

วารสาร

# วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยี

## มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ปีที่ 40 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2564

JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
MAHASARAKHAM UNIVERSITY  
INDEXED IN TCI ( Tier 2 )

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

DOAJ  
DIRECTORY OF  
OPEN ACCESS  
JOURNALS

EBSCOhost

## 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 ศิริอมพรพรณ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิขำ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเป็รื่อง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ ดร.วงศา เล้าหศิริวงษ์  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณ บุญยะสิทธิ์พรณ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนงแก้ว  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชัญญ์ ภูมิพล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพ็ชรชนะ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลย์พร ทองเจริญบัวงาม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.ณัฐพล ภูมิพันธ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อาจารย์ เกียรติกร ดร.รักษจินดา วัฒนาลัย  
มหาวิทยาลัยสยาม  
Mr.Adrian R. Plant  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

## เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์รุ่ง

## ผู้ช่วยเลขานุการ

พัทธวีไล 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

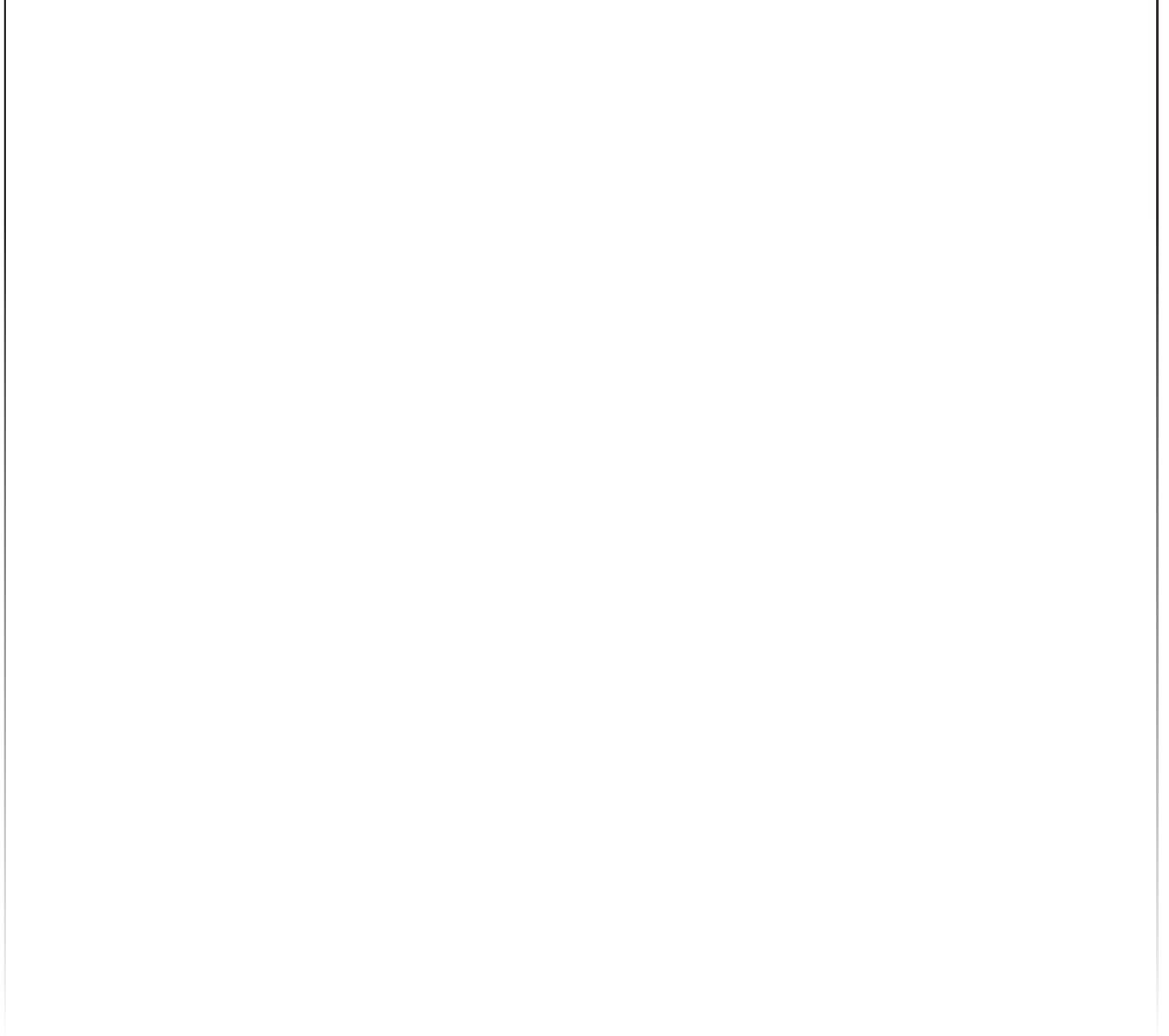
บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยเนื้อหาเน้นในศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยบางส่วนที่เกี่ยวกับด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นการนำเสนอองค์ความรู้ใหม่ๆ จากงานวิจัย ที่ได้นำมารวบรวมและจัดพิมพ์เผยแพร่อย่างต่อเนื่องจากฉบับก่อนๆ เพื่อให้บัณฑิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป ใช้ประกอบการศึกษาและเติมเต็มองค์ความรู้ใหม่ๆ สามารถนำไปใช้เป็นต้นแบบหรือแนวคิดสำหรับการพัฒนาต่อยอดถึงขั้นเป็นนวัตกรรมที่สามารถสร้างตลาดใหม่ๆและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ได้ในอนาคต โดยเฉพาะการศึกษา วิจัย ปรับปรุงและพัฒนาพืชและสัตว์เศรษฐกิจต่างๆ ที่สามารถช่วยแก้ไขปัญหาได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ในการช่วยฟื้นฟูประเทศหลังจากที่ได้รับผลกระทบจากวิกฤติโรคระบาดเชื้อไวรัสโคโรนา-19 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากมีโจทย์วิจัยใหม่ๆ อีกมากที่ยังคงต้องอาศัยนักวิจัยในการหาแก้ปัญหาและนำคำตอบหรือความรู้ไปแก้ปัญหาให้กับประเทศอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืน ซึ่งทางกองบรรณาธิการวารสารขอเป็นกำลังใจให้ทุกท่าน ให้สามารถผ่านวิกฤตินี้ไปด้วยกัน หวังว่านักวิจัยและผู้สนใจจะใช้โอกาสในการพลิกวิกฤตินี้ให้เป็นโอกาสและสามารถผลิตผลงานวิจัยใหม่ๆ ได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับกระบวนการพิจารณาคัดเลือกบทนิพนธ์เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารฯ ยังมีความเข้มข้นและใช้เกณฑ์ในการพิจารณาตัดสินโดยยึดคุณภาพของงานเป็นหลัก กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฯ ฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอเชิญชวนทุกท่าน ส่งผลงานวิจัยหรือบทความทางวิชาการมาลงตีพิมพ์ในวารสารฯ มา ณ โอกาสนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน

กองบรรณาธิการ



## สารบัญ

### Biological Science

ฤทธิ์ทางชีวภาพ ปริมาณฟีนอลิกรวม และรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีของกะเม็งตัวเมีย  
กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลี้ยง 341

**Biological activities, total phenolic compound and TLC fingerprint of *Eclipta prostrata* (L.)**

**L., *Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski and *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski**

นิศารัตน์ สังคะรัมย์, บรรลือ สังข์ทอง, รุจิลักษณ์ รัตตะรัมย์

Nisarath Sangkaram, Bunleo Sangthog, Ruchilak Rattarm

สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตบีต้า-กลูแคนในดอกเห็ดนางฟ้า 352

**Suitable conditions for production of beta-glucan in oyster mushroom fruiting body**

ธนภัทร อินยอด, ธนภัทร เต็มอารมณ, ชาตรี กอนี, สุริมา ญาติโสม,

สุจิตรา บัวลอย, ปิยะดา เอี่ยมประสงค์

Tanapak Inyod, Thanapat Termarom, Chatree Konee, Surima Yatsom,

Suchitra Bualoi, Piyada Eamprasong

ผลของอาหารที่ต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของปลาไหลนา 364

**Effects of different food on physical property changes of ponds and the growth of eels**

นิชภา เฉตระการ, นันทิญา มณีโชติ, ชูจิต สาระภาค, อารีย์ ไกรสุรย์

Nichapa Chetrakran, Nuntiya Maneechot, Choojit Sarapak, Aree Kraisoorn

### Engineering

การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลในเจ็ตพุ่งชนโดยใช้ของไหล  
นาโนไททาเนียมออกไซด์ 373

**Numerical simulation of heat transfer and fluid flow in a confined jet impingement using  
water-TiO<sub>2</sub> nanofluid**

คมกฤษณ์ ชัยโย

Khomgris Chaiyo

การออกแบบระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมแรงดันต่อความถี่  
สำหรับเครื่องสีฟัดข้าวแบบดั้งเดิม 384

**Design of an induction motor speed control system using V/f control method for  
a traditional paddy cleaning machine**

องอาจ ทับบุรี, กันยารัตน์ เอกเอี่ยม

Ong-art Tubburee, Kanyarat Ek-iam



# ฤทธิ์ทางชีวภาพ ปริมาณฟีนอลิกรวม และรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีของกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย

## Biological activities, total phenolic compound and TLC fingerprint of *Eclipta prostrata* (L.) L., *Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski and *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski

นิสราตน์ สังคะรัมย์<sup>1</sup>, บรรลือ สังข์ทอง<sup>2</sup>, รุจิลักษณ์ รัตตะรัมย์<sup>2\*</sup>

Nisarath Sangkaram<sup>1</sup>, Bunleo Sangthog<sup>2</sup>, Ruchilak Rattarm<sup>2\*</sup>

Received: 9 June 2021 ; Revised: 2 July 2021 ; Accepted: 11 August 2021

### บทคัดย่อ

กะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย เป็นพืชในวงศ์ Asteraceae ด้วยลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกัน อาจเกิดความเข้าใจผิด นำไปสู่การใช้สมุนไพรไม่ถูกต้องได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพของสารสกัดน้ำและ ethanol ของพืชทั้งสาม ได้แก่ ฤทธิ์ต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* และ Methicillin-resistant *S. aureus* (MRSA) ด้วยวิธี broth dilution method ฤทธิ์ต้านการอักเสบด้วยวิธียับยั้งการสร้าง nitric oxide ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu และรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีด้วยวิธี TLC ผลการศึกษาพบว่าสารสกัดของพืชทั้งสามมีฤทธิ์ต้านเชื้อค่อนข้างต่ำ สารสกัด ethanol ยับยั้งการสร้าง nitric oxide ดีกว่าสารสกัดน้ำและยามาตรฐาน diclofenac อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยกระดุมทองเลื้อยมีฤทธิ์ดีที่สุด มีค่า  $IC_{50}$   $33.43 \pm 4.76$  ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร สารสกัด ethanol กะเม็งตัวผู้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกรวมมากกว่าสารสกัดอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีค่า  $IC_{50}$   $43.48 \pm 1.00$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และปริมาณฟีนอลิกรวม  $55.46 \pm 7.18$  มิลลิกรัม GAE ต่อสารสกัด 1 กรัม พืชทั้ง 3 ชนิดมีรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย มีความแตกต่างกันทั้งฤทธิ์ทางชีวภาพและเอกลักษณ์ทางเคมี

**คำสำคัญ:** กะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ กระดุมทองเลื้อย ฤทธิ์ทางชีวภาพ ปริมาณฟีนอลิกรวม รอยพิมพ์โครมาโตกราฟี

### Abstract

*Eclipta prostrata* (L.) L., *Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski and *S. trilobata* (L.) Pruski are the member of Asteraceae family. Similar characteristics may be misleading and misused. This study aimed to compare biological activities of ethanolic and water extracts of these plants. Antibacterial activity was assessed using broth dilution method for MIC and MBC determination, anti-inflammatory activity using lipopolysaccharide-induced nitric oxide production in RAW 264.7 macrophage cells, antioxidant activity using DPPH radical scavenging assay, total phenolic contents using Folin-Ciocalteu reagent and chemical constituents were investigated by TLC their fingerprint. All the tested extracts exhibited low antibacterial effects against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and MRSA. The ethanolic extracts showed significantly stronger inhibition on nitric oxide production than did water extracts and the standard anti-inflammatory medicine, diclofenac. Among them, *S. trilobata* had greatest inhibitory activity with  $IC_{50}$   $33.43 \pm 4.76$   $\mu$ g/ml. The ethanolic extracts of *S. calendulacea* showed the highest antioxidant activity and phenolic content with  $IC_{50}$  of  $43.48 \pm 1.00$   $\mu$ g/ml and  $55.46 \pm 7.18$  mg GAE/g crude extract, respectively. TLC fingerprint of the ethanolic extracts of these three

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, หน่วยวิจัยเภสัชเคมีและผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Master degree student, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province 44150

<sup>2</sup> Assistant Professor, Pharmaceutical Chemistry and Natural Products Research Unit, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province 44150

\* Corresponding author: Ruchilak Rattarom, Faculty of Pharmacy, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province 44150, rujiluk.r@msu.ac.th

plants were identified. In conclusion, *W. chinensis*, *S. calendulacea* and *S. trilobata* are different as assessed by both their biological activities and their chemical identification by TLC.

**Keywords:** *Eclipta prostrata* (L.) L., *Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski, *S. trilobata* (L.) Pruski, biological activities, total phenolic contents, TLC fingerprint

## บทนำ

กะเม็งเป็นพืชสมุนไพรที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ทางยา ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางมี 2 ชนิด คือกะเม็งตัวเมีย (*Eclipta prostrata* (L.) L.) และกะเม็งตัวผู้ (*Sphagneticola calendulacea* (L.) Pruski) ทั้งสองเป็นพืชวงศ์ Asteraceae แยกความแตกต่างของพืชทั้งสองได้ โดยกะเม็งตัวเมียมีกลีบดอกสีขาว ส่วนกะเม็งตัวผู้มีกลีบดอกสีเหลือง อย่างไรก็ตามเมื่อสืบค้นข้อมูลทั้งจากหนังสืออ้างอิง และจากเว็บไซต์ต่างๆ ด้วยชื่อกะเม็งตัวผู้ มักจะพบการแสดงภาพของพืชอีกชนิดคือ กระดุมทองเลื้อย (*S. trilobata* (L.) Pruski) วงศ์ Asteraceae เนื่องจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันมาก โดยรูปวิธานจาก Flora of China ระบุความแตกต่างของพืชทั้ง 2 ชนิดนี้ที่รอยหยักขอบใบ คือ กะเม็งตัวผู้มีขอบใบจักกรฟันเลื่อยถี่เล็กน้อย (sparsely serrulate) ส่วนกระดุมทองเลื้อยมีขอบใบเว้าเป็น 3 พู (usually 3-lobed) (eFloras, 2008) พืชทั้งสามมีการใช้ประโยชน์ทางการแพทย์พื้นบ้านในประเทศไทย จีน อินเดีย ได้หวัน อินโดนีเซีย อเมริกากลางและอเมริกาใต้ เพื่อรักษาโรคผิวหนัง รักษาแผล รักษาการติดเชื้อ ลดการปวดและอาการบวม (Jahan, *et al.*, 2014 ; Jaisin, 2016 ; Manohar, *et al.*, 2017 ; Shamama, *et al.*, 2017) ในการแพทย์แผนไทย กะเม็งตัวเมียทั้งต้นมีสรรพคุณขับลมให้กระจาย แก้โลหิตอันกระทำให้อ่อน (Prapaspong, *et al.*, 1999) ส่วนกะเม็งตัวผู้มีสรรพคุณแก้ไอ แก้อาเจียนเป็นโลหิต บำรุงโลหิต บำรุงร่างกาย แก้ปวดศีรษะ แก้โรคผิวหนัง แก้ผม่วรง แก้กระเพาะอักเสบ ตำผสมข้าวพอกแก้บวม (Temwiset, *et al.*, 2012) ปัจจุบันในบัญชียาหลักแห่งชาติ มีการใช้กะเม็งตัวเมียในตำรับยาผสมเพชรสังฆาตสูตรที่ 2 เพื่อบรรเทาอาการริดสีดวงทวารหนัก (National Drug System Development Committee, 2013) และผสมในตำรับยาสมุนไพรครีมกะเม็งเพื่อใช้ในการรักษาแผลเรื้อรังในโรงพยาบาลคูเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ แต่ไม่พบการใช้กะเม็งตัวผู้หรือกระดุมทองเลื้อยทางยา งานวิจัยก่อนหน้านี้ รายงานผลการสอบถามร้านขายเครื่องยาสมุนไพรทั่วประเทศ จำนวน 25 ร้าน พบว่ามีกะเม็งตัวเมียจำหน่ายทุกร้าน แต่ไม่พบการจำหน่ายกะเม็งตัวผู้ (Sriwisase, *et al.*, 2017) จากชื่อไทยและลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่คล้ายคลึงกันของ กะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย รวมถึงข้อมูลการศึกษาเบื้องต้นที่มีแนวโน้มว่าไม่สามารถพบกะเม็งตัวผู้ได้ทั่วไป ประกอบกับการเผยแพร่ข้อมูลรูปภาพกระดุมทองเลื้อย

ในชื่อกะเม็งตัวผู้ อาจทำให้เกิดความเข้าใจผิดโดยนำกระดุมทองเลื้อยมาใช้แทนกะเม็งตัวผู้ นำไปสู่การใช้สมุนไพรไม่ถูกต้อง ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการใช้สมุนไพรได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ฤทธิ์การต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ศึกษาปริมาณฟีนอลิกรวม และศึกษา รอยพิมพ์โครมาโตกราฟีของกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย ซึ่งเป็นฤทธิ์ที่สอดคล้องกับการใช้ในทางการแพทย์พื้นบ้าน เปรียบเทียบระหว่างการสกัดด้วยน้ำและ ethanol ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการเตรียมยาตามวิธีทางการแพทย์แผนไทยทั้งยาใช้ภายในและภายนอก เช่น ยาต้ม ยาดอง ยาฝน เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลในการพิสูจน์ความแตกต่างระหว่างพืชทั้ง 3 ชนิด ที่จะนำไปสู่การใช้สมุนไพรทั้ง 3 ชนิดอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพต่อไป

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

### สมุนไพรและสารเคมีที่ใช้

เก็บตัวอย่างส่วนเหนือดินของพืชทั้ง 3 (authentic) กะเม็งตัวเมียเก็บจากหมู่บ้านชิตชล อ.เมือง จ.มหาสารคาม กะเม็งตัวผู้ได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากอุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม และกระดุมทองเลื้อยเก็บจากบริเวณมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตรวจสอบยืนยันชนิดโดย ผศ.ดร.รุจิลักษณ์ รัตตะระมย์ อาจารย์ประจำคณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยการเปรียบเทียบรูปวิธานกับ Flora of China และข้อมูลจากเว็บไซต์อุทยานธรรมชาติวิทยาสิรีรุกขชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล นำพืชมาล้างด้วยน้ำสะอาด อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ลดขนาดด้วยการบดหยาบ ก่อนนำไปสกัด เนื่องจากตัวอย่างกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้สดมีจำนวนน้อย ไม่เพียงพอที่จะทดสอบฤทธิ์ต่างๆ ได้ จึงนำไปสกัดด้วย ethanol เพื่อเป็นตัวอย่างอ้างอิง (authentic) ในการเปรียบเทียบรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีเท่านั้น

จัดซื้อเครื่องยากะเม็งตัวเมียจากร้านเวชพงศ์ไอศอด แขวงจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ กรุงเทพมหานคร ชื่อเครื่องยากะเม็งตัวผู้ ภายใต้ชื่อภาษาจีนว่า “peng qi ju” (eFloras, 2008) จากร้านขายสมุนไพรเถียนเก็งซำงซีหลิวหลี เมืองเซี่ยเหเหมิน มณฑลฝูเจี้ยน ประเทศจีน นำเครื่องยาสมุนไพร



ทั้ง 2 ชนิดให้นายหอม หะทัยทาระ หมอพื้นบ้านจาก อ.เมือง จ.บุรีรัมย์ตรวจสอบชนิดของพืชอีกครั้ง จากนั้นนำพืชมาล้างด้วยน้ำสะอาด อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง ลดขนาดด้วยการบดหยาบ ก่อนนำไปสกัด

สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ dimethyl sulfoxide (DMSO) (PanReac Applichem, USA), ceftriaxone (Monotax<sup>®</sup>), dulbecco's modified eagle medium (DMEM) (Gibco, USA), lipopolysaccharide (LPS) (Sigma-Aldrich, USA), griess reagent (Promega, USA), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, USA), ascorbic acid (Sigma-Aldrich, Germany), gallic acid (Sigma-Aldrich, USA), Folin-Ciocalteu phenol reagent (Loba chemic, Mumbai), diclofenac (Sigma-Aldrich, Germany), apigenin (Sigma-Aldrich, Germany)

#### การเตรียมสารสกัดพืชสมุนไพร

เตรียมสารสกัดน้ำ โดยการต้ม ชั่งน้ำหนักพืช 50 กรัม เติมน้ำ 500 มิลลิลิตร ต้มโดยเริ่มจับเวลาเมื่อน้ำเดือดจนครบ 15 นาที กรองและนำไปทำแห้งด้วยเครื่อง Lyophilization เตรียมสารสกัด ethanol โดยการสกัดด้วย soxhlet apparatus ชั่งน้ำหนักพืช 50 กรัม สกัดด้วย 95% ethanol เป็นเวลา 6 ชั่วโมง กรองและระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศแบบหมุน จากนั้นนำไประเหยแห้งต่อบนอ่างน้ำร้อน หาค่าร้อยละปริมาณสารสกัด (% yield) เก็บสารสกัดที่ -20 องศาเซลเซียส ละลายสารสกัดน้ำด้วยน้ำและสารสกัด ethanol ด้วย DMSO ให้ได้ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เพื่อนำไปทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณฟีนอลิกรวม

การทดสอบหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถยับยั้งเชื้อ (Minimum inhibitory concentration, MIC) และความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย (Minimum Bactericidal Concentration, MBC) ดัดแปลงจาก Uthairung *et al.* (2020)

เชื้อแบคทีเรียจากห้องปฏิบัติการจุลชีววิทยา คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้แก่ *S. aureus* สายพันธุ์ DMST 8440 *P. aeruginosa* สายพันธุ์ ATCC 27853 และ MRSA สายพันธุ์ DMST 20645 เตรียมเชื้อให้มีความเข้มข้นเท่ากับ McFarland Standard No. 0.5 เตรียมสารสกัดน้ำ และ ethanol ของพืชที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ 60% DMSO ใน tween 80 เป็นตัวทำละลาย นำมาเจือจางด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อให้มีความเข้มข้นลดลงแบบสองเท่า ลำดับส่วน โดยมีความเข้มข้นสุดท้าย 200, 100, 50, 25, 12.5, 6.25, 3.125 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ เติมน้ำที่เตรียมไว้ลงในทุกหลอด หลอดละ 1 มิลลิลิตร โดย positive control ประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตรผสมกับเชื้อ

แบคทีเรีย negative control ประกอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 1 มิลลิลิตร ไซยาปฏิวินะ ceftriaxone ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นตัวเปรียบเทียบ ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง สังเกตหลอดสุดท้ายที่ไม่มีการเจริญของแบคทีเรียหรือไม่มี ความขุ่น บันทึกผลการทดลองเป็นค่า MIC นำหลอดที่ไม่มีการเจริญเติบโตของเชื้อจากการหาค่า MIC ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ไป spread ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ Mueller-Hinton agar บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ความเข้มข้นน้อยที่สุดของสารสกัดที่สามารถฆ่าเชื้อได้ คือไม่มี โคโลนีของเชือบนจานเพาะเลี้ยง บันทึกผลการทดลองเป็นค่า MBC ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

#### การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบโดยใช้วิธียับยั้งการสร้าง nitric oxide (NO) ดัดแปลงจาก (Makchuchit, *et al.* 2017)

เพาะเลี้ยงเซลล์ RAW 264.7 ใน 96-well plate จำนวน  $2 \times 10^5$  cells/well ในอาหารเลี้ยงเซลล์ DMEM ที่ประกอบด้วย 10% fetal bovine serum และ 1% penicillin และ 1% streptomycin บ่มในตู้บ่ม 5% CO<sub>2</sub> อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูดอาหารเลี้ยงเซลล์เดิมออก เติมน้ำ LPS ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรใน DMEM ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดลอง ส่วนหลุมควบคุม เติมน้ำ DMEM ปริมาตร 100 ไมโครลิตร จากนั้นเติมน้ำและ ethanol ของกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเหลือง ที่ความเข้มข้น 2-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรใน DMEM ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดลองและหลุมควบคุม โดยมี 2% DMSO ใน DMEM เป็น solvent control และยา diclofenac เป็น positive control บ่มในตู้บ่ม 5% CO<sub>2</sub> อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดูดของเหลวเหนือตะกอนแต่ละหลุม 50 ไมโครลิตร ใส่ใน 96-well plate ใหม่ เติมน้ำ Griess reagent (Promega<sup>®</sup>) โดยเติมน้ำ sulfanilamide solution 50 ไมโครลิตร บ่มในที่มืด 10 นาที จากนั้นเติมน้ำ NED solution 50 ไมโครลิตร บ่มในที่มืด 10 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ จากนั้นทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดต่อเซลล์ด้วยวิธี MTT assay โดยเติมน้ำละลาย MTT 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน phosphate buffer saline ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ใน 96-well plate เติมน้ำที่ มีเซลล์ RAW 264.7 อยู่ บ่มในตู้บ่ม 5% CO<sub>2</sub> อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดูดของเหลวเหนือตะกอนออก เติมน้ำ 0.04 M HCl ใน isopropanol ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เพื่อละลายผลึก MTT-formazan จากเซลล์ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 570 นาโนเมตร หากเซลล์รอดชีวิตน้อยกว่าร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับ solvent control แสดงว่าสารสกัดมีความเป็นพิษต่อเซลล์ คำนวณค่าร้อยละการยับยั้งการสร้าง NO (%)

inhibition) และค่า  $IC_{50}$  โดยใช้โปรแกรม Graph Pad Prism 9.0

#### การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ตัดแปลงจาก Uthairung *et al.* (2020)

เตรียมสารสกัดน้ำและ ethanol ของกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลี้ยงใน DMSO และสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิกในน้ำ ให้ได้ความเข้มข้น 1-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เติมสารแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงใน 96 well-plates เติม 0.15 mM DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) ใน ethanol ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในหลุมทดลอง ผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร คำนวณค่าร้อยละการต้านอนุมูลอิสระ (%inhibition) และค่า  $IC_{50}$  โดยใช้โปรแกรม Graph Pad Prism 9.0 ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

#### การหาปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay ตัดแปลงจาก Zhang *et al.* (2006)

เตรียมสารละลายมาตรฐาน gallic acid ที่ความเข้มข้น 25-200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ใน ethanol สารสกัดน้ำและ ethanol ของกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลี้ยง ความเข้มข้น 5,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เติมสารละลายแต่ละความเข้มข้น ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ลงใน 96-well plate เติมสารละลาย  $Na_2CO_3$  ปริมาตร 80 ไมโครลิตร เติม Folin-Ciocalteu phenol reagent ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน บ่ม 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 760 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิก เทียบกับกราฟมาตรฐาน gallic acid แสดงผลเป็นค่า มิลลิกรัม gallic acid สมมูลกับน้ำหนักสารสกัด 1 กรัม (mg GAE/g crude extract) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ

#### การศึกษารอยพิมพ์โครมาโตกราฟีด้วยวิธี Thin Layer Chromatography (TLC)

นำสารสกัดชั้น ethanol ของพืชทั้ง 3 ชนิด และสารมาตรฐาน apigenin ละลายด้วย methanol ให้ได้ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โหลดสารแต่ละชนิดปริมาณ 10 ไมโครลิตรลงบนแผ่น TLC silica gel 60 F<sub>254</sub> ขนาด 6x10 เซนติเมตร โดยใช้เครื่อง Linomat 5 นำแผ่น TLC ใส่ในแทงค์ที่บรรจุตัวทำละลายที่ต่างกัน 3 ระบบ ได้แก่ chloroform: hexane: 95% ethanol (6: 3: 1), petroleum ether: chloroform: methanol (2: 7.5: 0.5) และ chloroform: benzene: 95% ethanol: methanol (5: 3: 1.5: 0.5) ปริมาตร 50 มิลลิตร จากนั้นนำแผ่น TLC ไปส่องภายใต้ UV cabinet ที่ความยาวคลื่น 254 และ 366 นาโนเมตร บันทึกภาพนำไปสเปรย์ด้วย anisaldehyde/ $H_2SO_4$  บันทึกภาพ รายงานผลเป็นค่า  $R_f$

#### สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

แสดงผลการทดลองด้วยค่าเฉลี่ย  $\pm$  ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mean  $\pm$  SD) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มด้วยสถิติพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล one-way analysis of variance (ANOVA) และถ้าหากข้อมูลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จะใช้ Scheffe post-hoc test เพื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม

#### ผลการทดลอง

การเก็บตัวอย่างพืชในงานวิจัยครั้งนี้ ได้ตัวอย่างกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้ที่เป็น authentic ปริมาณน้อยไม่เพียงพอสำหรับการสกัดเพื่อทดสอบฤทธิ์ต่างๆ จึงสกัด authentic ด้วย ethanol เพื่อใช้เปรียบเทียบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิค TLC เท่านั้น ส่วนสารสกัดน้ำและ ethanol ของกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้ที่ใช้ในการศึกษาฤทธิ์ต่างๆ ใช้สมุนไพรที่จัดซื้อจากร้านจำหน่ายเครื่องยาสมุนไพรในการเตรียมสารสกัด กระดุมทองเลี้ยงใช้พืช authentic ในการสกัดเพื่อศึกษาฤทธิ์ต่างๆ รวมถึงการเปรียบเทียบเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิค TLC ผลการสกัดกะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลี้ยงได้ปริมาณสารสกัดน้ำคิดเป็นร้อยละ 7.21, 6.49 และ 8.38 ตามลำดับ สารสกัด ethanol คิดเป็นร้อยละ 1.44, 2.01 และ 0.77 ตามลำดับ ภาพสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด แสดงใน Figure 1



Figure 1 Whole plant and flowers of *E. prostrata*, *S. calendulacea* and *S. trilobata*

การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus*, *P. aeruginosa* และ MRSA พบว่าทั้งสารสกัดน้ำและสารสกัด ethanol ของพืชทั้งสาม มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียค่อนข้างต่ำ โดยสารสกัดน้ำของกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้มีฤทธิ์ต้านเชื้อ

*S. aureus* และ *P. aeruginosa* ดีที่สุด ค่า MIC 12.5 และ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ฤทธิ์ต่อเชื้อ MRSA พบว่า สารสกัดส่วนใหญ่มีฤทธิ์ต้านเชื้อ MRSA แต่มีเพียงสารสกัดน้ำของกะเม็งตัวเมียที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อดังกล่าว (Table 1)

**Table 1** Minimum inhibitory Concentration (MIC) and minimum bactericidal concentration (MBC) of purchased *E. prostrata*, purchased *S. calendulacea* and authentic *S. trilobata* extracts against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and MRSA (mg/mL) (n = 3)

Samples	Plant	<i>S. aureus</i>		<i>P. aeruginosa</i>		MRSA	
		MIC	MBC	MIC	MBC	MIC	MBC
Water	<i>E. prostrata</i>	12.5	25	50	>100	50	>100
	<i>S. calendulacea</i>	12.5	25	50	>100	50	>100
	<i>S. trilobata</i>	50	50	100	100	>100	>100
95% ethanol	<i>E. prostrata</i>	25	25	50	>100	100	100
	<i>S. calendulacea</i>	25	25	50	>100	100	>100
	<i>S. trilobata</i>	25	50	50	100	50	>100
	Ceftriaxone	-	10	-	10	-	10

การทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบด้วยวิธียับยั้งการสร้าง NO พบว่าสารสกัด ethanol ของพืชทั้ง 3 มีฤทธิ์ต้านการอักเสบดีกว่าสารสกัดน้ำและยา diclofenac ซึ่งเป็น positive control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยกระดุมทองเหลืองมีฤทธิ์ดีที่สุด มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $33.43 \pm 4.76$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดีกว่ากะเม็งตัวผู้และกะเม็งตัวเมียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสารสกัดชั้นน้ำของพืชทั้ง 3 ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้าง NO ได้น้อยกว่าร้อยละ 50 และการทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดต่อเซลล์ RAW 264.7 ด้วยวิธี MTT พบว่าสารสกัดน้ำและสารสกัด ethanol ของพืชทั้ง 3 ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรไม่แสดงความเป็นพิษต่อเซลล์ โดยมีเซลล์รอดชีวิตมากกว่าร้อยละ 90 (Table 2)

การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่า สารสกัด ethanol ของกะเม็งตัวผู้มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ดีที่สุด ค่า  $IC_{50}$

เท่ากับ  $43.48 \pm 1.00$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ดีกว่าสารสกัดน้ำที่มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $91.55 \pm 1.07$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ยังคงต่ำกว่า ascorbic acid ซึ่งเป็น positive control มีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $3.68 \pm 0.21$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร (20.89 มิลลิโมล) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนสารสกัดกะเม็งตัวเมียและกระดุมทองเหลืองที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระต่ำ มีค่าการต้านอนุมูลอิสระ DPPH น้อยกว่าร้อยละ 50 (Table 2)

การหาปริมาณฟีนอลิกรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu assay พบว่าสารสกัด ethanol ของพืชแต่ละชนิดมีปริมาณฟีนอลิกรวมมากกว่าสารสกัดน้ำ สารสกัดทั้งสองของกะเม็งตัวผู้ มีปริมาณฟีนอลิกรวมมากกว่าสารสกัดของพืชอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสารสกัด ethanol มีปริมาณฟีนอลิกรวมมากกว่าสารสกัดน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่า  $55.46 \pm 7.18$  และ  $39.58 \pm 3.74$  มิลลิกรัม GAE ต่อสารสกัด 1 กรัม ตามลำดับ (Table 2)

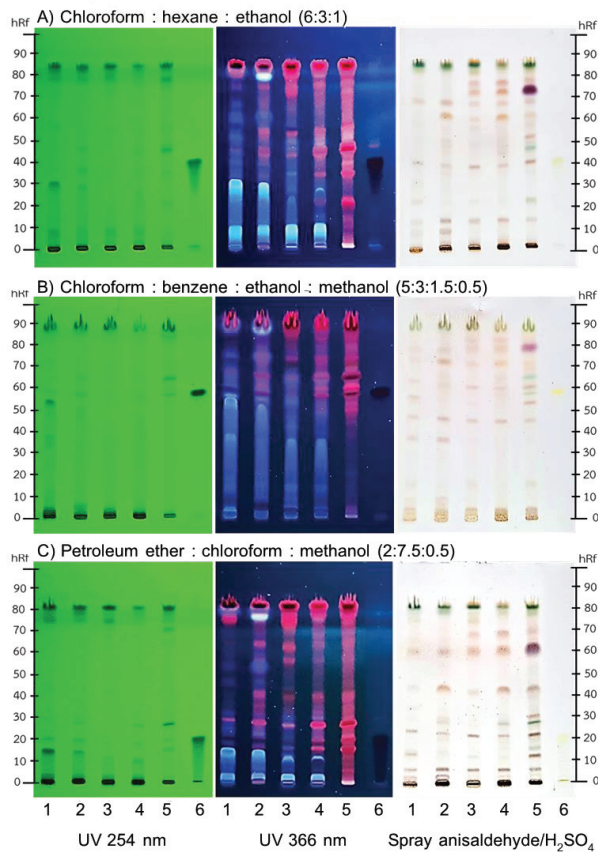
**Table 2** Inhibition of LPS-induced NO production from RAW 264.7 cells and % cell viability in MTT assay, Inhibition of DPPH radical scavenging and total phenolic contents of purchased *E. prostrata*, purchased *S. calendulacea* and authentic *S. trilobata* extracts (n = 3)

Samples	Plants	Inhibition of NO production		MTT assay	Inhibition of DPPH radical scavenging		Total phenolic contents
		% inhibition (100 µg/mL)	IC <sub>50</sub> (µg/mL) [mM]	% cell viability (100 µg/mL)	% inhibition (100 µg/mL)	IC <sub>50</sub> (µg/mL) [mM]	(mg GAE/g crude extract)
Water	<i>E. prostrata</i>	9.76±0.45	>100	97.99±1.74	27.41±1.50	>100	22.22±0.72 <sup>d</sup>
	<i>S. calendulacea</i>	<b>39.95±1.47</b>	<b>&gt;100</b>	<b>96.11±0.30</b>	<b>51.97±0.53</b>	<b>91.55±1.07<sup>c</sup></b>	39.58±3.74 <sup>b</sup>
	<i>S. trilobata</i>	5.44±0.80	>100	98.25±4.55	20.45±1.46	>100	12.88±2.58 <sup>d</sup>
95% ethanol	<i>E. prostrata</i>	75.66±2.66	62.21±2.04 <sup>c</sup>	96.41±1.56	36.31±1.74	>100	25.63±2.34 <sup>c</sup>
	<i>S. calendulacea</i>	<b>79.83±0.65</b>	<b>56.64±1.82<sup>c</sup></b>	<b>99.71±1.07</b>	<b>86.14±0.29</b>	<b>43.48±1.0<sup>0</sup>b</b>	55.46±7.18 <sup>a</sup>
	<i>S. trilobata</i>	98.23±1.45	33.43±4.76 <sup>b</sup>	97.16±1.18	17.07±0.84	>100	15.62±2.51 <sup>d</sup>
Diclofenac		66.79±0.97	70.82 ±2.26 <sup>a</sup> [239.14 mM]	103.03±2.91	-	-	-
Ascorbic acid		-	-	-	-	3.68±0.21 <sup>a</sup> [20.89 mM]	-

Values are expressed as mean ± SD (n = 3), IC<sub>50</sub> of Inhibition of NO production, inhibition of DPPH radical scavenging and total phenolic contents analysis were performed with One-way ANOVA follow by Scheffe Post Hoc multiple comparison test, the different alphabets (<sup>a,b,c,d</sup>) indicate statistical significant (*p*<0.05), when IC<sub>50</sub>>100 µg/mL not included.

การศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยวิธี TLC วิเคราะห์ผลที่ความยาวคลื่น 254 nm, 366 nm และ spray anisaldehyde/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> พบว่าพืชทั้ง 3 ชนิด มีรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีที่แตกต่างกัน (Figure 2) โดยกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้ที่จัดซื้อจากร้านขายเครื่องยาสมุนไพรมีลักษณะแถบสาร

รอยพิมพ์โครมาโตกราฟีตรงกับสมุนไพร authentic แตกต่างกันเพื่อความเข้มของแถบสาร ที่แสดงถึงปริมาณสารที่แตกต่างกัน ระบบตัวทำละลายที่แยกพืชทั้ง 3 ชนิดออกจากกันได้ชัดเจนที่สุดคือ chloroform: hexane: ethanol (6:3:1) โดยมีแถบสารที่แตกต่างกันอย่างน้อย 1 จุด



**Figure 2** TLC fingerprint analysis in three different solvent systems A) chloroform: hexane: ethanol (6:3:1), B) chloroform: benzene: ethanol: methanol (5:3:1.5:0.5) and C) petroleum ether: chloroform: methanol (2:7.5:0.5) and identify by UV 254 nm, UV 366 nm and spray anisaldehyde/ $H_2SO_4$ . The samples are the following: 1 = purchased *E. prostrata*, 2 = authentic *E. prostrata*, 3 = purchased *S. calendulacea*, 4 = authentic *S. calendulacea*, 5 = authentic *S. trilobata*, 6 = apigenin.

## สรุปและวิจารณ์

การศึกษาครั้งนี้ สามารถสรุปได้ว่ากะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย มีความแตกต่างกันทั้งเอกลักษณ์ทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพ โดยฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่ากะเม็งตัวเมีย กะเม็งตัวผู้ และกระดุมทองเลื้อย มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์อย่างกว้างขวาง (Karthikumar *et al.*, 2007 ; Nithin *et al.*, 2018 ; Balekar, *et al.*, 2012) และยังเป็นรายงานการศึกษาฤทธิ์ต้านเชื้อ MRSA ของกะเม็งตัวเมียเป็นครั้งแรก มีรายงานการแยกและทดสอบสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียจากกะเม็งตัวเมีย ได้แก่ eclalbasaponin เป็นสารกลุ่ม terpenoid glycosides ที่ออกฤทธิ์โดยการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อ มีฤทธิ์ต้านเชื้อ *P. aeruginosa* ได้ดี (Ray *et al.*, 2013) และสาร wedelolactone เป็นสาร

กลุ่ม coumestans มีฤทธิ์ต้านเชื้อ *S. aureus* (Dalal & Kataria, 2010). ซึ่ง wedelolactone พบได้ในพืชทั้ง 3 ชนิด (Le, *et al.*, 2021 ; Sureshkumar, *et al.*, 2011) จึงอาจเป็นสารบ่งชี้ (marker) ชนิดหนึ่งที่ทำให้พืชทั้ง 3 แสดงฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย นอกจากนี้รายงานการศึกษาของ Rahman & Rashid (2018) ที่แยกส่วนสารสกัด methanol ของกะเม็งตัวเมียนำมาทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่า fraction ที่มีขั้วสูงจะมีฤทธิ์ต้านเชื้อ *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ได้ดีกว่า fraction ที่มีขั้วน้อยกว่า ซึ่งกะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้พบสารกลุ่ม coumestans ที่เป็นสารมีขั้วอีกหลายชนิด จึงอาจช่วยเสริมฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียในพืชทั้ง 2 ได้ ผลการศึกษาสอดคล้องกับการใช้พืชทั้ง 3 ชนิดในการแพทย์พื้นบ้านเพื่อรักษาบาดแผลและโรคผิวหนัง รวมถึงประเทศไทยที่มีการนำกะเม็งตัวเมียมาพัฒนาเป็นตำรับยาสมุนไพรกะเม็งเพื่อใช้ในการรักษาแผลเรื้อรังในโรงพยาบาลในจังหวัดบุรีรัมย์ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกะเม็งตัวเมียในการพัฒนาเป็นยาสมุนไพรที่ใช้รักษาแผลที่มีการติดเชื้อ โดยเฉพาะในผู้ป่วยเบาหวานที่มักเกิดแผลที่เท้าและเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ง่าย โดยมีรายงานว่า การติดเชื้อที่เท้าของผู้ป่วยเบาหวานในทุกๆ ระดับความรุนแรง มักพบการติดเชื้อ *S. aureus* ร่วมด้วยบ่อยที่สุด และมีแนวโน้มที่จะมี MRSA มากขึ้นเรื่อยๆ (Stapanavatr & Karnjanabatr, 2010) แม้ว่าค่า MBC ในการศึกษาครั้งนี้จะค่อนข้างสูง แต่อาจเพิ่มประสิทธิภาพของสารสกัดกะเม็งตัวเมียได้โดยการพัฒนาวิธีการสกัด การพัฒนาระบบนำส่งยาทางผิวหนัง หรือการใช้สมุนไพรกะเม็งตัวเมียร่วมกับสมุนไพรอื่น ๆ ที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อ MRSA เช่น น้ำมันอบเชย (Caichompoo *et al.*, 2020) ขมิ้นชัน (Supannapan, *et al.*, 2010)

ผลการศึกษาฤทธิ์ต้านการอักเสบเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการใช้พืชทั้งสามในการแพทย์พื้นบ้านเพื่อรักษาแผลและลดอาการบวม (Jaisin, 2016 ; Manohar *et al.*, 2017 ; Balekar *et al.*, 2014) และสอดคล้องกับงานวิจัยฤทธิ์ต้านการอักเสบทั้งในหลอดทดลองและในสัตว์ทดลอง (Arunachalam *et al.*, 2009 ; Sureshkumar *et al.*, 2010 ; Govindappa *et al.*, 2011) สารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบของกะเม็งตัวเมีย เช่น orobol, wedelolactone, apigenin, luteolin, hesperetin-7-O- $\beta$ -D-glucoside, quercetin-3-O- $\beta$ -D-glucoside, (Le *et al.*, 2021), Echinocystic acid (Ryu *et al.*, 2013) เป็นต้น ส่วนกะเม็งตัวผู้พบว่ามีเพียง wedelolactone ที่มีรายงานฤทธิ์ต้านการอักเสบ (Yuan *et al.*, 2013) กระดุมทองเลื้อยมีรายงานสารออกฤทธิ์ ได้แก่ 5,7,4'-trihydroxyflavone, 3-O- $[\beta$ -D-glucopyranosyl (1-4)- $\beta$ -D-glucuronopyranosyl] oleanolic acid 28-O- $\beta$ -D-glucopyranosyl ester (Thao *et al.*, 2019) และ (3 $\alpha$ )-3-(tiglinoyloxy)-ent-kaur-16-en-19-oic acid (Xu *et al.*, 2021) จากรายงานจะเห็นว่า มีสาร

ออกฤทธิ์ที่พบเหมือนกันในพืชทั้งสามชนิด ได้แก่ luteolin, apigenin และ wedelolactone ดังนั้นฤทธิ์ยับยั้งการสร้าง NO ของพืชทั้งสาม จึงน่าจะมาจากการออกฤทธิ์ร่วมกันของสารหลายชนิด โดยเฉพาะกระดุมทองเลื้อยที่มีฤทธิ์ยับยั้งการสร้าง NO ที่โดดเด่นกว่าพืชอีก 2 ชนิด แสดงให้เห็นว่าน่าจะยังมีสารสำคัญอื่นๆ ที่ร่วมออกฤทธิ์ในการต้านการอักเสบที่ควรศึกษาวิจัยเพิ่มเติม การที่พืชทั้ง 3 ชนิดแสดงฤทธิ์ยับยั้งการสร้าง NO ได้ดีกว่ายา diclofenac ซึ่งเป็นยาในกลุ่ม nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) อาจเนื่องมาจากการหลั่ง NO เป็นเพียงกลไกหนึ่งในกระบวนการอักเสบ ยังมีกลไกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบ อาทิเช่น การหลั่งสาร cytokine ต่างๆ ดังนั้นการสรุปว่าสารสกัดพืชใดมีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่ดีหรือไม่ จำเป็นต้องใช้วิธีการทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบที่หลากหลายเพื่อยืนยันผลต่อไป เช่น ฤทธิ์ยับยั้งสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบ ได้แก่ prostaglandin E<sub>2</sub> (PGE<sub>2</sub>), tumor necrosis factor-alpha (TNF- $\alpha$ ) และ interleukin (IL-1 $\beta$ , IL-6 และ IL-10) เป็นต้น รวมถึงการทดสอบฤทธิ์ต้านการอักเสบในสัตว์ทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนในการพัฒนาสมุนไพรทั้ง 3 ชนิดไปใช้เพื่อรักษาหรือบรรเทาอาการที่มีสาเหตุมาจากกระบวนการอักเสบต่อไป

ผลการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ที่รายงานว่าการสกัดน้ำของกะเม็งตัวเมียและกระดุมทองเลื้อย มีฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระได้น้อย (Karthikumar *et al.*, 2007 ; Govindappa *et al.*, 2011) ในขณะที่กะเม็งตัวผู้ที่สกัดด้วย methanol มีฤทธิ์ดี (Bari *et al.*, 2021) แม้จะยังไม่เคยมีรายงานการวิจัยที่เปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัด ethanol และน้ำในพืชทั้งสามมาก่อน แต่ผลการศึกษาค้นนี้ก็สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวทำละลายออร์แกนิกในการสกัดน่าจะให้ได้สารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าการสกัดด้วยน้ำ เช่นเดียวกับงานวิจัยในพืชอื่นๆ ที่รายงานว่าการสกัด ethanol มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีกว่าการสกัดน้ำ (Dhanani *et al.*, 2017 ; Sepahpour *et al.*, 2018) เนื่องจากสารกลุ่มโพลีฟีนอลซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วน้อยกว่าน้ำ ได้ดีกว่าในน้ำ (Sepahpour *et al.*, 2018) สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกรวมในการศึกษานี้ ที่พบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ระบุว่าสารสกัดที่มี total polyphenolic สูงจะมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงเช่นกันโดยมีความสัมพันธ์เป็นกราฟเส้นตรง (Aryal *et al.*, 2019)

เทคนิค TLC ให้รอยพิมพ์โครมาโตกราฟีที่สามารถแยกพืชทั้ง 3 ชนิดออกจากกันได้ โดยแถบสารของสารสกัด authentic กะเม็งตัวเมียและกะเม็งตัวผู้ แตกต่างจากเครื่อง

ยาที่ซื้อจากร้านจำหน่ายเครื่องยาสมุนไพรเล็กน้อย อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของสารบางชนิดที่เกิดจากการเก็บรักษาเครื่องยาไว้ หรือเกิดจากความแตกต่างของแหล่งที่มาของวัตถุดิบพืชทั้ง 2 ที่ทำให้มีองค์ประกอบของสารบางชนิดแตกต่างกันได้ อย่างไรก็ตามรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีของพืชทั้ง 3 ชนิด ปรากฏแถบสารที่มีสีและค่า R<sub>F</sub> ตรงกันหลายจุด ซึ่งอาจหมายถึงการมีสารชนิดเดียวกันเนื่องจากพืชทั้ง 3 อยู่ในวงศ์ Asteraceae เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะกะเม็งตัวผู้และกระดุมทองเลื้อย ที่แถบสารหลัง spray anisaldehyde/ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> มีสีและค่า R<sub>F</sub> ตรงกันเกือบทุกจุด เนื่องจากพืชทั้ง 2 อยู่ในสกุลเดียวกัน คือ สกุล *Sphagneticola* และมีความใกล้ชิดทางอนุกรมวิธานมาก จึงเป็นไปได้ว่านอกจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่มีความใกล้เคียงกันมากแล้ว องค์ประกอบสารเคมีในพืชทั้ง 2 ก็น่าจะใกล้เคียงกันมาก โดยสารที่พบมากในพืชทั้ง 3 ชนิดเป็นสารกลุ่ม terpenoids และ flavonoids (Han *et al.*, 2015 ; Sureshkumar *et al.*, 2011) การใช้ spray anisaldehyde/ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> สามารถตรวจสอบสารกลุ่ม terpenes และ steroids โดย monoterpenes ให้สีฟ้า triterpenes ให้สีม่วง และ steroids ให้สีเทา (Gerlach *et al.*, 2018) ดังนั้นแถบสารสีชมพู-ม่วงที่มีความโดดเด่นในพืชทั้ง 3 โดยเฉพาะในกระดุมทองเลื้อย จึงน่าจะเป็นสารกลุ่ม triterpenes ซึ่งควรมีการแยกสารบริสุทธิ์และพิสูจน์ทราบชนิดต่อไป การศึกษาค้นนี้ใช้ apigenin ซึ่งเป็นสารกลุ่ม flavonoids เป็นสารมาตรฐานในการเปรียบเทียบ เนื่องจากพบได้ในพืชทั้ง 3 ชนิด (Balekar *et al.*, 2012 ; Han *et al.*, 2015 ; Lin *et al.*, 2007) แต่ผลจาก TLC ไม่สามารถระบุแถบสารที่ตรงกับสารมาตรฐาน apigenin อาจเนื่องมาจากมีสารปริมาณน้อยจนไม่ปรากฏเป็นแถบสารที่ชัดเจน หรืออาจเกิดจากมีสารอื่นที่มีค่า R<sub>F</sub> ใกล้เคียงกัน และบดบังแถบสาร apigenin หากต้องการระบุสารบ่งชี้ (marker) apigenin อาจใช้ spray reagent ที่มีความจำเพาะต่อสารกลุ่ม flavonoids เช่น aluminium chloride, antimony (III) chloride เป็นต้น (Ghosh *et al.*, 1987) หรือใช้เทคนิคที่มีความจำเพาะต่อการแยกสารมากขึ้น เช่น เทคนิค HPLC เพื่อ peak สารจะถูกแยกด้วยความละเอียดที่สูงขึ้น และพื้นที่ใต้ peak สามารถบอกถึงปริมาณของสารได้ นอกจากนี้ อาจมีการใช้สารมาตรฐาน apigenin, luteolin หรือ wedelolactone ซึ่งพบในพืชทั้ง 3 ชนิดในการศึกษาเปรียบเทียบฤทธิ์ทางชีวภาพและรอยพิมพ์โครมาโตกราฟีเพิ่มเติมต่อไปในอนาคต

ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด สรุปได้ว่า กะเม็งตัวเมียมีความโดดเด่นเรื่องการต้านเชื้อโดยเฉพาะ MRSA และต้านการอักเสบ เหมาะสมต่อการใช้ในปัจจุบันที่ผสมในผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับโรคผิวหนัง กะเม็งตัวผู้มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณสารฟีนอลิกรวมสูง

มีงานวิจัยที่แสดงฤทธิ์ที่หลากหลายสามารถพัฒนาต่อยอด เป็นเป็นผลิตภัณฑ์ได้ ที่สำคัญคือการขยายพันธุ์เนื่องจาก ไม่สามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติและไม่มีจำหน่ายในร้านขายสมุนไพรในประเทศไทย เช่นเดียวกับกระดุมทองเลื้อย ที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบที่โดดเด่น และมีรายงานฤทธิ์อื่นๆ หลายรายงาน จึงเหมาะจะศึกษาและต่อยอดการพัฒนาเป็น ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นพืชที่พบได้ทั่วไป ปลูกและขยายพันธุ์ ได้ง่าย อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากะเม็งตัว ผู้และกระดุมทองเลื้อยมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้น หากเกิดความเข้าใจผิดจากลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่ใกล้เคียงกันและการเผยแพร่ข้อมูลรูปภาพกระดุมทองเลื้อยใน สื่อกะเม็งตัวผู้ในสื่อต่างๆ อย่างไม่ถูกต้อง และเกิดการนำพืช มาใช้ไม่ถูกต้อง ก็อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการใช้สมุนไพร ทั้ง 2 ต้นได้

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ สำหรับนิสิตบัณฑิตยศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของคณะเภสัชศาสตร์ ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### เอกสารอ้างอิง

Arunachalam, G., Subramanian, N., Pazhani, G.P. and Ravichadran, V. (2009). Anti-inflammatory activity of methanolic extract of *Eclipta prostrata* L. (Asteraceae). *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 3 (3), 97-100.

Aryal, S., Baniya, M.K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R. and Koirala, N. (2019). Total phenolic content, flavonoid content and antioxidant potential of wild vegetables from western Nepal. *Plants (Basel)*, 8 (4), 96.

Balekar, N., Nakpheng, T., Katkam, N.G. and Srichana, T. (2012). Wound healing activity of entkaura-9 (11), 16-dien-19-oic acid isolated from *Wedelia trilobata* (L.) leaves. *Phytomedicine*, 19 (13), 1178-1184.

Balekar, N., Nakpheng, T., Katkam, N.G. and Srichana, T. (2014). *Wedelia trilobata* L.: A phytochemical and pharmacological review. *Chiang Mai Journal of Science*, 41 (3), 590-605.

Caichompoo, W., Uamnuch, P., Sangsawee, K. and Lertsatitthanakorn, P. (2020). Development of beads containing anti-methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* essential oils. *Journal of Science and Technology*, 1 (1), 24-34.

Dalal, S. & Kataria, S.A. (2010). Phytochemical screening of ethanolic extract and antibacterial activity of *Eclipta prostrata*. *Asian Journal of Chemistry*, 22 (9), 7336-7342.

Dhanani, T., Shah, S., Gajbhiye, N.A. and Kumar, S. (2017). Effect of extraction methods on yield, phytochemical constituents and antioxidant activity of *Withania somnifera*. *Arabian Journal of Chemistry*, 10 (1), S1193-S1199.

eFloras. (2008). *Flora of China*. [http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora\\_id=2&taxon\\_id=130944](http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=130944)

Gerlach, A.L., Gadea, A., Silveira, R.M., Clerc, P. and Devehat, F.L. (2018). *The Use of anisaldehyde sulfuric acid as an alternative spray reagent in TLC analysis reveals three classes of compounds in the genus Usnea Adans. (Parmeliaceae, lichenized Ascomycota)*. doi: 10.20944/preprints201802.0151.v1

Ghosh, P., Sil, P. and Thakur, S. (1987). Spray reagent for the detection of coumarins and flavonoids on thin-layer plates. *Journal of Chromatography A*, 403, 285-287.

Govindappa, M., Naga, S.S., Poojashri, M.N., Sadananda, T.S. and Chandrappa, C.P. (2011). Antimicrobial, antioxidant and *in vivo* anti-inflammatory activity of ethanol extract and active phytochemical screening of *Wedelia trilobata* (L.) *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 3, 43-51.

Han, L., Liu, E., Kojo A., Zhao, J., Li, W., Zhang, Y., Wang, T., and Gao, X. (2015). Qualitative and quantitative analysis of *Eclipta prostrata* L. by LC/MS. *The Scientific World Journal*. doi.org/10.1155/2015/980890

Jahan, R., Al-Nahain, A., Majumder, S. and Rahmatullah, M. (2014). Ethnopharmacological significance of *Eclipta alba* (L.) Hassk. (Asteraceae), *International Scholarly Research Notices*. Doi: 10.1155/2014/385969

Jaisin, Y. (2016). Ka-meng— A Review. *Thai Journal of Pharmacology*, 38 (2), 30-47. (In Thai)

Karthikumar, S., Vigneswari, K. and Jegatheesan, K. (2007). Screening of antibacterial and antioxidant activities of leaves of *Eclipta prostrata* (L.). *Scientific Research and Essays*. 2 (4), 101-104.

- Le, D.D., Nguyen, D.H., Ma, E.S., Lee, J.H., Min, B.S., Choi, J.S. and Woo, M.H. (2021). PTP1B inhibitory and anti-inflammatory properties of constituents from *Eclipta prostrata* L. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*, 44 (3), 298-304.
- Lin, F.M., Chen, L.R., Lin, E.H., Ke, F.C., Chen, H.Y., Tsai, M.J. and Hsiao, P.W. (2007). Compounds from *Wedelia chinensis* synergistically suppress androgen activity and growth in prostate cancer cells. *Carcinogenesis*, 28 (12), 2521-2529.
- Makchuchit, S., Rattarom, R. and Itharat, A. (2017). The anti-allergic and anti-inflammatory effects of Benjakul extract (a Thai traditional medicine), its constituent plants and its some pure constituents using in vitro experiments. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 89, 1018–1026.
- Manohar, R.N, Padmaja, V., Kumar, P.S.S., Selvin, C.D.S. and Ancy, P. (2017). Comparing the pharmacological activities of *Sphagneticola calendulaceae* and *Sphagneticola trilobata* an over view. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6 (11), 457-467.
- National Drug System Development Committee. (2013). *National list of essential medicines (List of herbal medicine products)*. [https://data.go.th/dataset/0b502303-cf3e-4f0d-94d8-be84d741043b/resource/370aa664-3e9f-4015-8061-ff9f7080e95b/download/herbal\\_book\\_56.pdf](https://data.go.th/dataset/0b502303-cf3e-4f0d-94d8-be84d741043b/resource/370aa664-3e9f-4015-8061-ff9f7080e95b/download/herbal_book_56.pdf)
- Nithin, R., Padmaja, V., Shaji, S., Shiji, S. and Ancy, P. (2018). Comparative study on antimicrobial activity of *Wedelia chinensis* and *Wedelia calendulaceae*. *International Research Journal of Pharmacy and Medical Sciences*, 1 (3), 49-51.
- Prapaspong, B., Suwannapokin, S. and Chaiyaklang, U., editors (1999). *Phathayasastra sangkhraha: Thai traditional Medicine*. Bangkok: Kurusapa Business Organization. (in Thai)
- Rahman, M.S. & Rashid, M. (2008). Antimicrobial activity and cytotoxicity of *Eclipta prostrata*. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 8, 47-52.
- Ray, A., Bharali, P. and Konwar, B.K. (2013). Mode of antibacterial activity of eclalbasaponin isolated from *Eclipta alba*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 171, 2003–2019.
- Ryu, S., Shin, J.S., Jung, J.Y., Cho, Y.W., Kim, S.J., Jang, D. and Lee, K. (2013). Echinocystic acid isolated from *Eclipta prostrata* suppresses lipopolysaccharide-induced iNOS, TNF-alpha, and IL-6 expressions via NF-kappaB inactivation in RAW 264.7 macrophages. *Planta Medica*, 79 (12), 1031-1037.
- Sepahpour, S., Selamat, J., Abdul Manap, M.Y., Khatib, A. and Abdull Razis, A.F. (2018) Comparative analysis of chemical composition, antioxidant activity and quantitative characterization of some phenolic compounds in selected herbs and spices in different solvent extraction systems. *Molecules*, 23 (2), 402. doi.org/10.3390/molecules23020402
- Shamama, B., Avijit, M. and Saumya, D. (2017). *Wedelia chinensis* (Asteraceae)-An overview of a potent medicinal herb. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 6 (6), 488-496.
- Sriwisase, W., Tesarin, E. and Pharueang, W. (2017). Plant identification, antimicrobial and anti-inflammatory activities of *Eclipta prostrata* (L.) L., *Wedelia chinensis* Merr. and *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc [Independent study]. Maha Sarakham University. (in Thai)
- Stapanavatr, W. and Karnjanabatr, B. (2010). Bacteriology and antibiotics usage in patients with diabetic foot infection. *Vajira Medical Journal*, 54 (2), 199-208.
- Supannapan, P., Vuthiphandchai V. and Nimrat, S. (2010). Efficiency of some commercial herb extracts and fresh herb extracts on inhibition of *Staphylococcus aureus* growth. *Thai Journal of Toxicology*, 25 (1), 15-28.
- Sureshkumar, S., Sivakumar, T., Chandrasekar, M. and Suresh, B. (2010). Investigating the anti-inflammatory and analgesic activity of leaves of *Wedelia chinensis* (Osbeck) Merr. in standard experimental animal models. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 5 (2), 123-129.
- Sureshkumar, S., Senthilkumar, K.M., Rajesh, V. and Thenmozhi, S. (2011). Estimation of Wedelolactone content in *Wedelia* species by HPTLC technique. *Journal of Pharmacy Research*, 4 (1), 193-194.
- Temwiset, P., Thanasilangkul, B. and Chimpae, T. (2012). *Thai medicinal plant properties*, Vol.1. Nontha Buri: Department of Thai Traditional and Alternative Medicine, Ministry of Public Health. (in Thai).



- Thao, N.P., Binh, P.T., Luyen, N.T., Cong, N.D., Dang, N.H. and Dat, N.T. (2019). Anti-inflammatory and cytotoxic activities of constituents from *Wedelia trilobata* (L.) Hitchc. *Vietnam Journal of Chemistry*, 57 (1), 121-127.
- Uthairung, A., Rattarom, R. and Mekjaruskul, K. (2020). Cosmeceutical applications of essential oils of *Amomum biflorum* Jack from whole plant and rhizome. *Thai Journal of Science and Technology*, 9 (5), 680-692.
- Xu, J., Wang, Z., Sun, L., Wang Y., Wang, Yi. and He, X. (2021). (3*α*)-3-(tiglinoyloxy)-ent-kaur-16-en-19-oic acid, isolated from *Wedelia trilobata* L., exerts an anti-inflammatory effect via the modulation of NF- $\kappa$ B, MAPK and mTOR pathway and autophagy in LPS-stimulated macrophages. *Toxicology in Vitro*, 73. doi: 10.1016/j.tiv.2021.105139
- Yuan, F., Chen, J., Sun, P-p., Guan, S. and Xu, J. (2013). Wedelolactone inhibits LPS-induced pro-inflammation via NF-kappaB pathway in RAW 264.7 cells. *Journal of Biomedical Science*, 20 (1), 84. doi: 10.1186/1423-0127-20-84
- Zhang, Q., Zhang, J., Shen, J., Silva, A. Dennis, D.A. and Barrow, C.J. (2006). A simple 96-well microplate method for estimation of total polyphenol content in seaweeds. *Journal of Applied Phycology*, 18 (3), 445-450.

# สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตบีต้า-กลูแคนในดอกเห็ดนางฟ้า

## Suitable conditions for production of beta-glucan in oyster mushroom fruiting body

ธนภักษ์ อินยอด<sup>1\*</sup>, ธนภัทร เต็มอารมณ<sup>1</sup>, ชาตรี กอณี<sup>1</sup>, สุริมา ญาติโสสม<sup>1</sup>,  
สุจิตรา บัวลอย<sup>1</sup>, ปิยะดา เอี่ยมประสงค์<sup>1</sup>  
Tanapak Inyod<sup>1\*</sup>, Thanapat Termarom<sup>1</sup>, Chatree Konee<sup>1</sup>, Surima Yatsom<sup>1</sup>,  
Suchitra Bualoi<sup>1</sup>, Piyada Eamprasong<sup>1</sup>

Received: 22 May 2021 ; Revised: 14 June 2021 ; Accepted: 8 July 2021

### บทคัดย่อ

สภาวะที่เหมาะสมต่อการเพิ่มผลผลิต คุณภาพ และสารสำคัญบีต้า-กลูแคนในเห็ดนางฟ้า เพื่อลดความเสี่ยงจากโรคเกาต์ ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดนางฟ้าในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใย ได้แก่ ชนิดอาหาร ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิในระดับห้องปฏิบัติการ และวัสดุเพาะจำนวน 7 สูตร สำหรับเปิดดอกในโรงเรือน จากนั้นเก็บผลผลิต วิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุ และปริมาณสารบีต้า-กลูแคน ผลการทดลองพบว่า เห็ดตระกูลนางฟ้าเจริญได้ดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE pH 7 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ผลิตสารบีต้า-กลูแคนเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 55.17 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักเห็ดแห้งและเมื่อนำไปเพาะด้วยวัสดุเพาะสูตรขี้เลื่อยผสมฟางข้าว มีคุณภาพดอกเห็ดที่ดีและมีคุณค่าทางโภชนาการในปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ

**คำสำคัญ:** เห็ดนางฟ้า บีต้า-กลูแคน สภาวะที่เหมาะสม

### Abstract

This study examined suitable conditions for enhancing yield quality of fruiting bodies and beta-glucan in Oyster for treatment to reduce the risks of gout attacks. Suitable conditions depend on many factors, such as the strain of mushroom, substrate and growth condition. Mushroom strain were selected and mycelium growth conditions optimized for medium type, pH value, temperature under laboratory conditions and substrates for 7 formulations of mushroom house conditions. After that, mushrooms were harvested and the nutritional value, mineral and beta-glucan contents were analyzed. The results indicate that GYE, pH 7 was a suitable medium for growing oyster mushroom at 25 °C. The TISTR-Agr PPU 009 strain cultivated on a formula (sawdust mixed with rice straw) produced the highest dry mushroom weight (55.17 mg/g). Moreover, it had good quality and higher nutritional value compared with cultivation on other substrates.

