure 3(d)). With the future increase of the Mg content to 3 wt.%, the size of the second phase became finer and more abundant. The results indicated that the addition of Mg and Si led to refining the recycled Al alloy structure and increased the amount of fine second phases. Birol (2012) has also found a similar result: a coarse grain structure of an Al-Mg alloy ingot completely transformed to a fine grain structure when 2 wt.% Mg was added. This result is attributed to the addition of Mg and Si powder reducing the solidification interval and solute atoms inhibit a grain boundary motion resulting in a fine grain (Birol, 2012). The increase in the secondary phase may be due to an increase in the interaction between the added Mg and Si and alloying elements in the recycled Al alloy. The morphology and chemical compounds of the secondary phase were studied using SEM.

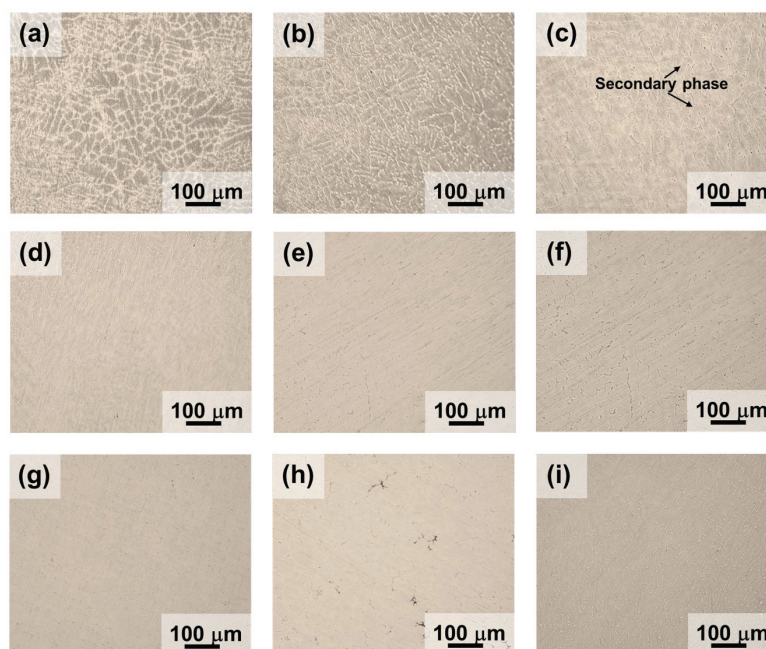


Figure 3 Microstructure of (a) the as-cast recycled Al alloy, (b) Al-0.25%Si, (c) Al-0.5%Si, (d) Al-1.5%Mg, (e) Al-1.5%Mg-0.25%Si, (f) Al-1.5%Mg-0.5%Si, (g) Al-3%Mg, (h) Al-3%Mg-0.25%Si, and (i) Al-3%Mg-0.5%Si specimens.

The SEM micrographs of the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy at different Si and Mg contents are shown in Figure 4. Figure 4 (a) shows that the as-cast recycled Al alloy specimen is composed of four different secondary phases (i.e., a light particle (indicated by a white dotted circle-1), long light particle (circled-2),

Chinese-script (circled-3), and dark particle (circle-4)) distributed in the Al alloy solid solution. The microstructures of the specimens examined via SEM were similar to the LOM observation results. The volume fraction of the fine secondary phases increased with increasing Si and Mg contents.

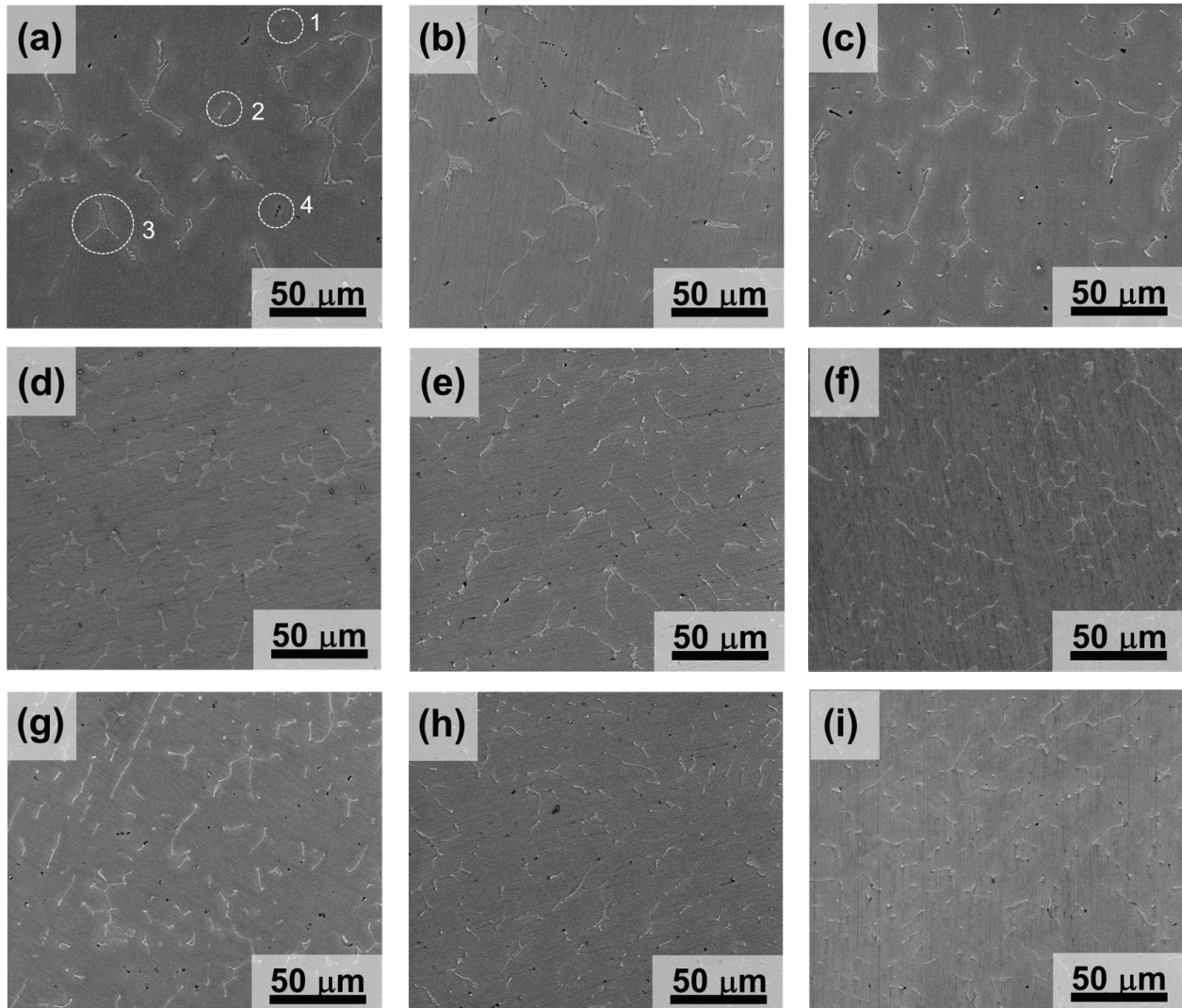


Figure 4 SEM micrograph of (a) the as-cast recycled Al alloy, (b) Al-0.25%Si, (c) Al-0.5%Si, (d) Al-1.5%Mg, (e) Al-1.5%Mg-0.25%Si, (f) Al-1.5%Mg-0.5%Si, (g) Al-3%Mg, (h) Al-3%Mg-0.25%Si, and (i) Al-3%Mg-0.5%Si specimens.

The EDS analysis indicated that the secondary phase in the white dotted circle-1 was an intermetallic $\text{Al}_{19}\text{Fe}_3\text{SiMn}$ phase (Figure 5 (a)), the long light particle was an intermetallic $\text{Al}_{33}\text{Fe}_3\text{SiMn}$ phase (Figure 5 (b)), the Chinese-script particle was an $\text{Al}_{11}\text{Fe}_2\text{Mn}$ phase (Figure 5 (c)), and the dark particle was an $\text{Al}_{19}(\text{Mg}_2\text{Si})$ phase (Figure 5 (d)). The chemical composition of the recycled

Al alloy solid solution phase was also identified. The Al alloy phase consisted of 1.0 wt.% Mg and 0.7 wt.% Mn (Figure 5 (e)). This result is well consistent with the analytical results of spectrometer in Table 2. It is also clearly seen from Figure 4 that the intermetallic $\text{Al}_{19}(\text{Mg}_2\text{Si})$ phase increased with the increasing Mg and Si contents.

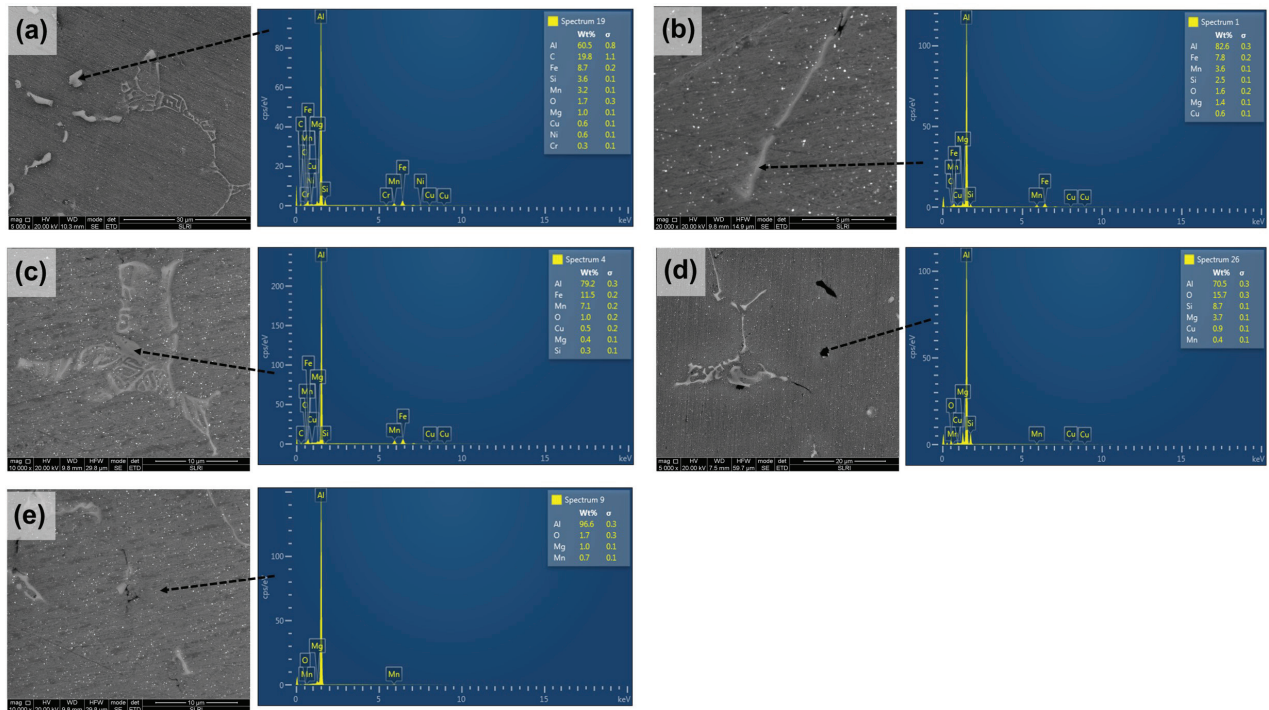


Figure 5 EDS analysis of the casted Al alloy at (a) light particle ($\text{Al}_{33}\text{Fe}_3\text{SiMn}$), (b) light long particle ($\text{Al}_{11}\text{Fe}_2\text{Mn}$), (c) Chinese-script particle ($\text{Al}_{11}\text{Fe}_2\text{Mn}$), (d) dark particle ($\text{Al}_{19}(\text{Mg}_2\text{Si})$), and (e) solid solution position.

Hardness and tensile testing

The hardness values obtained from the as-cast recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy at different Si and Mg contents specimens are shown in Figure 6. The hardness values of the recycled aluminum beverage cans mixed with 2 wt.% Mg powder (Hayyawi *et al.*, 2016) and similar chemical composition materials (Li *et al.*, 2016, Alizadeh *et al.*, 2022) are also plotted in Figure 6 for comparison. The as-cast recycled Al alloy ingot obtained by recycling from used aluminum beverage cans under this production condition has a hardness of approximately 40.67 ± 2 HB. When the Si contents were 0.25 and 0.5 wt.%, the hardness of the Al alloys increased to 44.03 and 47.15 HB, respectively. The hardness of the specimens increased to 50.67 and 55.36 HB when 1.5 and 3 wt.% Mg was added, respectively. With the addition of both alloying elements, the hardness of the recycled Al alloys was raised, and a hardness of 59.60 HB was obtained in the Al-3%Mg-0.5%Si specimens. It was also found in this study that the hardness value of the Al-3%Mg-0.25%Si specimen is comparable to that of a casted Al5083 alloy (Alizadeh *et al.*, 2022). These results revealed that an Al alloy produced by recycling used beverage cans

could improve its chemical composition and hardness to be comparable to Al5083 by the addition of Si and Mg. These results also indicate that the addition of Si and Mg enhanced the hardness of the recycled Al alloy. The result obtained was similar to research works done by other researchers using Mg as an additional alloying element in aluminum alloy casting manufacturing (Simsek & Özyürek, 2019, Li *et al.*, 2016).

Figure 7 showed the ultimate tensile strength and elongation of the as-casted recycled Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy at different amounts of Si and Mg contents. The as-casted recycled Al alloy has an approximately ultimate tensile strength of 77.72 ± 8 MPa. The tensile strength increased with increasing Si and Mg contents. From the result of Figure 7, it could be observed that the addition of 0.5 wt.% Si and 3 wt.% Mg powders improve the ultimate tensile strength of the Al alloy to 129.78 ± 5 MPa. The tensile test results are well consistent with those of the hardness properties. Meanwhile, the elongation of the recycled Al alloy decreased with increasing amount of the Si and Mg contents.

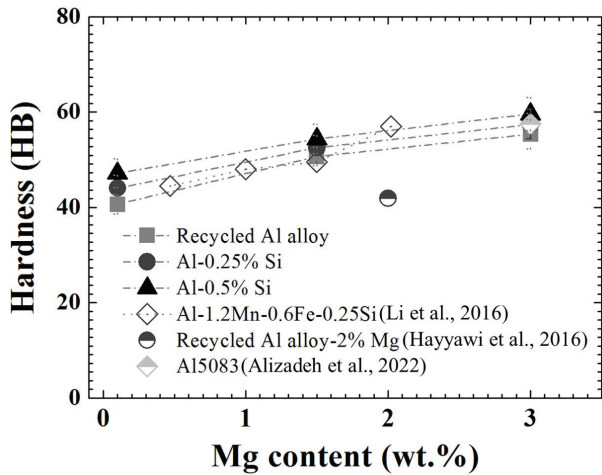


Figure 6 Hardness of the as-cast Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy plotted as a function of the Mg content.

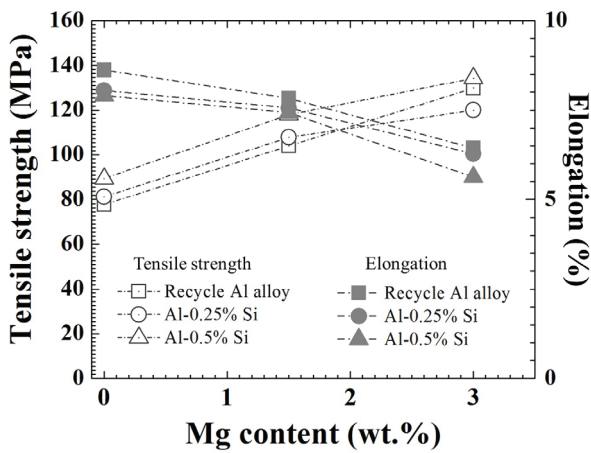


Figure 7 Ultimate tensile strength of the as-cast Al alloy and recycled Al-Mg-Si alloy plotted as a function of Mg content.

The enhanced strength of the recycled Al alloy was caused by the addition of Mg and Si contents leading to the acceleration of the intermetallic phase refinement, raised volume fraction of intermetallic phases and formation of fine grain structure in the specimen. In particular, those that presented intermetallic phases and grain boundary inhibited dislocation motion. The increase in the strength can also be explained by the secondary phase strengthening (σ_{sp}) and grain size reduction strengthening (σ_{gb}) mechanisms in Equation 6-7 (Esmaeili *et al.*, 2013):

$$\sigma = \sigma_{sp} + \sigma_{gb} \tag{6}$$

$$\sigma = \frac{MF(f)^{1/2}}{br} + k_y d^{-1/2} \tag{7}$$

where M stands for the Taylor factor, F is the secondary phase strength, f is the volume fraction of the secondary phase, b is the Burgers vector, r is the precipitate radius, k_y is the Hall-Petch slope, and d is the grain size.

The addition of Si and Mg alloying elements led to an increase in the volume fraction of the fine secondary phase and reduced the grain size which resulted in improving the strength of the recycled Al alloy.

Estimation cost

In this study, the used aluminum beverage cans were melted in a refractory crucible with a 12 cm diameter and 17 cm height using a gas furnace (25 cm in diameter and 45 cm in height) under a melting temperature of 900 ± 50 °C. Each cycle of the recycling process used 8 ± 0.1 kgs of used aluminum beverage cans and 6.8-7.4 kgs of liquefied petroleum gas. The production cost of the recycled Al alloy ingot was 156-168 baht/kg. which is compatible with the estimated Al recycling cost reported by Zeng *et al.* (2022). Recycling one ton of aluminum requires approximately 435-3,802 USD. However, it should be noted here that the raw material cost, labor cost, and overhead cost in the USA is significantly higher than in Thailand. Hence, the production cost in this study is relatively high. This condition is ascribed to the recycling process in this study, which is a small-scale production, resulting in high costs, and the main cost was the labor cost. The production yield obtained from the recycled aluminum beverage cans was 53%-55%. The recycling yield was slightly low. This may be due to the cans containing high impurity content such as paint coatings, aluminum oxide, and alloying elements. Furthermore, the recycling process was carried out under ambient air which caused the formation of aluminum oxide on the molten surface in large quantities. The production yield might probably be enhanced by controlling the recycling atmosphere condition and removing the paint coatings prior melting process.

Conclusions

The used aluminum beverage cans were recycled using a gas furnace. The properties of the as-cast

recycled Al alloy were systematically investigated. Si and Mg powders were used to improve the properties of the recycled Al alloy. The evolution of the microstructure and mechanical properties of the recycled Al alloys at different Si and Mg contents were investigated. The conclusions can be summarized as follows:

1. The recycled Al alloy ingot mainly contained 1.26 wt.% Mg and 0.86 wt.% Mn and had a tensile strength of approximately 77 MPa. The microstructure of the ingot composed of $Al_{19}(Fe_3SiMn)$, $Al_{33}(Fe_3SiMn)$, $Al_{11}(Fe_2Mn)$, and $Al_{19}(Mg_2Si)$ phases distributed in the Al-Mg solid solution.

2. The microstructure greatly changed when 1.5 wt.% Mg was added to the recycled Al alloy. The volume fraction of the fine secondary phases increased with increasing Mg and Si contents. The amount of the $Al_{19}(Mg_2Si)$ secondary phase raised with increasing alloying elements. The addition of Mg and Si enhanced the grain refinement in the recycled Al alloy.

3. The tensile strength and hardness of the recycled Al alloy specimens increased with increasing Mg and Si contents. The hardness increased by approximately 46% when 3 wt.% Mg and 0.5 wt.% Si were added.

4. The estimated cost and production yield of the recycled Al alloy from the used aluminum beverage cans were 156 - 168 baht/kg and 53% - 55%.

Acknowledgments

The authors would like to appreciate the Head of the Industrial Engineering Department and Dean of the Engineering Faculty of Burapha University for the provision of research facilities and financial support through the Grant No. WJP. 2/2562.

References

Alizadeh, A., Khayami, A., Karamouz, M., & Hajizamani, M. (2022). Mechanical properties and wear behavior of Al5083 matrix composites reinforced with high amounts of SiC particles fabricated by combined stir casting and squeeze casting ; A comparative study. *Ceramics International*, 48, 179-189. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.09.093>

Alsaffar, K.A., & Bdeir, L.M.H. (2008). Recycling of aluminum beverage cans. *Journal of Engineering and Development*, 12, 157-163.

Apisithpinyo, B. (2006). *Cost accounting II*. Idea software technology.

Biol, Y. (2012). Effect of solute Mg on grain size of aluminium alloys. *Materials Science and Technology*, 28, 924-927. DOI:10.1179/174 3284712Y.0000000024

Borgert, T., & Homberg, W. (2022). Energy saving potentials of an efficient recycling process of different aluminum rejects. *Energy Reports*, 8, 399-404. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.027>

Brough, D., & Jouhara, H. (2020). The aluminium industry: A review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. *International Journal of Thermofluids*, 1-2, 1-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2019.1000 07>

Buffington, J., & Peterson, R. (2013). Defining a closed-Loop U.S. aluminum can supply chain through technical design and supply chain innovation. *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society (TMS)*, 65, 941-950. <https://doi.org/10.1007 /s11837-013-0615-2>

Cooper, D.R., & Allwood, J.M. (2012). Reusing steel and aluminum components at end of product life. *Environmental Science & Technology*, 18, 10334-10340. <https://doi.org/10.1021/es301093a>

Dagwa, I.M., & Adama, K.K. (2018). Property evaluation of pumice particulate-reinforcement in recycled beverage cans for Al-MMCs manufacture. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 30, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2015.12.006>

Esmaeili, S., Lloyd, D.J., & Poole, W.J. (2003). A yield strength model for the Al-Mg-Si-Cu alloy AA6111. *Acta Materialia*, 51, 2243-22 57, [https://doi.org/10.1016/S13596454\(03\)00028-4](https://doi.org/10.1016/S13596454(03)00028-4)

Galevsky, G.V., Rudneva, V.V., & Aleksandrov, V.S. (2018). Current state of the world and domestic aluminium production and consumption. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Vol. 411. *The 20th International Scientific and Research Conference "Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality. Metallurgy-2017* (pp. 1-6). Novokuznetsk, Russia. doi:10.1088/1757-899X/411/1/012017

- Hayyawi, A.R., Al-Ethari, H., & Haleem, A.H. (2016). Investigation of mechanical & machining properties of recycled Al-Fly ash composites. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 10, 50-59.
- Hosford, W.F., & Duncan, J.L. (1994). The aluminum beverage can produced by the hundreds of millions every day, the modern can robust enough to support the weight of an average adult is a tribute to precision design and engineering. *Scientific American*, 271, 48-53.
- Jang, H.S., Kang, H.J., Yoon, P., Lee, G., Jeon, J.B., Park, J.Y., Kim, E.S., & Shin, S. (2019). Effects of Mg content on hydrogen content and melt quality of Al-Mg alloys. *Metals*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.3390/met9111235>
- Jiang, B., Xu, S., Xu, H.Y., Hu, M.L., He, Y.J., & Ji, Z.S. (2020). Effect of Mg addition on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Cu-Fe alloy with squeeze casting. *Materials Research Express*, 7, 1-9. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab5cc6>
- Khamsuk, S., Nakvachiratrakul, C., & Chomsaeng, N. (2020). Fabrication and characterization of Al5083-2 wt.% SiO₂ composite and its aging behavior. In Maensiri, S., Meevasana, W., & Pecharapa, W (Eds.), *AIP Conference Proceedings: Vol.2279. The second materials research society of Thailand international conference* (pp. 1-5). Pattaya, Thailand. <https://doi.org/10.1063/5.0022966>
- Li, Z., Zhang, Z., & Chen, X.G. (2016). Effect of magnesium on dispersoid strengthening of Al—Mn—Mg—Si(3xxx) alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26, 2793-2799. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(16\)64407-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(16)64407-2)
- Michailidis, N., & Stergioudi, F. (2011). Establishment of process parameters for producing Al-foam by dissolution and powder sintering method. *Materials & Design*, 32, 1559-1564, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.09.029>
- Miller, W.S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A.J., De Smet, P., Haszler, A., & Vieregge, A. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering: A*, 28, 37-49. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(99\)00653-X](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00653-X)
- Padmanabhan, R., Oliveira, M.C., & Menezes, L.F. (2011). 5-Lightweight metal alloy tailor welded blanks. In Woodhead Publishing Series in Welding and Other Joining Technologies, B. L. Kinsey, & X. Wu (Eds.), *Tailor Welded Blanks for Advanced Manufacturing* (pp. 97-117). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093851.2.97>
- Raabe, D., Ponge, D., Uggowitzer, P.J., Roscher, M., Paolantonio, M., Liu, C., Antrekowitsch, H., Kozeschnik, E., Seidmann, D., Gault, B., Geuser, F.D., Deschamps, A., Hutchinson, C., Liu, C., Li, Z., Prangnell, P., Robson, J., Shanthraj, P., Vakili, S., Sinclair, C., Bourgeois, L., & Pogatscher, S. (2022). Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of “dirty” alloys. *Progress in Materials Science*, 128, 1-150. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2022.100947>
- Rana, R.S., Purohit, R., & Das, S. (2012). Review on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composite. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2, 1-7.
- Risonarta, V.Y., Anggono, J., Suhendra, Y.M., Nugrowibowo, S., & Jani, Y. (2019). Strategy to Improve Recycling Yield of Aluminium Cans. E3S Web Conf: Vol. 130. *The 1st International Conference on Automotive, Manufacturing, and Mechanical Engineering (IC-AMME 2018)* (pp. 1-8). Bali, Indonesia. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913001033>
- Sakai, S., Sawell, S.E., Chandler, A.J., Eighmy, T.T., Kosson, D.S., Vehlow, J. Van Der Sloot, H.A., Hartlén, J., & Hjelm, O. (1996). World trends in municipal solid waste management. *Waste Management*, 16, 341-350. [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(96\)00106-7](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(96)00106-7)
- Simsek, I., & Özyürek, D. (2019). Investigation of the effects of Mg amount on microstructure and wear behavior of Al-Si-Mg alloys. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22, 370-375. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.08.016>

- Sharma, A.K., Bhandari, R., Aherwar, A., Rimašauskiene, R., & Pinca-Bretotean, C. (2020). A study of advancement in application opportunities of aluminum metal matrix composites. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2419-2424. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.516>
- Wang, Y., Liao, H., Wu, Y., & Yang, J. (2014). Effect of Si content on microstructure and mechanical properties of Al-Si-Mg alloys. *Materials & Design*, 53, 634-638, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.07.067>
- Zeng, X., Xiao, T., Xu, G., Albalghiti, E., Shan, G., & Li, J. (2022). Comparing the costs and benefits of virgin and urban mining. *Journal of Management Science and Engineering*, 7, 98-106, <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.05.002>

ประสิทธิภาพการดูดซับด้วยถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสแบบยัดติดคอลัมน์เพื่อกำจัดแมงกานีสในน้ำบาดาล

Adsorption performance of eucalyptus biochar fixed-bed column for manganese removal from groundwater

อรชพร วิลามาต^{1*}, สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์^{1,2} และ อนวัช พินิจศักดิ์กุล³
Arachporn Wilamas^{1*}, Soydoa Vinitnantharat^{1,2} and Anawat Pinisakul³

Received: 18 October 2022 ; Revised: 16 December 2022 ; Accepted: 13 February 2023

บทคัดย่อ

การกำจัดแมงกานีสในน้ำใต้ดินปนเปื้อนด้วยระบบการกรองเป็นระบบที่นิยมใช้มากที่สุด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของคอลัมน์แบบยัดติดกับที่ที่ใช้ถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสและถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยต่างทับทิม เป็นสารกรองในการกำจัดแมงกานีสจากน้ำใต้ดินที่ความเข้มข้น 0.723 ± 0.002 มก./ลิตร โดยป้อนน้ำเข้าสู่ด้านบนของคอลัมน์กรองระดับห้องปฏิบัติการอย่างต่อเนื่องอัตราการไหล 5 ลิตร/วัน เก็บตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างๆ จนครบ 24 ชั่วโมง ใช้แบบจำลองโทมัสและยูน-เนลสัน เพื่ออธิบายความสามารถในการดูดซับแมงกานีส ผลการศึกษาพบว่าถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสมีความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 1.812 มก./กรัม สูงกว่าถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสที่ปรับปรุงพื้นผิวเนื่องจากมีค่าไอโอดีนัมเบอร์สูงกว่า โดยความสามารถในการดูดซับเท่ากับ 0.769 มก./กรัม และเวลาดูดซับที่ร้อยละ 50 ของเบรคทรูของถ่านชีวภาพยูคาลิปตัสและถ่านชีวภาพ ยูคาลิปตัสที่ปรับปรุงพื้นผิวมีค่าเท่ากับ 1,020 และ 240 นาที ตามลำดับ มีความสอดคล้องกับแบบจำลองของยูน - เนลสัน การใช้ EB และ MEB เป็นวัสดุกรองจากท้องถิ่นสามารถลดต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้กับชุมชนได้

คำสำคัญ: ตัวกรองถ่านชีวภาพ แมงกานีส คอลัมน์แบบยัดติดกับที่ น้ำบาดาล ยูคาลิปตัส

Abstract

Removal of manganese in contaminated groundwater using filtration is one of the most treatment systems. The objective of this research was to study the efficiency of fixed-bed adsorption column using eucalyptus biochar and potassium permanganate-modified eucalyptus biochar as filter media to remove manganese from groundwater. The initial manganese concentration of 0.723 ± 0.002 mg/L was continuously fed to the top of column at a flow rate of 5 L/d. Water samples were collected periodically within 24 hours. Thomas and Yoon-Nelson models were used to describe the adsorption performance. Results showed that adsorption capacity of eucalyptus biochar was 1.812 mg/g higher than that of modified eucalyptus biochar (0.769 mg/g) as it has higher iodine number. The adsorption times at 50% breakthrough of eucalyptus biochar and modified eucalyptus biochar were 1,020 minutes and 240 minutes, respectively, which were consistent with the Yoon-Nelson model. Use of EB and MEB as local filter media can reduce the cost of improving community water quality.

Keywords: Biochar filter, manganese, fixed-bed column, groundwater, eucalyptus

¹ หลักสูตรเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

² กลุ่มวิจัยการจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงานเพื่อชุมชนและเศรษฐกิจหมุนเวียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

³ หน่วยวิจัยเคมีเพื่อสังคมสีเขียวและสุขภาพ, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

¹ Environmental Technology Program, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140 Thailand

² Environmental and Energy Management for Community and Circular Economy (EEC&C) Research Group, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140 Thailand

³ Chemistry for Green Society and Health Research Group (ChGSH), Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140 Thailand

* Corresponding author Email: arachaporn.wi@mail.kmutt.ac.th

Introduction

Groundwater represents 97% of the world's available freshwater resources (Guppy *et al.*, 2018). It is used widely, especially in developing countries in Asia such as Thailand. People in the northeastern region use groundwater because most areas are not in the service area of the Provincial Waterworks Authority. Groundwater quality is dependent on geologic conditions and human activities. Groundwater resources can be contaminated naturally by salt intrusion, and human activities *via* agriculture practices, and heavy metal contamination from industries (Vesselinov *et al.*, 2018). In the Chi and Mun river basins, groundwater has iron, manganese, sulfate and fluoride concentrations exceeding the maximum allowable limits of groundwater standards for drinking water. In some areas of Ubon Ratchathani Province, there are high iron and manganese concentrations in groundwater more than 1 mg/L (Department of Groundwater Resources, 2022). Manganese in groundwater is found as the dissolved form of manganese bicarbonate ($\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$). As groundwater is exposed to air, the dissolved form is oxidized to dark brown insoluble manganese (Mn(IV)) (Henry & Heinke, 1989). This causes the appearance in stored water of a black sediment from manganese, causing stains to sanitary equipment and which may also affect health due to it being a chronic toxin (Rahman *et al.*, 2021 ; Schullehner *et al.*, 2020 ; Tay *et al.*, 2018).

Manganese could be removed by physical, chemical, biological and physicochemical processes (Patil *et al.*, 2016). The common and popular methods are the physical processes of adsorption and filtration. Activated carbon is most frequently used as solid adsorbent because it is a very effective adsorbent in various applications (Yin *et al.*, 2007). The high surface areas and functional groups of activated carbon could remove Mn(II) from water (Chen *et al.*, 1996). Previous research has used a variety of adsorbents such as activated carbon derived from *Ziziphus spina-christi* seeds (Omri & Benzina, 2012), kaolin (Yavuz *et al.*, 2003), manganese oxide-coated zeolite (Alvarez-Bastida *et al.*, 2018) and greensand or manganese oxide-coated sand (Benis *et al.*, 2020). Potassium permanganate (KMnO_4) is an oxidizing agent. It has been reported to be an efficient oxidant to achieve

manganese removal of 96% from groundwater (Menard & Demopoulos, 2007). Thus, KMnO_4 is widely used as a material coating on adsorbents. Most conventional wastewater treatment plants use manganese oxide-coated media to remove soluble manganese and then subsequent oxidation by free chlorine to $\text{MnO}_x(\text{s})$ (Hargette & Knocke, 2001). The filtration method is suitable for rural areas to remove heavy metals and odorous compounds before the distribution system. The filtration process in the community normally uses a combination of sand, anthracite or activated carbon as filter media. The problem encountered with rural filtration systems is the excessive cost of filter media. Thus, biochar can be an alternative low-cost filter media for heavy metal removal. Previous studies have reported the use of biochars for manganese removal in batch experiments with, for example, poultry manure and farmyard manure-derived biochar (Idrees *et al.*, 2018), palm waste-derived biochar (Fseha & Yildiz, 2022), and biochar made banana peel and acid-modified banana peel (Kim *et al.*, 2020). However, limited documentation is available for heavy metal removal using real groundwater in column studies.

Eucalyptus is an economic crop in Thailand because it is a fast-growing plant, widely cultivated for a variety of uses. Eucalyptus branches are highly productive as charcoal and have low cost. In addition, eucalyptus biochar (EB) has been used as an adsorbent for lead removal in aqueous solution (Singh & Arora, 2018) and manganese in groundwater (Wilamas *et al.*, 2022). Activated carbon derived from eucalyptus was reported as effective for removal of cadmium (Venkatesan & Rajam, 2014). However, the removal of manganese in groundwater by eucalyptus biochar filter including modified surface-biochar by KMnO_4 has not been reported in any specific studies. Thus, this research used eucalyptus to produce biochar and its surface modification for manganese removal from groundwater. The objectives were to determine the efficiency of fixed-bed adsorption columns filled with eucalyptus biochar and modified eucalyptus biochar (MEB) for manganese removal from groundwater and use of the Thomas and Yoon-Nelson models for prediction of the adsorption performance.

Materials and methods

1. Preparations of filter media

Eucalyptus biochar was produced using ground pits. The eucalyptus branches were cut to a length of 50 cm and put in a hole dug in the ground (60 X 90 cm). Then, it was covered and burnt slowly with limited of oxygen on the top using auxiliary fuel (wood chips) for 6 hours. The temperature was between 400 - 500 °C. After being cooled, EB biochar was crushed and sieved to obtain a uniform size range of 2.0-3.0 mm and used as filter media (Figure 1a). To make the MEB (Figure 1b), the modification method was adapted from Taffarel and Rubio (2009) and Xuwen *et al.* (2010). EB (100 g) was placed in a 1000 ml beaker containing 500 ml of 5% (w/v) KMnO_4 solution prepared from KMnO_4 (AR grade, Qrec, New Zealand), then the mixture was heated at 90 °C, and stirred for 1 hour. The mixture was then filtered to separate MEB, which was washed with tap water until the rinsed water was colorless. MEB was dried in an oven at 60 °C for 6 hours. Two commercial adsorbents, activated carbon (AC) (Figure 1c) and manganese green sand (Mn-G) (Figure 1d), were bought from a domestic supplier (J.L. Intertrade Co., Ltd.).