**Keywords:** Oyster Mushroom, beta-glucan, Suitable condition

<sup>1</sup> สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) ปทุมธานี 12120

<sup>1</sup> Thailand Institute of Scientific and Technological Research (TISTR), Pathum Thani 12120

\* corresponding author : E-mail: Tanapuk@tistr.or.th

## บทนำ

โรคเกาต์เกิดจากภาวะกรดยูริก (uric acid) ในเลือดสูงติดต่อกันเป็นเวลานานจนเกิดเป็นผลึกโมโนโซเดียมยูเรต (monosodium urate crystals) สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการอักเสบปวดบวมอย่างรุนแรง อัตราการเกิดโรคเกาต์ของประชากรทั่วไปคิดเป็น 1-4% โดยพบในผู้ชาย 3-6% และในผู้หญิง 1-2% (Kuo *et al.*, 2015) การกินอาหารที่อุดมด้วยพิวรีน (purines) จากเนื้อสัตว์และอาหารทะเลหลายๆ อาจเป็นสาเหตุของการสะสมกรดยูริก ในขณะที่อาหารที่อุดมไปด้วยพิวรีนที่ได้จากพืชผัก เช่น ถั่วหรือพืชตระกูลถั่ว ผลิตภัณฑ์จากนม และเห็ดไม่มีความเสี่ยงต่อภาวะ hyperuricemia และโรคเกาต์ (Ragab *et al.*, 2017) งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่าการกินอาหารมังสวิรัตช่วยลดการเจ็บป่วยหรือลดอัตราการตายจากโรคเรื้อรังชนิดไม่ติดต่อกันต่างๆ ได้มากกว่ากลุ่มที่ไม่เป็นมังสวิรัต รายงานการศึกษาทางวิชาการ รวมทั้งวารสารทางการแพทย์นานาชาติ ยืนยันว่าเห็ดทางการแพทย์มีส่วนช่วยกระตุ้นการทำงานของเม็ดเลือดขาว โดยการปรับสมดุลการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันให้มีประสิทธิภาพเพื่อการต่อต้านเชื้อโรคและเซลล์มะเร็ง เห็ดหลายชนิดถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ หรือผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมีสารสำคัญที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพได้แก่ สารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น 1, 3-β-glucan หรือ β-glucan-protein complex (Yoshioka *et al.*, 1985) นอกจากนี้ Lissandra *et al.* (2010) ได้วิเคราะห์สารสกัดจาก *Caripia montagnei* พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 63.3±4.1% ซึ่งประกอบด้วย บีต้า-กลูแคน (β-glucans) และโปรตีน 2.2±0.3% จากการทดลองพบว่า สารบีต้า-กลูแคน (50 mg/kg of body weight) มีคุณสมบัติในการลดการอักเสบถึง 75.5±5.2% แต่อย่างไรก็ตามชนิดของเห็ดรวมถึงปริมาณสารสำคัญที่มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยงจากโรคโดยเฉพาะอย่างยิ่งในโรคเกาต์ยังมีปริมาณน้อยเนื่องจากการขาดสายพันธุ์เห็ดที่จะส่งเสริม และองค์ความรู้ในเทคโนโลยีการเพาะ ซึ่งในการผลิตเห็ดไม่เพียงแต่จะต้องให้ความสำคัญในด้านผลผลิตเท่านั้น แต่ต้องปรับปรุงในด้านของคุณภาพดอกและปริมาณสารที่มีอยู่ให้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อการนำมาใช้ประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยเช่นกัน

ในกระบวนการผลิตเห็ดเชิงพาณิชย์ จำเป็นต้องใช้อ่อนเชื้อเห็ดที่มีคุณภาพ สายพันธุ์เห็ดมีประสิทธิภาพดี เจริญเติบโตเร็ว แข็งแรง วัตถุประสงค์สำหรับใช้เพาะหาได้ง่าย ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่าย จากเงื่อนไขข้างต้นนำไปสู่การหาวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการเพาะเห็ด ซึ่งวัสดุเพาะนั้นต้องมีปริมาณเพียงพอตลอดทั้งปี และมีราคาที่ย่อมเยา ยิ่งไปกว่านั้นชนิดของวัสดุเพาะยังมีผลต่อคุณค่าทางโภชนาการของเห็ด รวมถึงสารสำคัญที่อยู่ในดอกเห็ดด้วย นอกจากนี้ สารพอลิแซ็กคาไรด์จากดอกเห็ดจะมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ

กับวัสดุที่ใช้ในการเพาะ รวมถึงอาหารเสริมเป็นอีกปัจจัยที่ช่วยให้การเพาะเห็ดประสบความสำเร็จ ทำให้เส้นใยเห็ดมีการเจริญเติบโต ให้ผลผลิตสูง และดอกเห็ดมีคุณภาพ อาหารเสริมที่ใช้เติมในวัสดุเพาะโดยทั่วไป เช่น น้ำตาลซูโครส แป้ง ข้าว (Chen, 1998) งานวิจัยของ Hsieh *et al.* (2005) ได้ทดลองเติมสาร เช่น กากน้ำตาล กลูเตนลงในวัสดุเพาะเห็ดหลินจือพบว่ากากน้ำตาลมีคุณสมบัติที่ช่วยให้เส้นใยเห็ดมีการเจริญเติบโตสูงขึ้น โคลม จิตรมัน (2554) ศึกษาประสิทธิภาพของชนิดน้ำหมักชีวภาพ 5 ชนิดต่อผลผลิตเห็ดนางฟ้า โดยเติมลงในวัสดุเพาะ พบว่าประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากมูลค้างคาว มูลไก่ และปลา สามารถเพิ่มผลผลิตของเห็ดนางฟ้าได้ เนื่องจากอุดมด้วยธาตุอาหารและฮอร์โมนต่างๆ ที่เห็ดต้องการ นอกจากวัสดุเพาะและอาหารเสริมแล้ว การเพาะเห็ดยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่น เช่น ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และแสง แม้ว่าโดยทั่วไปเชื่อว่าไม่จำเป็นต้องใช้แสงเพื่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตเหมือนพืช แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการสร้างดอกเห็ด (Kuforiji & Fasidi, 2005)

จากความสำคัญที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกสายพันธุ์เห็ดที่มีศักยภาพ ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใย ปริมาณผลผลิต คุณภาพของดอกเห็ด และปริมาณสารที่มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงจากโรคเกาต์ (β-glucan) ในดอกเห็ดรวมถึงคุณค่าทางโภชนาการให้เพิ่มสูงขึ้น เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าสินค้าเกษตรและพัฒนาเทคโนโลยีในการเพิ่มคุณภาพของเห็ดนางฟ้าภูฏานดำในอนาคต

## วิธีการศึกษา

### 1. คัดเลือกสายพันธุ์เห็ดนางฟ้าที่มีศักยภาพในการผลิตสารบีต้า-กลูแคน

รวบรวมสายพันธุ์เห็ดจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) จำนวน 10 สายพันธุ์ ได้แก่ TISTR-Agr PPU001, 002, 003, 004, 006, 007, 009, 010, 011 และ 012 เลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) อายุครบ 7 วัน ขยายลงบนหัวเชื้อข้าวฟ่าง จากนั้นเพาะในก้อนเชื้อสูตรมาตรฐานทั่วไป บ่มที่อุณหภูมิห้อง วัดอัตราการเจริญของเส้นใยทุกวันจนเต็มก้อน คำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด จากนั้นนำไปเปิดดอก เก็บผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ดเพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีศักยภาพอย่างน้อย 3 สายพันธุ์ เพื่อทำการทดลองต่อไป

### 2. การศึกษาชนิดอาหารและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่ออัตราการเจริญของเส้นใยเห็ด

เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ 5 ชนิด ได้แก่ potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MA), coconut water agar (CW), V8 juice (V8) และ glucose yeast extract agar (GYE)

ปรับค่า pH ให้ได้ pH 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ใช้ cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร เจาะเส้นใยเห็ดบนอาหาร PDA อายุ 7 วัน วางตรงกลางจานอาหารเลี้ยงเชื้อทั้ง 5 ชนิดที่ระดับ pH ต่างๆ บ่มที่อุณหภูมิห้อง วัดอัตราการเจริญของเส้นใยบนจานอาหาร และคำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดเฉลี่ยต่อวัน

### 3. การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

เจาะเส้นใยเห็ดด้วย cork borer ขนาด 0.5 เซนติเมตร ให้เป็นชิ้นๆ นำไปเลี้ยงบนอาหารชนิด และความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยที่ได้จากการทดลองหัวข้อที่ 2 ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 20, 25, 30 และ 35 องศาเซลเซียส วัดอัตราการเจริญของ

เส้นใยบนจานอาหาร แล้วคำนวณอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดเฉลี่ยต่อวัน

### 4. การศึกษาวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการผลิตดอกเห็ดและเพิ่มปริมาณสารสำคัญในดอกเห็ด

เตรียมหัวเชื้อข้าวฟ่าง โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างล้างและคัดสิ่งเจือปนออก แช่น้ำสะอาด 1 คืน จากนั้นต้มจนสุกพอประมาณ ตากให้แห้งพอหมาด บรรจุลงขวดแก้วปริมาณ 120 กรัม นึ่งฆ่าเชื้อที่ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ปล่อยให้เย็น จากนั้นนำเชื้อพันธุ์เห็ดที่มีศักยภาพ 3 สายพันธุ์ อายุ 7 วัน ย้ายลงขวดข้าวฟ่างที่เตรียมไว้ บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนเส้นใยเจริญคลุมเต็มเมล็ดข้าวฟ่าง จากนั้นเตรียมวัสดุเพาะเห็ด โดยแบ่งออกเป็น 7 สูตร (Table 1)

**Table 1** Cultivation substrates and supplements for 3 strains of Oyster mushroom production

Cultivation substrate and supplements (kg)	Formulations						
	1	2	3	4	5	6	7
Fresh sawdust	100	100	-	50	-	50	100
Old sawdust	-	-	100	-	50	50	-
Straw	-	-	-	50	50	-	-
Rice bran	6	6	6	6	6	6	5
Fermented deep sea fish (cc)	-	200	-	-	-	-	-
Sugar	3	-	3	-	-	3	-
Corn powder	-	3	-	-	-	-	-
Calcium carbonate	1	1	1	1	1	1	1
Gypsum	-	-	-	1	1	-	1
Magnesium sulfate	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

ซึ่งวัสดุและอัตราส่วนอาหารเสริมให้ได้ปริมาณตามสูตร ผสมให้เข้ากัน ปรับความชื้นวัสดุให้ได้ประมาณร้อยละ 60 บรรจุในถุงพลาสติกขนาด 6.5 x 12.5 เซนติเมตร ให้ได้น้ำหนัก 850 กรัมต่อถุง จำนวนสูตรละ 20 ถุง นำไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยเตาหนึ่ง ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น จากนั้นหยอดเชื้อจากเมล็ดข้าวฟ่างลงในถุงก่อนเชื้อเห็ดแต่ละสูตร ใช้แท่งเหล็กตีปั่นหัวเชื้อเห็ดให้กระจาย ด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ ฉีดฟันทาลกอฮอล์เพื่อฆ่าเชื้อบริเวณปากถุง แล้วหยอดหัวเชื้อ 20 เมล็ดต่อก่อน ปิดจุกประหยัดให้สนิท บ่มก่อนเห็ดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส วัดอัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดในทุกวันจนเส้นใยเจริญเต็มก้อน (ประติภา ระดับไพโร และคณะ, 2557)

เมื่อเส้นใยเจริญเต็มก่อนนำไปเปิดดอกในโรงเรือน โดยเปิดจุกประหยัด ใช้แท่งเหล็กแคะเมล็ดข้าวฟ่างบริเวณหน้าก้อนออก รดน้ำให้ความชื้นแก่ก้อนเชื้อเห็ดทุกวัน

วันละ 3 ครั้ง (เช้า กลางวัน และเย็น) ครั้งละ 10 นาที ให้ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 70 เก็บผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด โดยการชั่งน้ำหนัก และวัดความกว้างของหมวกดอก ก้านดอก และความยาวก้านดอก จากนั้นฉีกดอกเห็ดให้มีขนาดเล็กลง นำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดให้ละเอียดเพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุ และสารสำคัญบีต้า-กลูแคนในเห็ด

### 5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเห็ดและแร่ธาตุจากเห็ด

วิเคราะห์หาคุณค่าทางโภชนาการ โดยดำเนินการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ดังนี้ การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน (Crude protein) ตามวิธีของ Kjeldahl (1883) วิเคราะห์

หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Total Carbohydrate) โดยวิธี Phenol sulfuric acid method ตัดแปลงจาก Hansen and Møller (1975) การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Crude fat) ปริมาณกากใย (Crude fiber) และปริมาณเถ้าทั้งหมด (total ash) ตามวิธีของ AOAC (1995) การวิเคราะห์ธาตุอาหารไนโตรเจน ได้แก่ K, Na, Cu, Ca, Zn, Mn, Mg และ Fe โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ตามวิธีของ Willard *et al.* (2001) ปริมาณฟอสฟอรัส โดย Spectrophotometer Molybdovanadophosphate method (Westerman, 1990) และวิเคราะห์หา Total glucan ด้วยวิธี Mushroom and Yeast beta-glucan assay ของ Megazyme (procedure K-YBGL 09/2019)

#### 6. การวิเคราะห์ข้อมูลผลทางสถิติ

นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลในแบบแผนสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) โดยใช้โปรแกรม SAS (1999-2000) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### ผลการวิจัยและวิจารณ์

##### 1. สายพันธุ์เห็ดนางฟ้าที่มีศักยภาพในการผลิตสาร บีต้า-กลูแคน

จากการนำเห็ดนางฟ้า 10 สายพันธุ์ ได้แก่ TISTR-Agr PPU001, 002, 003, 004, 006, 007, 009, 010, 011 และ 012 มาทดสอบศักยภาพโดยการเพาะในวัสดุเพาะที่เป็นสูตรมาตรฐานทั่วไป พบว่าเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU009 และ PPU012 มีอัตราการเจริญของเส้นใยในก้อนเชื้อเร็วที่สุด คือ 1.68 เซนติเมตรต่อวัน รองลงมา คือ TISTR-Agr

PPU011 มีอัตราการเจริญของเส้นใยในก้อนเชื้อ 1.67 เซนติเมตรต่อวัน (Figure 1)

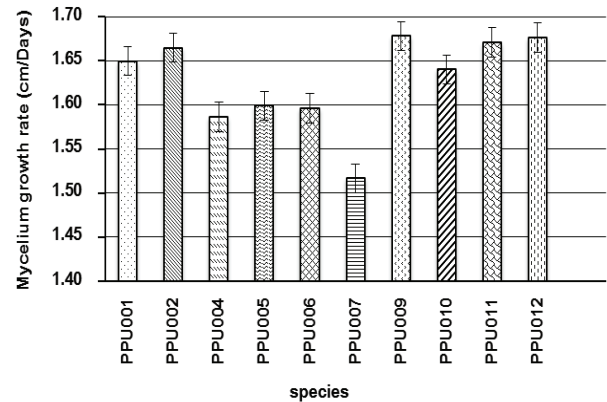


Figure 1 Mycelium growth rates (cm/Days) of 10 strains Oyster mushroom on commercial substrate formulation

เมื่อนำก้อนเชื้อเห็ดทั้ง 10 สายพันธุ์ไปเปิดดอกในโรงเรือน และเก็บผลผลิตทั้งหมด 3 รุ่น พบว่าเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ยังคงให้ผลผลิตดอกเห็ดสูง โดยมีน้ำหนักสดเฉลี่ยเท่ากับ 1.798, 1.790 และ 1.744 กิโลกรัม ตามลำดับ และดอกเห็ดที่ได้มีคุณภาพดี คือ หมวกดอกมีลักษณะกลม คล้ายพัด สีเข้ม มีขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.54-7.96 เซนติเมตร (Table 2, Figure 2) หมวกดอกใหญ่และมีปริมาณดอกมากกว่า 10 ดอกต่อช่อ เมื่อเทียบกับสายพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU009, PPU011 และ PPU012 จึงเป็นสายพันธุ์ที่มีศักยภาพในการผลิตสาร บีต้า-กลูแคนที่มีผลต่อการลดความเสี่ยงโรคเกาต์ เนื่องจากเป็นเชื้อพันธุ์ที่แข็งแรง เส้นใยเจริญเติบโตเร็ว ให้ผลผลิตสูงและให้ดอกเห็ดที่มีคุณภาพดี จึงทำการคัดเลือกไปทดสอบในขั้นตอนต่อไป

Table 2 Fresh weigh and quality of fruiting bodies of 10 strains Oyster mushroom cultivate on commercial substrate

Mushroom species list	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
PPU001	1.692 <sup>b</sup>	6.45 <sup>f</sup>	1.00 <sup>b</sup>	6.10 <sup>c</sup>
PPU002	1.590 <sup>c</sup>	6.12 <sup>g</sup>	1.13 <sup>a</sup>	5.95 <sup>c</sup>
PPU003	1.382 <sup>d</sup>	6.10 <sup>g</sup>	1.14 <sup>a</sup>	6.26 <sup>c</sup>
PPU004	1.671 <sup>b</sup>	6.08 <sup>g</sup>	1.10 <sup>a</sup>	6.46 <sup>b</sup>
PPU006	1.682 <sup>b</sup>	6.87 <sup>a</sup>	1.00 <sup>b</sup>	6.44 <sup>b</sup>
PPU007	0.989 <sup>e</sup>	7.23 <sup>d</sup>	0.98 <sup>b</sup>	5.57 <sup>c</sup>
PPU009	1.798 <sup>a</sup>	7.96 <sup>a</sup>	1.15 <sup>a</sup>	6.65 <sup>a</sup>
PPU010	1.689 <sup>b</sup>	7.12 <sup>d</sup>	1.10 <sup>a</sup>	6.42 <sup>b</sup>
PPU011	1.790 <sup>a</sup>	7.85 <sup>b</sup>	1.16 <sup>a</sup>	6.51 <sup>ab</sup>
PPU012	1.774 <sup>a</sup>	7.54 <sup>c</sup>	1.10 <sup>a</sup>	6.54 <sup>ab</sup>

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

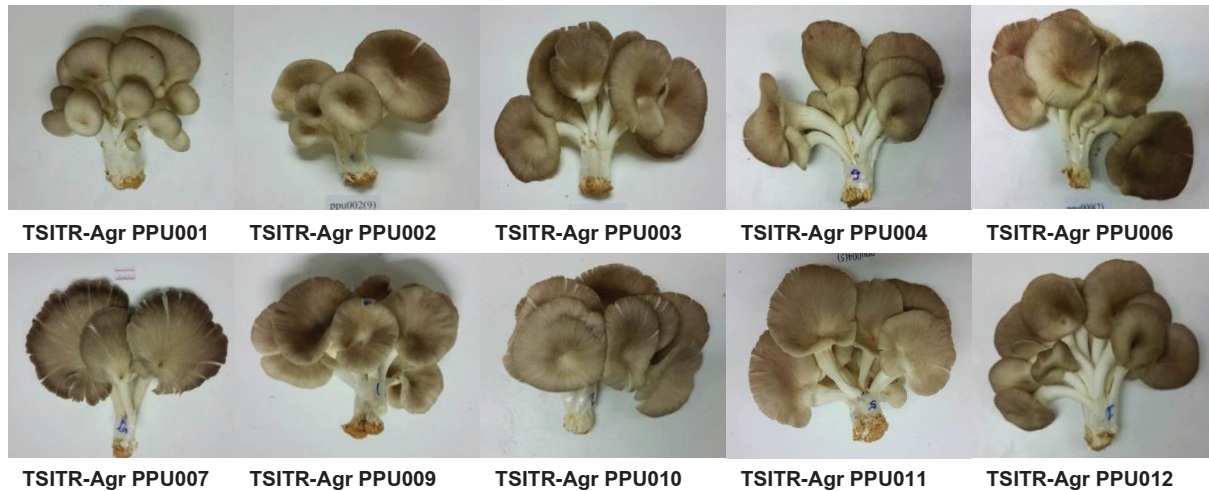


Figure 2 Fruiting bodies characteristics of Oyster mushroom cultivate on commercial substrate formulation

## 2. ชนิดของอาหารและความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

ผลการทดสอบอาหารเลี้ยงเชื้อทั้งหมด 5 ชนิด คือ potato dextrose agar (PDA), malt extract agar (MA), coconut water agar (CWA), V8 juice (V8) และ glucose yeast extract agar (GYE) ที่ pH 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 ต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้า 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009, TISTR-Agr PPU 011 และ TISTR-Agr PPU 012 พบว่าเส้นใยเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 เจริญได้ดีบนอาหาร 3 ชนิด คือ V8 และ GYE ที่ pH ทุกระดับ รองลงมาคืออาหาร MA ในช่วง pH 6-9 ในขณะที่สายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 011 และ 012 เจริญได้ดีที่สุดบนอาหาร V8 และอาหาร GYE ที่ pH 7 เจริญได้เร็วเป็นลำดับรองลงมา เมื่อเทียบกับ PDA สำเร็จรูปที่เป็นสูตรควบคุม (Table 3) จะเห็นได้ว่า ทั้ง 3 สายพันธุ์เจริญได้เร็วที่สุดบนอาหาร V8 ที่ pH 5-10 แต่เส้นใยที่ได้มีลักษณะบางเรียบไปกับผิวหน้าอาหาร มีความหนาแน่นน้อย (Table 4) เนื่องจากอาหาร V8 ประกอบด้วย น้ำผัก 8 ชนิด คือ มะเขือเทศ แครอท ขึ้นฉ่ายฝรั่ง บีท พาร์สเลย์ ผักกาดหอม วอเตอร์เครสและผักโขม ซึ่งอุดมไปด้วยวิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของเส้นใยทำให้เจริญได้เร็ว แต่ยังคงขาดแหล่งคาร์บอนที่ส่งเสริมความแข็งแรงและความหนาแน่นของเส้นใยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumla *et al.* (2013) ทดสอบการเจริญของเส้นใยเห็ดโต่งฝน (*P. giganteus*) บนอาหาร V8

เส้นใยเจริญเต็มจานอาหารเร็วที่สุดเฉลี่ย 17.75 มิลลิเมตรต่อวัน แต่เมื่อวัดปริมาณชีวมวล (biomass) พบว่ามีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ PDA คือ 38.43 และ 82.65 มิลลิกรัมต่อจาน ตามลำดับ ในขณะที่ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใยเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์บนอาหาร GYE เส้นใยมีลักษณะละเอียด สีขาว ฟู มีความหนาแน่นมากที่สุดเทียบเท่ากับสูตรควบคุม (Table 4) เนื่องจากในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE ประกอบน้ำตาลกลูโคส (20 กรัมต่อลิตร) เป็นแหล่งคาร์บอน และ Yeast extract เป็นแหล่งไนโตรเจน ซึ่งมีศักยภาพในการสร้างเส้นใยของเห็ด (Kupradit *et al.*, 2020) สอดคล้องกับรายงานของ Hoa and Wang (2015) ทดสอบสูตรอาหารต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางรมและเห็ดเป๋าฮื้อ พบว่าอาหารที่ประกอบด้วยกลูโคส และ Yeast extract ส่งผลให้เส้นใยมีความหนาแน่นมากกว่า นอกจากนี้กลูโคสยังถูกระบุว่าเป็นแหล่งคาร์บอนที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตสารเอ็กโซพอลิแซ็กคาไรด์ของเห็ดที่กินได้ (Kim *et al.*, 2001) ส่วนผลของค่า pH Kumla *et al.* (2013) กล่าวว่า เชื้อรามีความสามารถในการเจริญเติบโตที่ pH 4-9 แต่ที่ pH 7 เป็นค่า pH ที่เหมาะสมซึ่งให้อัตรการเติบโตของเส้นใยสูงสุด 18.00 มิลลิเมตรต่อวัน และผลผลิตชีวมวลเท่ากับ  $163.10 \pm 4.40$  มิลลิกรัมต่อจาน จากอัตราการเจริญและความหนาแน่นของเส้นใย ชนิดอาหารและระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ คือ อาหาร GYE ที่ pH 7

**Table 4** Mycelium density of 3 Oyster mushroom strains on different medium at pH 7

Medium	Mushroom strains		
	TISTR-Agr PPU 009	TISTR-Agr PPU 011	TISTR-Agr PPU 012
V8	+	+	+
GYE	+++	+++	+++
MA	++	++	++
CWA	++	++	++
PDA	+++	+++	+++

Note: + (Scanty), ++ (Moderate), +++ (Abundant)

**Table 3** Mycelium growth rate (cm/days) of three Oyster mushroom strains on various media at different pH values

Mushroom strains	Media	pH values					
		5	6	7	8	9	10
TISTR-Agr PPU 009	V8	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>
	GYE	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>
	MA	1.16 <sup>ab</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.16 <sup>ab</sup>
	CWA	0.95 <sup>fg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>
	PDA	0.90 <sup>efg</sup>	0.91 <sup>fg</sup>	0.93 <sup>efg</sup>	0.92 <sup>fg</sup>	0.93 <sup>efg</sup>	1.01 <sup>cd</sup>
TISTR-Agr PPU 011	V8	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>	1.21± <sup>a</sup>	1.21 <sup>a</sup>
	GYE	1.07 <sup>bcd</sup>	1.07 <sup>bcd</sup>	1.16 <sup>ab</sup>	1.07 <sup>bcd</sup>	1.11 <sup>bc</sup>	1.11 <sup>bc</sup>
	MA	1.07 <sup>bcd</sup>	0.98 <sup>def</sup>	1.02 <sup>de</sup>	0.88 <sup>g</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	1.06 <sup>cd</sup>
	CWA	0.95 <sup>efg</sup>	0.98 <sup>def</sup>	0.98 <sup>def</sup>	0.98 <sup>def</sup>	0.98 <sup>def</sup>	1.21 <sup>a</sup>
	PDA	0.92 <sup>fg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	0.91 <sup>fg</sup>	0.95 <sup>efg</sup>	1.06 <sup>cd</sup>
TISTR-Agr PPU 012	V8	0.73 <sup>h</sup>	0.71 <sup>hi</sup>	0.71 <sup>hi</sup>	0.71 <sup>hi</sup>	0.71 <sup>hi</sup>	0.71 <sup>hi</sup>
	GYE	0.60 <sup>hijk</sup>	0.66 <sup>hijk</sup>	0.71 <sup>hi</sup>	0.66 <sup>hij</sup>	0.66 <sup>hijk</sup>	0.66 <sup>hijk</sup>
	MA	0.53 <sup>m</sup>	0.58 <sup>jk</sup>	0.53 <sup>m</sup>	0.62 <sup>ijkl</sup>	0.62 <sup>ijkl</sup>	0.53 <sup>m</sup>
	CWA	0.57 <sup>kim</sup>	0.57 <sup>jk</sup>	0.52 <sup>m</sup>	0.53 <sup>m</sup>	0.54 <sup>lm</sup>	0.52 <sup>m</sup>
	PDA	0.67 <sup>hij</sup>	0.66 <sup>hijk</sup>	0.61 <sup>klm</sup>	0.58 <sup>klm</sup>	0.61 <sup>klm</sup>	0.54 <sup>lm</sup>

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

### 3. อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ด

อัตราการเจริญของเส้นใยเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ เส้นใยเจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส รองลงมาคือที่อุณหภูมิ 30 และ 20 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Table 5) โดยลักษณะของเส้นใยเห็ดมีความหนาแน่นมากที่อุณหภูมิ 25 และ 30 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีลักษณะบาง หนาแน่นน้อยกว่า ในขณะที่อุณหภูมิ 35 องศา

เซลเซียส เส้นใยเห็ดชะงักการเจริญ และไม่สามารถเจริญต่อได้ เต็มพวงส์ แสงปรกรณ์กิจ และคณะ (2552) รายงานว่า อุณหภูมิ เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญของเส้นใยและการเจริญเติบโตของดอกเห็ดเป็นอย่างมากยิ่ง ตั้งแต่ระยะเส้นใยจนกระทั่งเกิดดอก ไม่ต้องการอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adebayo-Tato *et al.* (2011) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเส้นใยเห็ดตระกูลนางฟ้านางรมอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส

**Table 5** Mycelium growth rate (cm/days) of three Oyster mushroom strains at different temperatures

Mushroom strains	Mycelium growth (cm/days)			
	20°C	25°C	30°C	35°C
TISTR-Agr PPU 009	0.91 <sup>bc</sup>	1.02 <sup>ab</sup>	0.99 <sup>ab</sup>	0.50 <sup>e</sup>
TISTR-Agr PPU 011	0.81 <sup>cd</sup>	1.07 <sup>a</sup>	0.91 <sup>bc</sup>	0.50 <sup>e</sup>
TISTR-Agr PPU 012	0.73 <sup>d</sup>	0.71 <sup>d</sup>	0.57 <sup>e</sup>	0.50 <sup>e</sup>

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

**4. วัสดุเพาะที่เหมาะสมต่อปริมาณผลผลิตและคุณภาพของดอกเห็ด**

จากการเพาะเลี้ยงเส้นใยเห็ดบนวัสดุเพาะที่แตกต่างกัน 7 สูตร เมื่อเก็บผลผลิต พบว่าเห็ดนางฟ้าทั้ง 3 สายพันธุ์ (TISTR-Agr PPU 009, 011, 012) ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันคือ มีปริมาณน้ำหนักสดเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อเพาะบนวัสดุเพาะสูตรที่ 2 รองลงมาคือ สูตรที่ 1 และ 4 ตามลำดับ (Table 6) โดยให้น้ำหนักสดเฉลี่ยในช่วง 1.885-2.464 กิโลกรัม ในขณะที่คุณภาพของดอกเห็ดในแต่ละสูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรที่ 2 ให้คุณภาพดอกโดยรวมได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางหมวกดอก, ก้านดอก และความยาวก้านดอกดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.93, 1.33 และ 6.78 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตและคุณภาพดอกเห็ดที่ได้ในแต่ละสูตร พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเจริญและผลผลิต นั่นคือวัสดุเพาะ และอาหารเสริม วัสดุเพาะสูตรที่ 2 มีวัสดุหลักคือ ขี้เลื่อยยางพาราใหม่พร้อมเพิ่มอาหารเสริม คือ น้ำหมักจากปลาทะเลน้ำลึก และข้าวโพดบดละเอียด โดยน้ำหมักชีวภาพจากปลาหมึกมีคุณค่าทางอาหารที่เห็นต้องการ เช่น แคลเซียม ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และฮอร์โมน (ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2551) ช่วยส่งเสริมการเจริญของเส้นใย และการสร้างดอก ทำให้ได้ผลผลิตสูง อีกทั้งมีรายงานว่า ข้าวโพดปน

ประกอบด้วยแป้งน้ำตาล และโปรตีนซึ่งเป็นทั้งแหล่งไนโตรเจนและแหล่งคาร์บอน รวมถึงซังข้าวโพดที่บดรวมกันประกอบด้วยกลุ่มเซลลูโลส (cellulose) ส่งผลให้เกิดสร้างเส้นใยได้สมบูรณ์ (Rambej *et al.*, 2019) รองลงมาคือสูตรที่ 1 มีวัสดุหลักเป็นขี้เลื่อย และเติมน้ำตาลร้อยละ 3 เป็นอาหารเสริมสอดคล้องกับงานวิจัยของ Erkel (2009) ทดลองเติมโมลาสร้อยละ 1 ลงในวัสดุเพาะเห็ดหลินจือ พบว่าผลผลิตเห็ดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม ในขณะที่สูตรที่ 4 คือสูตรที่ลดปริมาณขี้เลื่อยและผสมกับฟางข้าวที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในอัตราส่วน 1:1 สามารถเพิ่มผลผลิตดอกเห็ดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากฟางข้าวประกอบด้วยเคมีอินทรีย์หลักๆ ได้แก่ เซลลูโลส ร้อยละ 35 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 18 และลิกนิน ร้อยละ 15 เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นแหล่งอาหารที่ใช้ในการเจริญเติบโตของราและเห็ด (Jiang *et al.*, 2011) และเมื่อเปรียบเทียบกับเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ จะเห็นได้ว่าเห็ดนางฟ้าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ในวัสดุเพาะสูตรที่ 2 นอกจากมีผลผลิตสูงแล้ว ยังมีคุณภาพดอกโดยรวมดีที่สุด โดยลักษณะดอกเห็ดจะมีหมวกดอกขนาดใหญ่ หนา และมีสีเข้มต่างกันเมื่อเพาะบนวัสดุที่แตกต่างกัน (Figure 3)

**Table 6** Fresh weigh and quality of fruiting bodies of three strains Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations

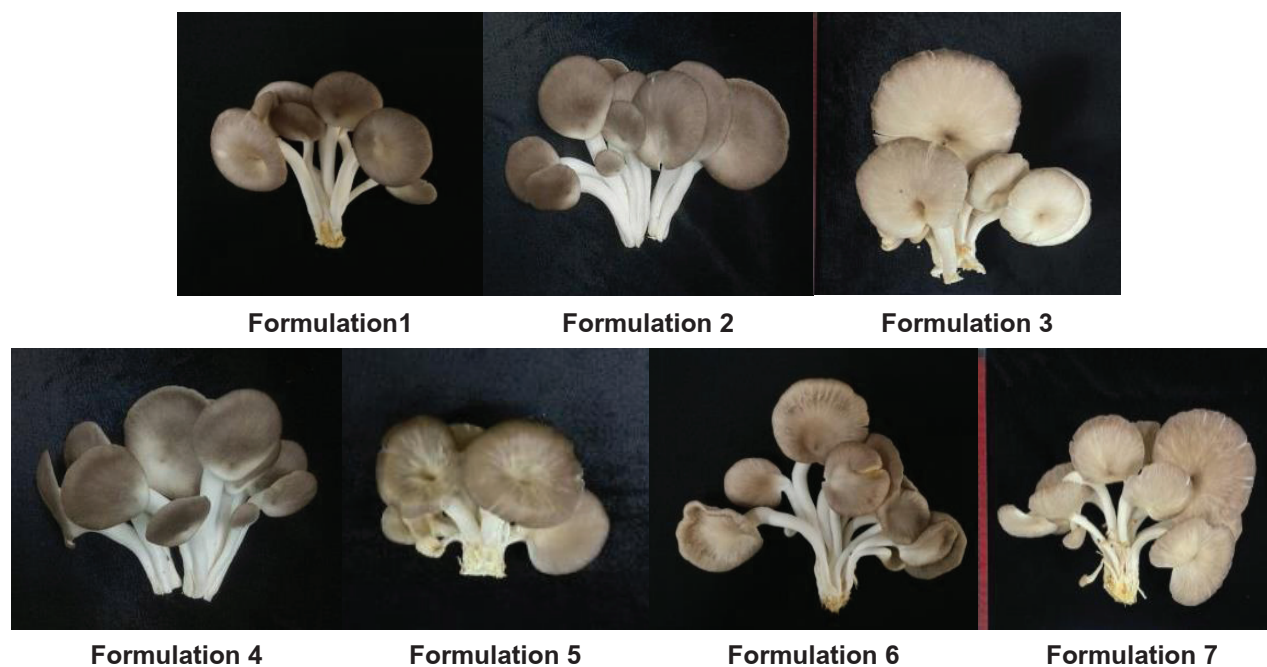
Formulations	Mushroom species	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
1	TISTR-Agr PPU 009	2.122±0.281 <sup>d</sup>	6.43±0.454 <sup>e</sup>	1.13±0.051 <sup>a</sup>	6.52±0.125 <sup>bc</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	2.012±0.272 <sup>e</sup>	6.94±0.117 <sup>a</sup>	1.29±0.033 <sup>ab</sup>	6.52±0.121 <sup>bc</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	2.259±0.240 <sup>c</sup>	6.90±0.239 <sup>a</sup>	1.24±0.040 <sup>bcd</sup>	6.50±0.125 <sup>bc</sup>
2	TISTR-Agr PPU 009	2.464±0.133 <sup>a</sup>	6.93±0.124 <sup>a</sup>	1.33±0.031 <sup>a</sup>	6.78±0.102 <sup>a</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	2.329±0.163 <sup>b</sup>	6.88±0.262 <sup>a</sup>	1.27±0.041 <sup>abcd</sup>	6.63±0.123 <sup>ab</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	2.339±0.171 <sup>b</sup>	6.83±0.357 <sup>ab</sup>	1.28±0.032 <sup>abc</sup>	6.53±0.253 <sup>bc</sup>
3	TISTR-Agr PPU 009	1.372±0.282 <sup>j</sup>	6.42±0.539 <sup>ef</sup>	1.19±0.082 <sup>defg</sup>	6.25±0.323 <sup>ef</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	1.469±0.281 <sup>i</sup>	6.34±0.517 <sup>efg</sup>	1.17±0.061 <sup>g</sup>	6.18±0.326 <sup>ef</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	1.378±0.271 <sup>j</sup>	6.37±0.541 <sup>ef</sup>	1.21±0.061 <sup>cdef</sup>	6.21±0.321 <sup>ef</sup>



**Table 6** Fresh weigh and quality of fruiting bodies of three strains Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations (cont.)

Formulations	Mushroom species	Fresh weigh (kg)	Cap diameter (cm)	Stalk diameter (cm)	Stalk length (cm)
4	TISTR-Agr PPU 009	1.885±0.290 <sup>f</sup>	6.82±0.297 <sup>ab</sup>	1.27±0.043 <sup>abcd</sup>	6.63±0.231 <sup>ab</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	1.978±0.27 <sup>3e</sup>	6.59±0.521 <sup>cd</sup>	1.26±0.044 <sup>abcde</sup>	6.58±0.254 <sup>bc</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	2.025±0.281 <sup>e</sup>	6.72±0.291 <sup>bc</sup>	1.25±0.041 <sup>abcde</sup>	6.59±0.251 <sup>bc</sup>
5	TISTR-Agr PPU 009	1.046±0.310 <sup>kl</sup>	6.23±0.509 <sup>g</sup>	1.13±0.063 <sup>g</sup>	6.19±0.321 <sup>ef</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	1.028±0.281 <sup>l</sup>	6.28±0.471 <sup>fg</sup>	1.21±0.053 <sup>cdef</sup>	6.02±0.461 <sup>g</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	1.102±0.311 <sup>k</sup>	6.22±0.425 <sup>g</sup>	1.18±0.091 <sup>efg</sup>	6.13±0.355 <sup>fg</sup>
6	TISTR-Agr PPU 009	1.827±0.242 <sup>f</sup>	6.71±0.309 <sup>bc</sup>	1.24±0.041 <sup>bcdef</sup>	6.45±0.301 <sup>cd</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	1.739±0.235 <sup>g</sup>	6.68±0.417 <sup>c</sup>	1.23±0.053 <sup>cdef</sup>	6.51±0.254 <sup>bc</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	1.738±0.272 <sup>g</sup>	6.59±0.420 <sup>cd</sup>	1.21±0.053 <sup>cdef</sup>	6.47±0.258 <sup>bcd</sup>
7	TISTR-Agr PPU 009	1.404±0.24 <sup>j</sup>	6.47±0.415 <sup>de</sup>	1.20±0.055 <sup>cdef</sup>	6.32±0.261 <sup>de</sup>
	TISTR-Agr PPU 011	1.529±0.25 <sup>hi</sup>	6.62±0.402 <sup>c</sup>	1.21±0.053 <sup>cdef</sup>	6.28±0.323 <sup>ef</sup>
	TISTR-Agr PPU 012	1.538±0.28 <sup>h</sup>	6.37±0.504 <sup>ef</sup>	1.21±0.054 <sup>cdef</sup>	6.29±0.326 <sup>ef</sup>

Note: Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.



**Figure 3** Fruiting bodies characteristics of TISTR-Agr PPU 009 cultivate on different substrate formulations

**5. คุณค่าทางโภชนาการ แร่ธาตุและสารสำคัญบีต้า-กลูแคน**

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติของคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และแร่ธาตุของเห็ดทั้ง 3 สายพันธุ์ จากการเพาะด้วยวัสดุเพาะที่แตกต่างกัน

กัน 7 สูตร พบว่าคุณค่าทางโภชนาการที่ได้ของเห็ดแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.59-26.62 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 42.05-56.91 จะเห็นได้ว่าสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 ที่เพาะจากก้อนเห็ดสูตรที่ 4 มีคุณค่าทางโภชนาการ รวมทั้งสารสำคัญที่มีผลต่อการลดความเสี่ยง

โรคเก๊าต์ หรือ บีต้า-กลูแคนซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีฤทธิ์ทางชีวภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันและด้านการอักเสบ (Finimundy *et al.*, 2013) มีปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 7) Bach *et al.*, (2017) กล่าวว่า ความเข้มข้นของบีต้า-กลูแคนแตกต่างกันไปตาม สายพันธุ์ วัสดุเพาะ (C:N ratio) และความสมบูรณ์ของดอกเห็ด อีกทั้งสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 จากวัสดุเพาะสูตรที่ 4 ยังคงให้ปริมาณของแร่ธาตุอาหารหลัก และแร่ธาตุอาหารรองในปริมาณที่สูงกว่าเห็ดสายพันธุ์อื่นๆ และการเพาะ

ในวัสดุเพาะสูตรอื่นๆ ด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของโพแทสเซียม (K) ฟอสฟอรัส (P) และแมกนีเซียม (Mg) (Table 8) ซึ่งเป็นแร่ธาตุอาหารหลักที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย ช่วยการทำงานของกล้ามเนื้อและระบบประสาทต่างๆ ลดความดันโลหิต ควบคุมระดับคอเลสเตอรอล เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของกระดูกและฟัน ช่วยกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นสำหรับการเผาผลาญสารอาหาร และการสังเคราะห์โปรตีน (นิรมล ศรีชนะ และคณะ, 2562)

**Table 7** Nutritional value of 3 strains Oyster mushroom cultured on different substrate formulations.

Formulations	Mushroom species	Nutritional value		Beta glucan (mg/g) dry cell weight
		Protein (%)	Carbohydrate (%)	
1	TISTR-Agr PPU009	15.88±1.02 <sup>k</sup>	47.07±3.04 <sup>l</sup>	40.32±1.23 <sup>l</sup>
	TISTR-Agr PPU011	16.95±1.22 <sup>e-h</sup>	47.14±2.88 <sup>k</sup>	43.21±1.20 <sup>l</sup>
	TISTR-Agr PPU012	16.95±1.50 <sup>e-h</sup>	45.33±2.42 <sup>lm</sup>	40.65±2.42 <sup>ghi</sup>
2	TISTR-Agr PPU009	21.11±1.20 <sup>c</sup>	56.91±2.02 <sup>a</sup>	49.22±3.07 <sup>d</sup>
	TISTR-Agr PPU011	20.10±1.44 <sup>d</sup>	49.00±2.46 <sup>ghi</sup>	47.89±1.32 <sup>e</sup>
	TISTR-Agr PPU012	20.13±1.56 <sup>d</sup>	50.95±3.21 <sup>de</sup>	49.58±2.18 <sup>d</sup>
3	TISTR-Agr PPU009	17.53±1.20 <sup>ef</sup>	48.67±4.21 <sup>hij</sup>	27.59±1.62 <sup>mn</sup>
	TISTR-Agr PPU011	17.79±1.35 <sup>e</sup>	49.35±3.56 <sup>fi</sup>	30.21±1.24 <sup>k</sup>
	TISTR-Agr PPU012	16.58±1.38 <sup>fi</sup>	49.25±3.98 <sup>fi</sup>	26.70±2.45 <sup>no</sup>
4	TISTR-Agr PPU009	26.62±1.13 <sup>a</sup>	50.16±2.89 <sup>ef</sup>	55.17±1.36 <sup>a</sup>
	TISTR-Agr PPU011	22.54±1.49 <sup>b</sup>	52.13±2.43 <sup>cd</sup>	53.53±2.03 <sup>c</sup>
	TISTR-Agr PPU012	21.79±1.52 <sup>bc</sup>	51.12±2.51 <sup>de</sup>	49.75±1.28 <sup>d</sup>
5	TISTR-Agr PPU009	17.25±1.70 <sup>ef</sup>	54.05±2.70 <sup>b</sup>	37.40±1.53 <sup>l</sup>
	TISTR-Agr PPU011	21.12±1.50 <sup>c</sup>	52.46±1.99 <sup>c</sup>	30.56±2.12 <sup>k</sup>
	TISTR-Agr PPU012	21.87±1.33 <sup>bc</sup>	51.24±4.62 <sup>de</sup>	27.69±2.40 <sup>lmn</sup>
6	TISTR-Agr PPU009	15.67±2.21 <sup>kl</sup>	48.55±3.50 <sup>ij</sup>	25.75±2.38 <sup>op</sup>
	TISTR-Agr PPU011	15.62±1.98 <sup>ik</sup>	42.05±2.60 <sup>o</sup>	28.48±2.50 <sup>l</sup>
	TISTR-Agr PPU012	14.59±1.70 <sup>l</sup>	44.56±2.46 <sup>mn</sup>	25.45±2.70 <sup>p</sup>
7	TISTR-Agr PPU009	15.42±1.50 <sup>jk</sup>	43.33±3.34 <sup>o</sup>	41.62±1.53 <sup>q</sup>
	TISTR-Agr PPU011	15.63±1.46 <sup>ik</sup>	45.36±3.26 <sup>lm</sup>	40.25±1.56 <sup>hi</sup>
	TISTR-Agr PPU012	15.74±1.48 <sup>ik</sup>	46.34±2.76 <sup>kl</sup>	41.29±1.70 <sup>gh</sup>

**Note:** Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

**Table 8** Minerals content of three strains of Oyster mushroom cultivate on different substrate formulations.

Formulations	Mushroom species	Minerals content (mg/kg)									
		Macronutrients					Micronutrients				
		K	P	Mg	Ca	Na	Fe	Zn	Mn		
1	TISTR-Agr PPU009	1.24±0.11 <sup>o</sup>	0.61±0.023 <sup>l</sup>	222.01±12.67 <sup>m</sup>	0.033±0.001 <sup>bc</sup>	0.030±0.001 <sup>ab</sup>	78.06±3.62 <sup>l</sup>	15.12±2.01 <sup>ef</sup>	12.36±1.64 <sup>p</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	1.23±0.12 <sup>p</sup>	0.67±0.013 <sup>gh</sup>	234.05±11.27 <sup>kl</sup>	0.030±0.003 <sup>cd</sup>	0.023±0.002 <sup>ab</sup>	65.78±7.61 <sup>kl</sup>	14.65±3.05 <sup>gh</sup>	13.65±1.63 <sup>no</sup>		
	TISTR-Agr PPU012	1.31±0.14 <sup>no</sup>	0.76±0.022 <sup>ej</sup>	231.08 ±12.70 <sup>l</sup>	0.030±0.002 <sup>cd</sup>	0.033±0.001 <sup>a</sup>	69.75±5.33 <sup>k</sup>	15.34±1.08 <sup>ef</sup>	12.40±1.76 <sup>p</sup>		
	TISTR-Agr PPU009	2.76±0.15 <sup>q</sup>	0.95±0.042 <sup>ad</sup>	444.34 ±9.21 <sup>b</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.003 <sup>bc</sup>	177.68 ±9.55 <sup>b</sup>	13.44±2.14 <sup>h-k</sup>	27.77 ±1.95 <sup>a</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	2.44±0.14 <sup>ob</sup>	0.89±0.032 <sup>ae</sup>	398.78 ±9.88 <sup>e</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.023±0.001 <sup>ab</sup>	169.76±5.90 <sup>c</sup>	12.23±3.28 <sup>jk</sup>	15.65±1.89 <sup>km</sup>		
2	TISTR-Agr PPU012	2.38±0.12 <sup>def</sup>	0.73±0.022 <sup>ei</sup>	401.56 ±11.00 <sup>de</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.001 <sup>bc</sup>	155.37 ±8.87 <sup>e</sup>	13.25 ±1.56 <sup>h-k</sup>	14.56±1.57 <sup>mn</sup>		
	TISTR-Agr PPU009	1.79±0.13 <sup>m</sup>	0.98±0.022 <sup>abc</sup>	403.13±13.21 <sup>de</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.010 ±0.002 <sup>c</sup>	157.61 ±4.33 <sup>de</sup>	12.95 ±3.13 <sup>jk</sup>	20.61±1.98 <sup>cd</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	1.74±0.21 <sup>m</sup>	0.73±0.014 <sup>ej</sup>	374.78 ±14.00 <sup>l</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.001 <sup>bc</sup>	145.33 ±8.41 <sup>d</sup>	19.56±3.78 <sup>d</sup>	20.12±1.73 <sup>c-f</sup>		
	TISTR-Agr PPU012	2.01±0.23 <sup>kl</sup>	0.62±0.013 <sup>j</sup>	360.62 ±12.50 <sup>f</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.001 <sup>bc</sup>	149.55 ±7.33 <sup>l</sup>	21.28 ±3.62 <sup>b</sup>	19.54±1.62 <sup>c-g</sup>		
	TISTR-Agr PPU009	2.44±0.11 <sup>obe</sup>	1.05±0.020 <sup>g</sup>	458.05±10.11 <sup>a</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.002 <sup>bc</sup>	176.90 ±2.95 <sup>g</sup>	25.51±2.05 <sup>g</sup>	18.78 ±2.05 <sup>gh</sup>		
3	TISTR-Agr PPU011	1.45±0.09 <sup>n</sup>	0.71±0.023 <sup>ij</sup>	314.75±10.70 <sup>h</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.003 <sup>bc</sup>	158.87 ±9.56 <sup>de</sup>	14.38±3.35 <sup>gh</sup>	15.35 ±1.70 <sup>lm</sup>		
	TISTR-Agr PPU012	1.67±0.10 <sup>m</sup>	0.84±0.025 <sup>ch</sup>	354.28±11.50 <sup>g</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.023 ±0.001 <sup>ab</sup>	144.33 ±5.28 <sup>g</sup>	13.42 ±3.28 <sup>g-k</sup>	14.12 ±1.84 <sup>n</sup>		
	TISTR-Agr PPU009	2.13±0.12 <sup>k</sup>	0.95 ±0.043 <sup>abd</sup>	318.98±14.40 <sup>h</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.002 <sup>bc</sup>	128.41±5.51 <sup>h</sup>	14.00 ±1.98 <sup>h</sup>	21.24 ±1.95 <sup>b</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	2.12±0.11 <sup>jk</sup>	0.76 ±0.070 <sup>ij</sup>	398.78±13.60 <sup>e</sup>	0.030±0.002 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.001 <sup>bc</sup>	127.33 ±4.38 <sup>h</sup>	13.12 ±1.76 <sup>h-k</sup>	19.47 ±1.76 <sup>fg</sup>		
	TISTR-Agr PPU012	2.31±0.12 <sup>e-h</sup>	0.69 ±0.065 <sup>ij</sup>	412.34±15.00 <sup>cd</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.023 ±0.001 <sup>ab</sup>	113.46 ±3.42 <sup>i</sup>	19.56 ±2.34 <sup>d</sup>	18.98±1.69 <sup>g</sup>		
4	TISTR-Agr PPU009	2.23±0.16 <sup>ij</sup>	0.68±0.023 <sup>ij</sup>	246.81±12.45 <sup>k</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.001 <sup>bc</sup>	50.91 ±2.95 <sup>o</sup>	19.93 ±2.81 <sup>c</sup>	19.61±2.68 <sup>fg</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	2.14±0.15 <sup>h-k</sup>	0.74 ±0.012 <sup>ij</sup>	253.55±12.36 <sup>j</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020±0.002 <sup>bc</sup>	68.58 ±9.56 <sup>k</sup>	12.12 ±2.55 <sup>k</sup>	17.68±2.74 <sup>hi</sup>		
	TISTR-Agr PPU012	2.17±0.23 <sup>g-k</sup>	0.83 ±0.037 <sup>gh</sup>	274.87 ±13.01 <sup>i</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.001 <sup>bc</sup>	76.98±1.28 <sup>l</sup>	19.34 ±2.87 <sup>d</sup>	16.53±1.83 <sup>h</sup>		
	TISTR-Agr PPU009	2.37±0.13 <sup>d-g</sup>	0.64±0.053 <sup>j</sup>	410.07 ±11.55 <sup>ob</sup>	0.05±0.001 <sup>a</sup>	0.020 ±0.001 <sup>bc</sup>	55.68 ±5.51 <sup>no</sup>	14.40 ±1.07 <sup>h</sup>	16.91±2.76 <sup>jk</sup>		
	TISTR-Agr PPU011	2.17±0.11 <sup>g-k</sup>	0.86±0.040 <sup>b-f</sup>	399.54 ±11.20 <sup>e</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.023 ±0.002 <sup>ab</sup>	63.25 ±4.38 <sup>m</sup>	16.59±3.54 <sup>e</sup>	16.30±1.16 <sup>kl</sup>		
5	TISTR-Agr PPU012	2.35±0.11 <sup>efg</sup>	0.75±0.042 <sup>ej</sup>	376.89±13.00 <sup>l</sup>	0.030±0.001 <sup>cd</sup>	0.020 ±0.003 <sup>bc</sup>	59.45 ±3.42 <sup>mn</sup>	14.65±3.09 <sup>gh</sup>	15.76±1.98 <sup>km</sup>		

**Note:** Numbers followed by the same letter in vertical do not significantly different from each other at 95% by DMRT test.

## สรุปผลการวิจัย

เนื่องจากเห็ดตระกูลนางฟ้าเป็นเห็ดที่ผลิตง่าย ให้ผลผลิตดอกเห็ดปริมาณที่สูง จึงนำมาสู่การศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญของเส้นใยในห้องปฏิบัติการ รวมถึงการศึกษาอัตราส่วนวัสดุเพาะและอาหารเสริมที่แตกต่างกัน 7 สูตร เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพและวัสดุเพาะที่เหมาะสมในการส่งเสริมการสร้างสารสำคัญที่มีผลต่อการลดความเสี่ยงโรคเกาต์ในดอกเห็ด จากการศึกษาพบว่าเห็ดนางฟ้าจะมีการเจริญเติบโตดีในอาหารเลี้ยงเชื้อ GYE ที่ระดับ pH 7.0 โดยสายพันธุ์ TISTR-Agr PPU 009 สามารถให้ผลสูง และผลิตสารบีต้า-กลูแคนที่มีคุณสมบัติลดความเสี่ยงจากโรคเกาต์ในดอกเห็ดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 55.17 มิลลิกรัมต่อกรัม ของน้ำหนักเห็ดแห้ง เมื่อเพาะด้วยวัสดุเพาะสูตรที่ 4 (ความชื้นของวัสดุเพาะร้อยละ 60) ในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดที่ระดับอุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ดอกเห็ดที่ได้อีกยังมีคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ในปริมาณสูงกว่าการเพาะจากก้อนเห็ดสูตรอื่นๆ

## เอกสารอ้างอิง

โซลม จิตรม้น. (2554). *ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพในการเพาะเห็ด* [วิทยานิพนธ์]. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

เต็มพงศ์ แสงปรกรณ์กิจ. (2552). *เห็ดนางฟ้า*. สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊ค.

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์. (2551). *เกษตรธรรมชาติ*. โอเดียนสโตร์.

นิรมล ศรีชนะ, จันทร์จิรา วงษา, อนุธิดา ป้องสิงห์, สุวัชชัย มิสุณา, กิตติพงษ์ ชูจิตร, บุษบาวดี พุทธาน. (2562). การวิเคราะห์หาปริมาณแร่ธาตุในเห็ดพื้นบ้านในจังหวัดเลย. การประชุมวิชาการระดับชาติด้านวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 1 “วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สร้างสรรค์นวัตกรรมเพื่อชุมชน” (น. 1-7). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย.

ประติภา ประดับไพโร, วันณรงค์ เดิมอารมณ์, ดันติมา กำลิ่ง, ธนภักษ์ อินยอด. (2557). ผลของปริมาณธาตุอาหารและสภาพแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและการสร้างสารสำคัญของเห็ดตระกูลนางฟ้าในสภาพโรงเรือนเปิดดอก. *วารสารเห็ดไทย*, 12, กรกฎาคม-ธันวาคม.

Adebayo-Tato, B.C., Jonathan S.G., Popoola, O.O., & Egbomuche, R.C. (2011). Optimization of growth conditions for mycelial yield and exopolysaccharide production by *Pleurotus ostreatus* cultivated in Nigeria. *Journal of Microbiology Research*, 5 (15), 2130-21385.

AOAC. 1995. *Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists* (16<sup>th</sup> ed.).AOAC.

Bach, F., Helm, C.V., Bellettini, M.B., Maciel, G.M., & Haminiuk, C.W.I. (2017). Edible mushrooms: a potential source of essential amino acids, glucans and minerals. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-11.

Chen, X. (1998). Studies on mushroom recultivation on used compost waste. *Proceedings of the 98<sup>th</sup> Nanjing International Symposium on Science and Cultivation of Mushrooms* (pp. 56). Nanjing, China.

Erkel, E.L. (2009). The effect of different substrates medium on yield of *Ganoderma lucidum* (Fr.) Karst. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 77 (3), 841-844.

Finimundy, T. C., Gambato, G., Fontana R., Camassola, M., Salvador, M., Moura, S., Hess, J., Henriques, J.A.P., Dillon, A.J.P., & Roesch-Ely M. (2013). Aqueous extracts of *Lentinula edodes* and *Pleurotus sajor-caju* exhibit high antioxidant capability and promising in vitro antitumor activity. *Nutrition Research*, 33 (1), 76-84.

Hansen, J. & Møller, I. (1975). Percolation of starch and soluble carbohydrates from plant tissue for quantitative determination with anthrone. *Analytical Biochemistry*, 68 (1), 87-94.

Hoa, H.T., & Wang, C.L. (2015). The Effects of Temperature and Nutritional Conditions on Mycelium Growth of Two Oyster Mushrooms (*Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus cystidiosus*). *Mycobiology*, 43 (1), 14-23.

Hsieh, C., Hsu, T.H., & Yang, F.C. (2005). Production of polysaccharides of *Ganoderma lucidum* (CCRC36021) by reusing thin stillage. *Process Biochemistry*, 40 (2), 909-916.

- Jiang, M., Zhao, M.M., Zhou, ZW., Huang, T., Chen, XL., & Wang, Y. (2011). Isolation of cellulose with ionic liquid from steam exploded rice straw. *Industrial Crops and Products*, 33 (3), 734-738.
- Kim, D.H., Yang, B.K., Jeong, S.C., Park, J.B., Cho, S.P., Das, S., Yun, J.W., & Song, C.H. (2001). Production of a hypoglycemic, extracellular polysaccharide from the submerged culture of the mushroom, *Phellinus linteus*. *Biotechnology Letters*, 23, 513-7.
- Kjeldahl, J. (1883). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen. Körpern Z. *Analytical Chemistry*, 22, 366-382.
- Kuforiji, O.O., & Fasidi, I.O. (2005). Factors affecting the yield of *Volvariella volvacea* in various agro-wastes. *Nigerian Journal of Microbiology*, 19, 550-555.
- Kumla, J., Suwannarach, N., Jaiyasen, A., Bussaban B., & Lumyong, S. (2013). Development of an Edible wild Strain of thai Oyster Mushroom for Economic Mushroom Production. *Chiang Mai Journal of Science*, 40 (2), 161-172.
- Kuo, C.F, Grainge, M.J., Zhang, W., & Doherty, M. (2015). Global epidemiology of gout: prevalence, incidence and risk factors. *Nature Reviews Rheumatology*, 11 (11), 649-62.
- Kupradit, C., Ranok, A., Mangkalan, S., Khongla C., & Musika, S. (2020). Effects of Natural Carbon Sources and Temperature on Mycelium Cultivations of *Lentinus squarrosulus* (Mont.), *Lentinus polychrous* Lev., *Pleurotus ostreatus* (Jacq.ex Fr.) P. Kumm. and *Volvariella volvacea* (Bull.) Singer. *Thai Journal of Science and Technology*, 9 (4).
- Lissandra, S.Q., Nascimento, M.S., Cruz, A.K.M., Castro, A.J.G., Moura, M.F.V., Baseia, I.G., Araújo, R.M., Benevides, N.M.B., Lima, L.F.A., & Leite, E.L. (2010). Glucans from the *Caripia montagnei* mushroom present anti-inflammatory activity. *International Immunopharmacology*, 10, 34-42.
- Ragab, G., Elshahaly, M., & Bardin, T. (2017). Gout: An old disease in new perspective-A review. *Journal of Advanced Research*, 8 (5), 495-511.
- Rambey, R., Sitepu, I.D.B., & Siregar, E.B.M. (2019). Productivity of oyster mushrooms (*Pleurotus ostreatus*) on media corncobs mixed with sawdust. *Earth and Environmental Science*, 260, 1-6.
- Westerman, R.L. (1990). *Soil testing and plant analysis*, (3<sup>rd</sup> edition). Madison, WI: Soil Science Society of Americ..
- Willard, H.H., Merrill, L.L., & Dean, J.A. (2001). *Laboratory Work Instrumental Methods of Analysis*. CBS Publishers And Distributors Pvt Ltd
- Yoshioka, Y. Tabeta, R., Saitô, H., Uehara, N., & Fukuoka F. (1985). Antitumor polysaccharides from *P. ostreatus* (Fr.) quel.: Isolation and structure of a  $\beta$ -glucan. *Carbohydrate Research*, 140 (1), 93-100.

# ผลของอาหารที่ต่างกันต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของปลาไหลนา

## Effects of different food on physical property changes of ponds and the growth of eels

นิชปา ฉัตรการ<sup>1\*</sup>, นันทิญา มณีโชติ<sup>1</sup>, ชูจิต สารภาค<sup>1</sup>, อารีย์ ไกรสุรย์<sup>2</sup>  
NichapaChetrakran<sup>1\*</sup>, Nuntiya Maneechot<sup>1</sup>, Choojit Sarapak<sup>1</sup>, AreeKraisoon<sup>2</sup>

Received: 11 December 2020 ; Revised: 17 February 2021 ; Accepted: 29 March 2021

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอาหารต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของปลาไหลนา จำลองการเลี้ยงโดยเลียนแบบธรรมชาติในบ่อซีเมนต์ ปรับค่า pH ของบ่อก่อนเลี้ยงให้อยู่ในช่วง pH 6-9 จำนวน 9 บ่อ ปล่อยปลาไหล 4 ตัว/บ่อ (เพศเมีย : เพศผู้ เท่ากับ 3:1) วางแผนการทดลองโดยใช้ CRD (completely Randomized Design) แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มให้อาหารด้วยหอยเชอรี่สด (กลุ่มควบคุม) อาหารกุ้งและอาหารปลาตุ๊ก ให้อาหาร 2 วัน/ครั้ง ในช่วงเวลา 17.00-18.00 น. ทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 6 เดือน (กุมภาพันธ์-กรกฎาคม 2562) ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของบ่อแต่ละเดือนจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมของอากาศ (อยู่ในช่วง 29 -34 องศาเซลเซียส) คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงมีค่าเฉลี่ย pH 7.29-7.66 และค่า BOD อยู่ระหว่าง 5.30-6.70 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ปริมาณความชื้นของดินก่อนเลี้ยงในบ่อที่เลี้ยงด้วยหอยเชอรี่ อาหารกุ้งและอาหารปลาตุ๊ก เฉลี่ยเท่ากับ 11.35, 11.90 และ 11.28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และหลังเลี้ยงเฉลี่ย 18.57, 18.48 และ 17.93 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ความหนาแน่นของดินก่อนเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.79-1.99 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนหลังเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.45-1.47 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า pH ของดินก่อนเลี้ยงอยู่ในช่วง 6.6-6.8 และหลังเลี้ยงอยู่ในช่วง 7.4-7.7 สภาพเนื้อดินก่อนเลี้ยงและหลังเลี้ยงเป็นดินเหนียว ปลาไหลที่นำมาเลี้ยงมีอัตราการรอดอยู่ในช่วง 60-70 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักเฉลี่ยของปลาไหลก่อนเลี้ยงด้วยอาหารด้วยหอยเชอรี่สด อาหารกุ้งและอาหารปลาตุ๊ก เท่ากับ 222.50, 210.00, 230.03 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักหลังเลี้ยงเฉลี่ยเท่ากับ 416.25, 322.72 และ 307.75 ตามลำดับ โดยกลุ่มให้อาหารด้วยหอยเชอรี่มีการเจริญเติบโตได้ดีที่สุด การให้อาหารที่ต่างกันสำหรับการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์มีผลทำให้ปลาไหลเจริญเติบโตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P <0.05)

**คำสำคัญ:** ปลาไหลนา อาหารปลาไหล บ่อซีเมนต์ การเจริญเติบโต

### Abstract

The objectives of this research were to study the effect of different foods on the physical characteristics of ponds and growth rate of eels by simulating farming to mimic nature in cement ponds. The pH of the ponds was adjusted to be in the range of pH 6-9 and the experiment was conducted by farming eels in 9 cement ponds. Four eels were released into each pond (3 females: 1 male). CRD (Completely Randomized Design) was used to plan the experiment which was divided into three groups in which three kinds of food were supplied; fresh golden apple snails, prawn food and catfish food. Feeding was every two days (feeding time was 17.00 to 18.00) and the eels were fed for 6 months (February-July 2019). The research found that the temperature outside and inside the cement pond during each month changed according to the air environment. The storage temperature outside the pond and the temperature inside the pond from February to July was in the range of 29 -34 °C. The temperature each month varied with the outside temperature. The water pH of the pond was 7.29 to 7.66 and the BOD values were within standards between 5.30 and 6.70.

<sup>1</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์พื้นฐานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

<sup>2</sup> สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ 32000

<sup>1</sup> Department of Basic Science, Faculty of Science and Technology, SurindraRajabhat University, Surin, Maung, 32000, THAILAND

<sup>2</sup> Agriculture Program, Faculty of Agriculture and Agricultural Industry, SurindraRajabhat University, Surin, Maung, 32000, THAILAND

\* Corresponding Author E-mail: Jauruwon174@gmail.com

The average soil moisture content before and after culture in the ponds fed with golden apple snails, prawn food and catfish food were 11.35%, 11.90 % and 11.28 %, respectively, and 18.57%, 18.48 % and 17.93 %, respectively. The soil density and the soil pH before and after culture was in the range of 1.79-1.99 mg/m<sup>3</sup> and 1.45-1.47, mg/m<sup>3</sup> and 6.6-6.8 and 7.4-7.7, respectively. The soil texture before and after culture was clay. It was also found that the survival rate of eels was 60-70 %. The average weight of eels before and after feeding with fresh apple snails, prawn food and catfish food was 222.50, 210.00, 230.00 g, respectively, and 416.25, 322.75 and 307.75 g, respectively. Feeding the eels with golden apple snails brought about the best growth. The weights of eels cultured in cement ponds with different feeding regimes were significantly different, ( $p < 0.05$ ).