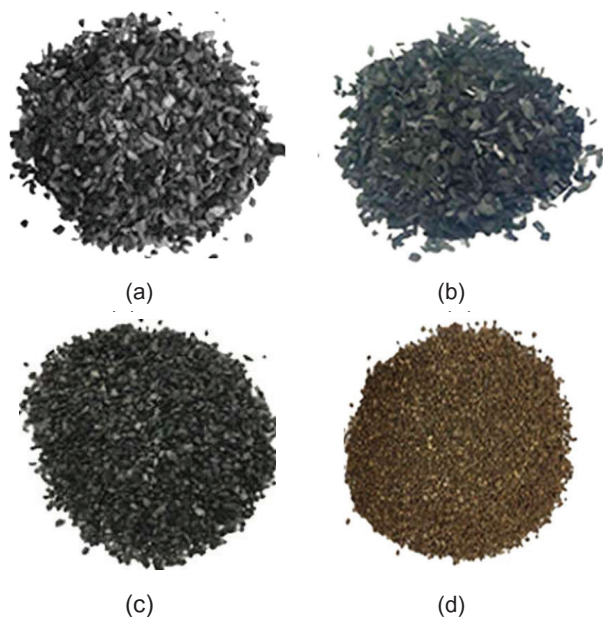


Figure 1 Filter media: (a) eucalyptus biochar (EB), (b) modified eucalyptus biochar (MEB), (c) activated carbon (AC) and (d) manganese green sand.

Adsorbents were tested for adsorption capacity using the standard iodine adsorption method (ASTM D46070). Elemental analysis of adsorbent materials using a Rigaku ZSX Primus model, Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (WDXRF), Model Rigaku ZSX Primus, Japan. Adsorbents were determined for the external surface structural morphology by scanning electron microscopy (SEM), JEOL Model JSM-7610F Plus.

2. The quality of groundwater

Groundwater was collected from a residential area in NonNhon subdistrict, Warinchamrap district, Ubon Ratchathani province. The pH of groundwater was in the range of 6.78 ± 0.12 , Iron and manganese concentrations of 0.354 ± 0.022 mg/L and 0.723 ± 0.002 mg/L, respectively. Mn concentrations were higher than the maximum allowable concentration of 0.3 mg/L, groundwater quality for drinking purpose in Thailand. The total hardness was 420 ± 0.5 mg/L as CaCO_3 which was classified as 'very hard' (Saha *et al.*, 2019).

3. Column adsorption set up

The filter column for manganese removal was set up using four types of filter media, consisting of EB, MEB, AC and MnG, which were run in duplicate. The size of glass column was 1 cm inner diameter and 76 cm height. The filter media were boiled in tap water for 20 minutes to remove entrapped air in the pores (Ferrara, 1980). Then, 10 g of either EB, MEB, AC or 40 g of MnG were individually packed into a column to a height of 50 cm (Figure 2). The groundwater was continuously fed into the top of the column at a flow rate of 5 L/d. Water samples were collected at designated time (every hour for 24 hours) for Mn analysis. The breakthrough curve was plotted between the ratio of remaining manganese concentrations at various times and initial manganese concentration (Mn/Mn_0) and times.

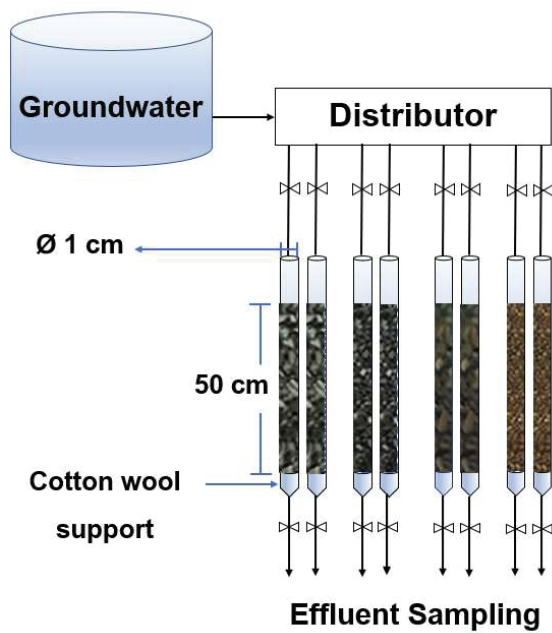


Figure 2 Schematic of filter column system

4. Mathematical models

The general mathematical equations for describing adsorption columns are Thomas and Yoon-Nelson models, which provide widely used theoretical methods to describe column performance (Chen *et al.*, 2012). The assumption of the Thomas model is based on the Langmuir kinetics of adsorption-desorption with no axial dispersion. The rate driving force obeys second-order reversible reaction kinetics (Ayoob & Gupta, 2007). The model is described in Equation 1.

$$\ln \frac{C_0}{C_t} - 1 = \frac{k_{Th} q_0 m}{Q} - k_{Th} C_0 t, \quad (1)$$

where C_0 , C_t are initial Mn concentration and concentration at time t (mg/L), respectively. k_{Th} is a Thomas constant (mL/min.mg), t is the total flow time (min), and Q is the volumetric flow rate (mL/min). Adsorption capacity and mass of the adsorbent are denoted as q_0 (mg/g) and m (g), respectively. Plot of $\ln \frac{C_0}{C_t} - 1$ versus t gives the value of k_{Th} and q_0 .

The Yoon-Nelson model is a simple model which does not require explicitly elaborated information. 50% of the breakthrough time can be predicted from the equation as expressed in Equation 2. (Yoon and Nelson, 1984).

$$\ln \frac{C_t}{C_0 - C_t} = k_{YN} t - \tau k_{YN}, \quad (2)$$

The value of k_{YN} was calculated from the slope by plotting the graph between $\ln \frac{C_t}{C_0 - C_t}$ and t . Where, k_{YN} is the rate constant (min^{-1}), τ is time required for 50% adsorbate breakthrough (min) and t is time (min).

5. Analysis and characterization

Water samples were acidified with nitric acid (pH < 2) after collection and then digested by nitric acid using microwave digestion. The digested samples were filtered through filter paper (Whatman no.42) and were analyzed for manganese concentration using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES, model Optima 8000, Germany). The average of duplicate data is reported for each column.

Results and discussion

1. Characterizations of the adsorbent

The iodine number of EB, AC, MEB and MnG was 152.42, 271.96, 174.67, 6.14 mg/g, respectively, indicating a low number of pores of MnG. Results from WDXRF revealed that there were Mn in EB, AC, MEB and MnG of 2.11, not detected, 69.1, and 8.61%, respectively. MEB had high Mn content after modification by KMnO_4 showing that insoluble manganese oxide ($\text{MnO}_x(\text{s})$) was successfully coated onto the EB surfaces.

The external surface structure morphology images before adsorption are shown in Figure 3. The images show that there were pores on the surface of adsorbents, indicating their porosity. The main factors that affect adsorption capacity are particle size, pore diameter, and specific surface area (Wang *et al.*, 2010).

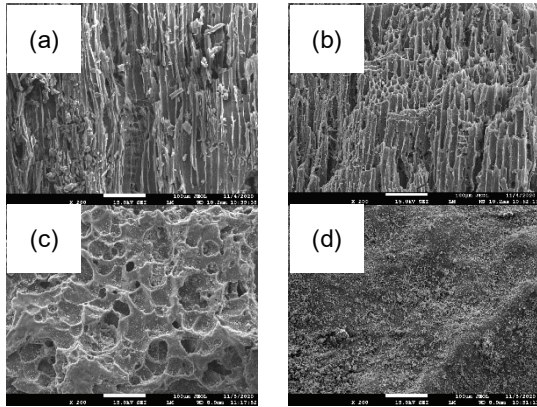


Figure 3 SEM images: (a) eucalyptus biochar (EB), (b) modified eucalyptus biochar (MEB), (c) activated carbon (AC) and (d) manganese green sand.

2. Manganese removal

Manganese removal efficiency from each column ranged from 46.11-63.67%, 30.70-58.72%, 53.29-88.01% and 56.70-68.27%, for EB, MEB, AC and MnG, respectively at 1,440 min (Figure 4). 50% removal of manganese was achieved at for EB, MEB, AC, and MnG at 1,020, 240, 1,140 and 660 min, respectively. Mn(II) was removed by complexation or electrostatic attraction of metal ions to various surface oxygen-containing functional groups in EB (Wilamas *et al.*, 2022) and AC (Yin *et al.*, 2007, Omri & Benzina, 2012). MnG can be used to remove soluble Mn(II) in filters *via* sorption and oxidation. $MnO_x(s)$ on filter media surfaces of MEB and MnG could oxidize Mn(II) rapidly and Mn(II) was also removed *via* adsorption until all available adsorption sites were occupied (Knocke *et al.* 1990). According to research on the removal of Mn using MnG, which has a MnO_x coating liked MEB on the filter surface.

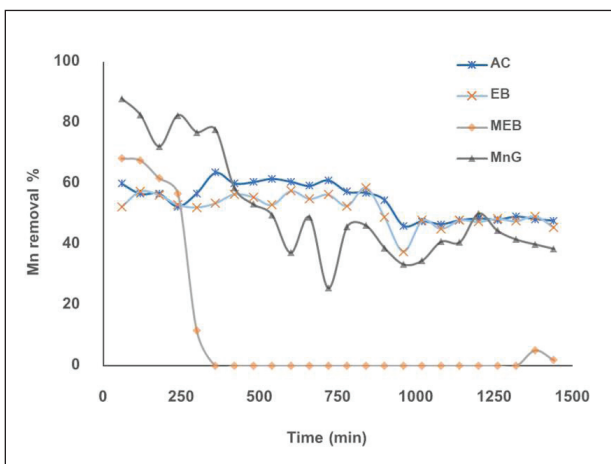


Figure 4 The efficiency of manganese removal

The breakthrough curve of each column was determined by plotting the ratio of Mn/Mn_0 against time as shown in Figure 5.

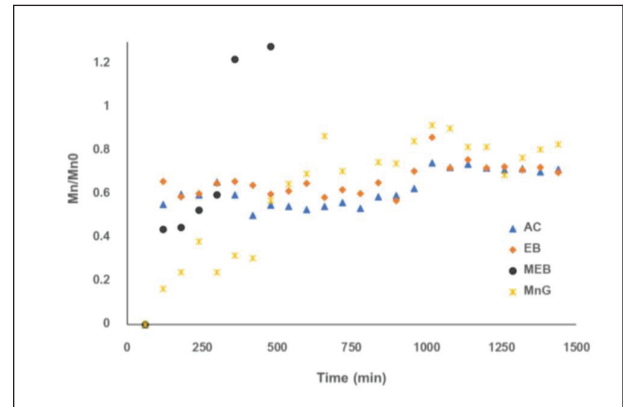


Figure 5 Breakthrough curve

The Mn/Mn_0 ratios for all filter media except MEB did not achieve 0.95 until 5,000 min whereas the Mn/Mn_0 values of MEB were higher than 0.95 at 240 min and followed by MnG at 540 min. of EB was highest at 1,020 min. However, MEB and MnG filters gave high removal efficiencies during the initial period (0-240 min), due to the vacant surfaces of these adsorbents occurring in Mn(IV) oxide (MnO_2) form. Mn^{2+} in groundwater is adsorbed on the surface of adsorbent, as shown in Equation 4. (Letterman, 1999).



The breakthrough curve enabled determination of the breakthrough time (t_b). The amount adsorbed at breakthrough time is q_b . The length of the unused bed at breakthrough (L_m) is determined by equation 3 (Gabelman, 2017).

$$L_m = L \left(1 - \frac{t_b}{t_f} \right), \quad (3)$$

where, L is the total bed length (cm), t_f is the midpoint of the real S-shaped breakthrough curve.

However, the maximum allowable Mn concentration for drinking purpose is 0.3 mg/L, thus this present study used the 50% breakthrough time, as shown in Table 1.

Table 1 The constant values from the breakthrough graph.

Filter media	t_b (min)	t_f (min)	L_m (cm)	q_b (mg/g)
EB	1,020	1,938	23.68	1.278
MEB	240	300	10.00	0.342
AC	900	2,166	29.22	1.233
MnG	540	1,254	28.47	0.169

Table 2 shows the constant values of Yoon and Nelson model and Thomas model. The adsorption capabilities predicted by the Thomas model were in good agreement with the experimental results. The correlation coefficient (R^2) ranged from 0.8717 to 0.9709, indicating the best fit of the model with the experimental breakthrough curve. The Thomas model is suitable to describe the adsorption of manganese onto the filter media and aid in the design of columns with the best parameters. From this present study, the value of the Thomas constant (k_{Th}) of MEB was the highest, followed by MnG, which corresponds to the highest removal efficiencies of manganese during the initial period.

From the Yoon-Nelson model, (τ) the time of 50% adsorbed breakthroughs, was consistent with the time of the experiment (t_{exp}). The R^2 values were relatively high (0.8197-0.9709), indicating that this model was effective at forecasting breakthrough time.

In this study, it was revealed that manganese had limited removal efficiency *via* its adsorption onto the adsorbent medium. The Mn removal was effective at alkaline pH values. According to Lefkowitz *et al.* (2013), dissolved Mn(II) is oxidized to insoluble forms of Mn(III) and Mn(IV) and then physically separated by filtration. Due to different removal mechanisms, EB and AC had a longer breakthrough time than MEB and MnG. The iodine number was high in EB and AC indicating adsorption into pores.

SEM pore size images of EB and AC confirmed pore size to be a factor in manganese adsorption. Furthermore, from the result of Fourier transform Infrared spectroscopy by Wilamas *et al.* (2022) reported the Mn adsorption by EB surfaces at the hydroxyl functional group.

It was found that the initial manganese removal efficiency of MEB and MnG was high, due to the oxidation and adsorption processes during first 120 min. MEB could not remove Mn after 250 min. This can be explained if the excess Mn on the MEB surfaces was leached out as the groundwater had a low Mn concentration of 0.723 mg/L. It can be seen from WDXRF that Mn content in MEB was 8 times that of MnG. In addition, the removal performance of adsorbents depends on adsorption conditions such as pH, Mn concentration and adsorbent dosage. It is recommended to use low amounts of MEB and MnG in the filter column as Mn may desorb in the case of the groundwater having a low Mn concentration. Biochar filters should be backwashed according to breakthrough time to remove the accumulated fine particles. However, spent biochar cannot be reused because its surface functional groups area was occupied *via* chemical adsorption (Wilamas *et al.*, 2022). Thus, the combination with AC or EB filter media could enhance manganese removal efficiency.

The cost of the commercial grade of AC, MnG and $KMnO_4$ ranges from 95-120, 200-250 and 180 - 250 Baht /kg. The EB cost is 7.5 Baht/kg, while MEB cost is 8.13 Baht/kg. Thus, in comparison to MnG, EB should be developed further by using a smaller amount. In addition, use of these local materials can reduce the cost of water treatment for the community.

The literature-reported adsorption capacities (q) of Mn(II) onto EB and MEB were compared with those of other filter media, and the results are displayed in Table 3. According to the table, although EB and MEB could remove manganese, their efficiency was dependent on operating conditions.

Table 2 Parameters of Thomas and Yoon-Nelson models under column adsorption process.

Filter media	M (g)	Q(mL/min)	Thomas Model			Yoon-Nelson Model			R ²
			k_{Th}	q_0	R ²	k_{YN}	t_{exp}	τ	
			mL/min. mg	mg/g		(min ⁻¹)	(min)	(min)	
AC	10	34.72	0.830	2.3383	0.9613	0.0005	1140	1205	0.8334
EB	10	34.72	0.968	1.8124	0.8717	0.0005	1020	1149	0.8197
MEB	10	34.72	4.426	0.7692	0.9709	0.0032	240	306	0.9709
MnG	40	34.72	2.490	0.6470	0.9029	0.0019	660	918	0.7960

Table 3 Comparison of Mn(II) adsorption capacity with other filter media.

Media	Experimental Conditions			Thomas model			R ²	Removal efficiency	Reference
	Type of water	pH	Flow rate	Initial Mn	K_{th}	q_0			
			mL/min	mg/L	mL/min. mg	mg/g			
Palm waste-derived biochar	synthetic groundwater	6	5	5	0.16	3.61	0.86	73.20%	(Fseha & Yildiz, 2022).
Tea leaves-derived char (nano-biosorbents)	synthetic water solutions	7.9	10	5	0.0010	70.4	0.98	78.13%	(Akbari Zadeh et al., 2022)
Rice straw-derived char (nano-biosorbents)	synthetic water solutions	7.9	10	5	0.0011	203.58	0.9	92.01%	(Akbari Zadeh et al., 2022)
EB	groundwater	6.78	3.47	0.723	0.968	1.812	0.8717	63.67%	This study
MEB	groundwater	6.78	3.47	0.723	4.426	0.769	0.9709	58.72%	This study

Conclusions

This study evaluated the efficiency of fixed-bed adsorption columns using EB and MEB as filter media to remove manganese from actual groundwater. The results revealed that EB and MEB can be used as filter media. The manganese removal efficiency in EB and MEB were 63.67% and 58.72%, respectively, with the Mn concentration within the acceptable range at 0.3 mg/L. Both types of filters were equivalent to AC (88.01%) and MnG (68.27%). In addition, application with groundwater having different concentrations of manganese needs to be studied on a case-by-case basis.

Acknowledgements

The authors are grateful to thank the School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi for partially support

the financial fund, and the Faculty of Science, Ubon Ratchathani for supporting the laboratory in conducting research.

References

- Akbari Zadeh, M., Daghandan, A., & Abbasi Souraki, B. (2022). Removal of iron and manganese from groundwater sources using nano-biosorbents. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 9(1), 1-14.
- Alvarez-Bastida, C., Martínez-Miranda, V., Solache-Ríos, M., Linares-Hernández, I., Teutli-Sequeira, A., & Vázquez-Mejía, G. (2018). Drinking water characterization and removal of manganese. Removal of manganese from water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2119-2125.