**Keywords:** swamp eels, eel food, physical properties of cement ponds

## บทนำ

ปลาไหลนา เป็นปลาน้ำจืดชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Monopterus albus* เป็นสัตว์เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สามารถเลี้ยงได้ให้กับชุมชน โดยเฉพาะในอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ ปิยะหลายล้านบาท การบริโภคปลาไหลในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นการจับมาจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในอดีตปลาไหลหาได้ง่ายและมีจำนวนมาก พบตามห้วย หนอง คลอง บึง หรือในนาข้าว แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ การขยายพื้นที่ของชุมชนเมือง การทำลายแหล่งน้ำธรรมชาติ และการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ ปัจจุบันปริมาณปลาไหลจากแหล่งน้ำธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลง ส่งผลให้ไม่สามารถส่งเสริมการเลี้ยงปลาไหลในเชิงพาณิชย์ได้ จากการศึกษาชีววิทยา การสืบพันธุ์และการเพาะขยายพันธุ์เบื้องต้นของปลาไหลนา โดยให้วางไข่ตามธรรมชาติในบ่อคอนกรีตดำเนินการโดยใช้พ่อแม่พันธุ์ที่รวบรวมจากธรรมชาติผลการศึกษาพบว่าค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศเฉลี่ยในรอบปีเท่ากับ 5.77 ซึ่งมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคมคือ 10.4 มีจำนวนไข่ในรังไข่อยู่ในช่วง 187 - 962 ฟองการเพาะพันธุ์ปลาไหลนาโดยใช้พ่อแม่พันธุ์ในสัดส่วนเพศผู้:เพศเมียเท่ากับ 1:3 พบว่าปลาไหลนาวางไข่ในบ่อทดลองตัวอ่อนจะฟักออกจากเปลือกไข่ภายใน 7 วันมีความยาวประมาณ 1.0 ถึง 1.3 เซนติเมตร มีครีบทูและครีบทูจะเริ่มลดรูปลงจนหายไปพร้อมกับถุงไข่แดงหลังจากตัวอ่อนฟักออกจากไข่ประมาณ 7 วันผลผลิตลูกปลาไหลนาอยู่ในช่วง 58 - 875 ตัว/รัง (วิรัช จิวแหยม, 2551) จากความเข้าใจเกี่ยวกับชีววิทยาพื้นฐานด้านต่างๆ ความรู้ด้านพันธุกรรมและชีววิทยาระดับเซลล์ จึงเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อเป็นข้อมูลประกอบทำให้เราเข้าใจเกี่ยวกับการดำรงชีวิตและชีววิทยาของปลาไหลมากยิ่งขึ้น อันจะเป็นประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การเพาะเลี้ยง การปรับปรุงพันธุ์ การอนุรักษ์พันธุ์ (อลงกลด แทนอมทอง, 2554)

นิชาภา เจริญการและคณะ (2559) ศึกษาชีวลักษณะของปลาไหลและสมบัติทางกายภาพบริเวณอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ ผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลสถิณฐานวิทยา

บางประการของปลาไหล ในช่วงฤดูการก่อนมรสุม (เดือนพฤศจิกายน-เมษายน) นั้นปลาไหลมีค่าเฉลี่ยน้ำหนัก 130.00 กรัม ความยาวทั้งหมด 39.70 เซนติเมตร ความยาวลำตัว 30.00 เซนติเมตร ความยาวหาง 9.70 เซนติเมตร ความยาวหัว 2.90 เซนติเมตร และความยาวจงอยปากถึงตา 9.47 เซนติเมตร ปลาไหลจะมีอยู่จำนวนมากในช่วงดินที่ความลึก 100 เซนติเมตร ลงไป และความชื้น 15.36 เปอร์เซ็นต์ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 5.097 ค่าการนำไฟฟ้า ( $E_c$ ) 149.4 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ค่าความต้องการปุ๋ย (LR) 7.40 ค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) , ธาตุอาหารหลัก (NPK) , ไม่มีความแตกต่าง มีแนวโน้มค่อนข้างต่ำ แหล่งน้ำที่ปลาไหลอาศัยอยู่ มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 5.50 ค่าน้ำดีน้ำเสีย (Do) 6.00 ข้อมูลหลังมรสุมพบว่า มีค่าเฉลี่ย ดังนี้ น้ำหนัก 170 กรัม ความยาวทั้งหมด 52.35 เซนติเมตร ความยาวลำตัว 39.90 เซนติเมตร ความยาวหาง 12.45 เซนติเมตรความยาวหัว 3.92 เซนติเมตร และความยาวจงอยปากถึงตา 10.99 เซนติเมตร ช่วงหลังมรสุม (พฤษภาคม-ตุลาคม) ปลาไหลอาศัยปลาไหลจะมีอยู่จำนวนมากในช่วงดินที่ความลึก 100 เซนติเมตรและมีความชื้น 14.17 %ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 5.16 ค่าการนำไฟฟ้า( $E_c$ ) 121.50 ไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ค่าความต้องการปุ๋ย (LR) 7.30 ค่าอินทรีย์วัตถุ (OM) , ธาตุอาหารหลัก (NPK) , ไม่มีความแตกต่าง มีแนวโน้มค่อนข้างต่ำแหล่งน้ำที่ปลาไหลอาศัยอยู่ มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) 6.35 ค่าน้ำดีน้ำเสีย (Do) 6.00

ทั้งจากการลงพื้นที่สำรวจบริบทและสภาพแวดล้อมในหมู่บ้านวังศิลา ตำบลศรีณรงค์ อำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์เบื้องต้น พบว่า เกษตรกรมีการเลี้ยงปลาไหลหลากหลายรูปแบบ เช่น การเลี้ยงในบ่อดิน, การเลี้ยงในถัง และการเลี้ยงในบ่อปูน แต่ยังคงต้องการความช่วยเหลือในด้านความรู้และเทคนิคโยการเลี้ยง กล่าวคือผู้เลี้ยงปลาไหล ยังขาดความรู้พื้นฐานและความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับการเลี้ยงให้ได้ปริมาณและคุณภาพที่สม่ำเสมอ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำองค์ความรู้และข้อมูลจากงานวิจัย มาประยุกต์เพื่อทดลองเลี้ยงปลาไหลใน

บ่อซีเมนต์ที่เลียนแบบธรรมชาติ ข้อดี ของการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ยังสามารถควบคุมปัจจัยในบ่อได้อย่างง่ายและสามารถสร้างระบบนิเวศในบ่อได้เหมาะสม โดยการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำดินและปลาไหลจากแหล่งชุกชุมจากอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ มาใช้ในการทดลอง โดยการให้อาหารต่างชนิด เพื่อศึกษาถึงผลของอาหารที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของบ่อเลี้ยง และการเจริญเติบโตของปลาไหลในบ่อซีเมนต์ ซึ่งจะสามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและส่งเสริมอาชีพให้เกษตรกรในพื้นที่ต่อไป

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของอาหารที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของบ่อเลี้ยงและการเจริญเติบโตของปลาไหลในบ่อซีเมนต์

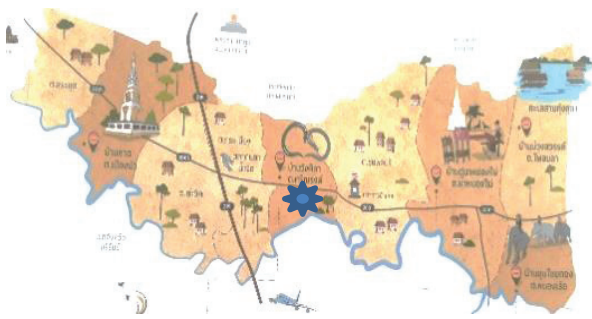


Figure 1 Map and location of eel's habitats (\*)

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### การเตรียมบ่อซีเมนต์ทดลอง

บ่อซีเมนต์ที่ใช้สำหรับทดลองมีขนาด 63x45x45 เซนติเมตรรูปทรงเป็นวงกลม มีรูระบายน้ำด้านข้างบ่อซีเมนต์เพื่อใช้ระบายน้ำที่ถูกวางบนยางรถยนต์เพื่อปรับอุณหภูมิของดินและสิ่งแวดล้อมภายในบ่อจำนวน 9 บ่อ การทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ที่ซื้อมาใหม่ยังไม่เหมาะสมในการเลี้ยงปลาเนื่องจากค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)ของน้ำในบ่อ วัดได้ที่ 11-12 จึงทำการปรับค่า pH ของบ่อให้อยู่ในช่วง 6-9 (วิไลลักษณ์ กิจนะพานิช, 2531) ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ต้นกล้วยสับในการปรับค่า pH การเลือกต้นกล้วยในการทดลองครั้งนี้เนื่องจากเป็นวัสดุธรรมชาติและหาได้ง่ายในท้องถิ่นและแช่ต้นกล้วยสับในบ่อซีเมนต์ทิ้งไว้จนกว่าค่า pH จะอยู่ในช่วง 6-9 วัดค่า pH ทุกวัน เป็นเวลา

14 วัน จากนั้นจึงทำความสะอาดบ่อด้วยน้ำเปล่าและตากบ่อให้แห้งเป็นเวลา 3 วัน

นำดินที่ได้จากแหล่งปลาไหลชุกชุมบริเวณอำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์โดยเติมดินลงบ่อซีเมนต์ตรงข้ามรูระบายน้ำประมาณ 30 กิโลกรัม/บ่อ (Figure 2) นำน้ำที่ใช้จากแหล่งธรรมชาติโดยการวัดค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ปลาสามารถอยู่ได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2548) หากน้ำมีค่า pH ต่ำกว่า 4 หรือสูงกว่า 11 จะทำให้ปลาตาย แต่หากอยู่ในช่วง 4-6 หรือ 9-11 จะทำให้ปลาเจริญเติบโตช้า เทน้ำลงบ่อซีเมนต์ให้พื้นดินมาประมาณ 10 เซนติเมตร ใส่ผักตบชวาจำนวน 2 กิโลกรัม/บ่อ พักบ่อไว้ 3 วัน จากนั้นนำปลาไหลลงไปเพาะเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้ อัตราการปล่อยปลาไหล 3:1 เพศเมีย 3 เพศผู้ 1 (Figure 2) ใช้ตาข่ายปิดปากบ่อซีเมนต์เพื่อป้องกันศัตรูตามธรรมชาติของปลาไหลและพรางแสง(Figure 3) ทำการเปลี่ยนน้ำทุกๆ 7 วัน (จากการสังเกตการปล่อยน้ำบ่อยทำให้ปลาไหลไม่กินอาหาร) เป็นเวลา 6 เดือน

การเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์มีการทดลอง 5 ขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 เลือกทำเลในการเลี้ยงปลาไหล ไม่ควรอยู่ในที่โล่งแจ้ง มีที่บังฝนและไม่ควรอยู่ใต้ถุนบ้านเนื่องจากจะทำให้พีชในบ่อเลี้ยงไม่เจริญเติบโต ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมบ่อซีเมนต์ โดยวิธีแช่ต้นกล้วยสับทิ้งไว้ในบ่อซีเมนต์ประมาณ 14 วัน ขั้นตอนที่ 3 เตรียมดิน ใส่ดินด้านเดียว ในบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้ บ่อจะมีรูระบายเปิดเปิดเพื่อปล่อยน้ำทิ้งได้สะดวก การใส่ดิน จะใส่ตรงข้ามกับรูระบายน้ำ น้ำที่ใช้เป็นแหล่งน้ำธรรมชาติ น้ำคลองและกรองด้วยผ้าขาวก่อนเทน้ำลงบ่อซีเมนต์ หลังจากนั้นนำผักตบชวา วางลงในบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้เพื่อการเลี้ยงปลาไหล ขั้นตอนที่ 4 พักบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้ 3 วัน ขั้นตอนที่ 5 ปล่อยปลาไหลลงบ่อ การให้อาหารในเลี้ยงปลาไหล จะให้ในช่วงเวลา 16.00 น.-17.00 น. (นิชาภา เจตระการ และนนทิญา มณีโชติ, 2562) ปริมาณในการให้อาหารคือ 10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักปลาไหลโดยให้ 2 วัน/ครั้ง หากวันรุ่งขึ้นอาหารเหลือให้ตักออกและตากไว้เพื่อใช้ใหม่ในวันถัดไปได้เพื่อให้ น้ำเสียซาลง จึงทำให้ระบบนิเวศที่ดีขึ้นโดยสังเกตจากสีของน้ำและไม่ได้กลิ่นสาบดินหรือกลิ่นโคลน





Figure 2 Cement ponds for using faming eels

**การวางแผนการทดลอง**

วางแผนการทดลองแบบ CRD (completely Randomized Design) รวบรวมพันธุ์ปลาไหลนาจำนวน 36 ตัว ที่ได้จากแหล่งธรรมชาติบ้านวังศิลา ตำบลศรีณรงค์ อำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ให้อาหารและพักไว้เป็นเวลา 3 วัน และทำการชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่งนำปลาไหลใส่ลงไปในบ่อ ซีเมนต์จำนวน 4 ตัว/บ่อ อัตราการปล่อย 1:3 เพศผู้ 1 ตัวเพศเมีย 3 แต่ละTreatment จำนวน 3 ซ้ำ/Treatment ให้อาหาร 3 ประเภท ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว ให้อาหาร 2 วัน/ครั้ง อาหาร 3 ประเภทดังนี้

Treatment<sub>1</sub> คือกลุ่มที่ได้รับหอยสดทุบ (อาหารควบคุม) โดยการให้หอยสดทุบเปลือกออก

Treatment<sub>2</sub> คือกลุ่มที่ได้รับอาหารจมอาหารสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงกุ้ง โปรตีน 40% ไขมัน 5% กากไม่น้อยกว่า 3 % ความชื้นไม่สูงกว่า 11% (Inteqc112, Inteqc Feed Co., Ltd, Thailand)

Treatment<sub>3</sub> คือกลุ่มที่ให้อาหารลอย อาหารสำเร็จรูป สำหรับเลี้ยงปลาดุก โปรตีน 25% ไขมัน 4% กากไม่น้อยกว่า 8 % ความชื้นไม่สูงกว่า 12% (Fish First, Inteqc Feed Co., Ltd, Thailand)

**การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของบ่อซีเมนต์**

1. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำก่อนเลี้ยงและ หลังเลี้ยงในช่วงเวลาเช้าดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจโดย วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

1.1 ทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้วิธี Electrometric method

1.2 ทดสอบค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) โดยใช้วิธี Azid Modification

1.3 ทดสอบค่าออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลาย สารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand ; BOD) โดยใช้ วิธี 5-Day BOD

2. คุณภาพของดินก่อนเลี้ยงและหลังเลี้ยงในช่วงเช้า ดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัด

2.1 ความชื้นในดิน นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 C°

2.2 ความหนาแน่นรวมของดิน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 C° จากสมการ

$$p = W_s/V_s$$

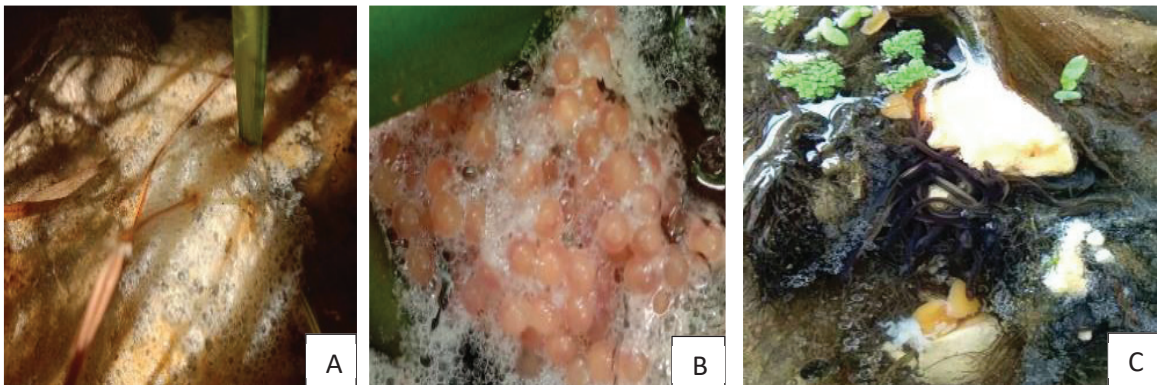


Figure 3 A: Bubble nests of eels B: Eel eggs C:Baby eel

2.3 สีดิน โดยเทียบกับสมุดเทียบสี (Munsell Book of Colour)

2.4 อนุภาคดินโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์คำนวณเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของทรายแป้ง และดินเหนียวโดยให้สมการดังนี้

$$\% \text{silt+clay} = (R_1 + C_1 \times 100) / 50 \quad (1)$$

$R_1$  คือ Hydrometer ของตัวอย่างที่ 40 นาทีแรก

$C_1$  คือ การเปลี่ยนจาก  $C^\circ$  เป็น  $F^\circ$  ของดินตัวอย่างที่ 40 นาทีแรก

$$\% \text{ clay} = (R_2 + C_2 \times 100) / 50 \quad (2)$$

$R_2$  คือ Hydrometer ของตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง

$C_2$  คือ การเปลี่ยนจาก  $C^\circ$  เป็น  $F^\circ$  ของดินตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง

$$\% \text{silt} = (\% \text{silt+clay}) - \% \text{clay} \quad (3)$$

$$\% \text{ sand} = 100 - (\% \text{silt+clay}) \quad (4)$$

เมื่อเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ทราย แป้ง และเปอร์เซ็นต์ดินเหนียวแล้วนำตัวเลขนี้ไปเทียบกับตารางสามเหลี่ยมสำหรับพิจารณาประเภทเนื้อดิน

2.5 การหาอินทรีย์วัตถุในดิน โดยใช้ชุดตรวจสอบอินทรีย์วัตถุในดินภาคสนาม Soil (Organic Matter; OM)

2.6 ทดสอบความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter

#### การวัดอัตราการรอดและน้ำหนักของปลาไหล

ปลาไหลนาทุกตัวถูกชั่งน้ำหนักการเจริญเติบโต ทุกๆ 2 เดือน จำนวน 3 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการคำนวณการเจริญเติบโตประสิทธิภาพการให้อาหารแต่ละชนิดต่ออัตราการรอด (Survival Rate ; SR), น้ำหนักเพิ่มขึ้น (Weight gain) ตามสมการดังต่อไปนี้

อัตราการรอด (Survival Rate ; SR)

$$SR = \frac{\text{จำนวนปลาสุดท้าย} \times 100}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้น}}$$

น้ำหนักเพิ่มขึ้น (Weight gain) = (น้ำหนักปลาทั้งหมด/จำนวนปลาทั้งหมด)

(วิมล จันทโรทัย และคณะ, 2535)

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way Analysis of Variance (ANOVA)) เทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มทดลองตามวิธีของ Duncan New's Multiple Range Test (DMRT) กำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

ปัจจัยด้านอาหารที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของปลาไหลนาที่เลี้ยงในบ่อซีเมนต์โดยทำการดัดแปลงลักษณะทางกายภาพภายในบ่อซีเมนต์ สำหรับอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงปลาไหล เกิดจากผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ บ้านวังศิลา ตำบลศรีณรงค์ อำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์ และได้สังเกตการให้อาหารในการเลี้ยงปลาไหลของเกษตรกร ซึ่งได้พบว่าชนิดอาหารของปลาไหล คือ หอยเชอรี่ (เป็นอาหารควบคุม) อาหารจมนสำเร็จรูป อาหารลอยสำเร็จรูป ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ในการดำเนินการทดลอง สำหรับบ่อทดลองเป็นบ่อซีเมนต์เป็นแบบกลมมีขนาด 63x45x45 เซนติเมตร เนื่องจากบ่อซีเมนต์ที่นำมาทดลองเป็นบ่อซีเมนต์ใหม่ยังคงมีความเป็นด่างจากปูนสูง และจากการทดสอบ พบว่า มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ทั้ง 9 บ่อ อยู่ที่ 11-12 จึงต้องปรับให้มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในช่วง 6.5-9 เพื่อเพิ่มอัตราการรอดของปลา การปรับบ่อซีเมนต์ผู้วิจัยใช้ต้นกล้วยสับในการช่วยลดความด่างของบ่อซีเมนต์โดยนำต้นกล้วยสับ ใส่บ่อละ 5 กิโลกรัม ใส่ต้นกล้วยสับในบ่อและนำน้ำใส่ในบ่อให้ล้นบ่อ เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ค่า pH ทั้ง 9 บ่อ ลดลงอยู่ในช่วง 6.5-9 ซึ่งค่า pH ที่สามารถเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ได้ หลังจากนั้นล้างบ่อด้วยน้ำเปล่าแล้วทิ้งบ่อให้แห้ง 3 วัน จึงใส่ดิน 30 กิโลกรัม/บ่อ ผักตบชวา 2 กิโลกรัม/บ่อ เติมน้ำจากแหล่งธรรมชาติให้พื้นเหนื่อดิน 10 เซนติเมตร ค่า pH เมื่อเตรียมบ่อซีเมนต์เรียบร้อยแล้วทิ้งบ่อซีเมนต์ไว้ 3 วัน เพื่อความสมดุลของระบบนิเวศหลังจากนั้น ปล่อยปลาไหลด้วยอัตรา 4 ตัว/บ่อ การเลือกปลาไหลเป็นปัจจัยอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยง

การศึกษาผลของอาหารที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติทางกายภาพในบ่อเลี้ยงปลาไหลได้แก่อุณหภูมิ ดิน น้ำ ภายในบ่อซีเมนต์ที่เลี้ยงปลาไหลแบบเลียนแบบธรรมชาติ การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ ในแต่ละช่วงเดือนหรือแต่ละวัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิ น้ำ การเปลี่ยนแปลงของรังสีดวงอาทิตย์ ความเร็ว ลม ความถี่ เป็นสิ่งที่สามารถวัดได้อย่างชัดเจน และอุณหภูมิ น้ำตามธรรมชาติจะแปรผันตามอุณหภูมิของอากาศ (Vass, 2009) ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศจึงมีผลต่ออุณหภูมิ น้ำและคุณภาพน้ำอื่นๆ เช่น ในบ่อเลี้ยงปลาไหลแตกต่างกันไปในแต่ละวัน เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิในบ่อเลี้ยงในหน่วย

การทดลองมี อาหาร 3 ชนิด รวมทั้งหมด 9 บ่อ พบว่าช่วงเดือนกุมภาพันธ์-กรกฎาคม 2562 ทุกทรีตเมนต์ (Treatment) อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 29-34 องศาเซลเซียส การทดลองมีแนว

โน้มลดลงและเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่แตกต่างกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน (Figure 4)

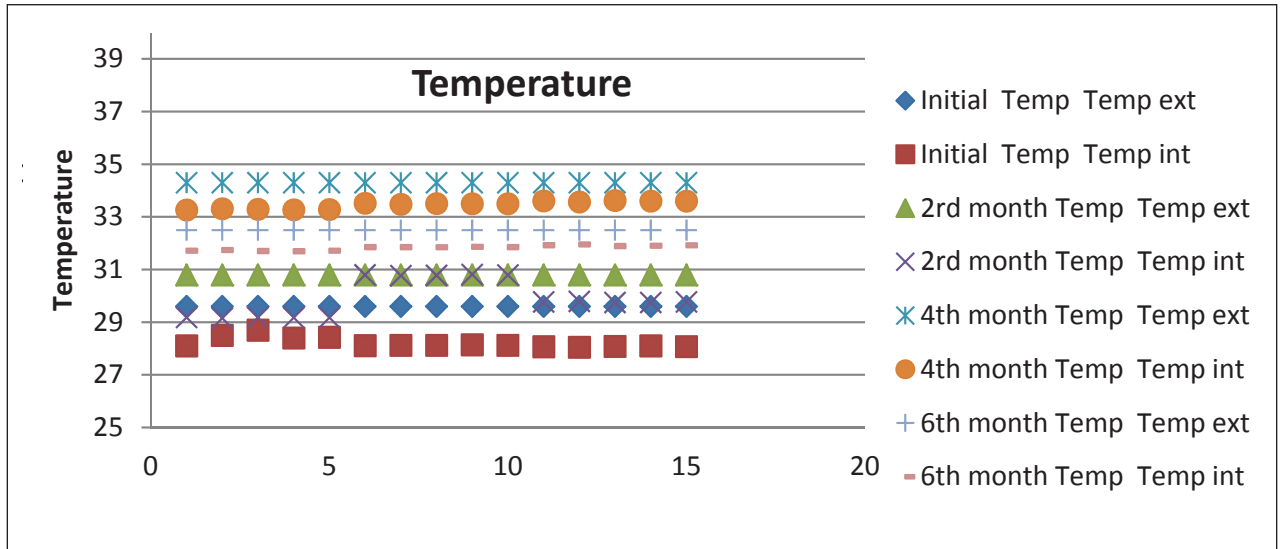


Figure 4 Temperature in the ponds during 6 months period

ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) และค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์

จาก Table 1. ค่า pH เป็นสิ่งที่บ่งบอกให้ทราบถึงความเข้มข้นของสภาพความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย โดยวัดออกมาในรูปของแอกทิวิตีของไฮโดรเจน (วิลลิกซ์ กิจนะพานิช, 2531) เมื่อเปรียบเทียบ pH หน่วยการทดลองต่างๆ คือหน่วยการทดลองทรีตเมนต์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับพบว่า ในหน่วยการทดลองการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ด้วยอาหารต่างชนิดกัน พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างก่อนเลี้ยงสูงสุดคือทรีตเมนต์ 1 ที่มี pH 7.36 ต่ำสุดคือทรีตเมนต์ 2 ที่มี pH 7.21 ค่าความเป็นกรด-ด่างหลังเลี้ยงสูงสุดคือทรีตเมนต์ 1 ที่มี pH 7.69 ต่ำสุดคือทรีตเมนต์ 2 แนวโน้มการ

ลดลงและเพิ่มขึ้นของค่า pH 7.64 อยู่ระหว่างช่วงค่ามาตรฐาน มกช.(2547) คือ pH 7.65 - 8 ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) เป็นสิ่งที่บ่งบอกค่าที่ให้ทราบถึงความเข้มข้น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (ประเทือง เขาวีวันกลาง, 2538) ในการทดลองนี้พบว่า ค่า DO มีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นค่า DO ไม่แตกต่างกันโดยมี DO ระหว่าง 3 -4.20 ppm ค่า ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ (BOD) ค่า BOD มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ระหว่าง 4.10-6.10 mg/l อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทั้ง

สมบัติทางกายภาพของน้ำที่เลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์โดยการเลี้ยงด้วยอาหารต่างชนิดกัน พบว่าค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำได้แก่ค่า pH, DO และ BOD ในบ่อปลาไหลจากการให้อาหารทั้งสามชนิดไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

Table 1 Value of pH,DO, BOD in the pond water before and after farming eels

Treatment	pH	PH Standard (ACFS,2004)	D.O. (mg/l)	D.O. standard (ACFS, 2004)	BOD (mg/l)	BOD standard (ACFS, 2004)
Treatment <sub>1</sub> (Before)	7.36	6.5-8	3.30	< 4 mg/l	4.10	<20 mg/l
Treatment <sub>2</sub> (Before)	7.21		3.00		5.70	
Treatment <sub>3</sub> (Before)	7.32		4.20		6.10	
Treatment <sub>1</sub> (After)	7.69		3.00		6.10	
Treatment <sub>2</sub> (After)	7.64		4.00		7.70	
Treatment <sub>3</sub> (After)	7.66		4.10		6.30	

### ค่าความหนาแน่นและความชื้นของดิน

จาก Table 2 แสดงคุณสมบัติของดินก่อนนำมาเลี้ยง และหลังเลี้ยง พบว่า ความชื้นในดินก่อนเลี้ยงปลาไหล อยู่ใน ช่วง 11.28-11.90% และหลังเลี้ยงอยู่ในช่วง 17.93 -18.57% นำดินประเภทนี้มาใส่ในบ่อซีเมนต์ที่เตรียมไว้ หลังจากเลี้ยง ปลาไหล ไปได้ 6 เดือน นำมาหาความหนาแน่นก่อนเลี้ยง

อยู่ในช่วง 1.79-1.99 g/cm<sup>3</sup> หลังเลี้ยงอยู่ในช่วง 1.45-1.47 g/cm<sup>3</sup> สภาพดินหลวมมาก (very loose) (ชินวัณณ์ พวงยอด, 2549) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของความหนาแน่น ของดินระหว่างการให้ชนิดของอาหารที่แตกต่างกัน พบว่า ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p<0.05)

**Table 2** Humidity, density value of soil in the pond before and after farming eels.

Treatment	Humidity (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Treatment <sub>1</sub> (Before)	11.35	1.99
Treatment <sub>2</sub> (Before)	11.90	1.79
Treatment <sub>3</sub> (Before)	11.28	1.89
Treatment <sub>1</sub> (After)	18.57	1.45
Treatment <sub>2</sub> (After)	18.48	1.47
Treatment <sub>3</sub> (After)	17.93	1.45

### ค่าอินทรีย์วัตถุในดิน (OM) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เนื้อดิน (Soil Texture)

จาก Table 3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ก่อนเลี้ยงปลาไหลและหลังเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์พบว่า ค่าอินทรีย์วัตถุในดินก่อนเลี้ยงและหลังเลี้ยงทั้ง 9 บ่อ อยู่ใน เกณฑ์ค่อนข้างต่ำและต่ำมาก และก่อนเลี้ยงทริตเมนต์ 2 มี ค่า pH ต่ำสุด 6.6 และทริตเมนต์ 3 มีค่า pH สูงสุด 6.9 หลัง เลี้ยงทริตเมนต์ 3 มีค่า pH ต่ำสุด 7.4 และทริตเมนต์ 1 มีค่า pH สูงสุด 7.7 เนื้อดินก่อนและหลังเลี้ยงมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ซึ่งดินที่นำมาเลี้ยงเป็นดินมาจากแหล่งเดียวกันพบว่า

ดินก่อนเลี้ยงปลาไหลสีดินมีค่า 7.5 YR 6/6, 7.5 YR 4/6 และ 5 YR 5/8 สีดิน คือสีเหลืองแดงตามลำดับ ดินหลังเลี้ยง สีดินมีค่า 7.5 YR 5/6, 7.5 YR 4/4, 5 YR 5/8 ยังคงเป็นสีเหลือง แดงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่า pH ของดินก่อนและหลัง เลี้ยงปลาพบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และค่าความหนาแน่นของดินก่อนและหลังเลี้ยงปลา แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) แต่ค่า pH และความหนาแน่นของดินระหว่างการให้อาหารที่แตกต่างกัน พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (p>0.05)

**Table 3** OM, pH, soil texture value of soil in the pond before and after farming eels.

Treatment	Soil Texture						
	OM	pH	% Sand	% Clay	% Silt	Soil Texture	Clay Color
Treatment <sub>1</sub> (Before)	(Low)	6.8	22.8	61.6	17.6	Clay	7.5YR 6/6 (Reddish yellow)
Treatment <sub>2</sub> (Before)	(Very Low)	6.6	20.8	63.6	15.6	Clay	7.5YR 4/6 (Strong Brown)
Treatment <sub>3</sub> (Before)	(Very Low)	6.9	22.8	59.6	19.6	Clay	5 YR 5/8 (Yellowish red)
Treatment <sub>1</sub> (After)	(Very Low)	7.7	20.8	53.6	23.6	Clay	7.5YR 5/6 (Strong Brown)
Treatment <sub>2</sub> (After)	(Very Low)	7.5	20.8	53.6	25.6	Clay	7.5YR 4/4 (Brown)
Treatment <sub>3</sub> (After)	(Very Low)	7.4	20.8	49.6	27.6	Clay	5 YR 5/8 (Strong Brown)

**การวัดอัตราการรอดและน้ำหนักของปลาไหลในการเลี้ยงในบ่อซีเมนต์**

จาก Table 4 ซึ่งน้ำหนักของปลาไหลทุกตัวก่อนเลี้ยงมีน้ำหนักเฉลี่ย 220.83±4.27 กรัม/ตัว ทั้งหมด 36 ตัว ในการทดลอง การเจริญเติบโตของปลาไหลต้นน้ำหนักมีค่าเฉลี่ย 416.25±2.13, 375.50±4.27 และ 312.50±3.15 ตามลำดับ พบว่าอัตราการรอดและเจริญเติบโตของปลาไหลใน

แต่ละทรีตเมนต์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง มีค่าดังนี้คือ 71.33, 63.00, 63.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลจากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มที่ได้รับอาหารแต่ละชนิด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยทรีตเมนต์ 1 (กลุ่มที่ได้รับหอยสดทุบซึ่งเป็นอาหารควบคุม) มีการเจริญเติบโตสูงสุดในเดือนที่ 6

**Table 4** Weight gain of eels' growth value in fish pond

Time	Treatment <sub>1</sub>	Treatment <sub>2</sub>	Treatment <sub>3</sub>	P-value
	Weight gain (g) *			
Initial	222.50±4.27	210±4.08	230±4.53	
2rd month	312.50±3.15	231.25±3.87	246±2.25	
4th month	375.50±4.27	282.50±4.73	257.50±2.39	
6th month	416.25±2.13 <sup>a</sup>	322.75±4.16 <sup>b</sup>	307.75±2.50 <sup>bc</sup>	
SR	71.33%	63.00%	63.00%	

\* Mean ± SE

<sup>a,b,c</sup> Means sharing the same superscript are not significantly different from each other (P<0.05)

**สรุปและอภิปรายผล**

การเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์เหมาะสำหรับผู้สนใจเลี้ยงปลาไหลเริ่มต้น เนื่องจากการเลี้ยงปลาไหลในการทดลองเริ่มต้น 4 ตัว/บ่อ และสามารถใช้วัสดุธรรมชาติ เช่น ดินและน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ผักตบชวาซึ่งหาได้ง่ายในท้องถิ่น แต่การเลี้ยงต้องอาศัยความสนใจและใส่ใจในช่วงเริ่มต้นและต้องหมั่นดูน้ำในบ่อซีเมนต์เพราะน้ำจะเน่าเสียเร็วตามปริมาณอาหารที่ให้ และต้นทุนในการเลี้ยง เริ่มต้นลงทุนทั้งหมดในชุดการทดลอง 450-500 บาท/ชุด การศึกษาคณะสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น เป็นการวิจัยเพื่อองค์ความรู้ให้กับเกษตรกรสำหรับการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ การเจริญเติบโตของปลาไหลจึงต้องอาศัยปัจจัยหลักในบ่อซีเมนต์เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานแก่เกษตรกรและผู้สนใจเลี้ยงปลาไหลเริ่มต้น คุณสมบัติทางกายภาพของคุณภาพน้ำในบ่อซีเมนต์ของหน่วยการทดลอง และนำอาหารปลาไหลที่ได้สอบถามเกษตรกรนำมาทดลอง มี 3 ชนิด คือ หอยเชอร์รี่สด (กลุ่มควบคุม), อาหารเลี้ยงกุ้ง และอาหารเลี้ยงปลาตุ๊ก โดยให้อาหาร 2 วันต่อครั้ง (25 กรัม/ครั้ง) ช่วง 2, 4 และ 6 เดือน พบว่าอุณหภูมิในการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ทั้งภายในบ่อซีเมนต์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ต่างกัน ±1 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของชุดทดลองมีแนวโน้มลดลงและเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันอยู่ระหว่าง 29-34 องศาเซลเซียส (Figure 4) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิอากาศยอมเปลี่ยนแปลงไปตามดินฟ้าอากาศและช่วงเวลาในรอบวัน (จอมสุตาดวงวงษา, 2557) ทำเลในการเลี้ยงและการวางล้อรถยนต์

บนบ่อซีเมนต์เพื่อไม่ให้บ่อสัมผัสผืนดินโดยตรง ปลาไหลเป็นสัตว์เลือดเย็น การตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันโรคจะเป็นปกติเมื่ออุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วงเดียวกันกับอุณหภูมิทางสรีระ (physiological range) ปลาจะมีอัตราการเผาผลาญของร่างกาย (metabolic rates) ค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นสิ่งที่บ่งบอกให้ทราบถึงความเข้มข้นของสภาพความเป็นกรดหรือสภาพความเป็นด่างของสารละลายโดยวัดออกมาในรูปของแอกทิวิตีของไฮโดรเจนไอออน (วไลลักษณ์ กิจนะพานิช, 2531) พบว่า เมื่อเปรียบเทียบค่า pH ในหน่วยการทดลอง การเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ด้วยอาหารต่างชนิดกัน พบว่าค่า pH อยู่ระหว่าง 7.21-7.66 ค่า pH และการเลี้ยงปลาที่เหมาะสมในการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดอยู่ช่วง 6-9 (จิตติมา จิโนวัฒน์, 2560) การเจริญเติบโตของปลาไหลนั้นถ้าต่างมากให้สังเกตปลาไหลจะสร้างเมือก เนื่องจากออกซิเจนน้อย ฟิชและสัตว์แย่งกันใช้ออกซิเจนมากขึ้นก็กระตุ้นให้ปลาอ่อนแอ ส่วนมากจะสังเกตเห็นช่วงป่วย และวันที่ฟ้าปิด ส่วนค่า pH, DO และ BOD ในบ่อปลาไหลจากการให้อาหารทั้งสามชนิดพบว่ามีค่าแตกต่างกัน การเลี้ยงปลาไหลที่เลียนแบบธรรมชาติมีอัตราการรอด 60-70 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไม่รอดมีปัจจัยหลายอย่างเนื่องจากช่วงทดลองมีพายุและอากาศเปลี่ยนแปลงฉับพลันทำให้มีผลต่ออัตราการรอด และทำเลในการวางบ่อซีเมนต์ มีผลต่ออุณหภูมิโดยตรง จึงจำเป็นต้องเลือกทำเลที่ดีต่อการเลี้ยง ปลาไหลเป็นปลาที่ตกใจง่ายหากทำเลเรียบไม่มีสิ่งรบกวนก็ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการรอด

คุณสมบัติของดินก่อนนำมาเลี้ยงปลาไหลและหลังเลี้ยง หลังจากเลี้ยงปลาไหล พบว่า ความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกักขังดินไว้ในบ่อซีเมนต์ จึงมีผลทำให้ความชื้นมากขึ้นและส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ค่า pH เพิ่มขึ้นแต่ยังอยู่ในช่วงที่ปลาสามารถอาศัยอยู่ได้อย่างเหมาะสม และจากการสังเกตหลังจากเลี้ยงได้ประมาณ 2 เดือนปลาไหลเริ่มคุ้นผู้เลี้ยงไม่หลบและสามารถจับง่าย ด้านการเจริญเติบโต มีการเจริญเติบโตมากขึ้น โดยอาหารที่ดีที่สุดของการทดลองในครั้งนี้คือ หอยสดทุบ (อาหารควบคุม) และอัตราการรอดสูง และสาเหตุการตายของปลาไหลเกิดเนื่องจากฝนตกติดต่อกันหลายวันทำให้ปลาไหลช็อกตาย ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยฉับพลันทำให้ขาดอากาศ (ออกซิเจน) โดยมักเกิดร่วมกับภาวะเกิดสารพิษเพราะการเน่าของสิ่งมีชีวิต หรือ การหมักของตะกอน หรือเกิดจากการขุ่นของแหล่งน้ำทำให้การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำน้อยลง (ฐิตินา จิโนวัฒน์, 2560) ระยะเวลาในการทดลองอยู่ในช่วงฤดูฝนถึงถึงต้นหนาวการเลือกทำเลจึงเป็นสิ่งสำคัญในการจัดการบ่อไม่ให้ปลาไหลไม่ช็อกอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอากาศมากเกินไปก็จะทำให้อัตราการรอดเพิ่มขึ้น จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้น ได้แก่ อุณหภูมิ, ค่า pH, DO, BOD OM และ Soil texture พบว่า ทุกหน่วยการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถเลี้ยงปลาไหลได้ ไม่เป็นอันตรายและส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตและอัตราการรอดของปลา ซึ่งสมบัติกายภาพข้างต้นเหมาะสมอย่างยิ่งกับการเพาะเลี้ยงปลาไหลนา และการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์สามารถจัดการได้อย่างง่าย ส่วนการเลี้ยงปลาไหลในช่วงแรกๆ ต้องหมั่นสังเกต เช่น น้ำหากสีน้ำขุ่นหรือฝักเน่าควรเปลี่ยนน้ำและฝักทันทีฝัก การให้อาหารหากให้มากเกินไปผลต่อระบบนิเวศในบ่อเลี้ยงปลาไหลการให้อาหาร หากยังเหลืออยู่ก็สามารถเก็บออกได้เลยในวันถัดไปเพื่อลดการเน่าเสียของน้ำและดิน การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์ทำให้ทราบจำนวนปลาไหลที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้ง่ายมีการจัดการในบ่อซีเมนต์จัดการได้ง่ายกว่าการเลี้ยงแบบอื่นๆ การเลี้ยงในบ่อซีเมนต์แบบเลียนแบบธรรมชาติยังสามารถเลี้ยงปลาไหลและควบคุมปัจจัยในบ่อซีเมนต์ได้และเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการเพาะพันธุ์ปลาไหลอย่างง่ายสำหรับมือใหม่หัดเลี้ยงปลาไหล การเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์เลียนแบบธรรมชาติครั้งนี้ สามารถนำความรู้ไปอบรมให้กับเกษตรกรที่สนใจการเลี้ยงปลาไหลเพื่อให้เกษตรกรสามารถเลี้ยงเป็นอาหารและสามารถสร้างอาชีพเสริมให้กับเกษตรกรผู้สนใจได้

### ข้อเสนอแนะ

ควรนำการทดลองการแปรรูปหอยเชอรี่และผสมกับแร่ธาตุอาหารต่างๆ เพื่อให้ได้น้ำหนักที่มากขึ้นเพื่อเป็นประโยชน์เชิงพาณิชย์ในอนาคต

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณที่มิวิจัยและคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยการถ่ายทอดเทคโนโลยี การเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์ 2562

### เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2548). *คู่มือแนวปฏิบัติที่เหมาะสมสำหรับเกษตรกรในการเลี้ยงสัตว์น้ำจืดและการจัดการสิ่งแวดล้อม*. กรมควบคุมมลพิษ.
- จอมสุตา ดวงวงษา. (2557). *การเลี้ยงปลาหมอเทศเดี่ยวเพื่อประโยชน์ทางการค้าคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ*. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ชินวัฒน์ พวงยอด. (2549). *ผลกระทบจากการทำนาทุ่งต่อคุณสมบัติดินและสังคมพืชป่าชายเลน บริเวณอำเภอสวี จังหวัดชุมพร*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ฐิตินา จิโนวัฒน์. (20 มิถุนายน 2560). *การจัดการบ่อการจัดการบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ*. <https://www.youtube.com/%20watch?v=s6oV8G1we4c>.
- นิชาภา เจตระการ และนันทิญา มณีโชติ. (2562). *คู่มือการเลี้ยงปลาไหลในบ่อซีเมนต์*. มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- นิชาภา เจตระการ. (2559). *รายงานวิจัยการศึกษาชีพลักษณะของปลาไหลและสมบัติทางกายภาพบริเวณอำเภอลำทะเมนชัย จังหวัดสุรินทร์*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.
- ประเทือง เชาว์วันกลาง. (2538). *คุณภาพน้ำทางการประมง:แผนกประมง*. คณะสัตวศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตลำปาง.
- วิมล จันทโรทัยม, ประเสริฐ สีตะสิทธิ์, ศิริมล ชุ่มสูงเนิน, และสมฤกษ์ ชินมุข. (2535). *อาหารที่ระดับโปรตีนต่างกันแต่พลังงานคงที่ต่อการเจริญเติบโตและไขมันสะสมในปลาทราย*. สถาบันวิจัยประมงน้ำจืด กรมประมง.
- วิรัช จิวแหยม. (2551) *ชีววิทยาการสืบพันธุ์และการเพาะขยายพันธุ์เบื้องต้นของปลาไหลนา (Monopterus albus Zuiew) โดยให้วางไข่ตามธรรมชาติในบ่อคอนกรีต*. *วารสารวิจัย มข.* 13 (1), 15-22.
- วิไลลักษณ์ กิจนะพานิช. (2531). *คู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย*. อลงกลด แทนออมทอง. (2554). *พันธุศาสตร์ของเซลล์*. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

# การจำลองเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนและการไหลในเจ็ตพุ่งชนโดยใช้ของไหลนาโนไททาเนียมออกไซด์

## Numerical simulation of heat transfer and fluid flow in a confined jet impingement using water-TiO<sub>2</sub> nanofluid

คมกฤษณ์ ชัยโย<sup>1\*</sup>  
Khomgris Chaiyo<sup>1\*</sup>

Received: 18 May 2021 ; Revised: 30 July 2021 ; Accepted: 16 August 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำการจำลองเชิงตัวเลขมาใช้เพื่อศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลในเจ็ตของไหลนาโนพุ่งชนแบบราบเรียบที่มีพื้นผิวร้อนอุณหภูมิคงที่ด้วยแบบจำลองเดี่ยว ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่มถูกใช้เพื่อหาผลเฉลยของสมการควบคุมการถ่ายเทความร้อนและการไหลโดยใช้ของไหลนาโนไททาเนียมออกไซด์ (TiO<sub>2</sub>) เป็นสารทำงานที่มีความเข้มข้นโดยปริมาตรอยู่ระหว่าง 0% ถึง 4% การคำนวณได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าเข้มข้นโดยปริมาตรของอนุภาคนาโน ค่าอัตราส่วนความสูง H ต่อความกว้างของทางไหลเข้า B และค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ ผลการคำนวณที่ได้พบว่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่าเข้มข้นโดยปริมาตรของอนุภาคนาโนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เมื่อพิจารณาจากทั้งค่านี้สเซลนัมเบอร์ ณ ตำแหน่งใดๆ และค่านี้สเซลนัมเบอร์เฉลี่ย แต่สำหรับกรณีของการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของทางไหลเข้าให้เพิ่มขึ้นสูงในช่วงระหว่าง 1 ถึง 4 นั้นทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าลดลง

**คำสำคัญ:** การพุ่งชนระบายความร้อน การส่งเสริมการถ่ายเทความร้อน ของไหลนาโน อนุภาคนาโนไททาเนียมออกไซด์

### Abstract

This article presents a numerical investigation of heat transfer and fluid flow of a confined plane laminar nanofluid jet impingement on an isothermal heated surface using a single-phase model. The finite volume method was used for the solution of resulting governing equations. TiO<sub>2</sub> nanoparticles dispersed in water with volumetric concentrations ranging between 0 and 4% were used as working fluid for simulating the heat transfer and fluid flow of nanofluid jet impingement. The influences of volumetric concentration of nanoparticles, nozzle-to-impingement surfaces (aspect ratio H/B, where H is the distance between the nozzle and the impingement surface and B is jet width) and Reynolds number were examined and discussed in detail. The results indicated that the volumetric concentration of nanoparticles and Reynolds number enhanced heat transfer when considered in terms of the local and average Nusselt number. However, heat transfer deteriorated whereas increasing aspect ratio ranged from 1 to 4.

**Keywords:** impinging jet, heat transfer enhancement, nanofluids, TiO<sub>2</sub> nanoparticles

<sup>1</sup> อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 73140

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom, 73140

\* E-mail: khomgris.c@ku.th

## Introduction

Impinging jets provide an effective and flexible way to transfer energy or mass in industrial applications. A directed liquid or gaseous flow released against a surface can efficiently transfer large amounts of thermal energy or mass between the surface and the fluid. Heat transfer applications include cooling of stock material during material forming processes, heat treatment (Ferrari *et al.*, 2003), cooling of electronic components, heating of optical surfaces for defogging, cooling of turbine components, cooling of critical machinery structures, and many other industrial processes (Zuckerman & Lior, 2006).

Nanofluids are a suspension of very fine solid particles (nanoparticles) with length scales of 1–100 nm, dispersed in base fluids such as water, engine oil, and ethylene glycol (Choi & Eastman, 1995). Due to the enhancement in thermal conductivity and heat transfer provided by nano-fluids compared to classical heat transfer fluids, nanofluids have become highly significant for a wide range of engineering applications which require high heat dissipation rates. Such applications include heat exchangers (Venkataraj *et al.*, 1995) and cooling of electronic components which suffers from a high heat generation (Selvakumar & Suresh, 2012). Integrating nanofluids with impinging jets is considered a promising technique that can overcome the challenges of heat removal (Abdelrehim *et al.*, 2019).

The existing types of nanoparticles that are used suspended in fluids can be classified as follows: (1) some advanced structural materials with highest thermal conductivity such as graphene, CNTs, diamond etc. (2) some metallic simples with high thermal conductivity such as, Au, Ag, Cu, Al, Fe, etc. (3) some metal or non-metallic compounds such as CuO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZnO, SiC, SiO<sub>2</sub> etc. After comprehensive analysis and comparisons, TiO<sub>2</sub> nanofluid is a common type of nanofluid without extremely high thermal conductivity as found with some precious materials, for instance CNTs or Graphene based nanofluid. TiO<sub>2</sub> nanofluid has some special features and unique points compared to other types. It is thought that TiO<sub>2</sub> is one of the best materials for practical application since TiO<sub>2</sub> exhibits several more comprehensive and reliable superiorities compared to other materials. Firstly, TiO<sub>2</sub> has been extensively used

in the fields of cosmetics, printing and purification without any toxicity, which is an essential requirement for largescale application. Secondly, TiO<sub>2</sub> nanoparticles have been produced in large industrial scale, which makes them economical and appropriate for high-volume applications in thermal fluid fields. Thirdly, TiO<sub>2</sub> nanoparticles have outstanding chemical stability, acid and caustic corrosion resistance as well as high temperature resistance. Finally, TiO<sub>2</sub> nanoparticles have shown excellent dispersivity in both polar and non-polar basefluids as reported extensively in the literature, and it can be further improved by adding some specialized dispersants (Yang & Du, 2017).

Several studies have investigated numerically, utilizing the single-phase model under a laminar flow regime using water-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids. A confined impinging slot jets working with pure water or water-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> based nanofluids was numerically presented. The flow is laminar and a constant uniform temperature is applied on the target surface. The single-phase model approach was adopted in order to describe the nanofluid behavior and different particle volume concentrations. The results demonstrated that the stagnation point, the local and averaged Nusselt number values were increased when increasing particle concentrations and Reynolds numbers increased. The required pumping power ratio also increased with growing particle concentration (Manca *et al.*, 2016).

The single-and two-phase models of water-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids on the hydrodynamic and heat transfer characteristics of a confined single impinging jet were studied. A laminar flow was considered with a constant heat flux on the targeted surface. The effects of Reynolds number, jet height ratio, and nanoparticle volume fraction on the local and the averaged Nusselt number were determined. The results demonstrated that the two-phase model exhibited higher values of local and averaged Nusselt number with a maximum enhancement of 150% at H/W=4 and  $\phi=4\%$  while the single phase model showed twice the pumping power obtained by the two-phase model (Abdelrehim *et al.*, 2019).

The thermal and fluid dynamic behavior of a confined two-dimensional steady laminar nanofluid jet impinging on a horizontal plate embedded with five



discrete heating elements subjected to a constant surface heat flux was studied for a range of Reynolds number from 100 to 400. The results indicated that variation of inlet Reynolds number produced a significant change of the flow and heat transfer characteristics in the domain. Increasing the nanoparticle concentration from 0% to 4% resulted in discernible change in equivalent Re and Pr caused by the modification of dynamic viscosity, effective density, thermal conductivity, and specific heat of the base fluid. Substantial influence of Re was evident on Eckert number and pumping power. Eckert number was decreased whereas pumping power was increased with the growth of Re (Mookherjee *et al.*, 2020).

Analysis of nanofluids flowing through microchannel heat sinks was experimentally investigated. The fluid flow and convective heat transfer in different microchannel heat sinks using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> nanofluids were studied. The results demonstrated that the thermal conductivity and dynamic viscosity of nanofluids were enhanced with the increase of volume fraction. As a result, TiO<sub>2</sub> nanofluids had a better behavior on thermal conductivity than Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids. However Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids achieved a greater enhancement of heat transfer in terms of averaged heat transfer coefficient compared with TiO<sub>2</sub> nanofluids, specifically for the volume fraction of 1.0% (Xia *et al.*, 2016).

Nevertheless, TiO<sub>2</sub> nanoparticles are more environment friendly and economically friendly (Yang & Du, 2017 ; Mosurkal *et al.*, 2008) compared to Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. Hence it is better to use water-TiO<sub>2</sub> nanofluid in real life applications. These reasons are to contribute of this research using water-TiO<sub>2</sub> nanofluid as working fluid. Furthermore, several numerical studies are currently available on the numerical study of laminar heat transfer and fluid flow of nanofluids impingement jet utilizing the single-phase model, but there have been fewer studies on water-TiO<sub>2</sub> nanofluid as working fluid.

The objective of this study was to numerical evaluate the results of heat transfer and fluid flow obtained by the single-phase model in a confined plane laminar jet impingement using water-TiO<sub>2</sub> nanofluid to cool the isothermal heated surface. The latest viscosity of water-TiO<sub>2</sub> nanofluid equation was applied by fitting

the experimental data. Furthermore, the influence of volumetric concentration of nanoparticles, aspect ratio and the jet inlet Reynolds number (varied from Re=100 to 200, the flow is considered to be laminar (Manca *et al.*, 2016 ; Mookherjee *et al.*, 2020) were investigated.

## Methods

### A. Problem description

A schematic diagram of the two-dimensional confined impinging jet is shown in Figure 1. The jet width is B, the distance between the nozzle and the impingement surface (channel height) is H, and L represent the surface length. The jet impinges over the isothermal impingement surface while jet inlet temperature is taken as 293 K. The length of the isothermal impingement surface (heated surface) to the width of the impinging jet is fixed at L/B=50, this isothermal impingement has a constant temperature of 313 K. The confinement surface is adiabatic. The aspect ratios (H/B) ranged from 1 to 4 to study the confining effect, and the flow is considered laminar with Re varying from 100 to 200. The working fluid is water-TiO<sub>2</sub> nanofluid with the volumetric concentration of nanoparticles ranged from 0 to 4%. The flow of the impinging jet is assumed to be steady, two-dimensional, laminar and incompressible. The body forces are neglected and the fluid properties are assumed to be independent of temperature. Brownian motion and thermophoretic diffusions of the nanoparticles do not have any significant effect on convection heat transfer for the percentage of nanoparticle concentration considered in this study.

### B. Thermophysical properties of nanofluids

The numerical simulations were performed using water-TiO<sub>2</sub> nanofluid and the nanoparticle concentrations considered in the present analysis were 0%, 1%, 2%, 3% and 4%. The thermophysical properties of pure water and TiO<sub>2</sub> are given in Table 1 (Rohsenow *et al.*, 1998). When the single-phase model was adopted in the present work as nanofluids with small nanoparticle volume concentration can be considered as Newtonian fluids for small temperature jumps (Mookherjee *et al.*, 2020). The density and the specific heat of the nanofluids were evaluated using the formula developed for conventional solid-liquid mixtures as follows:

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (1)$$

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_{bf} + \phi(\rho c_p)_p \quad (2)$$

where  $\phi$ ,  $\rho_{bf}$ ,  $\rho_p$ ,  $C_{p,bf}$  and  $C_p$  are the volumetric concentration of nanoparticles, density of the base fluid, density of the nanoparticles, specific heat of the base fluid, and the specific heat of the nanoparticles, respectively. The thermal conductivity of water-TiO<sub>2</sub> nanofluid was found by fitting measurement data as (He *et al.*, 2009).

$$k_{nf} = k_{bf}(125.6\phi^2 + 4.82\phi + 1.0) \quad (3)$$

where  $k_{nf}$ ,  $k_{bf}$  is the thermal conductivity of nanofluid and base fluid, respectively.

The following equation of the viscosity of water-TiO<sub>2</sub> nanofluid was created to fit the experimental data (Alkasmoul *et al.*, 2018).

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(25.17\phi^2 + 29.562\phi + 1.0) \quad (4)$$

where  $\mu_{nf}$ ,  $\mu_{bf}$  is the viscosity of nanofluid and base fluid, respectively.

### C. Governing equations

In the present study, flows were assumed to be steady and incompressible. The governing equations include the conservation equations of mass, momentum, and energy, and can be written in the two-dimensional Cartesian coordinate system form as follows:

Continuity:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (5)$$

Momentum:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad (6)$$

Energy:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu}{Pr} \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (7)$$

where  $u_i$  is velocities in the streamwise and crosswise directions respectively,  $T$  is temperature, and  $p$  is pressure.

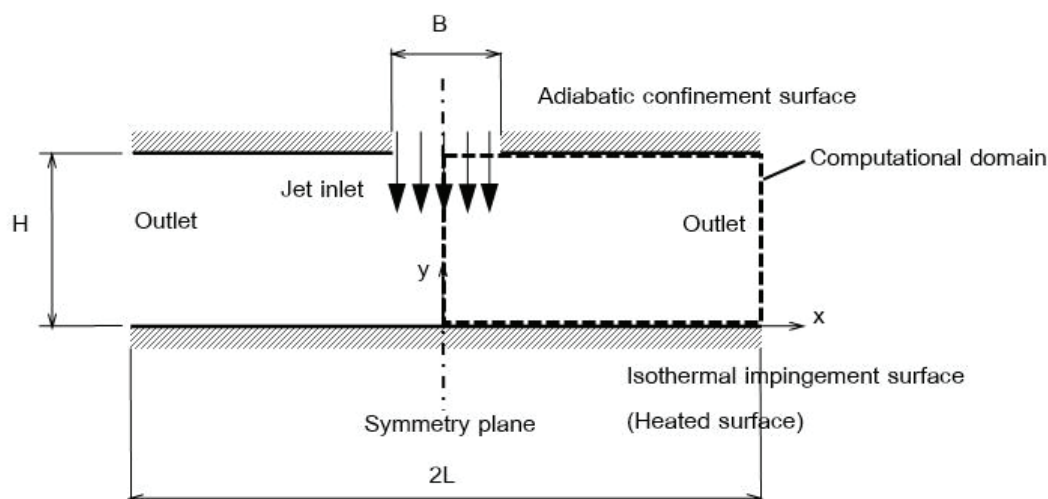


Figure 1 The two-dimensional confined impinging jet

**Table 1** Thermophysical properties of pure water and TiO<sub>2</sub> particles at T = 293 K used in the computations

Material	Density	Heat capacity	Viscosity	Thermal conductivity
	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_p$ (J/kg.K)	$\mu$ (Pa.s)	$\lambda$ (W/m.K)
TiO <sub>2</sub>	4170	711	-	11.8
Water	998.2	4182	993x10 <sup>-6</sup>	0.597

#### D. Numerical solution procedure

The computations have been performed with in-house developed computational code. The governing equations were solved using the finite volume method (Patankar, 1980). This scheme solved discretized versions of all equations with a non-uniform staggered grids. The principle of mass-flux continuity was improved indirectly via the solution of pressure-correction equations according to SIMPLE algorithm (Patankar, 1980). The convergence was judged by monitoring the magnitude of the absolute residual sources of mass, momentum and energy, normalized by the respective inlet fluxes. The solution was taken as having converged when all above residuals fell below 0.0001%.

The geometry of a two-dimensional plane impinging jet consists of the jet stream, impinging and confinement surfaces as shown in Figure 1. Therefore, computational boundaries involved were inlet, outlet, axis of symmetry and solid walls (impingement and confinement surfaces).

At the inlet, the jet temperature is given at 293 K. The jet stream had an almost uniform velocity profile. The Reynolds number was calculated based on jet width and mean centerline velocity as:

$$Re = \frac{\rho v_0 B}{\mu} \quad (8)$$

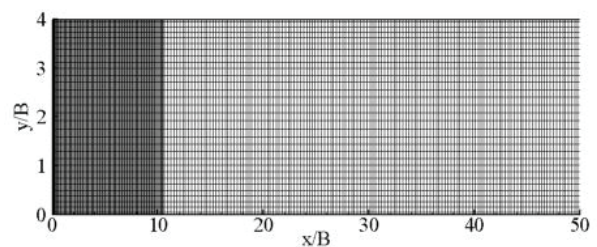
Next, the outlet boundary was placed at which is sufficiently far away from the main region of interest. At this boundary streamwise gradients of all variables were set to zero. Then along the axis of symmetry, the normal velocity component and the normal gradients of other variables were set to zero.

Finally, solid walls included impingement and confinement surfaces. Also the impingement surface was considered isothermal, the impingement surface

temperature  $T_w$  is given at 313 K and the confinement surface is adiabatic wall, respectively. The Nusselt number,  $Nu$  is defined as:

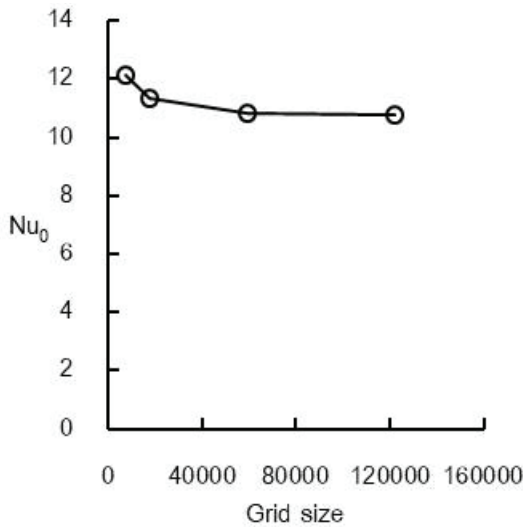
$$Nu = \frac{-\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_w B}{T_w - T_y} \quad (9)$$

Before proceeding to the discussion of the predicted results, it will be beneficial to focus first on the effect of the grid density on the solution. Figure 2 shows the computational grid 246x30 at distance  $x/B=50$  and  $H/B=4$ . Grid clustering is applied near the impingement surface and at the confinement surface. The grid-independency of the solutions was examined using three different grid sizes consisting of 7380 (246x30), 17900 (358x50), 59040 (492x120) and 121880 (554x220) on the model  $H/B=4$  at  $Re=100$  with water as working fluid. The results on the third grid 492x120 can be considered as being grid-independent results because the refinement from the grid 492x120 to grid 554x220 produces the stagnation point Nusselt number difference too small as shown in Figure 3.

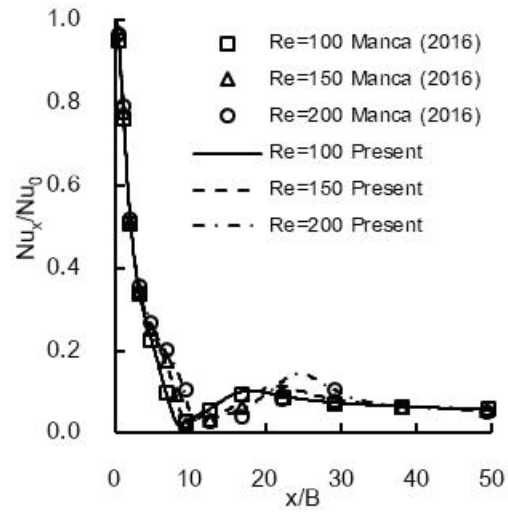
**Figure 2** Sample of computational grid 246x30

## Results and Discussion

The numerical results of a two-dimensional laminar confined jet of water-TiO<sub>2</sub>-water nanofluid impinging on a stationary isothermal heated surface were investigated. Data presented include the influence of volume concentration, aspect ratio and Reynolds number.



**Figure 3** Grid independence test results in terms of stagnation point Nusselt number



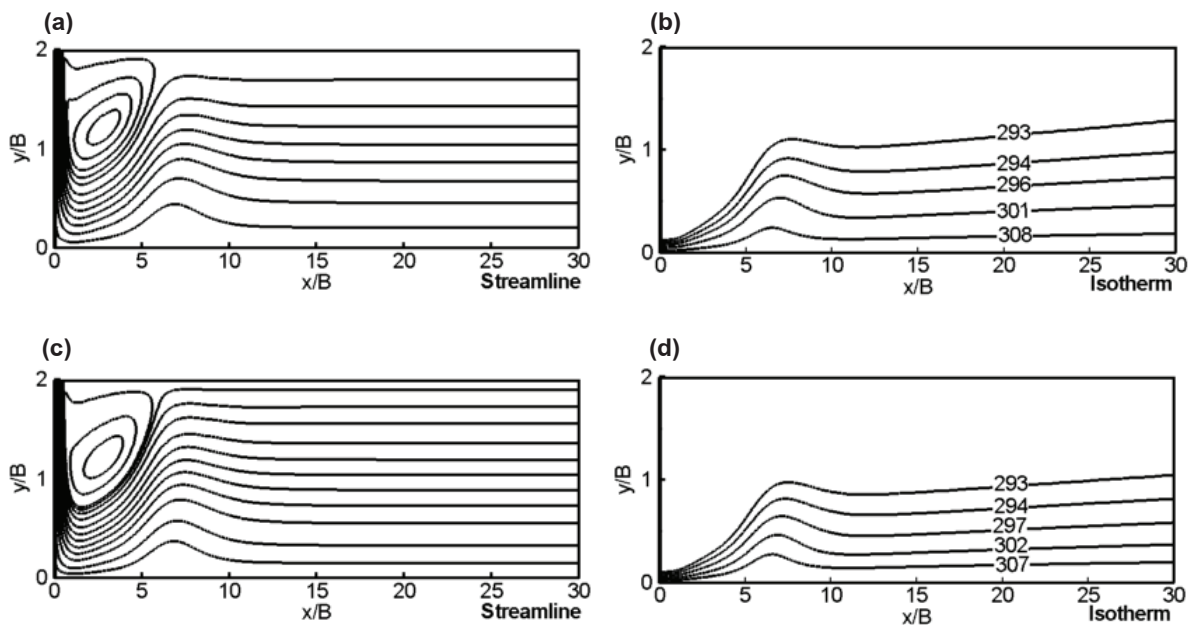
**Figure 4** Validation of local Nusselt number  $Nu_x$  profiles are scaled with the stagnation point Nusselt number  $Nu_0$  for  $H/B=4$

**A. Numerical validation**

In order to verify the developed computational code, the simulation results including the stagnation point Nusselt number and the local Nusselt number along the impingement surface for  $H/B=4$  were compared with the previously obtained numerical data. The present numerical results are in good agreement with the results of Manca *et al.* (2018) as shown in Table 2 and Figure 4, respectively.

**Table 2** Validation of the stagnation point Nusselt number for  $H/B=4$  and  $\phi=0\%$

Re	$Nu_0/Pr^{1/3}$		%Error
	Manca (2016)	Present simulation	
100	5.66	5.67	0.18%
150	7.02	7.07	0.71%
200	8.04	8.18	1.71%



**Figure 5** Streamlines and isotherms for  $H/B=2$  and  $Re=150$  (not to scale) (a) Streamline  $\phi=0\%$ , (b) Isotherm  $\phi=0\%$ , (c) Streamline  $\phi=4\%$ , (d) Isotherm  $\phi=4\%$

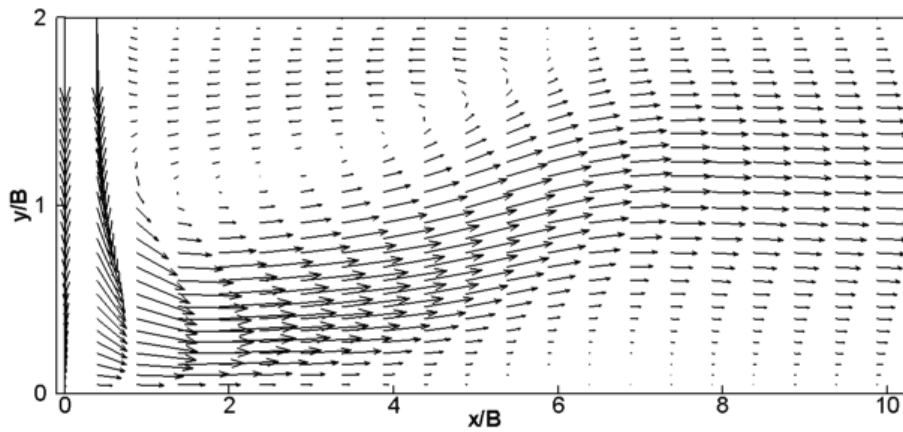


Figure 6 Velocity vectors for H/B=2, Re=150 and  $\phi=4\%$  (not to scale)

**B. Influence of volumetric concentration**

The numerical results of heat transfer and fluid flow were investigated at different volumetric concentrations of nanoparticles with values of  $\phi=0\%$ , 1%, 2%, 3% and 4% for H/B=2. Figure 5 illustrates streamlines and isotherms in the case of H/B=2 and Re=150 for volume concentration  $\phi=0\%$  and 4%, respectively.

The development of a vortex is generated by the impinging jet because of jet entrainment, confining effects, and isothermal confinement surface. It is seen that a vortex is generated in the immediate vicinity of the jet. The main jet stream impinges on the target isothermal heated impingement surface, gets deflected, and then flows downstream in a meandering path in between the recirculation and the impingement surface toward the outlet. Similar streamline and isotherm trends were observed for two volumetric concentration of nanoparticles. Furthermore, the velocity vectors for H/B=2, Re=150 and  $\phi=4\%$  are shown in Figure 6.

Figure 7 shows the stagnation point Nusselt number ( $Nu_0$ ) profiles for various volume concentrations and different Reynolds numbers. It is observed that the increased volume concentration, the  $Nu_0$  is increased due to increasing thermal conductivity.

Additionally, Figure 8 demonstrates local Nusselt number (Nu) distribution along the impingement surface for H/B=2 and Re=150 at various volume concentrations. It is observed that for increased volumetric concentration of nanoparticles, the values of Nu is increased.

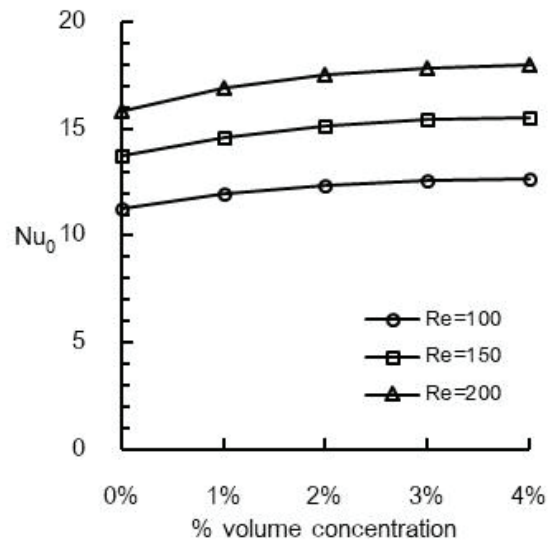


Figure 7 Stagnation point Nusselt number profiles at different volume concentrations and Re numbers for H/B=2

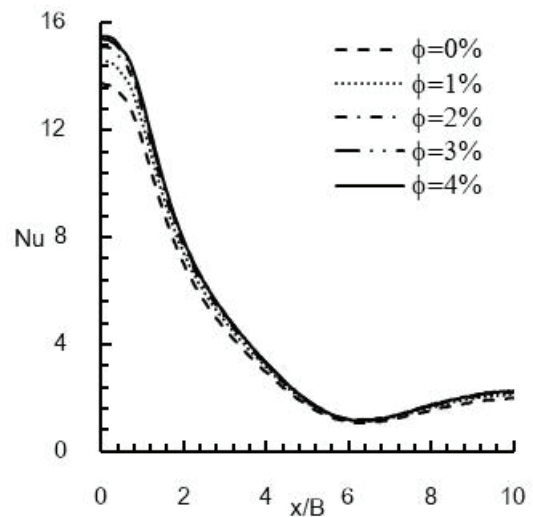
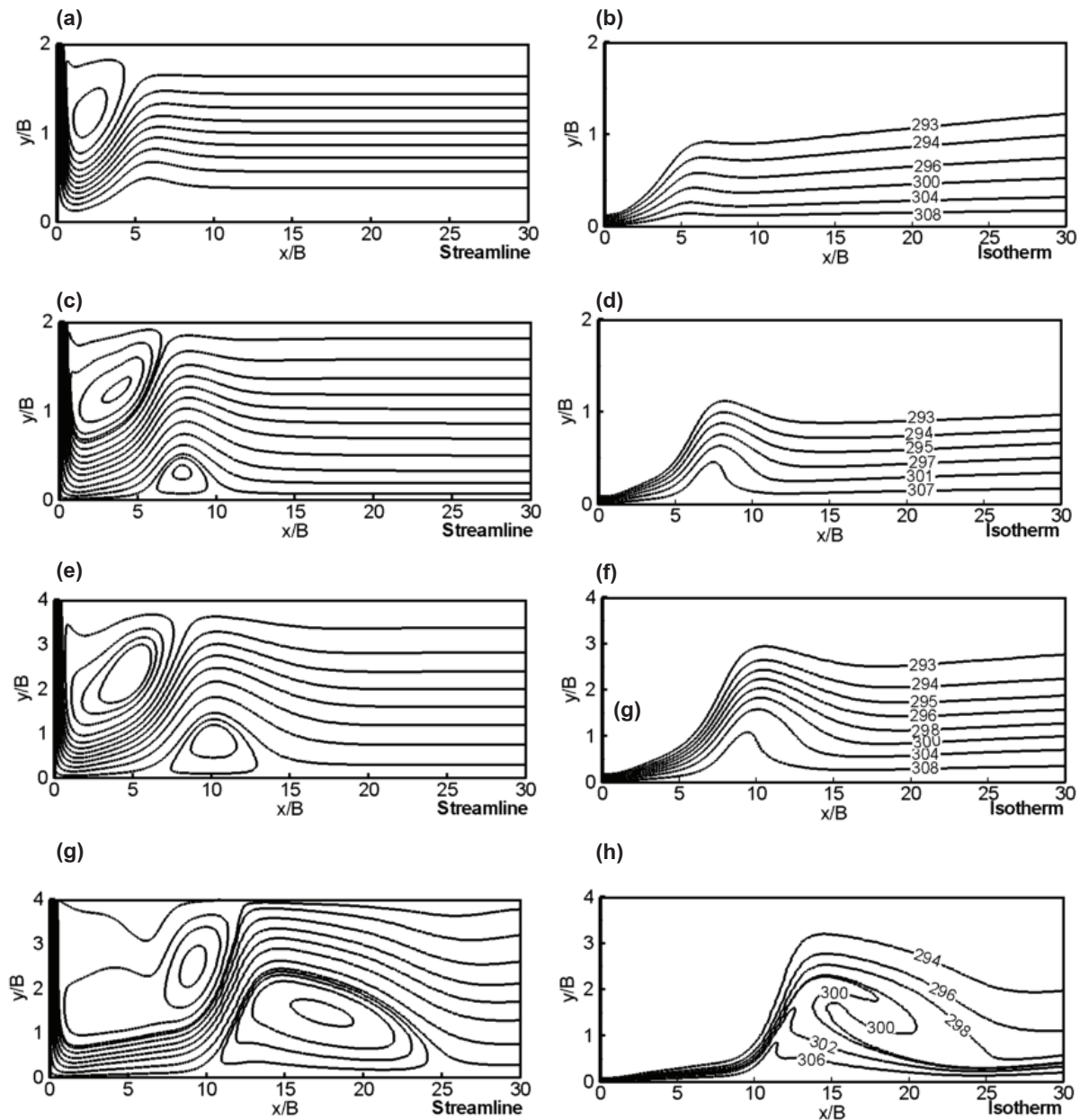


Figure 8 Local Nusselt number distribution along the impingement surface for H/B=2 and Re=150



**Figure 9** Streamlines and isotherms at different aspect ratios  $H/B$  and  $Re$  numbers,  $\phi=4\%$  (not to scale)

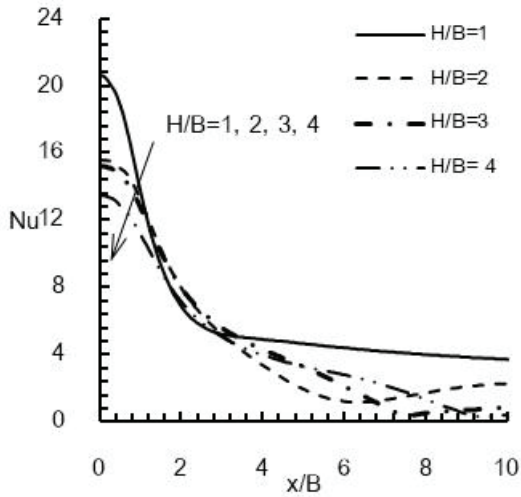
- (a) Streamline at  $H/B=2$   $Re=100$ , (b) Isotherm at  $H/B=2$   $Re=100$   
 (c) Streamline at  $H/B=2$   $Re=200$ , (d) Isotherm at  $H/B=2$   $Re=200$   
 (e) Streamline at  $H/B=4$   $Re=100$ , (f) Isotherm at  $H/B=4$   $Re=100$   
 (g) Streamline at  $H/B=4$   $Re=200$ , (h) Isotherm at  $H/B=4$   $Re=200$

### C. Influence of aspect ratio

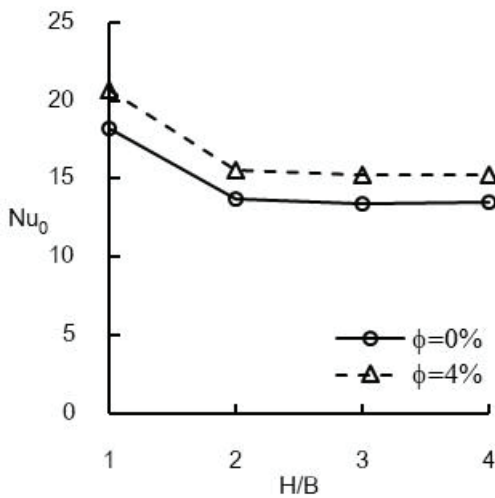
Figure 9 shows the streamlines and isotherms when  $H/B=2$  and 4 at  $Re=100$  and 200. At  $H/B=2$  and  $Re=100$ , a primary vortex is only generated below the jet. However, at  $H/B=4$ , and  $Re=100, 200$ , both a primary and a secondary vortices are generated as displayed in Figures 9 (e) and 8 (g).