- Ayoob, S., & Gupta, A. K. (2007). Sorptive response profile of an adsorbent in the defluoridation of drinking water. *Chemical Engineering Journal*, 133 (1-3), 273-281.
- Benis, K. Z., Damuchali, A. M., Soltan, J., & McPhedran, K. N. (2020). Treatment of aqueous arsenic-A review of biochar modification methods. *Science of The Total Environment*, 739, 139750.
- Chen, J., Yiacoumi, S., & Blaydes, T. G. (1996). Equilibrium and kinetic studies of copper adsorption by activated carbon. *Separations Technology*, 6(2), 133-146.
- Chen, S., Yue, Q., Gao, B., Li, Q., Xu, X., & Fu, K. (2012). Adsorption of hexavalent chromium from aqueous solution by modified corn stalk: a fixed-bed column study. *Bioresource Technology*, 113, 114-120.
- Department of Groundwater Resources. (2022). *Annual report on the situation of water and groundwater 2021*, <http://www.dgr.go.th/th/public-service/329>
- Ferrara, A. P. (1980). Controlling bed losses of granular activated carbon through proper filter operation. *Journal-American Water Works Association*, 72(1), 60-63.
- Fseha, Y. H., & Yildiz, I. (2022). Manganese and nitrate removal from groundwater using date palm biochar: Application for drinking water. *Environmental Advances*, 8, 100237.
- Gabelman, A. (2017). Adsorption basics: part 1. *Chemical Engineering Progress*, 113(7), 48-53.
- Guppy, L., Uyttendaele, P., Villholth, K. G., & Smakhtin, V. U. (2018). *Groundwater and sustainable development goals: Analysis of interlinkages*.
- Hargette, A. C., & Knocke, W. R. (2001). Assessment of fate of manganese in oxide-coated filtration systems. *Journal of Environmental Engineering*, 127(12), 1132-1138.
- Henry, J. G., & Heinke, G. (1989). *Environmental Science and Engineering* Prentice Hall. *Eaglewood Cliffs, NJ07632*, 78-243.
- Idrees, M., Batool, S., Ullah, H., Hussain, Q., Al-Wabel, M. I., Ahmad, M., Ok, Y. S., & Kong, J. (2018). Adsorption and thermodynamic mechanisms of manganese removal from aqueous media by biowaste-derived biochars. *Journal of Molecular Liquids*, 266, 373-380.
- Kim, H., Ko, R. A., Lee, S., & Chon, K. (2020). Removal efficiencies of manganese and iron using pristine and phosphoric acid pre-treated biochars made from banana peels. *Water*, 12(4), 1173.
- Knocke, W. R., Occiano, S., & Hungate, R. (1990). *Removal of soluble manganese from water by oxide-coated filter media*. AWWA Research Foundation and the American Water Works Association
- Lefkowitz, J. P., Rouff, A. A., & Elzinga, E. J. (2013). Influence of pH on the reductive transformation of birnessite by aqueous Mn (II). *Environmental science & technology*, 47(18), 10364-10371.
- Letterman, R. D., Amirtharajah, A., & O'Meilia, C. R. (1999). *Water Quality and Treatment*, Letterman, RD (Ed). *Coagulation and Flocculation*.
- Menard, V., & Demopoulos, G. P. (2007). Gas transfer kinetics and redox potential considerations in oxidative precipitation of manganese from an industrial zinc sulphate solution with SO₂/O₂. *Hydrometallurgy*, 89(3-4), 357-368.
- Omri, A., & Benzina, M. (2012). Removal of manganese (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon derived a new precursor: Ziziphus spina-christi seeds. *Alexandria Engineering Journal*, 51(4), 343-350.
- Patil, D. S., Chavan, S. M., & Oubagaranadin, J. U. K. (2016). A review of technologies for manganese removal from wastewaters. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 468-487.
- Rahman, M. F., Mahmud, M. J., Sadmani, A. A., Chowdhury, A. I., Anderson, W. B., Bodruzzaman, A. B., & Huq, S. (2021). Previously unrecognized potential threat to children from manganese in groundwater in rohingya refugee camps in Cox's Bazar, Bangladesh. *Chemosphere*, 266, 129128.
- Saha, S., Reza, A. H. M., & Roy, M. K. (2019). Hydrochemical evaluation of groundwater quality of the Tista floodplain, Rangpur, Bangladesh. *Applied Water Science*, 9(8), 1-12.
- Schullehner, J., Thygesen, M., Kristiansen, S. M., Hansen, B., Pedersen, C. B., & Dalsgaard, S. (2020). Exposure to manganese in drinking water during childhood and association with attention-deficit hyperactivity disorder: a nationwide cohort study. *Environmental health perspectives*, 128(9), 097004.

- Singh, B., Walia, B. S. and Arora, R. 2018. Eucalyptus wood charcoal as Biosorbent for removal of lead (II) ions from aqueous solution. *IJRAR- International Journal of Research and Analytical Reviews*,5(4), 993-998.
- Taffarel, S. R., & Rubio, J. (2009). On the removal of Mn²⁺ ions by adsorption onto natural and activated Chilean zeolites. *Minerals Engineering*, 22(4), 336-343.
- Tay, A. K., Islam, R., Riley, A., Welton-Mitchell, C., Duchesne, B., Waters, V., & Ventevogel, P. (2018). Culture, context and mental health of Rohingya refugees: A review for staff in mental health and psychosocial support programmes for Rohingya refugees. *Geneva: United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR)*.
- Venkatesan, G., Senthilnathan, U., & Rajam, S. (2014). Cadmium removal from aqueous solutions using hybrid eucalyptus wood based activated carbon: adsorption batch studies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(1), 195-200.
- Vesselinov, V. V., Alexandrov, B. S., & O'Malley, D. (2018). Contaminant source identification using semi-supervised machine learning. *Journal of Contaminant Hydrology*, 212, 134-142.
- Wang, F. Y., Wang, H., & Ma, J. W. (2010). Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent—Bamboo charcoal. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1-3), 300-306.
- Wilamas, A, Vinitnantharat, S, & Pinisakul, A. (2022). Manganese Adsorption from Groundwater by Eucalyptus Biochar. *Science and Technology Journal Ubon Ratchathani University*, 24(3), 1-10.
- Xuwen, H. E., Huimin, Y. A. N. G., & Yong, H. E. (2010). Treatment of mine water high in Fe and Mn by modified manganese sand. *Mining Science and Technology (China)*, 20(4), 571-575.
- Yavuz, Ö., Altunkaynak, Y., & Güzel, F. (2003). Removal of copper, nickel, cobalt and manganese from aqueous solution by kaolinite. *Water Research*, 37(4), 948-952.
- Yin, C. Y., Aroua, M. K., & Daud, W. M. A. W. (2007). Review of modifications of activated carbon for enhancing contaminant uptakes from aqueous solutions. *Separation and Purification technology*, 52(3), 403-415.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากผ้าฝ้ายย้อมสีสกัดจากแก่นฝาง

Development of home textile products from cotton fabric dyed with sappan wood

จิราพร ชุ่มชิต^{1*} และ อติศักดิ์ เป็กศรี²

Jiraporn Choomchit^{1*} and Adisak Peksri²

Received: 2 September 2022 ; Revised: 6 December 2022 ; Accepted: 6 January 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสีผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ และ 2) พัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากการประยุกต์ใช้ผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ โดยการศึกษาสีผ้าฝ้ายจะวัดค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้าหลังย้อมด้วย 3 วิธี คือ 1) การย้อมก่อน 2) การย้อมพร้อม และ 3) การย้อมหลัง ที่ใช้สารช่วยย้อมธรรมชาติ ในกระบวนการ และไม่ใช้สารช่วยย้อม ส่วนการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะเริ่มจากพิจารณาความหลากหลายของสีผ้าหลังย้อม นำไปสู่การออกแบบและตัดเย็บต้นแบบผลิตภัณฑ์ ที่นำไปประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญแล้วจึงปรับปรุงให้ได้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้สถิติเชิงพรรณนาเพื่อวิเคราะห์ค่า K/S บนผ้าฝ้ายที่ย้อมในทุกสภาวะ รวมทั้งวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่าผ้าฝ้ายที่ย้อมเฉพาะสีสกัดจากแก่นฝางมีสีน้ำตาล-ส้ม (ค่าเฉลี่ยของ K/S = 1.17) เมื่อใช้สารช่วยย้อมชนิดกรด (น้ำฝักส้มป่อยและน้ำมะขามเปียก) ได้ผ้าสีน้ำตาล-เหลือง มีค่า K/S สูงสุด เท่ากับ 1.49 ต่ำสุด เท่ากับ 0.62 และชนิดต่าง (น้ำปูนใสและน้ำขี้เถ้า) ได้ผ้าสีม่วง-ชมพู-แดง มีค่า K/S สูงสุด เท่ากับ 1.18 ต่ำสุด เท่ากับ 0.39 ภาพรวมความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับปานกลาง-ดี ส่วนความคงทนต่อการขัดถูทั้งในสภาวะเปียกและแห้งเท่ากันคือติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายมาตรฐานในระดับน้อย แต่ความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับต่ำที่สุดในส่วนต้นแบบผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอประเภทหมอนอิงที่ออกแบบด้วยการใช้เทคนิคการต่อผ้าแบบแพทช์เวิร์ค (patchwork) พบว่า ค่าเฉลี่ยรวมของความพึงพอใจกลุ่มคนที่เข้ามาชมหรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ในร้านค้าที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ อยู่ในระดับมาก (\bar{X} = 4.17) ทั้งนี้ต้นแบบผลิตภัณฑ์ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการถ่ายทอดสู่วิสาหกิจชุมชนเป้าหมายด้วยการอบรมเชิงปฏิบัติการตัดเย็บหมอนอิงจากผ้าฝ้ายย้อมสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ ทำให้กลุ่มเป้าหมายสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่ม ทั้งด้านการออกแบบ การคัดเลือกสีของผ้า หลักและวิธีการตัดเย็บแบบแพทช์เวิร์คให้มีคุณภาพ และสามารถต่อยอดผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ต้องการของตลาดสินค้าสิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ สีสกัดจากแก่นฝาง สารช่วยย้อมธรรมชาติ ผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ

Abstract

This research aimed to 1) study on the hues of cotton fabric dyed with Sappan Wood and natural mordants and 2) develop home textile products by applying cotton fabric dyed with Sappan Wood and natural mordants. The hues were measured as color strength (K/S) on the cotton fabric after dyeing using three methods. 1) pre-mordant method, 2) simultaneous mordant method and 3) post-mordant method using natural mordants in the process. And also when Sappan Wood was dyed dyeing without any mordants. Product development was started by considering the variety of fabric hues after dyeing, leading to the design and sewing of product prototypes used to evaluate the quality from experts and then to improve it to achieve a quality product prototype. For data analysis, descriptive statistics were used to analyze the K/S values on cotton dyed under all conditions. We also investigated the mean (\bar{X}) and standard

¹ อาจารย์, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50300

² นักศึกษาปริญญาตรี, ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, จังหวัดเชียงใหม่, 50300

¹ Lecturer, Major of Home economics, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

² Bachelor of science Student, Major of Home economics, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, 50300

* Corresponding author ; Jiraporn Choomchit, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai, Thailand.

E-mail address: Jiraporn_cho@cmru.ac.th

deviation (S.D.) of consumer satisfaction with the product prototype. We found that dyeing cotton fabric with only Sappan Wood results in a brown-orange hue (the average of K/S is 1.17) while using acid mordants (Sompoi pod juice and Tamarin juice) produced a brown-yellow hue with the highest K/S value between 0.62 and 1.49. Using alkaline mordants (Lime water and Ash water) yielded a purple-pink-red hue with the highest K/S value of 1.18, and the lowest of 0.39. Overall, color fastness to washing was moderate-good. The color fastness to rubbing in both wet and dry conditions was a minimal amount of color stain on standard cotton cloth. However, the color fastness to light was the lowest. The prototypes of five pillows were designed using the patchwork technique. Fifty samples had total satisfaction of 4.17 at a high level. In this regard, the product prototypes were applied to be transferred to the target community enterprises with a workshop on sewing pillows by using cotton fabric dyed with Sappan Wood and natural mordants as the main material. The target group can apply the from our studies of product design, the fabric hue selection, principles, and methods of tailoring the patchwork technique to have quality and be able to extend their product to be demanded in the green market.

Keywords: Home textile product, Sappan Wood dye aqueous, natural mordants, cotton fabric dyed with natural dyestuff

บทนำ

ภูมิปัญญาการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติ ถือว่ามีความเกี่ยวข้องกับวิถีชีวิตของคนไทยมาตั้งแต่สมัยอดีต เนื่องจากวัตถุดิบที่นำมาสกัดเป็นสีย้อมหาได้ง่ายในชุมชน เช่น พืช สัตว์ และแร่ธาตุ เป็นต้น ที่ล้วนแต่เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นทรัพยากรที่ได้จากแหล่งที่สามารถสร้างทดแทนขึ้นใหม่ได้ (renewable resource) จึงเป็นวิธีการที่ปลอดภัยและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560 ; Prabhu & Bhute, 2012) อีกทั้งเป็นแนวทางที่ลดการใช้สังเคราะห์ที่สารตั้งต้นคือสารเคมีอันตรายหลายชนิด ส่งผลให้สีย้อมสังเคราะห์มีความเป็นพิษ (toxicity) ซึ่งยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ (non-biodegradable) บางชนิดยังส่งผลให้ผู้ผลิตและผู้บริโภคเกิดอาการแพ้หรืออาจเป็นสารก่อมะเร็งได้อีกด้วย (Prabhu and Bhute, 2012) รวมถึงน้ำทิ้งที่เหลือจากการย้อมต้องมีการกำจัดที่ปนเปื้อนก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสังเคราะห์เหล่านั้นเป็นอนุภาคคอลลอยด์ (dispersed phase) ที่จะก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมได้ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556)

ฝาง (*Caesalpinia sappan* Linn.) เป็นพรรณไม้ที่มีสีเข้ม ซึ่งได้มาจากแก่นฝาง 2 ชนิด คือ ฝางส้มที่ให้สีแดง-ส้ม และฝางเสนที่ให้สีแดง-ชมพู ทั้ง 2 ชนิดนี้จะมีสารประกอบหลักที่ให้สีคือ บราซิลิน (brazilin) แต่เมื่อแก่นฝางถูกต้มสกัดน้ำสีออกมาในรูปของสารละลายแล้ว สารบราซิลินจะถูกออกซิไดซ์เป็น บราซิลีน (brazilein) ในน้ำย้อมที่พร้อมนำไปใช้ในกระบวนการย้อมได้ (มาลี ตั้งสถิตกุลชัย และคณะ, 2550) การต้มแก่นฝาง 200 กรัมต่อน้ำ 2 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้น้ำสีสกัดเป็นสีแดงเข้ม (Chareonsuk *et al.*, 2021) นำมาย้อมแล้วทำให้ผ้ามีสีส้มที่หลากหลาย

ด้วยการเติมสารช่วยย้อมชนิดต่างๆ เข้าไปในกระบวนการย้อม เช่น อลูมิเนียมทำให้ผ้ามีสีชมพูเข้ม (dark pink) คอปเปอร์จะได้ผ้าสีม่วง (purple) (Kannathasan & Kokila, 2021) โซดาแอซและน้ำสนิมเหล็กทำให้สีออกไปทางม่วงหรือสีน้ำเงิน (Hattori, 2018) ทำให้เกิดความคุ้มค่าในความหลากหลายด้านสี สัน ผนวกกับแก่นฝางเป็นพืชสมุนไพรที่นิยมดื่มดื่มเพื่อบำรุงร่างกาย การต้มสกัดสีย้อมจึงปลอดภัยต่อผู้ผลิต จึงถือว่าเป็นสีที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Nathan & Rani, 2020) ยิ่งไปกว่านั้นด้วยกระแสนิยมใช้ผลิตภัณฑ์ย้อมสีธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น เพราะผลิตภัณฑ์ทำให้ผู้สวมใส่ไม่เกิดอาการแพ้และของเสียที่เกิดขึ้นทั้งในการผลิตและการใช้งานไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ต้องการของตลาด ส่งผลให้ผู้ผลิตนิยมนำสีสกัดจากแก่นฝางไปย้อมเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง (ภัทรา ศรีสุขโข และคณะ, 2562) ทั้งนี้สีสกัดจากแก่นฝางก็เป็นหนึ่งในสีธรรมชาติที่มีข้อจำกัดด้านความเข้มสีหลังย้อม และควบคุมคุณภาพของสีให้ย้อมได้สม่ำเสมอในแต่ละรอบได้ยาก (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2560) เพราะสีมีความคงตัวต่ำเมื่อสัมผัสกับอากาศและแสง ทำให้ความเข้มสีบนผ้าเปลี่ยนไป เช่น ซีดจางลง และเปลี่ยนไปเป็นสีอื่น ส่วนมากนิยมนำสารช่วยย้อมเคมี (chemical mordant) มาแก้ไข้ปัญหา เช่น เกลือของโลหะอลูมิเนียม เหล็ก ทองแดง ดีบุก และโครเมียม เป็นต้น ที่ส่วนใหญ่จัดเป็นสารเคมีอันตรายต่อทั้งผู้สัมผัสและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมที่จำเป็นต้องบำบัดน้ำก่อนปล่อยสู่ธรรมชาติ กล่าวได้ว่าถ้ายังคงมีการใช้สารช่วยย้อมสังเคราะห์ในการย้อมสีธรรมชาติอยู่ ก็ยังคงต้องมีการระมัดระวังด้านความอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมอยู่เช่นเดิม (Tidswell, 2022 ; Kant, 2012)

การส่งเสริมให้กระบวนย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างแท้จริงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก โดยให้คำนึงถึงการคัดเลือกวัสดุเข้าสู่กระบวนการย้อม ถ้าทั้งสีและสารช่วยย้อมล้วนมาจากธรรมชาติก็ยิ่งมีความมั่นใจได้ว่ากระบวนการผลิตจะปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เรียกได้ว่าเป็นการผลิตการใช้สารเคมีอันตราย จึงส่งผลให้เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกวิธีการหนึ่ง (เฉลิมพร ทองพูน และคณะ, 2558) ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถกำหนดวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (product life cycle) เพื่อสร้างความแตกต่างให้ผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้เป็นที่นิยมหรือสามารถตอบสนองต่อความต้องการผู้บริโภคทั่วโลกได้ อีกทั้งยังสามารถนำมาปรับปรุงและพัฒนาให้เข้ากับแนวโน้มผลิตภัณฑ์สิ่งทอโลกได้ และนั่นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่จะสร้างบทบาทให้กับธุรกิจสิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของไทยเป็นอย่างมาก (รจนา ชื่นศิริกุลชัย และเรื่องชัย ชื่นศิริกุลชัย, 2559)