Figure 10 shows that as  $H/B$  is increased, local Nusselt number is decreased due to the secondary vortex. The maximum of  $Nu$  is at the stagnation point and then  $Nu$  is dramatically decreased along the isothermal impingement surface. This is because increased thickness of the thermal boundary layer and decreased local velocity profile due to the velocity boundary layer.

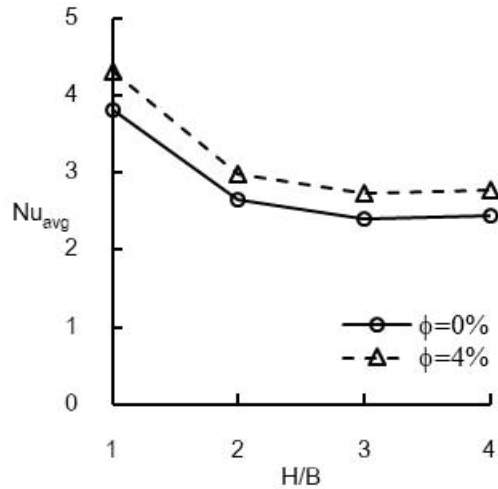
Furthermore, Figure 11 illustrates stagnation point Nusselt number profiles and Figure 12 demonstrates average Nusselt number profiles in case of  $\phi=0\%$  and 4% at  $Re=150$ , respectively. It is found that both  $Nu_0$  and  $Nu_{avg}$  decreased with increasing  $H/B$ .



**Figure 10** Local Nusselt number distribution along the impingement surface for  $\phi=4\%$  and  $Re=150$  at different aspect ratio



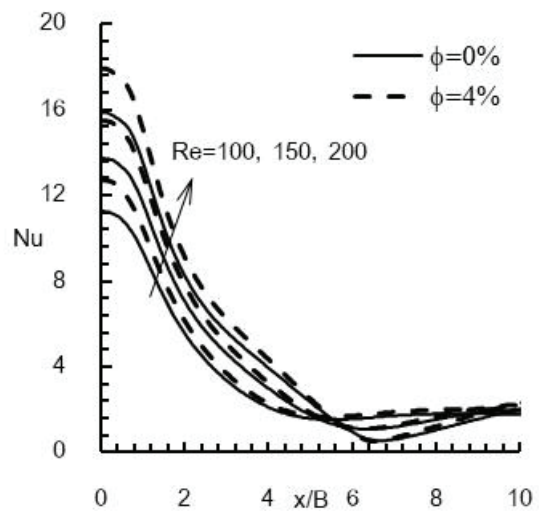
**Figure 11** Stagnation point Nusselt number profiles for  $\phi=4\%$  and  $Re=150$  at different aspect ratios



**Figure 12** Average Nusselt number profiles for  $\phi=4\%$  and  $Re=150$  at different aspect ratios

**D. Influence of Reynolds number**

When Reynolds number was increased, the size of both vortices were increased, and the secondary vortex was moved towards downstream. The influence of  $Re$  on the heat transfer can be clarified as shown in Figures 9 (f) and 9 (h). Increasing  $Re$  leads to increase the heat transfer due to increasing temperature gradient at the isothermal impingement surface. Additionally, the influence of  $Re$  on the heat transfer can also be seen in terms of  $Nu$ ,  $Nu_0$ , and  $Nu_{avg}$  as displayed in Figures 13, 14, and 15, respectively ; these Nusselt number profiles are rise with increasing  $Re$ .



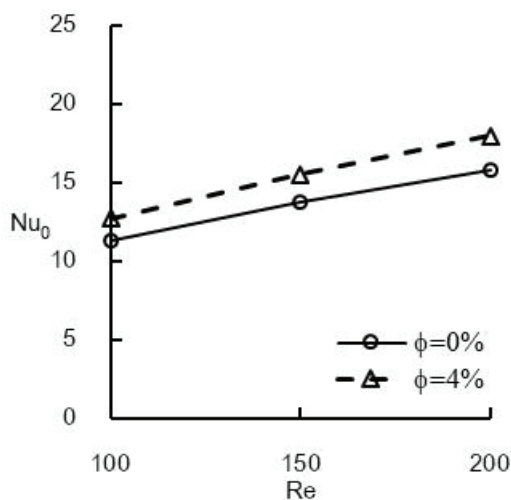
**Figure 13** Local Nusselt number distribution along the impingement surface for various  $Re$  numbers at  $H/B=2$  and  $\phi=4\%$

## Conclusion

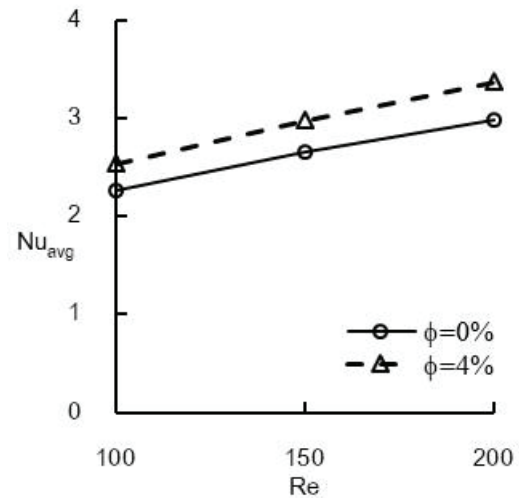
The laminar heat transfer and fluid flow of nanofluids in a confined plane jet impingement were numerically investigated using the single-phase model. The performance of the present simulation of jet impingement flow was evaluated against previous numerical data that was found to produce good predictions of the local Nusselt number along the impingement surface and the stagnation point Nusselt number. The influences of volumetric concentration of nanoparticles, aspect ratio and Reynolds number are examined in detail. The major findings can be summarized as follows:

(1) The volumetric concentration of nanoparticles ranging from 0 to 4% increase the heat transfer in terms of the local and the stagnation Nusselt numbers. Similarly, the Reynolds number varied from 100 to 200 enhance these Nusselt numbers.

(2) However, aspect ratio ranges from 1 to 4 and decrease the local, the stagnation, and average Nusselt numbers.



**Figure 14** Stagnation point Nusselt number profiles for various Re numbers at  $H/B=2$  and  $\phi=4\%$



**Figure 15** Average Nusselt number profiles for various Re numbers at  $H/B=2$  and  $\phi=4\%$

## Acknowledgment

The author gratefully acknowledges the Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhonpathom for supporting this research.

## References

- Abdelrehim, O., Khater, A., Mohamad, A.A. & Radwan, A. (2019). Two-phase simulation of nanofluid in a confined single impinging jet. *Case Stud Therm Eng*, 14, 100423.
- Alkasmoul, F.S., Al-Asadi, M.T., Myers, T.G., Thompson, H.M. & Wilson, M.C.T. (2018). A practical evaluation of the performance of  $Al_2O_3$ -water,  $TiO_2$ -water and  $CuO$ -water nanofluids for convective cooling. *Int J Heat Mass Tran*, 126, 639–651.
- Choi, S.U.S. & Eastman, J.A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. *ASME Int Mech Eng Congr Expo*, 66, 99–105.
- Ferrari, J., Lior, N. & Slycke, J. (2003). An evaluation of gas quenching of steel rings by multiple-jet impingement. *J Mater Process Technol*, 136, 190–201.
- He, Y., Mena, Y., Zhao, Y., Lu, H. & Ding, Y. (2009). Numerical investigation into the convective heat transfer of  $TiO_2$  nanofluids flowing through a straight tube under the laminar flow conditions. *Appl Therm Eng*, 29, 1965–1972.



- Manca, O., Ricci, D., Nardini, S., Di Lorenzo & G. (2016). Thermal and fluid dynamic behaviors of confined laminar impinging slot jets with nanofluids. *Int Commun Heat Mass Transf* 2016 ; 70:15–26.
- Mookherjee, O., Pramanik, S. & Kumar Kar, U. (2020). Numerical investigation of a confined laminar jet impingement cooling of heat sources using nanofluids. *ASME J Heat Transfer*, 142 (8), 082301.
- Mosurkal, R., Samuelson, L.A., Smith, K.D., Westmoreland, P.R., Parmar, V.S. & Yan, F. (2008). Nanocomposites of TiO<sub>2</sub> and siloxane copolymers as environmentally safe flame retardant materials. *J Macromol Sci A Pure Appl Chem*, 45, 924–946.
- Patankar, S.V. (1980). *Numerical heat transfer and fluid flow*. Hemisphere Publishing.
- Rohsenow, W.M., Hartnett, J.P. & Cho, Y.I. (1998). *Handbook of heat transfer* (3<sup>rd</sup> edition). McGraw-Hill.
- Selvakumar, P. & Suresh, S. (2012). Convective performance of CuO/water nanofluid in an electronic heat sink. *Exp Therm Fluid Sci*, 40, 57–63.
- Venkataraj, K.P, Suresh, S., Alwin M., T, Bibin, B.S & Abraham, J. (2018). An experimental investigation on heat transfer enhancement in the laminar flow of water/TiO<sub>2</sub> nanofluid through a tube heat exchanger fitted with modified butterfly inserts. *Heat Mass Transf*, 54, 813–829.
- Xia, G.D., Liu, R., Wang, J. & Du M. (2016). The characteristics of convective heat transfer in microchannel heat sinks using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and TiO<sub>2</sub> nanofluids. *Int Commun Heat Mass Transf*, 76, 256–264.
- Yang, L., & Du, K. (2017). A comprehensive review on heat transfer characteristics of TiO<sub>2</sub> nanofluids. *Int sJ Heat Mass Tran*, 108, 11–31.
- Zuckerman, N. & Lior, N. (2006). Jet impingement heat transfer: physics, correlations, and numerical modeling. *Adv Heat Transfer*, 39, 565–631.

# การออกแบบระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยวิธีการควบคุมแรงดันต่อความถี่สำหรับเครื่องสีข้าวแบบดั้งเดิม

## Design of an induction motor speed control system using V/f control method for a traditional paddy cleaning machine

องอาจ ทับบุรี<sup>1</sup>, กัญยรัตน์ เอกเอี่ยม<sup>1\*</sup>  
Ong-art Tubburee<sup>1</sup>, Kanyarat Ek-iam<sup>1\*</sup>

Received: 31 March 2021 ; Revised: 24 June 2021 ; Accepted: 29 July 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ในการขับเคลื่อนเครื่องสีข้าว โดยการสร้างระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด ½ แรงม้า ด้วยการนำคลื่นแรงดันอ้างอิงทั้งสามเฟสมาเปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยมเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมสวิตซ์ของอินเวอร์เตอร์บนฐานการควบคุมอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ ผลการทดสอบยืนยันให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ระหว่าง 10–50 เฮิรตซ์ ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 204–1,424 รอบต่อนาที และจากการสีข้าวพันธุ์ กข41 และหอมปทุมธานี 1 พบว่าความถี่ที่เหมาะสมคือ 30 เฮิรตซ์ ซึ่งทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดเกินกว่า 98% และมีข้าวลีบปะปนออกมาน้อยกว่า 5% นอกจากนี้ผลของการใช้วิธีการที่นำเสนอแทนเครื่องยนต์ ดีเซลขนาด 487 ซีซี. ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงกว่า 4 เท่า และไม่เกิดการปลดปล่อยมลพิษออกสู่ธรรมชาติ

**คำสำคัญ:** เครื่องสีข้าว มอเตอร์เหนี่ยวนำ ความถี่ การควบคุมแรงดันต่อความถี่

### Abstract

The aim of this research is to design a 3-phase induction motor speed control system for driving a traditional paddy cleaning machine, using a power conversion system to vary the voltage and frequency for a ½ hp 3-phase induction motor. The three command voltage waves were compared with a triangular wave to generate the switching signals for the inverter, based on a V/f control method. The experimental results showed that a change of command frequency between the range of 10–50 Hz resulted in a change of 3-phase induction motor speed falling within the range of 204–1,424 rpm. In addition, the frequency of 30 Hz was the optimum frequency for a RD41 paddy and Pathum Thani 1 paddy which led to a paddy gain higher than 98% and the undeveloped kernel of less than 5% being obtained. Furthermore, by replacing a conventional 487-cc diesel engine with the proposed method, the energy cost was reduced by more than 4 times and the emission of air pollution was eliminated.

**Keywords:** paddy cleaning machine, induction motor, frequency, V/f control

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

\* ติดต่อ: kanyarat@vru.ac.th, ekiam.kt@gmail.com

<sup>1</sup> Lecture, Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Tambon Klong Neung, Pathumthani 13180 Thailand

\* Corresponding author: E-mail: kanyarat@vru.ac.th, ekiam.kt@gmail.com

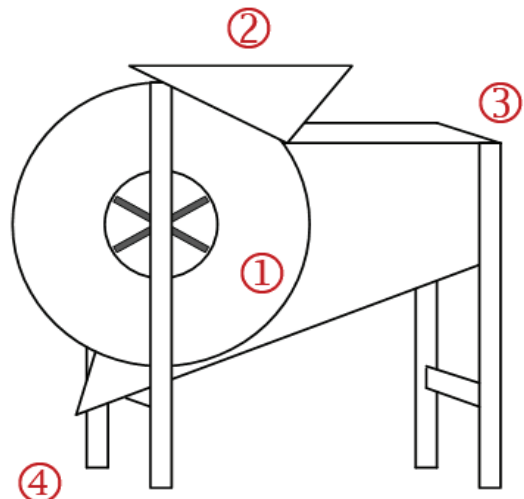
**บทนำ**

เครื่องสีฟัดข้าวเป็นเครื่องจักรของชาวนาที่จะใช้ภายหลังการเก็บเกี่ยวข้าวและผ่านเครื่องนวดข้าวจนได้เมล็ดข้าวเรียบร้อยแล้ว แต่เนื่องจากเมล็ดข้าวที่ผ่านกระบวนการนวดข้าวมาจะมีข้าวลีบ เศษฟางข้าว ขี้ข้าว หรือแม้แต่ฝุ่นละอองปะปนมาด้วย ชาวนาจึงต้องคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากเมล็ดข้าวโดยใช้เครื่องสีฟัดข้าว (วินิต ชินสุวรรณ และคณะ, 2541) ซึ่งลักษณะเป็นกลองที่ด้านหลังกลมมน และมีขาตั้ง 4 ขา ด้านบนสุดมีช่องสำหรับบรรจุข้าวเปลือกที่ต้องการคัดแยกสิ่งเจือปนออก ภายในมีตะแกรงเหล็กเพื่อช่วยกระจายเมล็ดข้าว และมีใบพัดขนาดใหญ่หลายใบทำด้วยไม้อยู่ภายในตัวเครื่อง ดัง Figure 1 (a) กระบวนการสีฟัดจะอาศัยการทำงานร่วมกันของส่วนประกอบต่างๆ ดัง Figure 1 (b) โดยการหมุนแกนใบพัดเครื่องสีฟัดข้าว (หมายเลข 1) เมื่อใบพัดหมุนจนได้ความเร็วลมเพียงพอแล้ว จึงเทข้าวเปลือกลงในช่องรับข้าวด้านบนของตัวเครื่อง (หมายเลข 2) ข้าวเปลือกจะทยอยไหลลงสู่ด้านล่างผ่านตะแกรงเหล็กเพื่อให้เมล็ดข้าวกระจายออก แรงลมจะทำให้สิ่งเจือปนปลิวออกทางด้านหลัง (หมายเลข 3) แต่เมล็ดข้าวที่มีน้ำหนักมากกว่าจะไหลลงด้านล่างของตัวเครื่องและรวมกันออกมาด้านนอก (หมายเลข 4) ชาวนาจะนำเมล็ดข้าวที่ได้รับไปเก็บไว้ในยุ้งฉางเพื่อรอการสีรับประทาน หรือเก็บเป็นเมล็ดพันธุ์สำหรับเพาะปลูกในฤดูกาลต่อไป (สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ และภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล, 2559)

การใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องจักรต่างๆ ได้รับความนิยมนอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร ไม่เว้นแม้กระทั่งการใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนใบพัดของเครื่องสีฟัดข้าว (เจษฎา อุดมกิจมงคล, 2554 ; (เสาวณี จันทะพงษ์ และพรชนก เทพขาม, 2561) เนื่องจากสามารถทำงานได้ต่อเนื่องโดยไม่มีการหยุดพัก อีกทั้งยังสามารถควบคุมความเร็วรอบของใบพัดได้ด้วยการรักษารอบของเครื่องยนต์ ทำให้การสีฟัดข้าวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามผลจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดฝุ่นละออง เขม่าควัน และก๊าซเรือนกระจก (Kumar *et al.*, 2013 ; กฤตวัฒน์ โตเจริญ และคณะ 2560) ลอยสู่ชั้นบรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาที่ทุกประเทศกำลังเผชิญกับผลกระทบที่ตามมาอย่างร้ายแรงในปัจจุบัน หลายประเทศทั่วโลกจึงให้ความสำคัญกับการใช้เทคโนโลยีจากพลังงานสะอาด เช่น เปลี่ยนการใช้รถยนต์ที่ใช้น้ำมันมาเป็นรถยนต์ที่ใช้ไฟฟ้าแทน เป็นต้น



(a)



(b)

**Figure 1** Traditional paddy cleaning machine  
(a) Photograph (b) Simplified schematic

เนื่องจากการใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังแทนเครื่องยนต์มีข้อดีกว่าหลายประการ เช่น ราคาไฟฟ้าต่ำกว่าราคาน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง มลภาวะเป็นศูนย์ เพราะไม่มีการปล่อยก๊าซอันตรายต่างๆ จากการใช้งานต้องการการซ่อมบำรุงน้อยกว่า และเกิดแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่าการใช้เครื่องยนต์ (อนุชิต อุไรรัตน์ และเฉลิม จินาดูน, 2563) จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนระบบต่างๆ พบว่ามีการใช้ทั้งมอเตอร์กระแสตรง และมอเตอร์กระแสสลับหรือที่เรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) ซึ่งต่างก็มีข้อโดดเด่นและข้อด้อยที่แตกต่างกัน คือ หากพิจารณาเรื่องราคาจะพบว่ามอเตอร์กระแสสลับมีราคาต่ำกว่า อีกทั้งยังมีน้ำหนักน้อยกว่า และมีความทนทานมากกว่า แต่หากต้องนำมาใช้งานในระบบที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบ กลับพบว่า ชุดควบคุมมอเตอร์กระแสตรงมีราคาต่ำกว่า (Merve *et al.*, 2014) สาเหตุเพราะมอเตอร์กระแสสลับต้องใช้ชุดแปลงผันกำลัง

(Power converter) ที่สร้างจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อควบคุมแรงดัน (Voltage) และความถี่ (Frequency) ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แต่ด้วยเทคโนโลยีด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ราคาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมีราคาถูกลง (Christian *et al.*, 2006 ; Simon *et al.*, 2008) สาเหตุดังกล่าวทำให้มอเตอร์กระแสสลับได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนระบบต่างๆ ในภาคอุตสาหกรรม

ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำระบบควบคุมแบบปรับความเร็วได้ โดยการสร้างระบบแปลงผันกำลังมาควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนใบพัดของเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิมให้กับชาวนาที่ต้องการคัดแยกเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งจะเป็นอีกหนึ่งช่องทางที่ช่วยลดต้นทุนเมล็ดพันธุ์ข้าว และยังช่วยลดต้นทุนด้านเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้เป็นต้นกำลังในการหมุนใบพัดเครื่องสีฝัดข้าววิธีการเดิม อีกทั้งยังช่วยลดการปล่อยมลพิษจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์สู่อากาศ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบแปลงผันแรงดันและความถี่สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังที่ใช้ปรับความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ
2. เพื่อหาสมรรถนะของการปรับเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนใบพัดของเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิม
3. เพื่อทดสอบหาความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนใบพัดที่เหมาะสมกับการคัดแยกข้าวสีออกจากข้าวเต็มเมล็ด

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การปรับความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ

##### 1.1 ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การหมุนของเพลลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ อาศัยหลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด สเตเตอร์ (Stator winding) ทั้งสามชุดที่ต่อรับพลังงานจากระบบไฟฟ้าสามเฟสได้ดูล ผลของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัดผ่านช่องว่างอากาศ (Air gap) จะตัดผ่านแท่งตัวนำที่วางเรียงอยู่ในโรเตอร์ (Rotor) ทำให้เกิดกระแสไหลในแท่งตัวนำของโรเตอร์ที่มีการลัดวงจรที่ปลายทั้งสองข้าง จนเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นจากตัวนำบนโรเตอร์อีกหนึ่งแรง ทำให้โรเตอร์หมุนออกตัวไปได้ กรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำความเร็วโรเตอร์จะมีค่าต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสที่สเตเตอร์เสมอ เพราะหากความเร็วโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัส จะไม่เกิดการตัดกันระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับแท่งตัวนำโรเตอร์ทำให้ไม่เกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ โดย

ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัส ( $n$ ) กับความเร็วโรเตอร์ ( $n_r$ ) สามารถเขียนในรูปความสัมพันธ์ของความเร็วที่เรียกว่า ค่าสลิป (Slip) ใช้อักษรย่อ  $s$  ดังนี้ (Stephen, 2005)

$$nr = (1-s) ns \quad (1)$$

จากสมการ (1) พบว่าค่าสลิปเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้ความเร็วโรเตอร์เปลี่ยนแปลง แต่ในมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่สามารถทำให้ค่าสลิปเป็น 0 ได้ เพราะจะทำให้ไม่เกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ ดังนั้นการปรับความเร็วโรเตอร์จึงทำได้โดยการปรับความเร็วซิงโครนัส ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของความถี่ ( $f$ ) ของแรงดันไฟฟ้าต่อจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก ( $P$ ) ดังนี้

$$n_s = \frac{120f}{P} \quad (2)$$

สมการ (2) แสดงให้เห็นว่าความเร็วซิงโครนัสสามารถกำหนดได้โดยค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าและจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็ก แต่การเปลี่ยนแปลงจำนวนคู่ขั้วแม่เหล็กเป็นสิ่งที่ทำไม่ได้หลังจากติดตั้งมอเตอร์ใช้งานไปแล้ว ดังนั้นการปรับความเร็วความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่จะส่งผลให้ความเร็วโรเตอร์เปลี่ยนแปลงไป โดยการปรับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจึงเป็นวิธีที่เหมาะสม และสามารถปรับความเร็วได้ในช่วงกว้างและมีความละเอียดกว่า

### 1.2 การควบคุมแรงดันต่อความถี่

ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ อย่างไรก็ตามหากพิจารณาจากวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะพบว่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์จะอยู่ในรูปความเหนี่ยวนำ (Inductance) เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นการปรับลดความถี่ของแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเพื่อลดความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีผลให้ค่าความต้านทานไฟสลิปของตัวเหนี่ยวนำ ( $X_L$ ) มีค่าลดลง และความต้านทานรวมทางไฟฟ้าของมอเตอร์ ( $Z_T$ ) ก็จะลดลงด้วยเช่นกัน ดังสมการ

$$Z_T = R_T + j(2\pi fL) \quad (3)$$

การลดลงของความต้านทานรวมทางไฟฟ้าจะทำให้กระแสไหลเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำสูงขึ้น จนอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นเพื่อควบคุมไม่ให้กระแสไหลเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำจนเกินพิกัด จึงจำเป็นต้องปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย

การควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อความถี่ (V/f Control) เป็นวิธีการควบคุมแบบพื้นฐานที่ประหยัดค่าใช้จ่าย และเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสามารถใช้ได้กับโหลดที่มีแรงบิดแบบคงที่และแรงบิดแบบแปรผัน โดยสามารถสร้างแรงบิดได้ถึง 150% ของแรงบิดปกติขณะเริ่มเดินและขณะขับโหลดเต็มพิกัด (Reddy & Jegathesan, 2011 ; Omkar et al., 2019) วิธีการควบคุมนี้จึงเหมาะสำหรับการควบคุมพัดลมทั่วไป และพัดลมระบายอากาศ

การปรับค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้า นอกจากผลดีที่ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำปรับความเร็วรอบได้นั้น หากไม่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม จะ

ส่งผลให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดของมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้หากความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าลดลง จะทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่มอเตอร์ ในทางกลับกันหากความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าสูงขึ้น จะทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าลดลงและอาจทำให้มอเตอร์มีแรงไม่เพียงพอที่จะขับโหลด ดังนั้นวิธีการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่จึงต้องควบคุมสนามแม่เหล็กให้คงที่ตลอดย่านการทำงานจนถึงความถี่ที่พิกัด ดัง Figure 2 (a) โดยการกำหนดอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่จะต้องคงที่ตลอดเวลา ดังสมการ

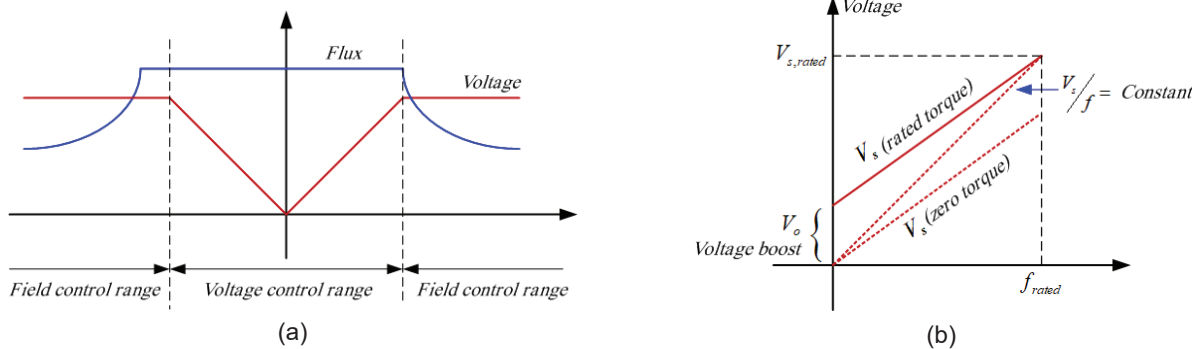


Figure 2 The characteristics of V/f control (a) The relationship between stator voltage and frequency (b) The principle of stator voltage compensation

โดยที่  $V_s$  คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ (V),  $f$  คือความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Hz),  $n_s$  คือความเร็วเชิงโคจรของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (rpm),  $\phi_{ag}$  คือเส้นแรงแม่เหล็กผ่านช่องว่างอากาศ (Wb)

Figure 3 แสดงให้เห็นว่าการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่อความถี่จะใช้การกำหนดความถี่อ้างอิง (Command frequency,  $f^*$ ) มาตรฐานเป็นความเร็วอ้างอิง (Command speed,  $W_c^*$ ) เพื่อนำมาอินทิเกรตเป็นความเร็ว

เชิงมุม ( $W_t^*$ ) สำหรับสร้างสัญญาณแรงดันเฟสอ้างอิง (Command phase voltage,  $V_s^*$ ) ที่มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) โดยที่ขนาดแรงดันเฟสอ้างอิง จะได้จากอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ที่พิกัดของ (G) ตามสมการ (4) มีผลทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดสเตเตอร์คงที่ แต่อย่างไรก็ตามหากความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำลดลง ในทางปฏิบัติแล้วการปรับลด

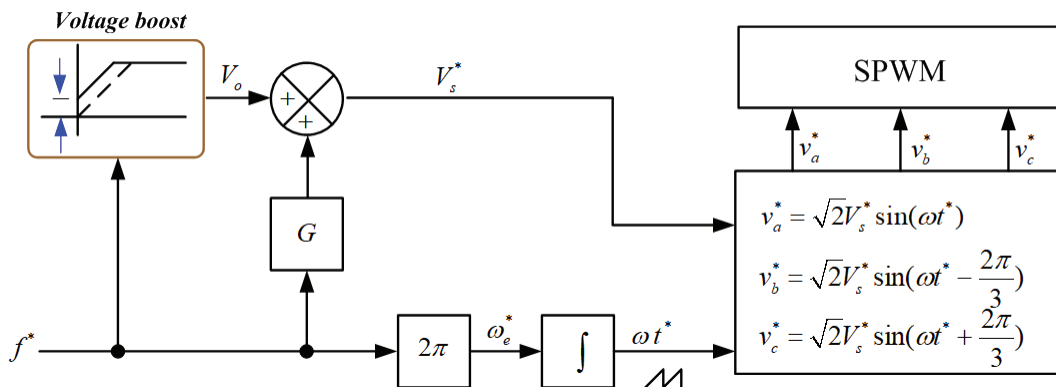


Figure 3 Simplified diagram of the open-loop V/f control with the voltage boost technique

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำจากอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ที่พิกัดจะมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะรักษาให้สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดสเตเตอร์คงที่ได้ เนื่องจากผลของแรงดันตกคร่อมความต้านทานสเตเตอร์ ดังนั้นการเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นในขณะที่มอเตอร์ทำงานที่ความถี่ต่ำด้วยวิธีการทบระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage boost) ตาม Figure 2 (b) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการควบคุมการทำงานย่านความถี่ต่ำของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยอัตราทบระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าสูงเมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานที่ความถี่ต่ำ และจะมีค่าลดต่ำลงจนเข้าสู่ค่าอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่เมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นจนถึงพิกัด (Alfredo *et al.*, 1998 ; Zhang *et al.*, 2017) ผลที่ได้รับจากการควบคุมแรงดันต่อความถี่คือสัญญาณแรงดันเฟสอ้างอิงทั้ง 3 เฟส ที่สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้จากผลของการปรับความถี่เพื่อนำไปใช้สร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ด้วยวิธีการมอดูเลตความกว้างพัลส์ด้วยคลื่นไซน์ (Sinusoidal pulse width modulation, SPWM) โดยใช้ตัวประมวลผลของไมโครชิพรุ่น PIC18F4431 รับผิดชอบความถี่อ้างอิงจากการใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้

**2. การออกแบบระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ**

ระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้ (Variable Speed Drive) หรืออาจเรียกสั้นๆ ว่าระบบ วีเอสดี (VSD) คือระบบที่สร้างมาจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง บนพื้นฐานการเปลี่ยนแปลงความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านเอาต์พุต (Output) เพื่อจ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้อินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Voltage source inverter) แต่จากหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันจะแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ทั้งขนาดแรงดันและความถี่ ขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าของประเทศไทยไม่มีการการส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ดังนั้นระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้จึงจำเป็นต้องใช้ตัวเรียงกระแส (Rectifier) เพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้รับจากการไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดคงที่และเพียงพอต่อความต้องการ เพื่อจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน (Dehong *et al.*, 2016 ; Guha & Narayanan, 2016) ดังแสดงใน Figure 4

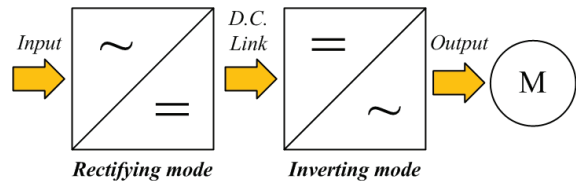


Figure 4 Block diagram of a proposed variable speed drive for induction motor

**2.1 การออกแบบอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส**

โครงสร้างวงจรของอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส เกิดจากการนำสวิตช์กำลัง (Power switch) และไดโอดกำลัง (Power diode) อย่างละ 6 ตัว มาต่อกันเป็นวงจรดัง Figure 5 โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อสวิตช์กำลังตัวที่ 1 ( $S_1$ ) นำกระแสไฟฟ้า จะส่งผลให้ขั้ว a ต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และหากสวิตช์กำลังตัวที่ 4 ( $S_4$ ) นำกระแสไฟฟ้า จะส่งผลให้ขั้ว a ต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Bin, 2005) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้โมดูลอินเวอร์เตอร์จากสวิตช์ไอจีบีที (Inverter IGBT Module) รุ่น TM-032

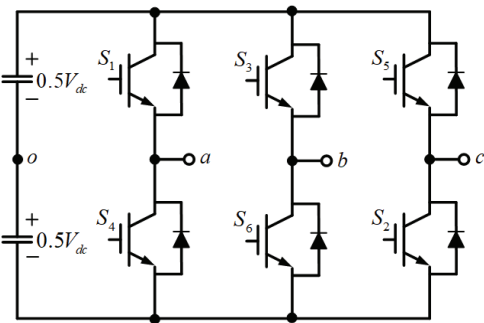
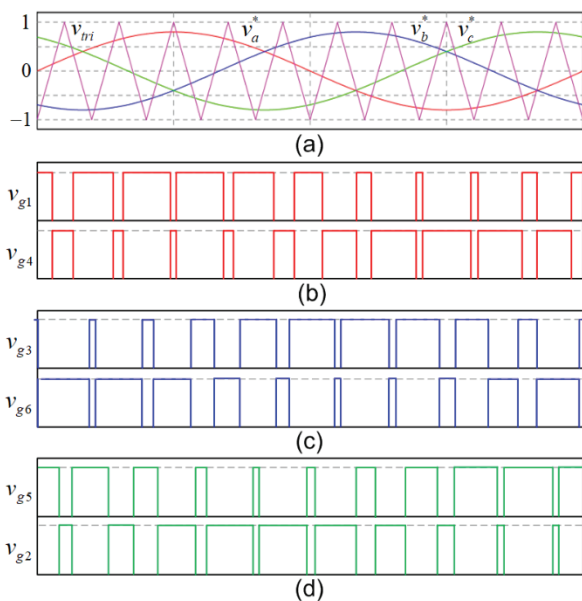


Figure 5 Topology of the three-phase inverter

จากวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ด้วยการปรับความถี่และขนาดแรงดันเอาต์พุต ดังนั้นการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง (Switching signals) ในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ด้วยคลื่นไซน์ โดยการนำสัญญาณแรงดันเฟสอ้างอิงที่ได้จากวิธีการควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันต่อความถี่ มาเปรียบเทียบกับคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular wave) (Gurav *et al.*, 2018) ดังแสดงใน Figure 6 (a) ทำให้ได้สัญญาณควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังทั้ง 6 ตัว ดังแสดงใน Figure 6 (b) 6 (c) และ 6 (d) ตามลำดับ

โดยปกติแล้วเทคนิคการมอดูเลตความกว้างพัลส์ด้วยคลื่นไซน์ จะกำหนดให้ค่าสูงสุดของสัญญาณแรงดันเฟสอ้างอิงมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดของคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม ( $V_{m1}$ ) โดยอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของสัญญาณแรงดันเฟสอ้างอิงกับค่าสูงสุดของคลื่นสัญญาณสามเหลี่ยม จะถูกเรียกว่า ดัชนีการมอดูเลต (Modulation index,  $m_a$ ) ทั้งนี้สำหรับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุต แสดงได้ในเทอมของดัชนีการมอดูเลต คือ

$$m_a = \frac{2\sqrt{2}V_{LL,rms}}{\sqrt{3}V_{dc}} \quad (5)$$



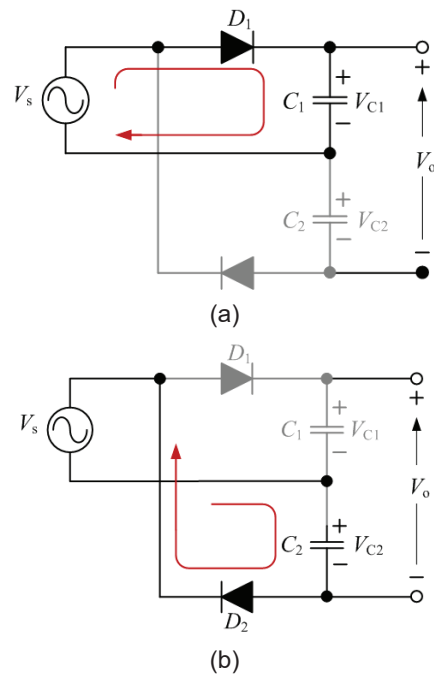
**Figure 6** Waveforms of the SPWM Technic  
 (a) A comparison of command voltages and triangular wave (b) Switching signals for leg-A  
 (c) Switching signals for leg-B (d) Switching signals for leg-C

สมการ (5) แสดงให้เห็นว่าหากกำหนดให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ดัชนีการมอดูเลตเต็ม ( $m_a = 1$ ) เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย 220 โวลต์ ให้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ขดลวดสนามแม่เหล็กต่อวงจรแบบเดลต้า (Delta connection) จะต้องมีแรงดันไฟฟ้าระแสตรงที่ได้มาจากตัวเรียงกระแสไม่น้อยกว่า 360 โวลต์

**2.2 การออกแบบตัวเรียงกระแส**

เครื่องสีผัดข้าวเป็นเครื่องจักรของชาวนา ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมเพื่อปรับความเร็วรอบของใบพัดจึงควรใช้ระบบไฟฟ้า 1 เฟส แรงดัน 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงานจึงจะเหมาะสมที่สุด เพราะเป็นระบบ

ไฟฟ้าที่ทุกบ้านเรือนมีใช้กัน ตัวเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบไดโอด (Diode rectifiers) เป็นตัวเรียงกระแสที่มีหลักการทำงานไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง อีกทั้งยังได้เปรียบด้านความทนทานกว่าตัวเรียงกระแสประเภทอื่นๆ (Kolar & Friedli, 2013) แต่อย่างไรก็ตามตัวเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบไดโอดโดยทั่วไปให้แรงดันไฟฟ้าระแสตรงได้สูงสุดเพียง 198 โวลต์ ซึ่งไม่เพียงพอสำหรับการแปลงผันไปเป็นแรงดันไฟฟ้าระแสสลับระบบ 3 เฟส 3 สาย เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำตามสมการ (5)



**Figure 7** Operation for full wave rectifier voltage doubler  
 (a) Positive half-cycle  
 (b) Negative half cycle

การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้ตัวเรียงกระแสแบบไดโอดเพื่อเรียงกระแสยอดคลื่นด้านอินพุตทั้งไซเคิลบวกและไซเคิลลบไปเป็นแรงดันไฟฟ้าระแสตรง เพื่อสะสมไว้ในตัวเก็บประจุขนาด 60 ไมโครฟารัด พักตแรงดัน 450 โวลต์ จำนวน 2 ตัวด้านเอาต์พุต ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าระแสตรงให้โหลดด้านเอาต์พุต ซึ่งเรียกว่าตัวเรียงกระแสเต็มคลื่นหนึ่งเฟสแบบให้แรงดันเอาต์พุตสองเท่า (Full wave voltage doubler) โดยหลักการทำงานคือ เมื่อคลื่นแรงดันไฟฟ้าระแสสลับช่วงไซเคิลบวกถูกจ่ายให้กับวงจร จะมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_1$  เนื่องจากได้รับการไบอัสตรง ในขณะที่ไดโอด  $D_2$  จะได้รับการไบอัสกลับ ช่วงการทำงานนี้ตัวเก็บประจุ  $C_1$  เริ่มชาร์จประจุไฟฟ้าระแสตรงที่เรียงมาจากไดโอด  $D_1$  ดังแสดงใน Figure 7 (a) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าระแส

ตรงดกร่อมตัวเก็บประจุ  $C_1$  เท่ากับค่าสูงสุดของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต ตามสมการ

$$V_{C1} = \sqrt{2} \times V_s \tag{6}$$

หากคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับช่วงไซเคิลลบถูกจ่ายให้กับวงจร จะมีกระแสไหลผ่านไดโอด  $D_2$  เนื่องจากได้รับการไบอัสตรง ในขณะที่ไดโอด  $D_1$  จะได้รับการไบอัสกลับ ช่วงการทำงานนี้ตัวเก็บประจุ  $C_2$  จะเริ่มชาร์จประจุไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียงมาจากไดโอด  $D_2$  ดังแสดงใน Figure 7 (b) ทำให้มีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดกร่อมตัวเก็บประจุ  $C_2$  เท่ากับค่าสูงสุดของคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต ตามสมการ

$$V_{C2} = \sqrt{2} \times V_s \tag{7}$$

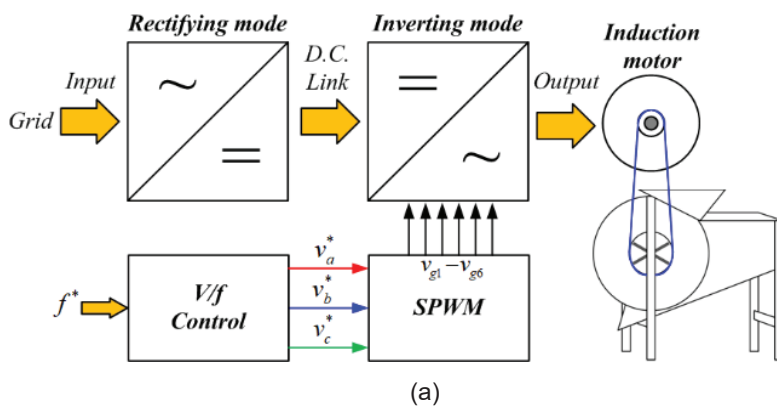
ดังนั้น หากพิจารณาจากโครงสร้างวงจรใน Figure 7 จะพบว่าตัวเก็บประจุทั้งสองตัวต่อแบบอนุกรมกันโดยมีโหนดมาต่อคร่อมอยู่ ทำให้แรงดันที่โหนดได้รับจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวรวมกัน ดังสมการ

$$V_o = V_{C1} + V_{C2} = 2[\sqrt{2} \times V_s] \tag{8}$$

จากสมการ (8) แสดงให้เห็นว่าตัวเรียงกระแสที่เลือกใช้สามารถให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้สูงถึง 2.83 เท่าของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุต ดังนั้นหากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้านอินพุตมีค่า 220 โวลต์ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุต มีค่าสูงถึง 622 โวลต์

**ผลการทดสอบและอภิปรายผล**

การสีฝัดข้าวเพื่อตัดแยกสิ่งเจือปนที่ปะปนมากับข้าวเปลือกไม่ว่าจะเป็นข้าวลีบ เศษฟางข้าว ข้อข้าว หรือแม้แต่ผงฝุ่นละอองออกได้มากน้อยเพียงใดนั้นประกอบด้วยปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น ความชื้นของข้าวเปลือก คุณภาพของข้าวเปลือก การเก็บรักษาข้าวเปลือก และที่สำคัญคือความเร็วของลมจากใบพัดของเครื่องสีฝัด ดังนั้นเพื่อยืนยันความเป็นไปได้และความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยวิธีการควบคุมอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่สำหรับเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิมที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น จึงได้ทำการทดสอบโดยนาระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้มาควบคุมความเร็วรอบ



**Figure 8** Testing and Implementation of the proposed system (a) Simplified block diagram of the experimental setup (b) Experimental setup



**Table 1** Frequency and voltage of the proposed system at different command frequencies

Command frequencies (Hz)	Output frequency		Line-to-line voltage		
	Measured value (Hz)	Relative error (%)	Calculated value (V)	Measured value (V)	Relative error (%)
10	11.11	11.10	131.82	124.80	5.33
20	20.51	2.55	170.41	160.10	6.05
30	30.21	0.70	181.96	190.40	4.64
40	40.13	0.33	196.44	198.50	1.05
50	50.19	0.38	222.06	219.80	1.02

ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด ½ แรงม้า ความเร็วโรเตอร์ที่พิกัด 1,430 rpm ตามไดอะแกรมการทดสอบ ใน Figure 8 (a) เพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องสีฟัดข้าวแบบดั้งเดิม ดังแสดงใน Figure 8 (b) โดยมีผลการทดสอบ ดังนี้

#### 1. การทดสอบระบบควบคุมการเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่

การทดสอบโดยการปรับตั้งความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) ตั้งแต่ 10 Hz จากนั้นเพิ่มความถี่ขึ้นครั้งละ 10 Hz จนกระทั่งถึงความถี่พิกัดคือ 50 Hz เพื่อบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของความถี่และแรงดันระหว่างสายต้านเอาต์พุตของระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้น ผลการวัดค่าด้วยมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ fluke รุ่น 115 TRUE RMS เพื่อหาความแตกต่างของที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณแสดงดัง Table 1

ผลการทดสอบใน Table 1 แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) ของระบบควบคุมการ

เปลี่ยนแปลงแรงดันต่อความถี่ ส่งผลทำให้ความถี่และแรงดันระหว่างสายต้านเอาต์พุตของระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ออกแบบและสร้างขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงค่าเป็นไปตามหลักการที่วางไว้ คือ เมื่อความถี่อ้างอิงมีค่าสูงขึ้นจะส่งผลให้ความถี่ของแรงดันต้านเอาต์พุตเปลี่ยนเข้าใกล้ค่าอ้างอิง ขณะที่แรงดันระหว่างสายต้านเอาต์พุตก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ในทางกลับกันหากปรับลดความถี่อ้างอิงให้มีค่าต่ำลง ความถี่ของแรงดันระหว่างสายต้านเอาต์พุตจะมีค่าลดลงเข้าใกล้ค่าอ้างอิง และแรงดันระหว่างสายต้านเอาต์พุตก็จะมีค่าลดลงด้วย ทั้งนี้หากเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณจะพบว่า ผลการทดสอบที่ความถี่สูงจะได้ร้อยละความแตกต่างมีค่าต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากผลของการทบทระดับแรงดัน เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานย่านความถี่ต่ำด้วยวิธีการเปิดตารางที่ใช้ (Look up table) ยังมีความละเอียดไม่เพียงพอในย่านความถี่ที่ไม่ใช่ค่าคงตัว

**Table 2** The test results for two types of paddy (15% moisture) at different command frequencies

Test descriptions	RD41				Pathum Thani 1			
	20	25	30	35	20	25	30	35
Command frequencies (Hz)	20	25	30	35	20	25	30	35
Wind velocity (m/s)	2.20	3.80	5.60	7.50	2.10	3.80	5.50	7.60
Total paddy obtained (kg)	47.13	45.64	44.36	43.12	46.70	45.62	44.54	43.29
Paddy grain obtained (%)	99.16	98.76	98.02	95.36	99.27	98.89	98.51	95.80
Undeveloped kernel obtained (%)	50.20	24.00	5.00	4.20	40.60	22.40	4.20	3.60

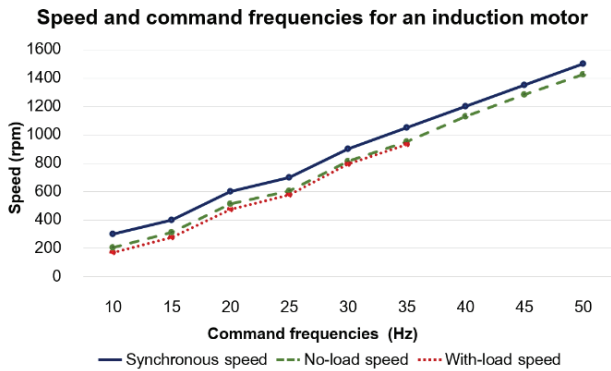


Figure 9 The performance of variable speed controlled at different command frequencies

## 2. การทดสอบปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การทดสอบโดยนำระบบขับเคลื่อนแบบปรับความเร็วได้สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ออกแบบและสร้างขึ้นต่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นทำการปรับความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) เริ่มตั้งแต่ 10 Hz และเพิ่มความถี่ขึ้นครั้งละ 5 Hz จนถึงความถี่ที่กักคือ 50 Hz เพื่อวัดความเร็วรอบของเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-268TP ทั้งในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนตัวเปล่า (ไม่ต่อโหลด) และกรณีต่อโหลด เพื่อเปรียบเทียบกับความเร็วเชิงโคโรนัสที่ได้จากการคำนวณ ผลที่ได้แสดงใน Figure 9

ผลการทดสอบใน Figure 9 แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) จาก 10 Hz เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงความถี่ที่กัก 50 Hz มีผลทำให้ความเร็วรอบของเพลามอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเชิงเส้นจากความเร็วรอบต่ำสุดกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำหมุนตัวเปล่า 204 rpm ไปจนถึงความเร็วรอบที่ความถี่ที่กัก คือ 1,424 rpm และหากพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงความเร็วดังกล่าวเทียบกับความเร็วเชิงโคโรนัสที่ได้จากการคำนวณ พบว่ามีความแตกต่างค่อนข้างคงที่ตลอดย่านความเร็วที่ค่าสลิปอยู่ระหว่าง 5.07-32.00% อย่างไรก็ตามผลการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำไปขับเคลื่อนใบพัดเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิม พบว่าการขับเคลื่อนที่ความถี่ต่ำกว่า 25 Hz ความเร็วรอบของเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำจะต่ำกว่าความเร็วรอบกรณีหมุนตัวเปล่าที่อัตราการรักษาความเร็ว (Speed regulation) เฉลี่ย 9.87% สาเหตุเนื่องจากความเร็วรอบที่ต่ำทำให้แรงเฉื่อยในใบพัดมีค่าต่ำ มอเตอร์เหนี่ยวนำจึงต้องใช้แรงบิดมากขึ้นเพื่อหมุนให้ใบพัดเคลื่อนที่ ส่งผลให้ความเร็วรอบของเพลาลดลง แต่เมื่อความถี่สูงกว่า 25 Hz ความเร็วรอบของเพลามอเตอร์เหนี่ยวนำจะใกล้เคียงความเร็วรอบกรณีหมุนตัวเปล่ามากขึ้น ที่อัตราการรักษาความเร็วเฉลี่ย 2.26% และเนื่องจากโครงสร้างของตัวเครื่องและใบพัดของเครื่องสีฝัดข้าวทำมาจากไม้ และไม้ได้ออกแบบมาให้หมุนที่ความเร็วสูง ดังนั้นการทดสอบกรณีต่อโหลดให้มอเตอร์เหนี่ยวนำจึงสามารถ

ทำได้ที่ค่าความถี่ไม่เกิน 35 Hz เท่านั้น เพราะอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิมได้

## 3. การทดสอบใช้งานระบบปรับความเร็วรอบใบพัดเครื่องสีฝัดข้าวเพื่อแยกข้าวสาลี

การทดสอบโดยระบบปรับความเร็วรอบใบพัดเครื่องสีฝัดข้าวที่ออกแบบและพัฒนาขึ้น มาทดลองสีฝัดข้าวเปลือกค่าความชื้น 15% จำนวน 2 สายพันธุ์ที่ได้รับความนิยมนำมาเพาะปลูกในจังหวัดปทุมธานี ได้แก่ พันธุ์ กข41 และพันธุ์หอมปทุมธานี 1 ที่ประกอบด้วยข้าวเต็มเมล็ดน้ำหนัก 45 กิโลกรัม และข้าวสาลีอีก 5 กิโลกรัม มาผสมกัน เพื่อใช้ทดสอบหาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวสาลีที่สามารถแยกได้จากการสีฝัดที่ความเร็วลมระดับต่างๆ ตามที่ปรากฏใน Table 2 โดยการวัดความเร็วลมบริเวณตะแกรงเหล็กซึ่งเป็นตำแหน่งคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเต็มเมล็ด ด้วยเครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-43A

การพิจารณาปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและข้าวสาลีของข้าวพันธุ์ กข41 และหอมปทุมธานี 1 จากการสีฝัดที่ความเร็วลมจากการหมุนของใบพัดในระดับต่างๆ โดยการปรับค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) ใน Table 2 พบว่าการสีฝัดที่ความเร็วลมต่ำจะได้ข้าวเปลือกทั้งหมดจากช่องรับข้าวปริมาณมากกว่าการสีฝัดที่ความเร็วลมสูง แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณารายละเอียดจากปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและปริมาณข้าวสาลีที่ปะปนรวมกันมาเป็นข้าวเปลือกทั้งหมดจากช่องรับข้าว พบว่ากรณีข้าวพันธุ์ กข41 การสีฝัดที่ความเร็วลม 3.80 m/s และ 2.20 m/s โดยการปรับค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) 25 Hz และ 20 Hz จะได้ข้าวเต็มเมล็ดปริมาณสูงถึง 98.76% และ 99.16% ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามความเร็วลมที่ได้ อาจไม่เพียงพอที่จะแยกข้าวสาลีออกจากข้าวเต็มเมล็ด ส่งผลให้มีข้าวสาลีปะปนมากับข้าวเต็มเมล็ดในปริมาณสูงถึง 24.00% และเพิ่มขึ้นเป็น 50.20% ที่ค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) 25 Hz และ 20 Hz ตามลำดับ จากนั้นหากเพิ่มความเร็วลมเป็น 5.60 m/s โดยการปรับค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) เท่ากับ 30 Hz พบว่าปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ได้ยังอยู่ในระดับสูง คิดเป็น 98.02% ขณะที่ปริมาณข้าวสาลีที่ปะปนมากับข้าวเต็มเมล็ดลดลงอย่างเห็นได้ชัด เหลือเพียง 5.00% ทั้งนี้หากทดลองเพิ่มค่าเพิ่มความเร็วลมเป็น 7.50 m/s จากการเพิ่มความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) ขึ้นไปเท่ากับ 35 Hz จะทำให้ปริมาณข้าวสาลีที่ปะปนมากับข้าวเต็มเมล็ดลดลงได้อีก 0.80% แต่มีผลทำให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดที่ได้อลดลงถึง 2.66% เนื่องจากความเร็วลมที่สูงเกินไปทำให้ข้าวเต็มเมล็ดถูกพัดปะปนไปกับข้าวสาลีมากขึ้น ดังนั้นความเร็วลมที่ได้จากการหมุนของใบพัดของเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิมที่เหมาะสมสำหรับข้าวพันธุ์ กข41 ความชื้น 15% คือ 5.60 m/s จากค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) เท่ากับ 30 Hz และสอดคล้องกับข้าวพันธุ์หอมปทุมธานี 1 ที่ความชื้น 15% ซึ่งผลจากการสีฝัดข้าวที่ความเร็วลม 5.50 m/s ด้วยการปรับค่าความถี่อ้างอิง ( $f^*$ ) เท่ากับ 30 Hz ทำให้ได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ด 98.51%

**Table 3** A comparison of the proposed system and conventional system (Using diesel engine)

Test parameters	VSD with induction motor ½ hp.	Diesel engine 487 cc.
Rate power	393.00 W	5900.00 W
Energy consumption	0.52 hp./hr.	210.00 g-hp./hr.
Energy costs	1.50 Bath/hr.	5.95 Bath/hr.
Noise levels	No	72.40 dBA
Air pollutions	No	Yes

Note: The average of electricity and fuel costs from 4 Jan to 24 Dec 2020

โดยมีข้าวลีบปะปนออกมาคิดเป็น 4.20% และหากลดความเร็วลมลงเหลือ 3.80 m/s จะมีข้าวลีบปะปนออกมาสูงขึ้นถึง 5.33 เท่าตัว ขณะที่การเพิ่มความเร็วลมขึ้นเท่ากับ 7.60 m/s จะได้ข้าวเต็มเมล็ดลดลงเหลือ 95.80%

นอกจากนี้ การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าขณะทำการสีฟัดข้าวด้วยระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยวิธีการควบคุมอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่สำหรับเครื่องสีฟัดข้าวแบบตั้งเดิมที่ออกแบบและสร้างขึ้น ด้วยเครื่องวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า (Power analyzer) ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น C.A.8331 เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ขนาด 487 ซีซี. เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนแบบเดิม แสดงใน Table 3 พบว่ามีพิกัดกำลังของระบบต้นกำลังน้อยกว่า ดังนั้นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจึงน้อยกว่า และผลจากการใช้ไฟฟ้าเป็นพลังงานขั้นต้นซึ่งมีราคาต่อหน่วยถูกกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้มูลค่าพลังงานที่ใช้ลดลงกว่า 4 เท่าตัว อีกทั้งยังไม่ทำให้เกิดเสียงดังรบกวนและลดการปล่อยมลพิษออกสู่ธรรมชาติอีกด้วย

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาและการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบแปลงผันแรงดันและความถี่สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนใบพัดของเครื่องสีฟัดข้าวแบบตั้งเดิม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการปรับความถี่อ้างอิงของระบบควบคุมที่นำเสนอให้สูงขึ้นมีผลทำให้ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าสูงขึ้นเข้าใกล้ค่าอ้างอิง โดยผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่อ้างอิงระหว่าง 10–50 Hz ทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 204 –1,424 rpm ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Zhang, Z. Liu, Y. และ Bazzi A. M. (2017) ที่ได้ศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของวิธีการควบคุมแรงดันต่อความถี่แบบวงเปิด สำหรับเครื่องจักรกลแบบเหนี่ยวนำ พบว่าการชดเชยแรงดันจากผลของความต้านทานในขดลวดสเตเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นกว่าอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่คงที่แบบเดิม ในย่านการทำงานที่ความถี่ต่ำกว่าพิกัดจะทำให้

มอเตอร์สามารถควบคุมแรงบิด และความเร็วรอบให้คงที่ได้ (Alfredo *et al.*, 1998) อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ยังพบว่า การปรับความถี่อ้างอิงสูงกว่า 35 Hz อาจมีผลทำให้เครื่องสีฟัดข้าวแบบตั้งเดิมได้รับความเสียหาย เนื่องจากความเร็วใบพัดที่สูงเกินไป

จากการทดสอบสีฟัดข้าวพันธุ์ กข41 และหอมปทุมธานี 1 โดยการปรับเปลี่ยนค่าความถี่อ้างอิงจาก 20 Hz เพิ่มขึ้นจนถึง 35 Hz เพื่อปรับระดับความเร็วลมที่ได้จากการหมุนของใบพัด พบว่าที่ความเร็วลมระหว่าง 5.50 m/s ถึง 5.60 m/s ที่ได้จากปรับค่าความถี่อ้างอิงเท่ากับ 30 Hz มีความเหมาะสมสำหรับการสีฟัดข้าวทั้ง 2 สายพันธุ์ เนื่องจากทำให้ได้รับปริมาณข้าวเต็มเมล็ดสูงกว่า 98.00% และมีข้าวลีบปะปนออกมาน้อยกว่า 5.00% สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ และภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล (2559) ที่ได้ทำการพัฒนาเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนในเมล็ดข้าวปลูกพันธุ์ สุพรรณบุรี 1 พบว่า ความเร็วลมที่น้อยเกินไปจะไม่สามารถคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าวเต็มเมล็ดได้ และหากความเร็วลมที่สูงเกินไปจะทำให้ข้าวเต็มเมล็ดปะปนออกมากับสิ่งเจือปน นอกจากนี้หากเปรียบเทียบกับต้นกำลังที่เป็นเครื่องยนต์แบบเดิม พบว่ามีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่า ดังนั้นวิธีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องสีฟัดข้าวแบบตั้งเดิมที่นำเสนอ จึงสามารถลดมูลค่าพลังงานที่ใช้ได้กว่า 4 เท่าตัว

### ข้อเสนอแนะ

1. เกษตรกรสามารถนำหลักการวิจัยนี้ไปปรับใช้เพื่อปรับความเร็วลมจากใบพัดของเครื่องสีฟัดข้าว ด้วยการปรับความถี่อ้างอิงที่เหมาะสมกับพันธุ์ข้าวชนิดอื่นๆ ได้ เพื่อให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดจำนวนมากเมื่อเทียบกับข้าวลีบ

2. การใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะช่วยลดต้นทุนค่าไฟฟ้าให้กับเกษตรกรได้ และยังช่วยลดขั้นตอนการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้อยู่เดิม ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพของระบบสูงขึ้น

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ และเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณคุณสวัสดิ์ เอกเอี่ยม และคุณวิเชียร พูลผล ชาวนาตำบลระแหง อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องสีฝัดข้าวแบบดั้งเดิม ข้าวพันธุ์ กข41 และหอมปทุมธานี 1 เพื่อใช้ทดสอบผลการวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- กฤตวัฒน์ โดเจริญ, อาทิตยา วัฒนะไมตรี และจิรายุส แม้นนิล. (2560). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ใช้ น้ำมันดีเซลและการระเหยเอทานอลในโหมดเชื้อเพลิงร่วม [ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา].
- เจษฎา อุดมกิจมงคล. (2554). อุตสาหกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร (Agricultural Machinery). รายงานผลการศึกษาด้านวิชาการของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม.
- วินิต ชินสุวรรณ, ณรงค์ ปัญญา และศรีสมร ทวีโชคชาญชัย. (2541). การศึกษาปัจจัยสำหรับออกแบบเครื่องทำความสะอาดข้าวเปลือกหอมมะลิในระดับกลุ่มเกษตรกร. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 3 (2), 19-30.
- สุทธิพงษ์ จำรูญรัตน์ และภิรมย์ ตั้งจิตเพียรผล. (2559). การพัฒนาเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนในเมล็ดข้าวปลูก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- เสาวณี จันทะพงษ์ และพรชนก เทพขาม. (2561). นวัตกรรม การเกษตร: ทางออกปัญหาความเหลื่อมล้ำของไทย ตอน 2. ธนาคารแห่งประเทศไทย.
- อนุชิต อุไรรัตน์ และเฉลิม จินาดุน. (2563). ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีวงจรแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรรีดยางไฟฟ้า. วารสารวิจัยราช มงคลกรุงเทพ, 14 (1), 1-13.
- Alfredo, M.G., Thomas. A.L. & Donald, W.N. (1998). A new induction motor V/f control method capable of high performance and precise regulation at low speeds. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 34 (4), 813–821.
- Bin, W. (2005). *High-power converters and AC drives*. IEEE Press and John Wiley.
- Christian, K., Frede, B. & Paul, T. (2006). Alternate ASDs: Evaluation of the converter topologies suitable for integrated motor drives. *IEEE Industry Applications*, 12 (2), 71–83.

- Dehong, Z., Jin, Z. & Yunhua, L. (2016). Model predictive control scheme of five-leg AC-DC-AC converter-fed induction motor drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63 (7), 4517–4526.
- Guha, A. & Narayanan, G. (2016). Small-signal stability analysis of an open-loop induction motor drive including the effect of inverter dead-time. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 52 (1), 242–253.
- Gurav, R.D., Morey, S.B. & Joshi P.M. (2018). 3-ph 2-level VSI with sinusoidal pulse width modulation. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* (pp. 1-4). Pune, India.
- Kolar, J.W. & Friedli, T. (2013). The essence of three-phase PFC rectifier systems—Part I. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28 (1), 176-198.
- Kumar, S., Cho, J.H., Park, J. and Moon, I. (2013). Advances in diesel-alcohol blend and their effects on the performance and emissions of diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 46-72.
- Merve, Y., Mehmet, P. & Hasan K. (2014). A survey on comparison of electric motor types and drives used for electric vehicles. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition* (pp. 218-223). Antalya, Turkey.
- Omkar, G., Onkar, U., Swapnil, R., Ashish, R. & Rekha, S. (2019). V/F speed control technique of three phase induction motor. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering (IJREEICE)*, 7 (1), 40–44.
- Reddy, M.H.V. & Jegathesan, V. (2011). Open loop V/f control of induction motor based on hybrid PWM with reduced torque ripple. *Proceedings of the 2011 International Conference on Emerging Trends in Electrical and Computer Technology* (pp. 331-336). Nagercoil, India.
- Simon, R., Philipp, K., Marcelo, H. & Johann, K. (2008). Towards a 30 kW/liter, three-phase unity power factor rectifier. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 128 (4), 481–490.
- Stephen, J.C. (2005). *Electric machinery fundamentals*. (4<sup>th</sup> ed.). USA: McGraw-Hill.

Zhang, Z., Liu, Y. & Bazzi A. M. (2017). An improved high-performance open-loop V/f control method for induction machines. *Proceedings of the 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)* (pp. 615-619). Tampa, FL, USA.



## 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 แต่จะเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ 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 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**

3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**

3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**

3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**

3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**

3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 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](http://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 วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

**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 ใช้ตัวอักษร Times New Roman

**กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

**เอกสารอ้างอิง (References)** ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ [www.scjmsu.msu.ac.th](http://www.scjmsu.msu.ac.th)

## เอกสารอ้างอิงให้เขียนตามรูปแบบ “Publication Manual of the American Psychological Association” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. หนังสือ (ในรูปแบบรูปเล่ม)

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

ตัวอย่าง:

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



## 2. บทความในวารสารอิเล็กทรอนิกส์

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

ตัวอย่าง:

มานะ สินธุวงษานนท์. (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). เติลนิวส์ว่าไรดี: 'สื่อพิพิธภัณฑน์' เชื่อม ยุคสมัย เข้าถึงด้วย 'มิติใหม่' อินเทอร์เน็ต. *เติลนิวส์*, 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/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI\\_Vc/view](http://drive.google.com/file/d/1HiTwiRh1Er73h VYIMh1cYWzQiaNI_Vc/view)

## Intruction 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](http://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. (Times New Roman)

**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” (7<sup>th</sup> Edition)

### 1. Book

Mertens, D.M. (2014). *Research and evaluation in education and psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods* (4<sup>th</sup> 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](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-distict, Kantharawichai District,  
Maha Sarakham Province 44150  
Tel & Fax: 0 4375 4238 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  
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum  
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.Anongrit Kangrang  
Maharakham University  
Professor Dr.Wongsa Laohasiriwong  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul  
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.Terdsak Khammeng  
Khon Kaen University

Associate Professor Yuen Poovarawan  
Kasetsart University

Associate Professor Dr.Orawich Goompol  
Maharakham University

Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak  
Naresuan University

Associate Professor Dr.Chawalit Boonpok  
Maharakham University

Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana  
Ubon Ratchathnsni Rajabhat University

Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena  
Naresuan University

Assistant Professor Dr.Walaiporn Tongjaroenbuengam  
Maharakham University

Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom  
Maharakham University

Assistant Professor Dr.Natapol Pumipuntu  
Maharakham University

Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag  
Maharakham University

Dr.Rakjinda Wattanalai

Siam University

Dr.Adrian R. Plant

Maharakham University

## **Secretary**

Chaweewan Akkasesthang

## **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