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่สามารถออกแบบและพัฒนาจากผ้าย้อมสีธรรมชาติมีได้หลายประเภท ทั้งเสื้อผ้าสำเร็จรูป (apparel) เช่น ชุดสตรี ชุดบุรุษ และชุดเด็ก เป็นต้น หรือของที่ระลึก (souvenir) เช่น พวงกุญแจ ตุ๊กตา กระเป๋า และผ้าเช็ดหน้า เป็นต้น รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ใช้ตกแต่งที่พักอาศัย หรือเคหะสิ่งทอ (home textile) อาทิ ผ้าปูเตียง ผ้าคลุมโต๊ะ ผ้าห่ม เบาะรองนั่ง และพรม เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมอนอิง (Khatun *et al.*, 2014) ซึ่งเป็นของตกแต่งบ้านที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะสามารถตกแต่งให้เป็นธีม (theme) หรือเป็นคอลเลกชัน (collection) เดียวกันกับของตกแต่งชนิดอื่นได้ เช่น ผ้าผ่าน ผ้าปูที่นอน และผ้าคลุมโซฟา ซึ่งรูปแบบการสร้างสรรคินิยมทำเป็นลวดลาย จากการพิมพ์และย้อม ทั้งลวดลายธรรมชาติ ลายจุด หรือลายเลขาคณิต ที่สร้างได้จากเทคนิคแพทช์เวิร์ค (patchwork) และเทคนิคเย็บปัก (quilting technique) (Parmar & Malik, 2020) ซึ่งถ้าผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้ถูกนำมาสร้างสรรค์ด้วยการเลือกใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติก็ยิ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างความมั่นใจว่าปลอดภัยต่อทั้งผู้บริโภค ผู้ผลิตและสิ่งแวดล้อม ยิ่งถ้ามีการนำผ้าฝ้ายที่ย้อมแล้วมาพัฒนาและสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์ที่จะสามารถย่อยจดจำหน่ายและสร้างรายได้ให้แก่ผู้ที่สนใจด้านนี้ ก็ถือว่าเป็นกระบวนการส่งเสริมได้ครบวงจรของการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ดังเช่น กลุ่มพัฒนาอาชีพสตรีบ้านไฉ่ (คำขาว) อ.สันกำแพง จ.เชียงใหม่ เป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเศษผ้าเหลือทิ้ง ด้วยการตัดเย็บเศษผ้าชิ้นเล็กให้เป็นชิ้นใหญ่ แล้วนำไปตัดเย็บเป็นเคหะสิ่งทอ ได้แก่ เบาะรองนั่ง หมอนอิง รองเท้าใส่ในบ้าน และผ้าเช็ดมือแขวน

ผนัง ซึ่งมีความสนใจต่อยอดผลิตภัณฑ์หมอนอิงด้วยการเย็บแบบแพทช์เวิร์ค ต้องการเพิ่มความรู้ด้านการคัดเลือกเฉดสีผ้าให้เหมาะกับลวดลายลวดลายหมอนอิง และตัดเย็บด้วยเทคนิคที่มีคุณภาพมากขึ้น รวมไปถึงต้องการต่อยอดให้หมอนอิงของกลุ่มเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพิ่มช่องทางการตลาดที่มากขึ้น

ผู้วิจัยเห็นความสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอที่มีส่วนในการป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากสาเหตุการย้อมสีเคมีและใช้สารช่วยย้อมเคมีในการย้อมสีธรรมชาติ ด้วยการนำวัสดุธรรมชาติที่มีสมบัติให้สีและปลูกขึ้นมาทดแทนใหม่ได้ มาผสมกับด้วยวิธีใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จึงศึกษาการย้อมผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีสกัดจากแก่นฝาง และสารช่วยย้อมธรรมชาติ ที่วัตถุดิบหาง่ายในท้องถิ่น ได้แก่ แก่นฝางเป็นสีย้อมมะขามเปียก ผักส้มป่อย ปูนขาว และซีเต๋า เป็นสารช่วยย้อม มาย้อมที่สภาวะต่างกันเพื่อหาความเข้มข้นของผ้าที่ดีที่สุด นำไปทดสอบสมบัติ แล้วนำผ้าที่มีผลการย้อมที่ดีและเหมาะสมมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ จากนั้นนำต้นแบบผลิตภัณฑ์ไปศึกษาความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย และถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชนด้วยกิจกรรมตัดเย็บผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ เพื่อเป็นแนวทางพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นประโยชน์ของกลุ่มคนที่สนใจ ดังนั้นงานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสีผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ และพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากการประยุกต์ใช้ผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ

1.1 การเตรียมผ้าฝ้ายก่อนย้อม

ผ้าฝ้ายก่อนย้อมจะนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาด (scouring process) ด้วยการต้มที่อุณหภูมิ 90°C เวลา 1 ชั่วโมง ในสารละลายที่มีโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 2 g/l และสบู่เหลว (detergent) เข้มข้น 5 g/l หลังจากนั้นนำไปฟอกขาว (bleaching process) ในสารละลายที่มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เข้มข้น 2 g/l NaOH เข้มข้น 2 g/l และ non-ionic wetting agent ชนิด Dypidol CRM เข้มข้น 5 g/l โดยทั้ง 2 ขั้นตอนจะนำผ้ามาล้างน้ำให้สะอาดแล้วนำไปตากในที่ร่มให้แห้ง เตรียมย้อมต่อไป

1.2 การเตรียมสีสกัดจากแก่นฝาง

นำแก่นฝางมาตัดเป็นท่อนเล็กแล้วแช่ในน้ำที่อัตราส่วนแก่นฝาง 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 4 ลิตร เวลา 24 ชั่วโมง จึงนำมาต้มสกัดที่อุณหภูมิ 70°C - 80°C ปิดฝาภาชนะให้สนิท

เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองเอาน้ำสีด้วยผ้าขาวบาง และนำไปแช่ตู้เก็บความเย็นเพื่อใช้ย้อมต่อไป

1.3 การเตรียมสารช่วยย้อมธรรมชาติ

นำมะขามเปียก ผักส้อมปวย ปูนขาว และซีอิ้ว แต่ละชนิดไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเตรียมความเข้มข้นของสารช่วยย้อมธรรมชาติทุกชนิด 1% 2% 3% 4% และ 5% (โดยมวลต่อปริมาตร ; w/v) เมื่อครบเวลานำมากรองด้วยผ้าขาวบางให้ได้เฉพาะส่วนที่เป็นน้ำ นำไปแช่ในตู้เก็บความเย็นเพื่อใช้ในการย้อม

1.4 การย้อมผ้าฝ้าย

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการเตรียมมาย้อมด้วย 3 วิธีการ คือ 1) การย้อมก่อน (pre-mordanting) เป็นการนำผ้าจุ่มแช่สารช่วยย้อมที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที จากนั้นนำผ้าขึ้นมาบิดให้หมาด นำไปย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากแก่นฝาง ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที นำผ้าที่ย้อมแล้วมาล้างน้ำ 1 รอบ และตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 2) การย้อมหลัง (post-mordanting) โดยนำผ้ามาย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากแก่นฝางที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าขึ้นมาบิดให้หมาดแล้วนำจุ่มแช่ในสารช่วยย้อมแต่ละชนิด ที่อุณหภูมิห้อง เวลา 30 นาที แล้วจึงนำผ้าที่ย้อมแล้วมาล้างน้ำ 1 รอบ และตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง 3) การย้อมพร้อม (simultaneous mordanting) เป็นการนำผ้ามาย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากแก่นฝางที่ผสมสารช่วยย้อมในอ่างย้อมเดียวกัน ที่อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที แล้วจึงนำผ้าที่ย้อมแล้วมาล้างน้ำ 1 รอบ และตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.5 การทดสอบผ้าหลังย้อม

ผ้าหลังย้อมทุกสภาวะได้ถูกนำไปวัดค่าความเข้มสี (K/S) ด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ Macbeth spectrophotometer รุ่น Color Eye 7000 เพื่อเลือกผ้าที่มีค่า K/S สูงที่สุดในแต่ละชนิดของสารช่วยย้อม แล้วนำผ้าที่คัดเลือกได้นั้นมาทำการทดสอบความคงทนของสี 3 ด้าน ได้แก่ 1) ความคงทนของสีต่อการซัก (wash fastness) ตามมาตรฐาน ISO C01 C06 2) ความคงทนของสีต่อการขัดถู (rub fastness) ตามมาตรฐาน ISO 105-X12: 2016(E) และ 3) ความคงทนของสีต่อแสง (light fastness) ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 16.3: 2014 Option 3 (20 AATCC Fading Units)

2. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากการประยุกต์ใช้ผ้าฝ้ายย้อมสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ

2.1 คัดเลือกสีของผ้าหลังย้อมจากทุกสารช่วยย้อมที่นำมาใช้ พิจารณาผ้าที่มี K/S สูงที่สุดและคงทนที่สุดเป็นผ้าหลัก แล้วเลือกผ้าชิ้นอื่นที่มีความเข้มสีรองลงมาเพื่อความหลากหลายด้านเฉดและโทนสี ซึ่งนำหลักการใช้สีของวงล้อ

สี จับคู่สีที่มีความกลมกลืน และคู่สีที่ตรงกันข้าม มาเป็นส่วนหนึ่งในการเลือกสี จากนั้นจึงย้อมผ้าจริงเพื่อเตรียมชิ้นต้นแบบผลิตภัณฑ์

2.2 ออกแบบและกำหนดสีแบบร่างผลิตภัณฑ์หมอนอิง จำนวน 5 รูปแบบ ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ซึ่งประยุกต์ใช้หลักการของเทคนิคแพทช์เวิร์ค เพราะมีความเหมาะสมกับสีของผ้าฝ้ายที่ย้อมได้ซึ่งมีจำนวนหลากหลายขึ้นอยู่กับสารช่วยย้อมธรรมชาติที่นำมาใช้ในการย้อม รวมทั้งแพทช์เวิร์คเป็นเทคนิคของการตัดผ้าและนำมาเย็บต่อกันเพื่อให้เกิดลวดลายใหม่ที่สวยงามมากขึ้น สามารถเพิ่มมิติให้กับผลิตภัณฑ์ได้

2.3 ขึ้นต้นแบบผลิตภัณฑ์หมอนอิงจำนวน 5 ใบ แล้วนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินคุณภาพ และแสดงความคิดเห็นด้านการออกแบบและรูปแบบการพัฒนา ซึ่งเมื่อได้คำแนะนำแล้วผู้วิจัยนำมาปรับปรุงและขึ้นต้นแบบใหม่ แล้วจึงนำต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินอีกครั้ง พร้อมแก้ไขจนกระทั่งผ่านการประเมิน

3. การประเมินความพึงพอใจ

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มคนที่เข้ามาชมหรือเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ในร้านค้าที่จำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในเขต อ. เมือง จ. เชียงใหม่ ช่วงระหว่างวันที่ 1 พ.ย. 2562 ถึงวันที่ 30 พ.ย. 2562 ซึ่งได้มาด้วยการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 50 คน รวมทั้ง วิชาทักจชุมชน กลุ่มพัฒนาอาชีพสตรีบ้านโจ๊ก (คำขาว) อ. สันกำแพง จ. เชียงใหม่ จากการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) จำนวน 30 คน

3.2 เครื่องมือวิจัย คือ แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้บริโภค ที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์หมอนอิง และแบบสอบถามความพึงพอใจของกลุ่มพัฒนาอาชีพสตรีบ้านโจ๊ก (คำขาว) ที่มีต่อกิจกรรมการถ่ายทอดความรู้การตัดเย็บผลิตภัณฑ์หมอนอิง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive analysis) ค่าเฉลี่ย (\bar{X}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของความพึงพอใจและค่าความเข้มสี

ผลการวิจัย

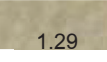
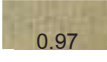
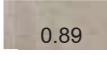
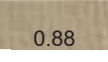
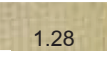
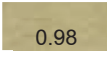
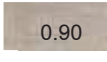
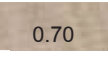

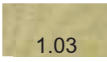
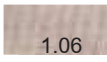
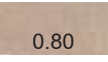
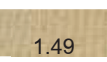
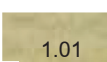
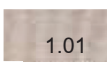
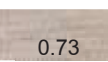
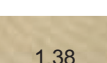
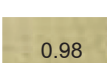
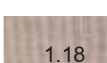
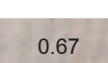
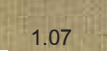
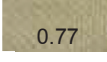
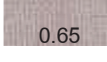
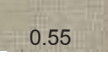
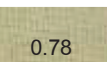
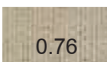
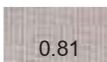
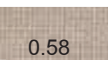
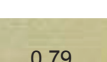

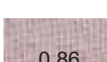
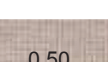
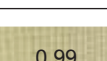
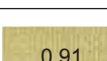
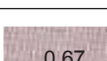
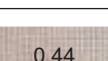
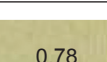
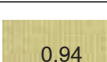
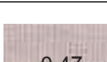
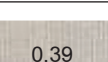
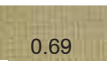
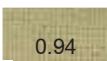

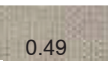
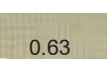
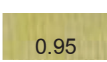
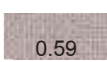
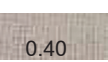
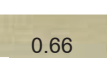
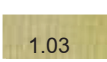

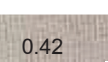
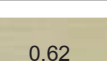
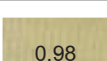
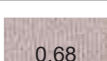
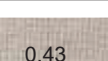
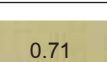
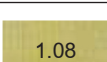
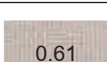
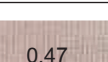
1. ผลของสีบนผ้าฝ้ายหลังการย้อม

เมื่อย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีสกัดจากแก่นฝางโดยไม่ใช้สารช่วยย้อมจะได้ผ้าสีน้ำตาล-ส้ม ซึ่งค่าความเข้มสี (K/S) เท่ากับ 1.18, 1.15 และ 1.17 (ย้อมซ้ำ 3 ครั้ง) เมื่อพิจารณาด้านการใช้สารช่วยย้อมแต่ละชนิด พบว่า น้ำผักส้อมปวยเป็นสารช่วยย้อมที่ทำให้ผ้ามีค่า K/S สูงที่สุด เมื่อเทียบกับสารช่วยย้อม

ชนิดอื่นในวิธีการย้อมเดียวกันในภาพรวม โดยเฉพาะใช้วิธีการย้อมก่อน ที่ 4% น้ำฝักส้มป่อย จะทำให้ผ้ามีค่า K/S สูงที่สุดเท่ากับ 1.49 ผ้าหลังย้อมที่ได้จะมีสีน้ำตาล-เหลือง ซึ่งสีบนผ้านี้มีความใกล้เคียงกับสีที่ได้จากการใช้น้ำมะขามเปียกเป็นสารช่วยย้อม ซึ่งที่ 5% ของน้ำมะขามเปียกที่ย้อมด้วยวิธีการย้อมหลัง ทำให้ผ้ามีค่า K/S สูงที่สุด เท่ากับ 1.08 เมื่อนำน้ำปูนใส

มาเป็นสารช่วยย้อมจะทำให้ผ้ามีสีม่วง-ชมพู-แดง โดย 5% น้ำปูนใส ย้อมด้วยวิธีการย้อมก่อนทำให้ผ้ามีค่า K/S เท่ากับ 1.18 สูงที่สุดเมื่อเทียบกับความเข้มข้นอื่น และวิธีการอื่นที่ใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยย้อม โดยใกล้เคียงกับสีที่ได้จากการใช้น้ำขี้เถ้าเป็นสารช่วยย้อม ซึ่งที่ 1% ของน้ำขี้เถ้า ส่งผลให้ผ้ามีค่า K/S สูงที่สุดเท่ากับ 0.88 (Table 1)

Table 1 The hue and K/S value of cotton fabric dyeing with Sappan Wood and different types of natural mordants

Dyeing method	No mordant	Mordant concentration (% w/v)	Type of natural mordants			
			Sompoi pod juice	Tamarin juice	Lime water	Ash water
Pre mordanting	1.18	1	 1.29	 0.97	 0.89	 0.88
		2	 1.28	 0.98	 0.90	 0.70
		3	 1.27	 1.03	 1.06	 0.80
		4	 1.49	 1.01	 1.01	 0.73
		5	 1.38	 0.98	 1.18	 0.67
Simultaneous mordanting	1.15	1	 1.07	 0.77	 0.65	 0.55
		2	 0.78	 0.76	 0.81	 0.58
		3	 0.79	 0.78	 0.86	 0.50
		4	 0.99	 0.91	 0.67	 0.44
		5	 0.78	 0.94	 0.47	 0.39
Post mordanting	1.17	1	 0.69	 0.94	 0.66	 0.49
		2	 0.63	 0.95	 0.59	 0.40
		3	 0.66	 1.03	 0.63	 0.42
		4	 0.62	 0.98	 0.68	 0.43
		5	 0.71	 1.08	 0.61	 0.47

The picture in table showed the hue of dyed cotton fabric and value on each picture as K/S of dyed cotton fabric

การย้อมเฉพาะน้ำสีสกัดจากแก่นฝางส่งผลให้สีผ้าเปลี่ยนระดับปานกลาง ผ้าจึงมีความคงทนของสีต่อการซักปานกลางและตกติดบนเส้นใยทุกชนิด ใกล้เคียงกับการใช้น้ำซึ้เถ่าเป็นสารช่วยย้อม ส่วนผ้าที่ย้อมโดยใช้น้ำฝักส้มป่อย น้ำมะขามเปียก และน้ำปูนใส มีค่าสีเปลี่ยนแปลงระดับเล็กน้อย ผ้าจึงมีความคงทนของสีต่อการซักล้างดี ทั้งนี้การใช้น้ำปูนใสเป็นสารช่วยย้อมจะติดเปื้อนบนเส้นใยฝ้ายแต่ไม่ติดเปื้อนบนไนลอนและ PET ด้านการใช้น้ำมะขามเปียกทำให้ผ้าติดเปื้อนบนเส้นใยฝ้ายและไนลอนแต่ไม่ติดเปื้อนบน PET และการใช้น้ำฝักส้มป่อยทำให้ผ้าติดเปื้อนบนทุกเส้นใยในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง

ผ้าที่ย้อมทั้งไม่ใช้สารช่วยย้อม และใช้สารช่วยย้อม ชนิดน้ำฝักส้มป่อย น้ำมะขามเปียก น้ำปูนใส มีความคงทนต่อการขัดถูทั้งในสภาวะเปียกและแห้งเท่ากัน โดยในสภาวะเปียกมีการติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายมาตรฐานน้อย ระดับเกรย์สเกลอยู่ที่ 4 ใกล้เคียงกับการใช้น้ำซึ้เถ่าที่ทำให้มีการติดเปื้อนสีบนผ้าฝ้ายมาตรฐานน้อยเช่นเดียวกัน แต่มีระดับเกรย์สเกลที่ 4-5 เช่นเดียวกับการติดเปื้อนในสภาวะแห้งซึ่งที่ระดับเกรย์สเกลที่ 4-5 ในทุกๆ สารช่วยย้อม แต่ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความคงทนต่อแสงของผ้าที่ย้อมจากสีสกัดจากแก่นฝางทั้งไม่ใช้สารช่วยย้อม และการใช้สารช่วยย้อมทั้ง 4 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงของสีในระดับสูงที่สุด ซึ่งบ่งบอกได้ว่าผ้าที่ย้อมนี้มีความคงทนของสีต่อแสง Xenon arc ในระดับต่ำที่สุด (Table 2)

Table 2 Color fastness of the dyeing cotton obtained from pre-mordanting method with using different mordants

type of mordant	wash fastness			color change	rub fastness				light fastness color change
	staining on cotton	staining on nylon	staining on PET		warp		weft		
					dry	wet	dry	wet	
No mordant (control)	3-4	3	3	3	4-5	4	4-5	4	1.5
Sompoi pod juice	4-5	3	3	4-5	4-5	4	4-5	4	1.0
Tamarin juice	4-5	4-5	5	4-5	4-5	4	4-5	4	1.5
Lime water	4-5	5	5	4-5	4-5	4	4-5	4	1.0
Ash water	3-4	3	4-5	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	1.0

Grey scale rating: 5 = No color staining, 4 = Slightly color staining, 3 = Noticeable color staining, 2 = Considerable color staining, 1 = Excessive color staining

2. ผลการออกแบบผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ

การออกแบบผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอประเภทหมอนอิง ได้นำผลที่เหมาะสมของการศึกษาสีผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ มาร่วมเป็นรายละเอียดในการพิจารณาเพื่อออกแบบหมอนอิงรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 18X18 นิ้ว ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของหมอนอิงจำนวน 5 รูปแบบ โดยผ้าที่นำมาออกแบบจะได้จากการย้อมด้วยสารช่วยย้อมธรรมชาติทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นและวิธีการย้อมที่มีค่าความเข้มสีที่ดีที่สุด ได้แก่ 4% ของน้ำฝักส้มป่อย (วิธีย้อมก่อน) 5% ของน้ำมะขามเปียก (วิธีย้อมหลัง) 5% ของน้ำปูนใส (วิธีย้อมก่อน) และ 1% ของน้ำซึ้เถ่า (วิธีย้อมก่อน) รวมทั้งความเข้มข้นอื่นที่มีความเข้มสีรองลงมาในส่วนของผ้าที่ถูกออกแบบให้เฉดมีความเข้มอ่อนลง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความหนักเบาของสีอย่างเหมาะสมตามหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เทคนิคที่นำมาตัดเย็บคือแพทช์เวิร์คซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการตัดเย็บหมอนอิงที่ต้องการนำเสนอต้นลวดลายหรือความหลากหลายสีของผืนผ้า ได้ผลดังรายละเอียดต่อไปนี้

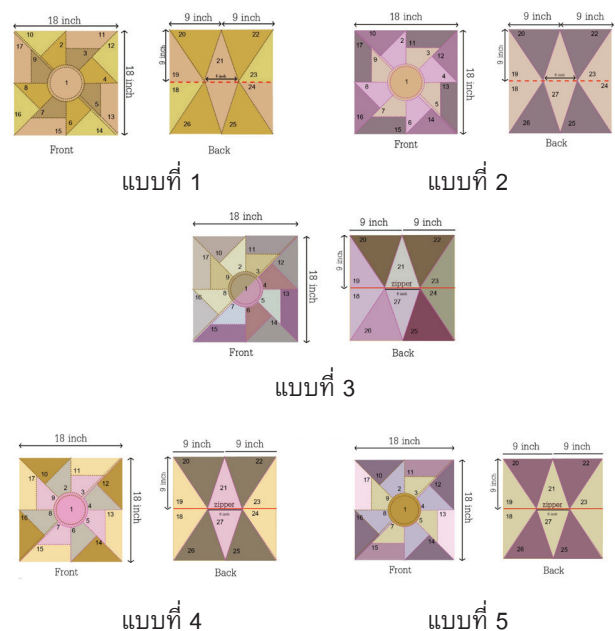


Figure 1 Sketch design of the pillow set

แบบร่างของต้นแบบผลิตภัณฑ์ถูกออกแบบให้หมอนอิงมีขนาด 18X18 นิ้ว รูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ได้กำหนดสีจากการนำความหลากหลายด้านสีผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติในสภาวะที่แตกต่างกัน ผนวกกับหลักการจับคู่สีกลมกลืนและคู่สีตรงกันข้าม และการตัดต่อแบบแพทเวิร์ค (Figure 1)



Figure 2 Phototype of the pillow set

Figure 2 หมอนอิงที่ได้ตัดเย็บขึ้นต้นแบบสำเร็จรูปทั้ง 5 รูปแบบ เป็นการใช้นิเทศตัดต่อแบบแพทเวิร์คด้วยผ้าฝ้ายที่ย้อมสีสกัดจากแก่นฝางที่ใช้สารช่วยย้อมและสภาวะต่างกัน โดยใช้เส้นด้ายที่มีเฉดสีสูงกว่าผ้าตัวของรูปแบบนั้น มาเนาทับรอยต่อระหว่างผ้าแต่ละสี ซึ่ง

แบบที่ 1 ตัดเย็บด้วยผ้าฝ้ายที่ใช้สารช่วยย้อมชนิดกรดทั้งหมด ซึ่งให้สีน้ำตาล-เหลือง เป็นสีวรรณะอุ่น ส่งผลให้สีมีความกลมกลืนกัน และใช้เส้นด้ายสีน้ำตาลเข้มเนาทับ

แบบที่ 2 ใช้ผ้าฝ้ายย้อมด้วยสารช่วยย้อมชนิดต่างทั้งหมด ซึ่งเป็นสีม่วง-ชมพู-แดง ที่เป็นสีวรรณะเย็น-อุ่น ซึ่งมีเฉดสีที่อยู่ใกล้กัน ทำให้สียังคงดูมีความกลมกลืนกัน และใช้เส้นด้ายสีชมพูเข้มเนาทับ

แบบที่ 3 ถูกตัดเย็บด้วยผ้าฝ้ายที่ใช้สารช่วยย้อมชนิดกรดและชนิดต่าง ด้วยสัดส่วน 50:50 โดยสีทั้งคู่เป็นคู่สีตรงข้าม รวมทั้งใช้เทคนิคการย้อมซ้ำเพื่อให้ผ้ามีเฉดสีที่เข้มข้น ทำให้เฉดสีที่ได้ทั้งคู่มีความเป็นสีตัดกันมากยิ่งขึ้น แบ่งพื้นที่แต่ละเฉดสีอย่างชัดเจนด้วยการใช้เส้นด้ายชมพูเข้มเนาทับตามรอยต่อระหว่างผ้าสีน้ำตาล-เหลือง และใช้เส้นด้ายสีน้ำตาลเข้มเนาทับตามรอยต่อผ้าสีม่วง-แดง เพื่อให้เกิดความเด่นชัด

แบบที่ 4 มีสัดส่วนการใช้ผ้าระหว่างการใช้สารช่วยย้อมชนิดกรดต่อสารช่วยย้อมชนิดต่าง คือ 70:30 โดยให้ความโดดเด่นของสีชมพู-ม่วง ที่ตำแหน่งกึ่งกลางและให้สีน้ำตาล-เหลือง ล้อมรอบ เพื่อให้ดูทั้งสีกลมกลืนและสีตัดกัน ใช้เส้นด้ายสีน้ำตาลเข้มเนาทับตามรอยต่อระหว่างชั้นผ้าเพื่อให้เกิดความเด่นชัดและตัดกับสีผ้าตรงตำแหน่งกึ่งกลาง

รูปแบบที่ 5 มีสัดส่วนการใช้ผ้าระหว่างผ้าฝ้ายย้อมด้วยสารช่วยย้อมชนิดต่างต่อสารช่วยย้อมชนิดกรด เท่ากับ 70:30 โดยให้ความโดดเด่นของสีน้ำตาล-เหลือง เป็นตำแหน่งกึ่งกลางและให้สีชมพู-ม่วง ล้อมรอบ ทำให้ดูมีทั้งความกลมกลืนและตัดกันของสี ใช้เส้นด้ายสีน้ำตาลเข้มเนาทับตามรอยต่อระหว่างชั้นผ้าเพื่อให้เกิดความเด่นชัดและตัดกับสีตำแหน่งกึ่งกลาง

ผลการศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อต้นแบบผลิตภัณฑ์


ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวมของผู้บริโภคที่มีต่อต้นแบบหมอนอิง อยู่ในระดับมาก ($\bar{X} = 4.17$) โดยหมอนอิงรูปแบบที่ 3 ทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจโดยรวมมากที่สุด ($\bar{X} = 4.27$) ซึ่งพึงพอใจในการใช้วัสดุ สี และลวดลายมีความเหมาะสมกับสมัยนิยมในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X} = 4.49$) รองลงมาคือหมอนอิงรูปแบบที่ 5 ที่พึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X} = 4.17$) โดยพึงพอใจต่อการใช้วัสดุ สี และลวดลายมีความเหมาะสมกับสมัยนิยมมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ($\bar{X} = 4.37$) ลำดับที่ 3 คือ หมอนอิงรูปแบบที่ 1 และ 4 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากเท่ากัน ($\bar{X} = 4.15$) ทั้งนี้พึงพอใจต่อความทันสมัยและแปลกใหม่ของหมอนอิงรูปแบบที่ 1 ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.31$) และพึงพอใจต่อการใช้วัสดุ สี และลวดลายมีความเหมาะสมกับสมัยนิยมของหมอนอิงใบที่ 4 ในระดับมากที่สุดเช่นกัน ($\bar{X} = 4.42$) และหมอนอิงรูปแบบที่ 2 มีผลทำให้ผู้บริโภคพึงพอใจโดยรวมน้อยที่สุด ($\bar{X} = 4.13$) ซึ่งยังคงพึงพอใจรูปแบบมีความทันสมัยและแปลกใหม่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.31$)

ทั้งนี้สมาชิกกลุ่มเป้าหมายหลังการเข้าร่วมการอบรมเชิงปฏิบัติการตัดเย็บหมอนอิงจากผ้าฝ้ายย้อมสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติมีองค์ความรู้เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์ของกลุ่มได้ ทั้งเรื่องการออกแบบผลิตภัณฑ์ การคัดเลือกสีของผ้าให้เหมาะสมหลักและวิธีการตัดเย็บแบบแพทเวิร์คให้มีคุณภาพและได้รับแนวทางที่มีส่วนที่สามารถต่อยอดให้เป็นผลิตภัณฑ์ตามต้องการของตลาดสินค้าสิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

Table 3 Average value (\bar{X}) and Standard division value (S.D.) of the target group's satisfaction to the pillows n=50

Pillow's style	Details of satisfaction	\pm S.D.	level
The 1 st 	1. The Pattern is suitable for the home textile products of the type of pillow	4.00±0.82	good
	2. The model represents environmentally friendly products	4.12±0.78	good
	3. The style is modern and innovative or unique	4.31±0.68	Very good
	4. The cushion form and size are suitable for use	4.24±0.69	Very good
	5. The tailoring is exquisite	4.12±0.63	good
	6. The use of materials, colors and patterns are appropriate for modern times	4.10±0.71	good
	7. The production technique is suitable for home textile products such as pillow	4.10±0.71	good
	8. Overall satisfaction with the style	4.24±0.69	Very good
	total	4.15±0.71	good
The 2 nd 	1. The Pattern is suitable for the home textile products of the type of pillow	4.04±0.81	good
	2. The model represents environmentally friendly products	4.14±0.79	good
	3. The style is modern and innovative or unique	4.31±0.65	Very good
	4. The cushion form and size are suitable for use	4.22±0.62	Very good
	5. The tailoring is exquisite	4.16±0.77	good
	6. The use of materials, colors and patterns are appropriate for modern times	4.12±0.72	good
	7. The production technique is suitable for home textile products such as pillow	3.98±0.85	good
	8. Overall satisfaction with the style	4.04±0.68	good
	total	4.13±0.74	good
The 3 rd 	1. The Pattern is suitable for the home textile products of the type of pillow	4.29±0.94	Very good
	2. The model represents environmentally friendly products	4.14±0.82	good
	3. The style is modern and innovative or unique	4.24±0.56	Very good
	4. The cushion form and size are suitable for use	4.31±0.58	Very good
	5. The tailoring is exquisite	4.35±0.60	Very good
	6. The use of materials, colors and patterns are appropriate for modern times	4.49±0.58	Very good
	7. The production technique is suitable for home textile products such as pillow	4.31±0.62	Very good
	8. Overall satisfaction with the style	4.21±0.43	Very good
	total	4.27±0.64	Very good
The 4 th 	1. The Pattern is suitable for the home textile products of the type of pillow	4.12±0.97	good
	2. The model represents environmentally friendly products	4.10±0.82	good
	3. The style is modern and innovative or unique	4.14±0.65	good
	4. The cushion form and size are suitable for use	4.22±0.65	Very good
	5. The tailoring is exquisite	3.81±0.60	good
	6. The use of materials, colors and patterns are appropriate for modern times	4.42±0.65	Very good
	7. The production technique is suitable for home textile products such as pillow	4.26±0.64	Very good
	8. Overall satisfaction with the style	4.14±0.54	good

Table 3 Average value (\bar{X}) and Standard division value (S.D.) of the target group's satisfaction to the pillows n=50 (cont.)

Pillow's style	Details of satisfaction	\pm S.D.	level
	total	4.15 \pm 0.69	good
 <p>The 5th</p>	1. The Pattern is suitable for the home textile products of the type of pillow	4.02 \pm 0.78	good
	2. The model represents environmentally friendly products	4.04 \pm 0.73	good
	3. The style is modern and innovative or unique	4.02 \pm 0.63	good
	4. The cushion form and size are suitable for use	4.18 \pm 0.60	good
	5. The tailoring is exquisite	4.33 \pm 0.47	Very good
	6. The use of materials, colors and patterns are appropriate for modern times	4.37 \pm 0.70	Very good
	7. The production technique is suitable for home textile products such as pillow	4.31 \pm 0.62	Very good
	8. Overall satisfaction with the style	4.10 \pm 0.55	good
	total	4.17 \pm 0.64	good
	Total all	4.17 \pm 0.68	good

วิจารณ์และสรุปผล

การย้อมผ้าฝ้ายในครั้งนี้ ได้นำหลักการย้อมสีธรรมชาติ ตามที่ณรงค์ศิลป์ รูปพนม (2531) และวิชาญ วันโพนทอง (2548) เสนอไว้มาประยุกต์ใช้ คือ หลักการย้อมโดยใช้สารช่วยย้อม (mordant dyeing) 3 วิธี ได้แก่ วิธีการย้อมก่อน วิธีการย้อมพร้อม และวิธีการย้อมหลัง ซึ่งทั้ง 3 วิธีจะใช้ สารช่วยย้อมธรรมชาติ 4 ชนิด ที่สภาวะการย้อมเดียวกัน คือ อุณหภูมิ 60°C เวลา 30 นาที ผลที่เกิดขึ้นจากการย้อม ทุกสภาวะจะเห็นได้ว่า ผ้าฝ้ายที่ได้จะปรากฏสีจากแก่นฝาง ติดบนผืนผ้าเสมอ ทั้งการย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางอย่าง เดียวโดยไม่ใช้สารช่วยย้อมที่ผ่านนั้นจะมีสีน้ำตาล-ส้ม ทั้งนี้ เนื่องจากในแก่นฝางมีบราซิลลิน (brazilin) เป็นสารให้สี โดยแก่นฝางที่ถูกต้มสกัดจะมีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) ของบราซิลลินถูกออกซิไดซ์และเปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) เกิดเป็นสารบราซิลลิน (brazilien) ซึ่งเป็น สารละลายสีแดงอยู่ในน้ำพร้อมที่จะนำไปใช้ในการย้อมสีวัสดุ สิ่งทอได้ (มาลี ตั้งสฤติย์กุลชัย และคณะ, 2550) อีกทั้งโครงสร้าง บราซิลลินมีฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) สามารถสร้างพันธะ ไฮโดรเจนกับ หมู่ -OH ในโมเลกุลเส้นใยฝ้ายในขณะที่แช่ตัว ในน้ำได้ เปรียบกับการเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ -OH บนสารประกอบฟีนอลของโมเลกุลบราซิลลินกับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) ในโมเลกุลของเส้นใยโปรตีน (Ohama & Tumpat, 2014) รวมไปถึงเมื่อใช้สารช่วยย้อมทั้ง 4 ชนิด สีบนผืนผ้าก็ ยังปรากฏหรือมีการติดสีบนผืนผ้าเช่นเดิม โดยการใช้สารช่วย ย้อมชนิดกรดคือ น้ำฝักส้มป่อย (pH=2.95) และน้ำมะขาม เปี้ยก (pH=2.98) จะได้ผ้าสีน้ำตาล-เหลือง และถ้าใช้ชนิดต่าง

คือน้ำขี้เถ้า (pH=10.63) และน้ำปูนใส (pH=10.18) จะได้ผ้าสีม่วง-ชมพู-แดง โดยแต่ละสภาวะจะมีค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้าหลังย้อมที่ต่างกัน

ทั้งนี้วิธีการย้อมก่อนที่ใช้น้ำฝักส้มป่อยจะส่งผลให้ผ้า มี K/S สูงกว่าการใช้สารช่วยย้อมชนิดอื่นที่ความเข้มข้นเท่ากัน และการไม่ใช้สารช่วยย้อม โดยเฉพาะที่ 4% ของน้ำฝักส้มป่อย ผ้าจะมี K/S สูงที่สุดเท่ากับ 1.49 รองลงมาคือ 5% น้ำปูนใส ใช้วิธีการย้อมก่อน ให้ค่า K/S บนผ้าเท่ากับ 1.18 ลำดับที่ 3 คือ ใช้ 5% น้ำมะขามเปี้ยกด้วยวิธีการย้อมหลัง ซึ่งทำให้ผ้า มี K/S เป็น 1.08 ลำดับสุดท้ายคือ ที่ 1% น้ำขี้เถ้าในวิธีย้อม ก่อน ทำให้ผ้ามี K/S เท่ากับ 0.88 เห็นได้ว่าโดยรวมนั้น การใช้วิธีการย้อมก่อนจะทำให้ผ้ามี K/S สูงกว่าใช้วิธีการ ย้อมพร้อมและย้อมหลัง ซึ่ง Vankar (2000) ที่ได้อธิบายไว้ว่า การย้อมก่อนเป็นการจุ่มแช่ผ้าในสารละลายสารช่วยย้อมก่อน จึงจะนำไปย้อมสี ทำให้ผ้าถูกเคลือบด้วยประจุบวกจากสาร ช่วยย้อมจึงเป็นเสมือนการเกิดสะพานเคมี (chemical bridge) ที่ช่วยให้มีการเชื่อมพันธะระหว่างเส้นใยและสีย้อมมากขึ้น ส่งผลให้สีสามารถเกาะติดบนผ้าได้มาก ผ้าจึงมี K/S สูงขึ้น เทียบกับวิธีการย้อมพร้อมที่ทั้งน้ำสีและสารช่วยย้อมมี ความเป็นไปได้ที่จะเข้าเส้นใยพร้อมกัน สันนิษฐานได้ว่า ขณะที่ผ้าอยู่ในน้ำย้อม ประจุทั้ง 3 ชนิด คือ ประจุบนเส้นใย ประจุของสารช่วยย้อม และประจุของสารให้สีในแก่นฝาง เกิดการผลักรันเพราะไม่มีการลำดับการเข้าไปอย่างเหมาะสม ทำให้เส้นใยไม่สามารถเกิดพันธะหรือแรงยึดเหนี่ยวกับ ประจุต่างๆ ภายในเวลาเดียวกันได้ สันนิษฐานจากทฤษฎี การย้อมสีสิ่งทอตามที่ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2560) และ Gumel *et al.*, (2011) อธิบายว่า เริ่มต้นที่สี

จะเคลื่อนตัวมายังผิวหน้าของเส้นใย จากนั้นเส้นใยจะดูดซับสีเข้าไปยังผิวหน้าของเส้นใย และสีจะแพร่เข้าไปสู่ภายในเส้นใยเพื่อเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเส้นใยเพื่อเกิดเป็นพันธะในลำดับต่อไป ส่วนวิธีการย้อมหลัง เมื่อสารให้สีไปเกาะติดบนเส้นใยแล้ว ผ้าจะถูกนำไปจุ่มแช่สารช่วยย้อม ซึ่งการกระทำเช่นนี้สามารถส่งผลให้สีถูกสารช่วยย้อมชะล้างและหลุดหายไปได้ ทำให้ K/S ของผ้าหลังการย้อมด้วยวิธีนี้มีค่าต่ำที่สุด ผนวกกับข้อค้นพบที่ว่าเมื่อใช้วิธีการย้อมพร้อมกับสารช่วยย้อมทั้ง 4 ชนิด ไม่ได้ส่งผลให้ค่าความเข้มสีของผ้ามีค่าสูงไปกว่าการใช้เฉพาะน้ำสีสกัดจากแก่นฝาง เพราะเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารช่วยย้อม ค่า K/S ของผ้าที่ย้อมเฉพาะน้ำสีสกัดจากแก่นฝางจะมีค่าเท่ากับ 1.15 ซึ่งสูงกว่าการย้อมด้วยสภาวะอื่น รวมทั้งวิธีการย้อมหลังก็เช่นเดียวกัน ค่าความเข้มสีของผ้าที่ย้อมเฉพาะน้ำสีสกัดจากแก่นฝางก็สูงกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้สารช่วยย้อมในทุกความเข้มข้นของทั้ง 3 วิธีการย้อมด้วย

การใช้น้ำผักส้มป่อย น้ำมะขามเปียก และน้ำปูนใส ในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีสกัดจากแก่นฝาง ที่ 60°C ช่วยส่งเสริมให้ผ้าหลังย้อมมีความคงทนของสีต่อการซักสูงขึ้น จากผ้าย้อมเฉพาะน้ำสีไม่ใช้สารช่วยย้อมจะมีความคงทนระดับปานกลาง เป็นระดับความคงทนสูง และมีค่าสีเปลี่ยนแปลงหลังย้อมเล็กน้อย ซึ่งไม่สอดคล้องกับ Kannathasan and Kokila (2021) ที่เมื่อย้อมผ้าฝ้ายเฉพาะสีสกัดจากแก่นฝาง ที่ 60°C ทำให้ผ้ามีความคงทนต่อการซักระดับต่ำ อีกทั้งเมื่อใช้สารช่วยย้อมสังเคราะห์ชนิดอลูมิเนียมและคอปเปอร์ ผ้าก็ยังคงมีความคงทนต่อการซักระดับต่ำและปานกลาง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ใช้สารช่วยย้อมธรรมชาติ คือ สมอพิเภก (myrobalan) ที่ยังคงทำให้ผ้าที่ได้มีความคงทนระดับต่ำเช่นเคย ทั้งนี้ถึงแม้จะเป็นการเปรียบเทียบการย้อมที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่จะใช้ความเข้มข้นสารช่วยย้อมน้อยกว่าคือใช้ 2% รวมทั้งการสกัดสีจากแก่นฝางจะใช้ 20 กรัมต่อน้ำ 400 มิลลิลิตร ด้วยเวลาสกัด 30 นาที ซึ่งโดยรวมจะน้อยกว่างานวิจัยของเราในครั้งนี้ ถือได้ว่าเป็นเหตุผลที่ทำให้สมบัติความคงทนของสีต่ำกว่านั่นเอง ทั้งนี้ในภาพรวมความคงทนต่อการซักในทุกสภาวะจะอยู่ในระดับดี ระดับการติดเปื้อนทั้งสภาวะเปียกและแห้งคือ 4 และ 4-5 ตามลำดับ โดยเฉพาะการใช้น้ำขี้เถ้าเป็นสารช่วยย้อม มีระดับสูงที่สุดเท่ากับ 4-5 ทุกสภาวะ ซึ่งผลของการทดสอบความคงทนต่อการซักดังกล่าวมีระดับที่สูงกว่างานวิจัยของ Lee and Jang (2019) ที่ทดสอบความคงทนของผ้าย้อมสีสกัดจากแก่นฝางก่อน แล้วจึงนำไปเคลือบเจลาตินเพื่อประสิทธิภาพของผ้าย้อม เสมือนเป็นการนำเจลาตินมาเป็นสารช่วยย้อมด้วยวิธีการย้อมหลัง พบว่าผ้ามีความคงทนต่อการซักในระดับต่ำ-ปานกลาง โดยในสภาวะเปียกจะติดเปื้อนที่ระดับ 1-2 และสภาวะแห้งจะติดเปื้อนที่ระดับ 3-4 รวมไปถึงการทดสอบความคงทนของสี

ต่อการซักก็ยังคงระดับต่ำด้วย ส่วนในด้านความคงทนของสีต่อแสงมีความคงทนระดับต่ำ กล่าวคือผ้าที่ย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติเมื่อนำไปทดสอบกับแสง Xenon arc สีจะซีดจางลงและไม่คงทนต่อแสง ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ Takahashi *et al.* (2016) ที่ได้ย้อมผ้าไหมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางโดยใช้สารช่วยย้อมสังเคราะห์แล้วนำไปทดสอบกับแสงแดด (sunlight) เมื่อเวลาผ่านไป 6 เดือน สีแดง (reddish) บนผืนผ้าจะเปลี่ยนเป็นสีขาว ถึงแม้จะใช้สารช่วยย้อมชนิดสังเคราะห์ก็ตาม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผ้าฝ้ายที่ย้อมในงานวิจัยครั้งนี้โดยภาพรวมมีสมบัติคงทนของสีต่อการซักและการซักดู่ในระดับดี ซึ่งเป็นสมบัติที่เคหะสิ่งทอโดยเฉพาะหมอนอิงควรมี จึงมีความเหมาะสมในการนำผ้าที่ย้อมสำเร็จเหล่านี้ไปพัฒนาเพื่อขึ้นต้นแบบผลิตภัณฑ์

ต้นแบบหมอนอิงจำนวน 5 ใบ ถูกพัฒนาขึ้นจากความหลากหลายด้านสีสันของผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ โดยจะเน้นที่การออกแบบปลอกหมอนอิง (pillow covers) เป็นหลัก เพื่อให้มีลวดลายในรูปแบบที่แตกต่างตามสีที่ได้จากการย้อม สอดคล้องกับความสำคัญของ Babu & Sunderesan (2018) ที่ระบุว่าหมอนใบหนึ่งจะมีความงามแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปลอกหมอน ถ้ามีรูปแบบและลวดลายต่างกัน หรือมีสีสันที่ทันสมัย ก็จะทำให้ห้องที่ตกแต่งมีความสวยงามมากขึ้น รวมทั้งถ้ามีการคำนึงถึงประโยชน์ใช้สอยและความคงทนก็จะส่งเสริมให้หมอนอิงนั้นมีคุณค่ามากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ผืนผ้าที่ย้อมนั้นเป็นชนิดผ้าฝ้ายทอเนื้อแน่น เหมาะกับการนำไปตัดเย็บเป็นปลอกหมอนที่มีความคงทนต่อการใช้งาน เช่น การซัก หรือการขัดถูระหว่างการใช้งาน เนื้อผ้าจะสามารถคงตัวทำให้รักษารูปทรงของผลิตภัณฑ์ได้ดี ยิ่งไปกว่านั้นการพัฒนาต้นแบบได้คัดเลือกผ้าที่มีทั้งสีและความเข้มสีที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งมีความคงทนต่อการซักและการซักดู่ที่ดีด้วย ก็ยังเป็นการการันตีว่าการเลือกผ้าที่นำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการตัดเย็บจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หมอนอิงครั้งนี้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหรือใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ของเคหะสิ่งทออื่นๆ ขึ้นไป ผนวกกับมีการนำเส้นด้ายที่มีสมบัติเหมาะสมต่อการปักด้วยมือบนผ้าฝ้ายมาปักเพื่อตกแต่งสอดคล้องกับเทคนิคในการตัดเย็บปลอกหมอนอิงของ ขจีจิรัส ภิรมย์ธรรมศิริ และวาสนา แสงดี (2530) ที่ว่าผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกชนิดของผ้า เนื้อผ้า สีสันให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ยิ่งถ้าเป็นหมอนอิงจำเป็นอย่างยิ่งที่เนื้อผ้าต้องมีความคงตัว เพราะถูกใช้งานในชีวิตประจำวันอย่างสมบุกสมบัน ถ้ามีการปักตกแต่งหมอนควรเลือกผ้าจากเส้นใยฝ้ายเพราะจะรีดให้รอยพับอยู่ตัวได้ดีกว่าเส้นใยชนิดอื่น

ลวดลายปลอกหมอนถูกออกแบบตามสีและจับคู่สีตามทฤษฎีสี ทั้งคู่สีตรงกันข้าม และคู่สีกลมกลืนกัน

เพื่อสื่อถึงความหลากหลายด้านสีของผ้าฝ้ายหลังย้อม ทั้งยังสื่อให้เห็นถึงแก่นแฝงเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณประโยชน์และสร้างความสวยงามให้กับงานออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เป็นอย่างดี ซึ่งได้นำเทคนิคการต่อผ้าแบบแพทช์เวิร์คมาประยุกต์ใช้ร่วมกันด้วย ทั้งนี้ได้มีความสอดคล้องกับหลักการและคำอธิบายของ เสาวลักษณ์ คงจุจฉาย (2545) และ สีคาเดะ ชิอากิ (2555) ที่ระบุไว้ว่า แพทช์เวิร์คเป็นเทคนิคการต่อผ้าที่ทำให้มีลวดลายแปลกตา ผ่าดูมีมิติที่ต่างไปจากผลิตภัณฑ์เดิม นิยมใช้กับการตัดเย็บเป็นเคหะสิ่งทอ เนื่องจากจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีมูลค่าเพิ่มขึ้นได้ โดยการที่ผ้ามีความหลากหลายด้านสีจึงเหมาะสมกับการนำมาตัดให้เป็นรูปทรงเลขาคณิต แล้วนำมาต่อให้เกิดเป็นลวดลายต่างๆ ที่ทั้งแปลกตาและสวยงาม ทั้งนี้รูปทรงเลขาคณิตของผ้าแต่ละชิ้นที่ทำแพทช์เวิร์คนั้น ได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบเพื่องานศิลปะการต่อผ้าของ เสาวลักษณ์ คงจุจฉาย (2545) โดยให้ชิ้นผ้าเป็นรูปวงกลมอยู่ตรงกลางที่เสมือนเป็นเส้นโค้ง สามารถสื่อได้ถึงความรู้สึกไม่เปลี่ยนแปลงหรือมีความมั่นคง อีกทั้งรายละเอียดด้วยรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมที่ประกอบจากเส้นตรงหลายเส้นมาต่อกัน แสดงถึงความมั่นคงแข็งแรงจากเส้นตรงแนวตั้ง ความเงียบสงบ ผ่อนคลายจากเส้นตรงแนวนอน และไม่สมดุลจากเส้นตรงแนวเฉียง ซึ่งเส้นทั้งหมดมีการผสมผสานกันได้อย่างลงตัว ถ้ามีการใช้เส้นตรงมากกว่าเส้นโค้งจะส่งเสริมให้มีความสะดวกและง่ายต่อการทำงานของผูตัดเย็บ ซึ่งจะมีข้อดีคือได้ตะเข็บที่แข็งแรงทนทาน และมีการใช้เส้นด้ายสีเดียวกันแต่มีความเข้มสีสูงกว่าชิ้นผ้าหลังย้อม มาเนาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของตะเข็บและเสริมให้รูปแบบหมอนอิงสื่อถึงความรู้สึกแข็งแรงและมั่นคงมากยิ่งขึ้น ส่วนในการเลือกสีผ้าสอดคล้องกับหลักการใช้สีของ เสาวลักษณ์ คงจุจฉาย (2545) ประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ 1) แบบสีกลมกลืน ตรงกับหมอนอิงใบที่ 1 และ 2 ซึ่งใช้สีที่อยู่ในวรรณะสีเดียวกัน ส่งผลให้หมอนอิงมีความรู้สึกนุ่มนวล ไม่มีจุดใดที่แตกต่างหรือตัดกันมากเกินไป 2) แบบสีที่เข้ากันได้ดี ตรงกับหมอนอิงใบที่ 4 และ 5 ซึ่งใช้สีวรรณะตรงกันข้าม โดยออกแบบให้สีใดสีหนึ่งโดดเด่นกว่าอีกสีหนึ่ง คิดเป็นสัดส่วนการใช้สีเท่ากับ 70:30 ทั้งนี้สีที่มีปริมาณมากกว่าจะเป็นสีที่โดดเด่นและสีที่มีปริมาณน้อยกว่าจะเป็นตัวเสริม และ 3) แบบใช้สีผิดจากข้อกำหนดตรงกับใบที่ 3 คือเลือกใช้สีที่ทำให้เกิดความแปลกใหม่ โดยทั้งสองสีที่ใช้ถูกใช้ในสัดส่วนเท่ากันและเป็นผู้สีตรงกันข้าม ส่งผลให้เกิดความไม่ธรรมดาและมีความขัดแย้งกัน

นอกจากนี้ได้นำหลักการออกแบบของ ศิริพรณ์ ปีเตอร์ (2560) มาประยุกต์ใช้ด้านแนวคิดการสร้างสรรคผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านวัตถุดิบทั้งสีเขียวและสารช่วยย้อมมาจาก

ธรรมชาติทั้งหมด ซึ่งปัจจุบันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ตลาดสีเขียว (green market) มีความต้องการในระดับค่อนข้างสูง รูปแบบและขนาดของหมอนอิงเป็นแบบมาตรฐานสามารถใช้งานได้ทั่วไป รวมทั้งในอนาคตมีความเป็นไปได้ต่อการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและวัตถุดิบมีแนวโน้มที่จะไม่ขาดแคลน แต่อาจจะต้องมีการพัฒนาปรับปรุงในด้านกระบวนการย้อมที่จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความคงทนของสีต่อแสง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดการออกแบบที่ว่า ผลิตภัณฑ์ในเชิงอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีความงามกายศาสตร์ และประโยชน์ใช้สอย รวมทั้งนำหลักการออกแบบเพื่อคำนึงถึงวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (life cycle) ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้ ได้คำนึงถึงความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ทั้งกระบวนการผลิตมีความปลอดภัยต่อผู้ผลิต ผลิตภัณฑ์ไม่มีสารเคมีเจือปนจึงปลอดภัยต่อผู้บริโภค และเมื่อผลิตภัณฑ์หมดอายุการใช้งาน ส่วนที่เป็นเปลือกหมอนก็สามารถย่อยสลายในดินได้ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ในส่วนไส้หมอนซึ่งใช้ใยพอลิเอสเตอร์ก็สามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ได้ไม่มีวันสิ้นสุด ทั้งนี้ของเสียที่เกิดจากการผลิตสามารถนำกลับมากำจัดได้อย่างปลอดภัย อีกทั้งยังให้ผลเชิงบวกคือเป็นสารอาหารหรือปุ๋ยให้กับดินเพื่อการเจริญเติบโตของพืชต่อไป สอดคล้องกับหลักการเลือกวัตถุดิบแบบ Cradle to Cradle (C2C) ของ McDonough and Braungart (2002) ซึ่งเป็นแนวคิดในการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ให้ความสำคัญตั้งแต่กระบวนการออกแบบ โดยผู้ออกแบบเป็นคนกำหนดและคัดเลือกวัตถุดิบ ได้แก่ สารอาหารทางชีวภาพ ที่เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติ และสารอาหารทางเทคนิค ที่เป็นวัตถุดิบสังเคราะห์ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ใหม่ไม่มีวันสิ้นสุด ทั้งนี้ต้นแบบผลิตภัณฑ์หมอนอิงทั้ง 5 รูปแบบนี้ เกิดจากกระบวนการ แนวคิด การออกแบบและพัฒนาที่ส่งผลทำให้กลุ่มผู้บริโภคมีความพึงพอใจระดับมาก

การพัฒนาผลิตภัณฑ์งานวิจัยสอดคล้องกับ รจนา ชื่นศิริกุลชัย และ เรืองชัย ชื่นศิริกุลชัย (2559) ที่ได้พัฒนาเคหะสิ่งทอจากการนำเอาพืชธรรมชาติมาย้อมสีและนำไปขึ้นต้นแบบผลิตภัณฑ์และมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่กลุ่มเป้าหมายเหมือนกัน แต่ต่างกันเพราะมีการนำต้นแบบไปจัดแสดงในงานสินค้าที่มีชาวต่างชาติให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบอย่างยั่งยืน มีการออกแบบผลิตภัณฑ์หลายประเภทที่เข้ากันได้ดีทั้งเล่นนอกเหนือจากหมอนอิง และใช้แนวคิดเศรษฐกิจสร้างสรรค์ในการออกแบบและพัฒนา อีกทั้งงานวิจัยที่ดำเนินงานสอดคล้องกันด้านการถ่ายทอดผลการวิจัยลงชุมชนคือ ใจภักดี บูรพเจตนา (2559) ที่ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ของที่ระลึกบ้านหาดเสี้ยว จังหวัดสุโขทัย แต่ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนามีหลายรูปแบบ อาทิ หมอนอิง กระเป๋า กล่องผ้าเอนกประสงค์ ที่ผู้บริโภคมีความพึงพอใจ

โดยรวมเท่ากับ 4.79 ซึ่งสูงกว่างานวิจัยครั้งนี้ ทั้งนี้เป็นเพราะความหลากหลายด้านประเภทของผลิตภัณฑ์ที่มีมากกว่า ทำให้กลุ่มเป้าหมายมีทางเลือกที่หลากหลาย ยิ่งไปกว่านั้นพบว่า หมอนอิงเป็นผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มเป้าหมายมีความนิยมสูงเป็นอันดับหนึ่ง ก็ยิ่งสนับสนุนว่า หมอนอิงเป็นผลิตภัณฑ์ที่กลุ่มผู้บริโภคยังคงมีความนิยมชมชอบอย่างต่อเนื่อง โดยความเด่นชัดและความสอดคล้องกันกับงานวิจัยครั้งนี้ คือ การนำต้นแบบไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านสิ่งทอประเมินที่พบว่า ควรต้องมีการปรับลดลายให้สบายตาไม่เน้นการมากเกินไป และเส้นใยธรรมชาติที่เหมาะสมคือ ฝ้าย และเส้นใยสังเคราะห์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์คือ ฝ้ายไหมชาตินที่มีความเงามัน และดูหรูหรา ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอเหมาะสมกับรูปแบบที่เรียบง่ายและดูหรูหรา มากกว่าการใช้สีสันทันตึงฉูดฉาด หรือลวดลายที่ทำให้เกิดความสับสน เช่น การมีลวดลายหลายขนาด หลายรูปแบบ เป็นต้น ส่วนในด้านช่วงอายุของกลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ที่ตอบแบบสอบถามของงานวิจัยครั้งนี้ มีความสอดคล้อง สอดคล้องกับแบบดี (2558) ที่ระบุว่า ช่วงอายุ 31-35 ปี มีการซื้อผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอเพื่อเป็นของฝากหรือของที่ระลึก โดยมีความชอบส่วนตัวเป็นแรงจูงใจในการตัดสินใจซื้อ รวมทั้งตัดสินใจซื้อหมอนอิงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น รวมไปถึงงานวิจัยของ ทวีศักดิ์ สาสงเคราะห์ และคณะ (2557) ที่สอดคล้องกันในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอตกแต่งห้องนั่งเล่นจากเศษผ้าเหลือทิ้ง แล้วนำไปถ่ายทอดเทคนิคสู่ชุมชน แต่ต่างกันตรงที่มีการใช้เครื่องยิงพรอม (hand tufted) ซึ่งเป็นเครื่องมือเฉพาะเข้ามาช่วยให้เกิดลวดลายบนผลิตภัณฑ์

ข้อเสนอแนะ

สีผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติซึ่งสามารถนำวิธีการย้อมไปต่อยอดเพื่อย้อมกับเส้นด้ายชนิดอื่น เช่น ไหม ลินิน กล้วย ใยกล้วย หรือพืชที่ให้เส้นใยชนิดอื่นๆ เช่น กก ผักตบชวา และกระจูด เป็นต้น เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับชนิดของผ้าและวัตถุที่ย้อมจากสีธรรมชาติ สำหรับสร้างสรรคเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่มีแนวคิดเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นการส่งเสริมด้านการขาย

พัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากการประยุกต์ใช้ผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีสกัดจากแก่นฝางและสารช่วยย้อมธรรมชาติ นำไปต่อยอดออกแบบและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอในรูปแบบอื่นๆ ที่มีการจับคู่สีตรงกันข้ามในวรรณะสีเพื่อส่งเสริมให้รูปแบบของผลิตภัณฑ์นั้นดูแปลกตามากยิ่งขึ้นและมีความหลากหลายสีสันทันมากกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องในการวิจัยนี้ทุกท่าน และมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนทุนวิจัยจากกองทุนวิจัย ปีงบประมาณ 2562

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2560). *ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้การย้อมสีทอด้วยสีธรรมชาติ (Textile Dyeing with Natural Dyes)*. <http://siweb1.dss.go.th/repack/fulltext/IR%2041.pdf>
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2556). *คู่มือแนวทางการจัดการสีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสีทอ*. http://www.diw.go.th/hawk/job/1_8.pdf
- ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ และ วาสนา แสงดี. (2530). *เทคนิคการตัดเย็บและหมอนประดิษฐ์*. ยูเน็ตต์ทีบีคส์.
- ใจภักดี บุรพเจตนา. (2559). การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทของที่ระลึก ของชุมชนบ้านหาดเสี้ยว จังหวัดสุโขทัย. *วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร*, 7(1), 146-159.
- เฉลิมพร ทองพูน, เมทินี ทวีผล, และธีรพันธ์ มาจันทร์. (2558). การย้อมสีตัดย้อมฝ้ายโดยใช้สีธรรมชาติจากเปลือกต้นกระท้อน. ใน *ปียวรรณ ศุภวิฑิตพัฒนา (บ.ก.), สองทศวรรษราชภัฏพิบูลสงคราม จากท้องถิ่นสู่อาเซียน. การประชุมวิชาการระดับชาติ พิบูลสงครามวิจัย ประจำปี 2558 (น.193-198)*. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- ทวีศักดิ์ สาสงเคราะห์, กิตติศักดิ์ อริยะเครือ, จำลอง และ ชลธิชา สาริกานนท์. (2557). *การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากเศษผ้าเหลือใช้ด้วยเทคนิคการใช้เครื่องยิงพรอม (Hand Tufted) สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านเคียนงาม จังหวัดนครนายก*. กรุงเทพมหานคร.
- ภัทรา ศรีสุโข ฌักัด แสงจันทร์ ฌนกฤต ใจสุดา และกรชนก บุญทร. (2562). การศึกษาสีธรรมชาติจากพันธุ์พืชป่าชายเลน ตำบลป้อ อำเภอลำปาง จังหวัดจันทบุรี โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 13(1), 64-73.
- มาลี ตั้งสถิตย์กุลชัย, เสาวนีย์ รัตนพานี, วิจิตร รัตนพานี, และสายสุนีย์ เหลี้ยวเรืองรัตน์. (2550). *การสกัดและการเกิดสารเชิงซ้อนของสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝาง*. นครราชสีมา.

- รจนา ชื่นศิริกุลชัย และเรืองชัย ชื่นศิริกุลชัย. (2559). ผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอสีธรรมชาติจากว่านยาอุเณะสู่ตลาดญี่ปุ่น. *วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยนเรศวร ครั้งที่ 12 ประจำปี พ.ศ. 2559* (หน้า 2074-2085). กองการวิจัยและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วิชาญ วันโพหนอง. (2548). การย้อมสีด้วยสีธรรมชาติ. *วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ*, 53(168), 35-37.
- ศิริพรรณ ปีเตอร์. (2550). *มนุษย์และการออกแบบ (Human and Design)*. โอเดียนสโตร์.
- สุดากาญจน์ แยมดี. (2558). การพัฒนาผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอจากผ้าไหมมัดหมี่บาติก: กรณีศึกษา ลวดลายศิลปะขอมจากปราสาทศีขรภูมิ. *วารสารวิชาการและวิจัยวิจัย มทร. พระนคร*, 9(1), 71-79.
- ลีดาเตะ ซือากิ. (2555). *แพตช์เวิร์คและควิลต์ Patchwork for Beginning* (นิชยา ศิริธร, ผู้แปล). บ้านและสวน อมรินทร์แอนด์พับลิชชิง.
- เสาวลักษณ์ คงกาญจนาย. (2545). *ศิลปะการต่อผ้า*. โอเดียนสโตร์.
- Babu, V. R., & Sundaresan, S. (2018). *Home furnishing*. <https://www.textilebook.com/2019/04/home-furnishing-ramesh-babu-and .html>
- Chareonsuk, P., Mamaka, N., Kulwongwit, N., Wiriya-Amornchai, A. & Bunroek, P. (2021). The study of environmental stabilization for natural color dyed of eggshell powder filled in polylactic acid bio-composites. *Materials Today: Proceedings*, 47, 3570-3576.
- Gumel, S. M., Ibrahim, B. M., & Galadima, A. (2011). Kinetic of dyeing cotton fabric with some dye extracts from plants. *International Journal of Chemistry and Application*, 3, 123-129.
- Hattori, K. (2018). *The many faces of Sappan wood extract: Just add more (or less) dye + iron*. <https://botanicalcolors.com/the-many-faces-of-sappanwood-extract-just-add-more-or-less-dye-iron/#comment-119340>
- Kannathasan, K., & Kokila, P. (2021). Dyeing of cotton fabric by Caesalpinia sappan aqueous extract at different temperatures and mordants. *Current Botany*, 12, 188-191.
- Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Scientific Research*, 4(1), 22-26.
- Khatun, S., Azim, A., Mishuk, A. I., Reza, S., Shafinaz, L. & Pervin, M. (2014). Prospects of home textiles in Bangladesh: A review. *IJTEEE*, 2(9), 6-9.
- Lee, Y. J., & Jang, D. J. (2019). Improving the dyeability of cotton fabric with Caesalpinia sappan through pretreatment with gelatin. *Fashion & Text. Res. J*, 21(4), 509-514.
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Remaking the way we make things cradle to cradle*. North Point Press.
- Nathan, V.K., Rani, M.E. (2021). Natural dye from Caesalpinia sappan L. heartwood for eco-friendly coloring of recycled paper based packing material and its in silico toxicity analysis. *Environ Sci Pollut Res*, 28, 28713-28719.
- Ohama, P., & Tumpat, N. (2014). Tetile dyeing with natural dye from Sappan tree (Caesalpinia sappan Linn.) extract. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Materials and Textile Engineering*, 8, 432-434.
- Prabhu, K. H., & Bhute, A. S. (2012). Plant based natural dyes and mordants: A review. *Scholars Research Library*, 2(6), 649-664.
- Parmar, S., & Malik, T. (2020). *Home textiles - A review*. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1769/home-textiles-a-review>
- Takahashi, T., Tsurunaga, Y., Aso, Y., & Yoshino, K. (2016). Color fastness of suppanwood dye silk and insights into the clothing life of Heian period. *J. Fiber Sci. Technol*, 72(10), 206-219.
- Tidswell, E. (2020). *Dyeing for colour: Toxic dyes in the textile industry*. <https://goodmakertales.com/toxic-dyes-in-textile-industry/>
- Vankar, P. S. (2000). Chemistry of natural dyes. *Resonance*, 5(10), 73-80.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร **Browallia New**

3.1 ชื่อเรื่องให้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักให้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองให้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ให้อักษรขนาด 12 pt. ตัวบาง และใส่ Corresponding author

4. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.scjmsu.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ชื่อผู้พิมพ์ [Author (s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงบรรณของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.scjmsu.msu.ac.th

เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). *ชื่อเรื่อง* (พิมพ์ครั้งที่). สำนักพิมพ์.

ตัวอย่าง:

วิธาน ฐานะวุฑฒิ. (2547). *หัวใจใหม่-ชีวิตใหม่*. ปิติศึกษา.

2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

ชื่อ-สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร, เลขของปีที่ (เลขของฉบับที่), เลขหน้า. /<https://doi.org/เลขdoi>

ตัวอย่าง:

มานะ สิ้นฐานษานนท์. (2549). ปัจจัยส่งเสริมการจัดการศึกษาที่ส่งผลต่อคุณภาพนักเรียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารครุศาสตร์*, 18 (2), 115-116.

3. รายงานการประชุมเชิงวิชาการ (Proceeding)

ชื่อ-สกุล. (ปี). ชื่อบทความ. ใน/ชื่อบรรณานุกรม (บ.ก.), ชื่อหัวข้อการประชุม. ชื่อการประชุม (น. เลขหน้า). ฐานข้อมูล.

ตัวอย่าง:

พัชราภา ตันติชูเวช. (2553). การศึกษาทั่วไปกับคุณลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ในประเทศมาเลเซีย และสิงคโปร์ ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับประเทศไทย. ใน ศิริชัย กาญจนวาสี (บ.ก.), *การขับเคลื่อนคุณภาพการศึกษาไทย. การประชุมวิชาการและเผยแพร่ ผลงานวิจัยระดับชาติ* (น. 97-102). คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

4. หนังสือพิมพ์และหนังสือพิมพ์ออนไลน์

ชื่อสกุล. (ปี, /วัน/เดือน). ชื่อคอลัมน์. ชื่อหนังสือพิมพ์, เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

พงษ์พรรณ บุญเลิศ. (2561, 15 สิงหาคม). เติลนิวีส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวีส์*, 4.

5. หนังสือ (ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์)

ชื่อ สกุล. (ปีพิมพ์). ชื่อเรื่อง (พิมพ์ครั้งที่). URL

ตัวอย่าง:

กระทรวงศึกษาธิการ. (2560). *หลักสูตรการศึกษาปฐมวัย พุทธศักราช 2560 สำหรับเด็กอายุ ต่ำกว่า 3-5 ปี*. http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73hVYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are **Accepted** from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be **Revised** as appropriate to the standard. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December).

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

3. Browallia New font is required with font size as follows:

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name (s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission: online submission via www.scjmsu.msu.ac.th.

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name (s) of the author (s) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings. The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation

Results: Present the output. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred in APA.

Reference are written in “Publication Manual of the American Psychological Association” (7th Edition)

1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4th ed.). SAGE.

2. Academic Journal

Herbst-Damm, K.L., & Kulik, J.A. (2005). Volunteer support, marital status, and the survival times of terminally ill patients. *Health Psychology*, 24, 225-229. <https://doi.org/10.1037/0278-6133.24.2.225>

3. Conference Proceeding

Katz, I., Gabayan, K., & Aghajan, H. (2007). A multi-touch surface using multiple cameras. In J. Blanc-Talon, W. Philips, D. Popescu, & P. Scheunders (Eds.), *Lecture notes in computer science: Vol. 4678. Advanced concepts for intelligent vision systems* (pp. 97-108). Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-540-74607-2_9

4. Newspaper / Online Newspaper

Brody, J.E. (2007, December 11). Mental reserves keep brain agile. *The New York Times*. <http://www.nytimes.com>

5. E-book

Dahlberg, G., & Moss, P. (2005). *Ethics and politics in early childhood education*. <https://epdf.tips/ethics-and-politics-in-early-childhoodeducation-contesting-early-childhood.html>

Aim and Scope:

The Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

Maharakham University
Editorial Office
Division of Research Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,
Maha Sarakham Province 44150
Tel & Fax: 0 4375 4416 ext. 1754

Advisors

President of Maharakham University
Professor Dr.Visut Baimai
Professor Dr.Vichai Boonsaeng
Professor Dr.Peerasak Srinives

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramual
Maharakham University
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University
Associate Professor Dr.Orawich Goompol
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Wongsa Laohasiriwong
Khon Kaen University
Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul
Khon Kaen University

Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong
National Institute of Development Administration
Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Chawalit Boonpok
Maharakham University
Associate Professor Terdsak Khammeng
Nakhon Phanom University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana
Ubon Ratchathani Rajabhat University
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena
Naresuan University
Assistant Professor Dr.Walaiporn Tongjaroenbuengam
Maharakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian Roderick Plant
Maharakham University

Secretary

Director of the Division of Research Facilitation and Dissemination

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

Number 1 January-February
Number 2 March-April
Number 3 May-June
Number 4 July-August
Number 5 September-October
Number 6 November-December

วารสาร

วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 42 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2566

ISSN (Print) : 2985-2617
ISSN (Online) : 2985-2625

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
INDEXED IN



ออกแบบภาพจาก : รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล แสนสุข
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม