



# วารสารวิทยาศาสตร์ปริดิยธาร

## PRIDIYATHORN SCIENCE JOURNAL

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567  
Vol.3 No.2 July - December 2024



คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธานุสรณ์



# วารสารวิทยาศาสตร์ปริดิยาธร

## Pridiyathorn Science Journal

### บทความวิจัย

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตสับประรดผสมดอกดาหลา
  - กายวิภาคของลำต้นและเส้นใยกระดูก (*Lepironia articulata* (Retz.) Domin)
  - การบำบัดสีจากน้ำเสียผ้าบาติกในชุมชนจังหวัดนราธิวาสโดยกระบวนการทางเคมี
  - การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI
- เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี

### บทความวิชาการ

- โลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในประเทศไทย: โทษ วิธีการการตรวจวัด ปริมาณที่ตรวจพบ และวิธีการกำจัด
- พัฒนาการของสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร รับผิดชอบตีพิมพ์ผลงานทางวิชาการประเภท บทความวิจัย บทความวิชาการ ทั้งนี้บทความต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อนนับจากวันที่ผู้เขียนได้ส่งบทความต้นฉบับนี้มายังกองบรรณาธิการ

**วัตถุประสงค์** การจัดทำวารสารวิชาการคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ถือเป็นภารกิจสำคัญของคณะในการส่งเสริมให้บุคลากรทั้งภายในและภายนอกหน่วยงานได้เผยแพร่ผลงานวิชาการสู่หน่วยงานภายนอกและความก้าวหน้าทางวิชาการในสาขาต่างๆของคณะ และยังเป็นการสร้างเครือข่ายเผยแพร่ข้อมูลทางวิชาการ ตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลงานทางวิชาการในรูปแบบสื่อออนไลน์ โดยรับผิดชอบตีพิมพ์บทความวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยนำเสนอเป็นบทความวิชาการหรือบทความวิจัยที่เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ และกำหนดตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม-มิถุนายน และ กรกฎาคม-ธันวาคม)

**สำนักงาน** กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000  
โทร. 09-9416-9355 <https://www2.st.pnu.ac.th/journal/index.php>  
E-mail: [journal\\_sci@pnu.ac.th](mailto:journal_sci@pnu.ac.th)

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

<p><b>ที่ปรึกษา</b></p> <p>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์ พลาศัย รองศาสตราจารย์ ดร.รสสุคนธ์ แสงมณี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา สะแลแม ศาสตราจารย์ ดร.ประนอม จันทร์โหมทัย รองศาสตราจารย์ ดร.พงษ์พิชิต จันทร์นุ้ย รองศาสตราจารย์ ดร.กนกพร สังข์รักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุริน ตือเร๊ะ อาจารย์ ดร.อาสสัน ทิเล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติยา ถาวโรฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โรสนี จริยะมาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา แสงวิมาน</p> <p><b>บรรณาธิการ</b></p> <p>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรรัตน์ วัฒนาพันธ์</p> <p><b>ผู้ช่วยบรรณาธิการ</b></p> <p>อาจารย์ ดร.นุรอมาลี ตีนามอ อาจารย์ ดร.จิตติมา มานะการ อาจารย์ ดร.มนทกานต์ พิมเสน อาจารย์ ดร.นิกรเรือง ขง ไต่ะลือบาจิ</p> <p><b>กองจัดการ</b></p> <p>อาจารย์ ดร.อิรฟัน มะแซสอาอิ อาจารย์สิทธิเดช ชูด้วง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ แสนสุข อาจารย์ ดร.อิบรอฮีม ซาโยะ อาจารย์ ดร.รวีวรรณ วัฒนายน นางสาววันทนี ทองสุวรรณ</p> <p><b>เจ้าของ</b></p> <p>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ กำหนดออก ปีละ 2 ฉบับ ดังนี้ ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม</p>	<p><b>กองบรรณาธิการ</b></p> <p>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นวล บินหะยีนิย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิตา สมานหมาน อาจารย์ ดร.สาพิตรี นาแว อาจารย์ ดร.นาริส่า บินหะยีติง อาจารย์ ดร.นนทกร ประชุมกาเยาะมาต อาจารย์สุรลักษณ์ มะ อาจารย์ศิรินุช ด้วงสุข อาจารย์วิจิตรา เฉิดฉิม</p> <p>นางสาวอาภรณ์ นงรัตน์ นางสาวศิริวรรณ จันทร์โชติ</p>
--	--



วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร เป็นวารสารที่มีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหาบทความเพื่อลงตีพิมพ์จำนวน 3 ท่านต่อบทความ และ บทความหรือ  
ข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร เป็นวรรณกรรมของผู้เขียน บรรณาธิการหรือคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

### สารจากคณบดี

วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร นับเป็นสื่อกลางหนึ่งทางวิชาการที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ด้านวิชาการ งานวิจัย โดยมีการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์พื้นฐาน วิทยาศาสตร์ประยุกต์ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี จึงเป็นแหล่งเรียนรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 มีบทความวิจัยด้านต่างๆ ประกอบด้วย ชีววิทยา เคมี และคณิตศาสตร์และสารสนเทศ โดยวารสารมีจุดมุ่งหมาย เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและนวัตกรรม เป็นแหล่งเรียนรู้ที่จะทำให้เกิดการพัฒนาต่อยอดความรู้ ทำให้เกิดการเรียนรู้ได้ตลอดชีวิต (Life-long Learning) ซึ่งวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นศาสตร์พื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนากำลังคนของประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบุคลากรทางการศึกษา ครู อาจารย์ นักวิทยาศาสตร์หรือนักวิจัย นักเรียน นักศึกษา อันจะนำมาสู่การสร้างองค์ความรู้ใหม่หรือนวัตกรรม

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิประจำกองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิกลั่นกรองบทความภายนอก ที่ให้ความอนุเคราะห์และเสียสละเวลาให้คำปรึกษาและพิจารณาบทความ รวมทั้งกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร ที่มุ่งมั่นทุ่มเทแรงกายแรงใจในการทำงาน อีกทั้งนักวิจัยที่ให้ความสำคัญในการพัฒนาวิชาการ และท้ายสุดนี้หวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป

ผศ.ดร.กิตติยา ถาวรฤทธิ์  
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2567

#### บทบรรณาธิการ

“วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร” เป็นวารสารที่จัดทำขึ้นโดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ ตีพิมพ์ฉบับประจำเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2567 เป็นฉบับที่ 6 ด้วยวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ งานวิจัย และนวัตกรรม ด้านวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ สู่หน่วยงานภายนอก และยังเป็นการสร้างเครือข่ายเผยแพร่ข้อมูลวิชาการตลอดจนถ่ายทอดเทคโนโลยี ผลงานวิชาการในรูปแบบสื่อออนไลน์ โดยในฉบับนี้มีผู้สนใจส่งบทความเพื่อตีพิมพ์เป็นจำนวน 6 เรื่อง

บรรณาธิการใคร่ขอขอบพระคุณผู้พิมพ์ทุกท่านที่ให้ความสนใจส่งผลงานมาตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร ขอขอบพระคุณคณาบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนผู้บริหารที่สนับสนุนให้มีการจัดทำวารสารขึ้น ขอขอบพระคุณที่ปรึกษาวารสารที่ช่วยให้คำแนะนำในการจัดทำวารสาร ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยประเมินคุณภาพของบทความ และขอขอบคุณกองบรรณาธิการทุกท่านที่ร่วมดำเนินการเพื่อให้วารสารสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธรจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิจัย นักวิชาการ ผู้อ่านและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน

บรรณาธิการ

ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2567

สารบัญ...

บทความวิจัย	หน้าที่ Page	Research Article
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกคากาโอ มูยาฮีดี๊ะ มะดาโอะ๊ะ กนกวรรณ ภูมิมณีชกกิจ จารุวรรณ แดงโรจน์ ปิยาภรณ์ วงศ์ศิริกุล	1	Development of Pineapple Sorbet Ice Cream Mixed with Torch Ginger Muyaheedah Madaud Kanokwan Phumivanichakit Charuwan Daengrot Piyaporn Wangsirikul
กายวิภาคของลำต้นและเส้นใยกระจูด ( <i>Lepironia articulata</i> (Retz.) Domin) พิชญา นิวัตบุตร สุทธิรัตน์ ชาวปากกรอ	14	Culm anatomy and fiber characteristics of blue rush ( <i>Lepirania articulata</i> (Retz.) Domin) Pichaya Niwatbutra Sutthiratana Khaopakro
การบำบัดสีจากน้ำเสียผ้าบาติกในชุมชนจังหวัดนราธิวาสโดยกระบวนการทางเคมี ปิยะวรรณ หลีชาติ ซูรียานา ดอเฮะ	24	The Color Treatment from Batik Wastewater in Narathiwat Community by using Chemical Process Piyawan Leechart Sureeyana Doheh
การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี ศุภฤกษ์ เกื้อช่วย จิรวรรณ เทพจินดา ฤกษ์ฤดี นาควิจิตร สมศิริ พัยคัมภักซ์	40	The Study of Mathematical Problem-Solving Ability Using TAI Technique Cooperative Learning Activities on Factoring Quadratic Polynomials of Matthayomsuksa 2 Students at Muang Suratthani School Supparuek Kuechuay Jirawan Thepjinda Rerkrudee Nakwijit Somsiri Payakkarak

ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2567

สารบัญ...(ต่อ)

บทความวิชาการ	หน้าที่ Page	Academic article
โลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในประเทศไทย: โทษ วิธีการการตรวจวัด ปริมาณที่ตรวจพบ และวิธีการกำจัด  รวีวรรณ วัฒนายน นิอัสมีฮาน นิเซ็ง สุชาดา ศรีชัย กูดานีลา ประกอบการคดี	54	Heavy Metals in Environment Water Sources and Wastewater in Thailand: Harm, Measurement Methods, Detected Levels, and Removal Techniques  Rawiwan Wattanayon Niasmihan Niseng Suchada Srichai Kudanila Prakobkankdee
พัฒนาการของสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริง ด้วยกำลังของจำนวนในลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง  กฤตขจร อ่อนแพง	67	Development of the Properties of Divisibility and Exact Divisibility by Powers of the Integers in the Lucas Sequences of the First and Second Kinds  Kritkhajohn Onphaeng



# การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตผสมดอกดาหลา

## Development of Pineapple Sorbet Ice Cream Mixed with Torch Ginger

มูยาฮีดี๊ะ มะดาโอ๊ะ<sup>1</sup>, กนกวรรณ ภูมिवณิชกิต<sup>1\*</sup>, จารุวรรณ แดงโรจน์<sup>1</sup> และปิยาภรณ์ วังศิริกุล<sup>1</sup>  
Muyaheedah Madaud<sup>1</sup>, Kanokwan Phumivanichakit<sup>1\*</sup>, Charuwan Daengrot<sup>1</sup>  
and Piyaporn Wangsirikul<sup>1</sup>

(Received: 22 July 2024; Revised: 31 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

### บทคัดย่อ

ดอกดาหลาเป็นพืชท้องถิ่นที่นิยมปลูกในจังหวัดนราธิวาสที่มีประโยชน์เชิงสมุนไพรโดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระจึงสามารถเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตร และสร้างผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่ให้ผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบตผสมดอกดาหลา โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำสับประรดต่อน้ำดอกดาหลาจำนวน 4 สูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 อัตราส่วน 100 : 0 (control) สูตรที่ 2 อัตราส่วน 97.5 : 2.5 สูตรที่ 3 อัตราส่วน 95 : 5 และสูตรที่ 4 อัตราส่วน 92.5 : 7.5 จากนั้นศึกษาคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติกายภาพ และประเมินการยอมรับด้านประสาทสัมผัส ผลการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) มีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดย สูตรที่ 4 มีความเป็นกรดสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.46 \pm 0.01$  เนื่องจากมีสัดส่วนของน้ำดอกดาหลาในปริมาณสูงที่สุด จากการศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี อัตราการละลาย และการขึ้นฟู จากผลการศึกษาพบว่า ค่าสีมีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดยที่สูตรที่ 1 (control) จะให้ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ที่สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $41.10 \pm 0.05$  และ  $5.88 \pm 0.03$  ตามลำดับ เนื่องจากเป็นค่าความเป็นสีเหลืองและค่าความสว่าง สอดคล้องกับสีของไอศกรีมสับประรดที่ไม่มีส่วนผสมของดอกดาหลา และสูตรที่ 3 มีค่า  $a^*$  สูงสุด คือ  $1.87 \pm 0.01$  เนื่องจากดอกดาหลามีลักษณะเป็นสีแดงคล้ำ จึงให้ค่าความเป็นสีแดงสูงสุด จากการศึกษาอัตราการขึ้นฟู พบว่าทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาอัตราการละลาย สูตรที่ 4 มีอัตราการละลายต่ำสุด ผลการประเมินด้านประสาทสัมผัสเพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภค พบว่าการยอมรับทางด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยทุกสูตรมีความชอบในระดับปานกลางถึงชอบมาก

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

Corresponding Author, E-mail: 6361001009@pnu.ac.th , kanokwan.p@pnu.ac.th

จากข้อเสนอแนะ และความคิดเห็นของผู้ทดสอบชิมพบว่าผู้ชิมตัดสินใจเลือกสูตรที่ 3 อัตราส่วนระหว่างน้ำสับปะรดต่อ น้ำดอกดาหลาที่ 95 : 5 แต่หากพิจารณาจากคุณสมบัติด้านการละลาย สูตรที่เหมาะสมที่สุด คือ สูตรที่ 4 ที่มีอัตราส่วน ระหว่างน้ำสับปะรดต่อน้ำดอกดาหลาที่ 92.5 : 7.5 ซึ่งละลายง่ายที่สุด

**คำสำคัญ:** ไอศกรีมซอร์เบต สับปะรด ดอกดาหลา สารต้านอนุมูลอิสระ

## Abstract

Torch ginger was a local plant that was popularly grown in Narathiwat Province. It had medicinal benefits, especially antioxidants, so it was increased value to agricultural products. and create new innovative products for consumers. Therefore, this research aimed to develop a pineapple sorbet ice cream product mixed with torch ginger. The ratio between pineapple juice and torch ginger juice which 4 formulas consisted of formula 1 the ratio as 100 : 0 (control), formula 2 the ratio as 97.5 : 2.5, formula 3 the ratio as 95 : 5, and formula 4 the ratio as 92.5 : 7.5. Investigation of the chemical properties, physical properties and sensory evaluation. The results of the study found that the pH values of the 4 formulas were different, that with formula 4 is the highest acidity with an average of  $3.46 \pm 0.01$  due to the high proportion of torch ginger juice. The color analysis was shown differences among the four formulas. Formula 1 (control) was the highest  $L^*$  and  $b^*$  values with average values of  $41.10 \pm 0.05$  and  $5.88 \pm 0.03$ , respectively, because they were yellowness and brightness values. Corresponds to the color of pineapple ice cream that was not contain of torch ginger juice. The formula 3 was the highest  $a^*$  (redness) value with average  $1.87 \pm 0.01$  because of the red hue from the torch ginger. There were no significant differences in overrun among the four formulas. The study of melting rate, found that the formula 4 was the lowest. Sensory evaluation results from consumer satisfaction were found that acceptance in terms of appearance, color, aroma, texture, flavor, and overall preference. There was no statistically significant difference, with all formulas being liked moderately to like very much scales. From the suggestion and opinion from the testers, it was found that the tasters decided to choose formula 3 which the ratio of pineapple juice to torch

ginger juice was 95 : 5. However considering the solubility properties The most suitable formula was formula 4 with a ratio of pineapple juice to torch ginger juice of 92.5 : 7.5, which melting rate the slowest.

**Keywords:** Sorbet, Pineapple, Torch Ginger, Antioxidant

## บทนำ

ไอศกรีมซอร์เบต (Sorbet) หรือซอร์เบโต้ (Sorbetto) เป็นไอศกรีมไขมันต่ำซึ่งไม่มีส่วนผสมที่ทำจากผลิตภัณฑ์นม อาจมีส่วนผสมหลักเป็นผลไม้สด ผลไม้แช่แข็ง ผลไม้กระป๋อง หรือผลไม้แช่แข็ง (Chanasith et al., 2014) มีการแต่งกลิ่นด้วยน้ำหวานซึ่งอาจจะเป็นกลิ่นที่ได้จากน้ำผลไม้ เนื้อผลไม้ อาจจะมีการเติมสารให้ความคงตัว มีปริมาณอากาศแทรกในผลิตภัณฑ์ไม่เกินร้อยละ 20 (รุ่งทิวา กองเงิน และ อีรวัดน์ เทพใจภาศ, 2561) จากลักษณะของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว จึงเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมน้ำหนักหรือเป็นผลิตภัณฑ์สุขภาพโดยการเลือกวัตถุดิบที่มีประโยชน์มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ไอศกรีม

สับปะรด (*Ananas comosus* (L) Merr.) เป็นพืชเศรษฐกิจ สร้างรายได้ให้ประเทศประมาณปีละ 23,000 ถึง 25,000 ล้านบาท (พัชรี ภูมาลี และคณะ, 2560) เป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในทุกภูมิภาคของประเทศไทย เนื่องจากมีรสชาติดี มีกากใยสูงถึง 0.50 กรัม/100 กรัม วิตามินเอ 15.0 หน่วยสากล/100 กรัม วิตามินบี 1 0.09 มิลลิกรัม/100 กรัม แคลเซียม 22.0 มิลลิกรัม/100 กรัม วิตามินซี 17.0 มิลลิกรัม/100 กรัม เห็นได้ว่าสับปะรดมีสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2544) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์โบรมีเลน (bromelain) ซึ่งมีคุณสมบัติในการย่อยโปรตีน ทำให้มีสรรพคุณในการย่อยอาหาร และเพิ่มการดูดซึมอาหาร (รุ่งทิวา กองเงิน และ อีรวัดน์ เทพใจภาศ, 2561) จึงนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารอย่างหลากหลาย

ดาหลา (*Etlingera elatior* (Jack) R.M.Sm.) เป็นพืชเศรษฐกิจของสามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ถือเป็นพืชสมุนไพรที่มีสรรพคุณทางยา ช่วยขับลมแก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูง ได้แก่ สารฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสาร ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ ซึ่งเป็นสารให้สีแดง ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ลดอัตราการความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ มีข้อมูลทางโภชนาการประกอบด้วย โปรตีน 12.6% ไขมัน 18.2% โยอาหาร 17.6% กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดอะมิโนจำเป็น leucine และ lysine 7.2 และ 7.9 มิลลิกรัม/100 กรัม โปรตีนตามลำดับ ฟีนอลิก 462.51 มิลลิกรัม GAE/100 กรัม เบต้า-แคโรทีน 2.096 ไมโครกรัม/100 กรัม วิตามินอี 62.031 ไมโครกรัม/100 กรัม วิตามินซี 89.683 ไมโครกรัม/100 กรัม และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ได้เป็นอย่างดี (ปิยศิริ สุนทรนนท์ และคณะ, 2551; รุจิรัตน์ คงจันทร์, 2565; สายัณห์ เรืองเขตร และคณะ, 2566)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาเป็นการใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าแก่พืชสมุนไพรในท้องถิ่นจังหวัดนราธิวาส จึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่ง ซึ่งผู้วิจัยศึกษาสูตรและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา โดยพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมี กายภาพ รวมถึงความพึงพอใจของผู้บริโภค ซึ่งทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกให้แก่ผู้ที่รักสุขภาพได้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา เพื่อเพิ่มมูลค่าแก่ผลผลิตทางการเกษตร และพืชสมุนไพร สร้างผลิตภัณฑ์ที่แปลกใหม่และมีประโยชน์ให้ผู้บริโภค

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเตรียมน้ำดอกดาหลาและน้ำสับปะรดในการผลิตไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา

**การเตรียมน้ำดอกดาหลา** นำดอกดาหลาสดแยกส่วนกลีบดอกและเกสร ออกจากก้าน ล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่า 3 ครั้ง และพักให้สะเด็ดน้ำ นำไปต้มในน้ำเดือด 10 นาที อัตราส่วนของดอกดาหลาต่อน้ำเปล่า 1:1 ระหว่างต้มเติมกรดซิตริก 0.1% น้ำหนักต่อปริมาตร ลงไป เพื่อปรับค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ให้ลดลง ซึ่งทำให้สารสีแอนโทไซยานินในน้ำดาหลาเป็นสีแดงเข้มขึ้น (จूरिरत्न คงขันธุ์, 2565) ต่ออัตราส่วนของดอกดาหลาและน้ำเปล่า จากนั้นพักให้เย็น แล้วบรรจุลงในถุงซิปล็อก แบ่งบรรจุ ถุงละ 100 มิลลิลิตร เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษา

**การเตรียมน้ำสับปะรด** นำสับปะรด ล้างทำความสะอาดและปอกเปลือก หั่นส่วนเนื้อเป็นชิ้นเล็กๆ จำนวน 1,000 กรัม เติมน้ำ 100 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ 1 นาที กรองด้วยตะแกรง เพื่อแยกส่วนกากออก โดยใช้ผ้าขาวบาง จากนั้นชั่งบรรจุใส่ถุงซิปล็อก แบ่งบรรจุ ถุงละ 200 มิลลิลิตร เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อเก็บรักษา

### 2. ขั้นตอนการผลิตไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา

นำน้ำดอกดาหลา และน้ำสับปะรดที่เตรียมไว้จากข้อ 1 มาผลิตเป็นไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา โดยมีปริมาณส่วนผสม และขั้นตอนการผลิตดังนี้

นำอัตราส่วนของน้ำดอกดาหลา และน้ำสับปะรด แบ่งออกเป็น 4 สูตร คือ ร้อยละอัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำดอกดาหลา ได้แก่ สูตรที่ 1 (100 : 0) สูตรที่ 2 (97.5 : 2.5) สูตรที่ 3 (95 : 5) และสูตรที่ 4 (92.5 : 7.5) ตามลำดับ โดยต้มน้ำให้เดือด เติมน้ำตาลทรายและสารให้ความคงตัว (เพกติน) ลงไป คนให้ส่วนผสมทุกอย่างละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำให้เย็นด้วยการนำหม้อมาคายความร้อนในภาชนะที่มีน้ำแข็ง จนถึงอุณหภูมิห้อง เติมน้ำ

ดอกดาหลา และน้ำสับปะรดตามอัตราส่วนของแต่ละสูตร บั่นด้วยเครื่องบั่นน้ำผลไม้เป็นเวลา 1 นาที บรรจุลงในภาชนะ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไอศกรีมที่ทำการแช่แข็งแล้ว มาบั่นและแช่แข็งซ้ำอีก 2 ครั้ง เพื่อให้ได้เนื้อละเอียดที่สุด

ตารางที่ 1 ปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา

ร้อยละสัดส่วนของไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
น้ำดอกดาหลา (มิลลิลิตร)	0	0.5	1.0	1.5
น้ำสับปะรด (มิลลิลิตร)	20.00	19.50	19.00	18.50
น้ำตาลทราย (กรัม)	20.00	20.00	20.00	20.00
น้ำเปล่า (มิลลิลิตร)	58.70	58.70	58.70	58.70
สารให้ความคงตัว (เพกติน) (กรัม)	1.30	1.30	1.30	1.30
อัตราส่วนน้ำสับปะรดต่อน้ำดาหลา	(100 : 0)	(97.5 : 2.5)	(95 : 5)	(92.5 : 7.5)

ที่มา : ดัดแปลงจาก รุ่งทิวา กองเงิน และธีรวัฒน์ เทพใจภาค (2561)

### 3. ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา

การศึกษาสมบัติทางเคมี ความเป็นกรด-ด่าง วัดด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo, Japan) โดยตรวจหลังจากบั่นส่วนผสมทุกอย่างเสร็จแล้ว

การศึกษาสมบัติทางกายภาพ การวัดค่าสี  $L^*a^*b^*$  ทำโดยใช้เครื่องวัดสี Colorimeter หลังจากบั่นส่วนผสมทุกอย่างจนได้ไอศกรีมเหลว นำมาศึกษาการขึ้นฟู โดยใช้วิธี Leah short (2011) โดยทำการชั่งน้ำหนักไอศกรีมเหลวในถ้วย บันทึกรับน้ำหนักไอศกรีมเหลว และหลังการแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตักไอศกรีมที่ได้ในถ้วยใบเดิม ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง โดยค่าการขึ้นฟูสามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้ (จิรพร สวัสดิการ และเดือนรุ่ง เบญจมาศ, 2565)

$$\text{ค่าการขึ้นฟู overrun (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักไอศกรีมเหลว} - \text{น้ำหนักไอศกรีม})}{\text{น้ำหนักไอศกรีม}} \times 100$$

ศึกษาอัตราการละลายของไอศกรีม ดัดแปลงจากวิธีของ Rosalina และคณะ (2004) โดยทำการวัดที่อุณหภูมิควบคุม (25 องศาเซลเซียส) ก่อนการวิเคราะห์ นำไอศกรีมไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งไอศกรีมน้ำหนัก 30 กรัม ไว้บนกรวยกรองที่รองรับด้วยกระดาษกรอง ทำการวัดปริมาตรของไอศกรีมที่หยดลงมาในกระบอกตวงทุก ๆ 10 นาที จนไอศกรีมละลายหมด ทดสอบ 3 ซ้ำทั้ง 4 สูตรและนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยต่อไป

### 4. การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา

นำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาทั้ง 4 สูตร มาประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสเพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา โดยทดสอบผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30



คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ ใช้แบบสอบถามตามวิธี Central Location Test ให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้ระดับความชอบ 9 คะแนน ตั้งแต่คะแนน 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด ตามลำดับ (9-Point Hedonic Scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม จากนั้นนำข้อมูลที่ได้หาค่าเฉลี่ยของแต่ละด้านที่ประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลามาวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป

### 5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ One Way ANOVA โดยหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแตกต่างโดย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดของไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา

### ผลการวิจัย

#### 1. ผลการศึกษาสูตรของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา

จากผลการศึกษาคูณสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลาทั้ง 4 สูตร แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา จำนวน 4 สูตร

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทั้ง 4 สูตร โดยมีอัตราส่วนระหว่างน้ำสับปรดต่อน้ำดอกดาหลาแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตรที่ 1 (control) อัตราส่วน 100 : 0 สูตรที่ 2 อัตราส่วน 97.5 : 2.5 สูตรที่ 3 อัตราส่วน 95 : 5 และ สูตรที่ 4 อัตราส่วน 92.5 : 7.5

### 1.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา

ตารางที่ 2 แสดงผลการศึกษาค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา

สูตร	ค่า pH
1 (control)	3.51±0.01 <sup>a</sup>
2	3.49±0.01 <sup>b</sup>
3	3.48±0.01 <sup>c</sup>
4	3.46±0.01 <sup>d</sup>
F-Test	*
CV(%)	0.6%

หมายเหตุ: ตัวอักษร a b c และ d ตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านเคมีค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา พบว่าไอศกรีมที่ได้มีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดยสูตรที่ 4 มีค่าความเป็นกรดสูงสุดที่  $3.46 \pm 0.01$  รองลงมาคือสูตรที่ 3 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 ที่มีค่า  $3.48 \pm 0.01$   $3.49 \pm 0.01$  และ  $3.51 \pm 0.01$  ตามลำดับ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p \leq 0.05$ )

### 1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ สี

สูตร	ค่าสี		
	L*	a*	b*
1 (control)	41.10±0.05 <sup>a</sup>	1.30±0.01 <sup>a</sup>	5.88±0.03 <sup>a</sup>
2	40.63±0.01 <sup>b</sup>	1.67±0.03 <sup>b</sup>	5.77±0.04 <sup>b</sup>
3	40.75±0.03 <sup>c</sup>	1.78±0.02 <sup>c</sup>	5.56±0.03 <sup>c</sup>
4	40.53±0.01 <sup>d</sup>	1.87±0.01 <sup>d</sup>	5.31±0.02 <sup>d</sup>
F-Test	*	*	*
CV(%)	0.6%	13.7%	4.1%

หมายเหตุ: L\* (ความสว่าง), a\* (ความเป็นสีแดง), b\* (ความเป็นสีเหลือง)

ตัวอักษร a b c และ d ตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปรดผสมดอกดาหลา พบว่าไอศกรีมที่ได้มีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดยสูตรที่ 1 (control) ให้ค่า L\* และ b\* ที่สูงที่สุด มีค่าเฉลี่ยที่  $41.10 \pm 0.05$  และ  $5.88 \pm 0.03$  ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณของดอกดาหลาเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า a\* สูงขึ้นตามไปด้วย โดยสูตรที่ 4 ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่  $1.87 \pm 0.01$  ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4 แสดงผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ (การขึ้นฟู)

สูตร	ค่าการขึ้นฟู (ร้อยละ)
1 (control)	18.08±0.40
2	19.46±0.83
3	18.62±0.80
4	19.03±0.94
F-Test	ns
CV(%)	4.5%

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ ค่าการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา พบว่าไอศกรีมที่ได้ทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 (p<0.05) โดยที่สูตรที่ 2 มีค่าการขึ้นฟูสูงสุด มีค่าเฉลี่ย 19.46±0.83 รองลงมา คือ สูตรที่ 4 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 1 (control) มีค่าเฉลี่ย 19.03±0.94, 18.62±0.80 และ 18.08±0.40 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของน้ำตาลดาหลาไม่ได้ส่งผลต่ออัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม

ตารางที่ 5 แสดงผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ (อัตราการละลาย)

สูตร	ค่าอัตราการละลาย (กรัม/นาที)			
	10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที
1 (control)	0.13±0.02 <sup>a</sup>	1.10±0.01 <sup>a</sup>	0.96±0.01 <sup>a</sup>	0.75±0.01 <sup>a</sup>
2	0.12±0.01 <sup>ab</sup>	1.05±0.01 <sup>b</sup>	0.93±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.00 <sup>a</sup>
3	0.11±0.02 <sup>b</sup>	1.04±0.01 <sup>b</sup>	0.92±0.01 <sup>b</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>
4	0.10±0.10 <sup>b</sup>	1.00±0.02 <sup>c</sup>	0.90±0.01 <sup>c</sup>	0.74±0.01 <sup>a</sup>
F-Test	*	*	*	*
CV(%)	15.4%	3.6%	2.4%	0.8%

หมายเหตุ: ตัวอักษร a b และ c ตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

จากผลการวิเคราะห์ทางด้านกายภาพ ค่าอัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาตั้งแต่ระยะเวลาการละลายที่ 10 20 30 และ 40 นาที พบว่าไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาที่เวลา 10 ถึง 30 นาที พบว่าสูตรที่ 4 จะมีค่าการละลายต่ำสุดที่ 0.90±0.01 และสูตรที่ 3 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกันที่ 0.92±0.01 และ 0.93±0.01 สำหรับสูตรที่ 1 (control) 0.96±0.01 กรัมต่อนาทีละลายเร็วที่สุด โดยทั้ง 4 สูตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p<0.05) แสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนน้ำตาลดาหลาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการละลายลดลง

## 2. ผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัสเพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อไอศกรีมชอร์เบท สับปะรดผสมดอกดาหลา

การประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส ทำการทดสอบชิมโดยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน โดยการสุ่มตัวอย่างคละกันทั้ง 4 สูตร จากนั้นนำผลการประเมินมาวิเคราะห์ทางสถิติได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คะแนนการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของไอศกรีมทั้ง 4 สูตร

สูตร	ลักษณะที่ปรากฏ	สี	กลิ่น	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
1 (control)	7.07±0.74	7.17±0.79	6.93±0.69	7.17±0.83	7.00±0.74	7.23±0.86
2	7.23±0.68	7.23±0.77	6.80±0.89	7.67±0.80	7.33±0.92	7.57±0.77
3	7.27±0.69	7.20±0.92	7.20±0.92	7.20±0.92	7.63±0.72	7.57±0.86
4	7.23±0.77	7.13±0.78	7.13±0.78	7.13±0.94	7.50±0.94	7.17±0.79
F-Test	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	10.0%	11.3%	12.3%	11.2%	11.7%	11.3%

หมายเหตุ: ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ )

จากผลการประเมินคุณภาพด้านประสาทสัมผัส เพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อไอศกรีมชอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา โดยทดสอบ ผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 30 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาและบุคลากรในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์ ชั้นปีที่ 3 จำนวน 11 คน ชั้นปีที่ 4 จำนวน 9 คน และอาจารย์ 10 คน ใช้แบบสอบถามตามวิธี Central Location Test ให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์โดยใช้ระดับความชอบ 9 คะแนน (9-Point Hedonic Scale) ตั้งแต่คะแนน 1 ไม่ชอบมากที่สุดถึงคะแนน 9 ชอบมากที่สุด ตามลำดับ พบว่า ความชอบโดยรวมของไอศกรีมชอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาสูตรที่ 2 และ 3 มีคะแนนความชอบโดยสูงที่สุดคือ 7.57±0.77 และ 7.57±0.86 คะแนน ตามลำดับ รองลงมาคือ สูตรที่ 1 (control) 7.23±0.86 และน้อยที่สุดคือสูตรที่ 4 โดยมีคะแนน 7.17±0.79 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงความชอบระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เนื่องจากใช้สารให้ความคงตัว รวมทั้งปริมาณน้ำตาลเท่ากันส่งผลให้เนื้อสัมผัสและรสชาติไม่แตกต่างกัน ส่วนอัตราส่วนของน้ำดาหลาที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้มีสีและกลิ่นเปลี่ยนไป

### อภิปรายผลการวิจัย

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชอร์เบทสับปะรดผสมดาหลา โดยศึกษาอัตราส่วนของน้ำสับปะรดต่อน้ำดาหลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ สูตรที่ 1 (control) อัตราส่วน 100 : 0 สูตรที่ 2 อัตราส่วน 97.5 : 2.5 สูตรที่ 3 อัตราส่วน 95 : 5 พบว่าจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีโดยวัดค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของไอศกรีมเหลว พบว่าเมื่อเพิ่ม

อัตราส่วนของน้ำดอกดาหลาในไอศกรีม ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดสูงขึ้น หรือมีค่าความเป็นกรดต่างต่ำลง โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3.46 – 3.51 เนื่องจากในน้ำดอกดาหลามีส่วนประกอบเป็นกลุ่มสารต้านอนุมูลอิสระพวกฟีนอลิกซึ่งเป็นกรดอ่อน และที่สภาวะที่เป็นกรดนี้ยังส่งผลให้สารแทนนินในดอกดาหลามีสีแดงสอดคล้องกับผลการวัดค่าสี โดยสูตรที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำดาหลาส่งผลให้ค่า  $a^*$  (สีแดง) สอดคล้องกับงานวิจัยของชนกนันทน์ มัคพันธวงษ์ (2564) รายงานว่า สารสกัดดอกดาหลาสีแดงลักษณะสีแดงเข้มหนืด ในขณะที่สูตรที่ 1 (control) ซึ่งไม่มีการเติมน้ำดอกดาหลามีค่า  $L^*$  (ความสว่าง) และ  $b^*$  (สีเหลือง) สูงสุด ซึ่งเป็นสีธรรมชาติของน้ำสับปะรด สำหรับค่าการขึ้นฟู พบว่าทั้ง 4 สูตรไม่มีความแตกต่างกันแสดงให้เห็นว่าน้ำดาหลาที่ผสมในอัตราส่วนไอศกรีมไม่ส่งผลต่ออัตราการขึ้นฟูของไอศกรีม จากการตรวจค่าอัตราการละลาย พบว่าสูตร control มีอัตราการละลายสูงสุด รองลงมาคือ สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 เนื่องจากดอกดาหลามีความข้นหนืด จึงส่งผลให้อัตราการละลายของไอศกรีมช้าลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ชนกนันทน์ มัคพันธวงษ์, 2564) รายงานว่า สารสกัดดอกดาหลาสีแดง มีลักษณะข้นหนืดสีแดงคล้ำ และเมื่อมีความหนืดเพิ่มขึ้น จะทำให้มีการอุ้มน้ำได้ดี (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2553) ทำให้ไอศกรีมละลายได้ช้าลง ความชอบโดยรวมของไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลาสูตรที่ 2 และ 3 มีคะแนนความชอบสูงที่สุดคือ  $7.57 \pm 0.77$  และ  $7.57 \pm 0.86$  คะแนน ตามลำดับ รองลงมาคือ สูตรที่ 1 (control)  $7.23 \pm 0.86$  และน้อยที่สุดคือสูตรที่ 4 โดยมีคะแนน  $7.17 \pm 0.79$  ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงความชอบระดับปานกลาง อย่างไรก็ตามลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวมของทั้ง 4 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) จากข้อเสนอแนะของผู้ทดสอบชิม พบว่าผลิตภัณฑ์ที่มีการผสมในอัตราส่วนน้ำสับปะรดต่อน้ำดาหลา 97.5 : 2.5 (สูตรที่ 2) และ 95 : 5 (สูตรที่ 3) มีรสชาตินุ่มนวลเปรี้ยวกำลังพอดี เนื่องจากน้ำดอกดาหลามีรสชาตินุ่มเปรี้ยวจึงสามารถมาตัดความหวานของน้ำตาลทรายและน้ำสับปะรดได้ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำดอกดาหลาลงไปตามสูตรที่ 4 ส่งผลให้ลักษณะในด้านอื่นๆ ให้มีค่าลดลง เช่น สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และรสชาติ เนื่องจากดาหลาเป็นพืชตระกูลข่ามีกลิ่นเฉพาะตัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (กมลทิพย์ กรรไพบเราะ และสุธีรา ศรีสุข, 2559) มีรายงานว่า ดาหลามีกลิ่นเฉพาะตัว ผู้บริโภคส่วนใหญ่ไม่คุ้นชินและไม่ชอบ จึงทำให้คะแนนลดลง

ดังนั้นการที่ผู้วิจัยเลือกใช้ดอกดาหลามาเป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นเชิงสมุนไพร ที่มีสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่สูงประกอบด้วยฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ เบต้า-แคโรทีน วิตามินอี วิตามินซี เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัมพรศรี พรพิทักษ์ดำรง (2561) ที่ศึกษาพัฒนาไอศกรีมมะม่วงหาวมะนาวโห่ผลไม้อบแห้งซึ่งมีคุณสมบัติเด่นเชิงสมุนไพรเช่นกัน

## สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบทสับปะรดผสมดอกดาหลา 4 สูตร เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางเคมี คือ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรดต่างมีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดยมีสูตรที่ 4 มีความ



เป็นกรดสูง หรือค่าความเป็นกรดต่างต่ำสุด คือค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.46 \pm 0.01$  ซึ่งเกิดจากอัตราส่วนน้ำตาหาลาเพิ่มขึ้น โดยค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำดอกดาหลามีค่า 3.32 ซึ่งเกิดจากสารประกอบกรดฟีนอลิก (ณารูอนงค์ อุทิศธรรม และปิยะนุช สุขประดิษฐ์, 2546)

ผลการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพ (สี การขึ้นฟู อัตราการละลาย) พบว่า ผลการวัดค่าสีมีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร โดยสูตรที่ 1 (control) จะให้ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ซึ่งเป็นค่าความสว่างและค่าสีเหลืองสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $41.10 \pm 0.05$  และ  $5.88 \pm 0.03$  เนื่องจากเป็นสีของน้ำสับปะรด และสูตรที่ 4 มีค่า  $a^*$  ซึ่งเป็นค่าสีแดงสูงสุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.87 \pm 0.01$  เนื่องจากมีสีของน้ำตาหาลาในอัตราส่วนสูงสุด โดยในดอกดาหลามีสารแทนนินซึ่งให้สีแดงในสภาพที่เป็นกรด (ณารูอนงค์ อุทิศธรรม และปิยะนุช สุขประดิษฐ์, 2546) ผลการวัดค่าการขึ้นฟู พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทั้ง 4 สูตร เนื่องจากใช้เวลาในการปั่นรวมทั้งปริมาณสารให้ความคงตัวเท่ากันทุกสูตร และค่าอัตราการละลาย พบว่า สูตรที่ 4 มีค่าอัตราการละลายต่ำสุด เนื่องจากน้ำตาหาลาทำให้มีความข้นหนืดมากขึ้น สำหรับผลการประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสเพื่อดูความพึงพอใจของผู้บริโภค พบว่าความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัสรสชาติ และความชอบโดยรวมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 อย่างไรก็ตามเนื่องจากดาหลาเป็นพืชสมุนไพรที่มีประโยชน์มีกลิ่นและรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์จึงสามารถนำมาเป็นส่วนผสมเพื่อพัฒนาสูตรไอศกรีมชอร์เบตผลไม้ที่มีคุณประโยชน์และมูลค่าเพิ่มขึ้นต่อไป

### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาสารให้ความคงตัวชนิดอื่นๆ ที่มีผลต่ออัตราการขึ้นฟู อัตราการละลาย และเนื้อสัมผัสไอศกรีม
2. ศึกษาสูตรที่ใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาล เพื่อให้ตอบโจทย์สำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดน้ำหนัก
3. พัฒนาสูตรโดยใช้ผลไม้ชนิดอื่น ๆ มาผสมกับน้ำดอกดาหลา
4. ศึกษาปริมาณสารแอนติออกซิแดนซ์ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมผลไม้ผสมดอกดาหลา

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่ให้ทุนสนับสนุนและเอื้อเพื่อสถานที่การทำงานวิจัย ส่งผลให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์และสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

## อ้างอิง

- กมลทิพย์ กรรไพบรา และ สุธีรา ศรีสุข. (2559). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาและใช้ประโยชน์จากดาหลาเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงสุขภาพ. ยะลา : คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- จิรพร สวัสดิการ และเดือนรุ่ง เบญจมาศ. (2565). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมผลหม่อน. ในรายงานการประชุมการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 (น.12-20). นครปฐม: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม.
- จรีรัตน์ คงขันธุ์. (2565). การพัฒนาเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจากดอกดาหลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาศึกษาศาสตร์. กรุงเทพมหานคร : คณะศึกษาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ.
- ชนกันันธุ์ มัคพันธวงษ์. (2564). ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดดอกดาหลาสามสี. บทความวิจัยแผน ข ประจำภาคการศึกษาที่ 2/2563 สำนักงานบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. <https://postgrads.mfu.ac.th/wp-content/uploads/2022/12/6051701258.pdf>.
- พัชรี ภูมาลี, พรชุลี นิลวิเศษ และสุนันท์ สีสังข์. (2560). สภาพการผลิตและการตลาดสับปะรดของเกษตรกรในจังหวัดชุมพร. ในรายงานการประชุม การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 (น. 3852-3859). กรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณัฐอนงค์ อุทิศธรรม และปิยะนุช สุขประดิษฐ์. (2546). การพัฒนาน้ำดอกดาหลาร่วมดื่ม. ปัญหาพิเศษโปรแกรมวิทยาศาสตรและเทคโนโลยีการอาหาร. สงขลา: คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันราชภัฏสงขลา.
- นิธยา รัตนาปนนท์. (2553). เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ปิยศิริ สุนทรนนท์, อุบล ต้นสม และ สมภาพ เกาทอง. 2554. การวิเคราะห์หาชนิดของสารประกอบฟีนอลิกในดอกดาหลา (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- รุ่งทิวา กองเงิน และธีรวัฒน์ เทพใจกาศ. (2561). ผลของสายพันธุ์สับปะรดต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบต. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 21(3). 36.
- สายัณห์ เรืองเขตร, ธนวัฒน์ ทองจีน, อัศวชัย ช่วยพรหม และศักดิ์วิชัย อ่อนทอง. (2566). คุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของดอกดาหลา. วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 21(2), 381.
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 28 กันยายน 2566 (2544). คุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. 31. <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/public.php>.
- อัมพรศรี พรพิทักษ์ดำรง. (2561). ไอศกรีมมะม่วงหาวมะนาวโห่ผลไม้โบราณสมุนไพรไทย. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 8(1), 194. <https://doi.org/10.53848/irdssru.v8i1.216424>.

- Chanasith, K., Paemongkol,P. and Dangsungwal, N. (2014). Product Development of Ice Cream Yogurt Added Aloe Vera. Retrieved 18 April 2017, from <http://repository.rmutp.ac.th/handle/123456789/1495>
- Leah short. (2011). Pineapple Sorbet (Online). Retrieved 1 February 2017, from <http://www.sohowsittaste.com/2011/04/pineapple-sorbet.html>.
- Rosalina, P. S. and Richard W. H. 2004. Effects of Overrun on Structural and Physical Characteristics of Ice cream. *International Dairy Journal*. 14(3). 255-262.  
DOI:10.1016/j.idairyj.2003.08.005

กายวิภาคของลำต้นและเส้นใยกระจูด (*Lepironia articulata* (Retz.) Domin)  
Culm Anatomy and Fiber Characteristics of Blue Rush  
(*Lepironia articulata* (Retz.) Domin)

พิชญา นิวัตบุตร<sup>1</sup> สุทธิรัตน์ ขาวปากโร<sup>1\*</sup>  
Pichaya Niwatbutra<sup>1</sup>, Sutthiratana Khaopakro<sup>1\*</sup>

(Received: 17 May 2024; Revised: 8 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของลำต้นและเส้นใยกระจูด โดยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเชิงประกอบ พบว่าลำต้นของกระจูด มีรูปร่างกลม เซลล์ผิวเรียงตัว 1 แถว ชั้นคอร์เทกซ์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อคลอเรนคิมาและเนื้อเยื่อสเกลอเรนคิมาเรียงเป็นระยะรอบลำต้น เซลล์สเกลอเรนคิมาเรียงตัวเป็นแถบติดกับเนื้อเยื่อผิว เป็นแนวยาวจากเนื้อเยื่อผิวถึงมัดท่อลำเลียงและล้อมรอบมัดท่อลำเลียง เนื้อเยื่อลำเลียงมีมัดท่อลำเลียงแบบท่อลำเลียงเดี่ยวข้าง เรียง 1 แถว ขนานกับเนื้อเยื่อผิวมัดท่อลำเลียงมี 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ บริเวณใจกลางประกอบด้วยเนื้อเยื่อแอเรนคิมารูปแบบ hollow เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีรูปร่างเรียวยาว ส่วนปลายแหลม ปริมาณเส้นใยกระจูดที่ได้จากการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงจะทำให้ร้อยละปริมาณเส้นใยลดลง แต่การแช่ฟอกด้วยน้ำเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ไม่สามารถแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยของลำต้นของกระจูดได้

**คำสำคัญ:** กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเชิงประกอบ เส้นใยจากการแยกเซลล์ การแช่ฟอก ปริมาณเส้นใย  
ลำต้น

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธานุสรณ์

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

\*Corresponding Author, E-mail: sutthiratana.k@pnu.ac.th

## Abstract

The culm anatomy and fiber characteristics of *Lepironia articulata* (Retz.) Domin (Cyperaceae) culm were examined using a compound light microscope. The culm is round. The epidermis is one row and cortex consists of chlorenchyma and sclerenchyma. The sclerenchyma is arranged in strands connected to the epidermis, grider and surrounded the vascular bundle. The vascular bundles are arranged in a single row, with 2 sizes: small and large. The pith consists of hollow aerenchyma. The macerated fiber was slender in shape with pointed end. The fiber yields were decreased as more concentrations of sodium hydroxide were used. However, water retting was unable to separate the fibers from other tissue.

**Keywords:** Compound Light Microscope (CLM), Macerated fiber, Retted method, Fiber yields, Culm

## บทนำ

กระจูด (blue rush) เป็นพืชล้มลุก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Lepironia articulata* (Retz.) Domin จัดอยู่ในสกุลเลปิโรเนีย (*Lepironia*) วงศ์กก (Cyperaceae) มีชื่อเรียกแตกต่างกันในแต่ละท้องถิ่น ภาคกลาง และภาคใต้เรียกว่า กระจูด ขณะที่มลายู-นราธิวาส เรียกว่า วิจู้ ในประเทศไทยพบกระจายพันธุ์ในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออก บริเวณพื้นที่ชุ่มน้ำ หนองบึงน้ำจืด แนวชายฝั่งทะเลที่มีสภาพป่าชายหาดเป็นแนวกั้นระหว่างแหล่งน้ำจืดและทะเล ปัจจุบันมีการนำส่วนต่าง ๆ ของกระจูดมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ในประเทศออสเตรเลียนำลำต้นใต้ดินใช้เป็นอาหาร ในประเทศจีน และประเทศไทย ลำต้นเหนือดินนำไปใช้ในการจักสานเสื่อและตะกร้า ปลูกเป็นไม้ประดับ และนำมาปลูกในพื้นที่ชุ่มน้ำเพื่อป้องกันการกัดเซาะของชายฝั่ง (erosion) ช่วยดูดซับธาตุอาหารพืช และเป็นพืชกรองน้ำ (filter plant) ในแหล่งน้ำ (เปรมฤดี, 2556; วรนาถ และคณะ, 2553)

การนำเซลลูโลสจากพืชมาใช้ประโยชน์ทางด้านวัสดุชีวภาพและพลังงานชีวภาพ โดยเฉพาะเส้นใยพืชที่ไม่ได้มาจากเนื้อไม้ (non-wood fiber) (Luepong et al., 2011; สุทธิรัตน์, 2563) มีความสำคัญมากขึ้น โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ขั้นตอนการแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยของพืช ทำโดยกระบวนการแช่ฟอก (retting) โดยใช้สารละลายต่าง ๆ เช่น น้ำ สารเคมี และเอนไซม์ ในอุตสาหกรรมของไทยยังใช้วิธีการแช่ฟอกด้วยน้ำ แม้การแช่ฟอกดังกล่าวจะก่อให้เกิดภาวะน้ำเสีย ขณะที่การแช่ฟอกด้วยเอนไซม์มีต้นทุนสูง มีความจำเพาะเจาะจง และจำเป็นต้องศึกษาเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อเส้นใยแต่ละชนิด (บุษรา และคณะ, 2554) ส่วนการแช่ฟอก

ด้วยสารเคมีจัดเป็นวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการเนื่องจากสะดวกและทำได้รวดเร็ว (เสาวนีย์ และคณะ, 2556) จากการสำรวจภาคสนามพบว่า จังหวัดนราธิวาสมีกระจุดขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก ชาวบ้านในพื้นที่นิยมนำไปใช้จักสานเสื่อและผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังส่งออกต้นกระจุดไปยังจังหวัดอื่น ๆ ที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม ยังมีกระจุดเหลือทิ้งจำนวนมากจากขั้นตอนการรีดกระจุด ซึ่งชาวบ้านมักจะกำจัดโดยการเผา ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับส่วนเหลือทิ้งของพืช และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาโครงสร้างทางกายวิภาคของลำต้นและเส้นใยกระจุด และศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการแช่ฟอกเส้นใยเนื่องจากข้อมูลยังมีผู้ศึกษาน้อย

### วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระจุด
- 2) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของลำต้นและเส้นใยของกระจุด
- 3) การศึกษาปริมาณเส้นใยที่ได้จากการแช่ฟอก

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การศึกษาสัณฐานวิทยา

สำรวจและรวบรวมตัวอย่างกระจุดภาคสนาม จำนวน 3 ครั้ง (เดือนกรกฎาคม เดือนพฤศจิกายน และเดือนมีนาคม) จากหมู่บ้านใหม่ ตำบลกะลุวอเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส โดยเก็บราก ลำต้น ใบ ดอก จำนวน 30 ต้น บรรยายลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระจุด

#### 2. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์

2.1 การศึกษากายวิภาคของลำต้นเหนือดินกระจุด นำตัวอย่างพืชตัดตามขวางด้วยมีดโกน โดยวิธีการตัดตัวอย่างแบบ free hand section ย้อมด้วยสีซาฟานิน (safranin) ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเชิงประกอบ Olympus รุ่น CX31 และบันทึกภาพ ศึกษากายวิภาคของลำต้น โดยวิธีตัดแบบกึ่งบาง (semi-thin section) (ดัดแปลงจาก Kermanee, 2008; สุทธิรัตน์, 2563) ด้วยเครื่องอัลตราไมโครทอม Leica รุ่น EM UC7 ให้มีความหนา 1,500 นาโนเมตร และย้อมสีด้วยโทลูอิดิน บลู (toluidine blue) และเบสิค ฟุชซิน (basic fuchsin) นำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเชิงประกอบ Olympus รุ่น CX31 และบันทึกภาพ

#### 2.2 การศึกษากายวิภาคของเส้นใย โดยวิธีการแยกเซลล์ (maceration)

นำตัวอย่างลำต้นกระจุดมาแยกเซลล์เส้นใยเดี่ยวตามวิธี Franklin's method (Franklin, 1937) ย้อมด้วยสีซาฟานิน (safranin) ศึกษาสไลด์ถาวรด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเชิงประกอบ Olympus รุ่น CX31 และบันทึกภาพ

### 3. การศึกษาปริมาณเส้นใยที่ได้จากการแช่ฟอก

เก็บตัวอย่างกระจูดจากหมู่บ้านใหม่ ตำบลกะลุวอเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส จำนวน 1 กิโลกรัม/วิธี จำนวน 3 ซ้ำ นำมาใช้ในการแช่ฟอกวิธีต่าง ๆ ดังนี้

การแช่ฟอกด้วยน้ำ นำลำต้นพีชมาแช่ในน้ำ (ที่ไม่มีคลอรีน) ปิดฝาภาชนะ ทิ้งไว้นาน 10 สัปดาห์ขึ้นไป จนเส้นใยแยกออกจากเนื้อเยื่ออื่นของพีช ล้างเส้นใยให้สะอาด แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (Chonsakorn, 2015; สุทธิรัตน์, 2563) นำเส้นใยไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาปริมาณเส้นใย ด้วยสมการที่ (1) (Ratanakamnuan, 2014)

การแช่ฟอกด้วยสารเคมี โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 และ 4 นำมาต้มภายใต้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ล้างเส้นใยให้สะอาด แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วัน (Chonsakorn, 2015; สุทธิรัตน์, 2563) นำเส้นใยไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาร้อยละของปริมาณเส้นใย ด้วยสมการที่ (1) (Ratanakamnuan, 2014)

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%)} = W2/W1 \times 100 \text{ -----สมการที่ (1)}$$

โดย  $W1$  = น้ำหนักสดของพีช (กรัม)

$W2$  = น้ำหนักแห้งของเส้นใย (กรัม)

### ผลการวิจัย

#### 1. ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกระจูด

กระจูด มีลักษณะคล้ายกก ไม่มีเนื้อไม้ (herbaceous stem) เป็นพืชล้มลุก (herb) (ภาพที่ 1A) ราก (root) เป็นระบบรากฝอย ประกอบด้วยรากที่มีขนาดเท่าๆ กัน ลำต้นใต้ดินหรือเหง้า (rhizome) มีใบเกล็ด (scale) สีน้ำตาลเข้มที่ด้านปลายเล็กน้อย (ภาพที่ 1B) ลำต้นเหนือดิน (culm) สูงประมาณ 1-2 เมตร รูปร่างกลม คล้ายทรงกระบอก ผิวลำต้นเรียบ ลำต้นด้านในเป็นท่อนกลวง มีเยื่ออ่อนคั่นเป็นข้อๆ (ภาพที่ 1C) ใบ (leaf) มีการลดรูป มีใบประดับรูปลิ้นแคบ คล้ายทรงกระบอก มีความยาว 2.5-5.5 เซนติเมตร ดอกช่อ (inflorescence) เป็นชนิดช่อเชิงลด (spike) 1 ช่อ ดอกช่อรูปทรงรี หรือรูปขอบขนาน คล้ายทรงกระบอก ขนาด 3-6 x 11-30 มิลลิเมตร มีสีเขียวถึงสีน้ำตาลเข้ม กาบประดับ (spicoid bracts) รูปทรงกลมแกมไข่ปลายมน มีกลุ่มดอกย่อย (spicoids) กลีบประดับ (floral bracts) มี 2-15 กลีบ รูปหอกแกมแถบ ยาว 3.5-6 มิลลิเมตร สันของกลีบประดับเป็นขนครุย



ภาพที่ 1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของกระจูด (*Lepironia articulata* (Retz.) Domin) A) ลักษณะนิสัย (habit) B) ลำต้นใต้ดิน (rhizome) มีใบเกล็ดห่อหุ้ม (ลูกศรชี้) C) ลำต้นเหนือดิน (culm) ลักษณะกลวงมีเยื่ออ่อนชั้นเป็นข้อๆ ภายใน (ลูกศรชี้) D) ดอกชนิดช่อเชิงลด (spike)

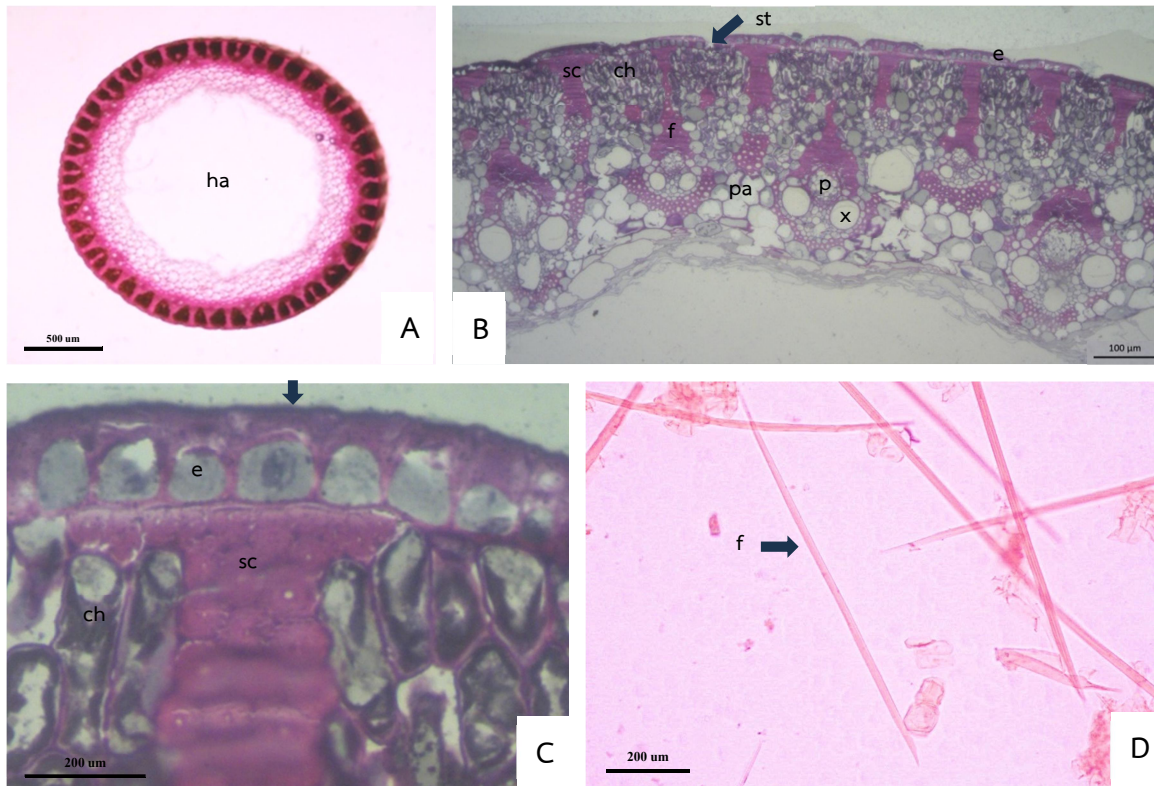
## 2. ลักษณะทางกายวิภาคของลำต้นและเส้นใย

การศึกษากายวิภาคของลำต้น (culm) กระจูดที่ตัดตามขวาง (ภาพที่ 2A-B) พบว่าประกอบด้วย ชั้นเนื้อเยื่อผิว (epidermis) จำนวน 1 ชั้น มีสารคิวติน (cutin) หนาเคลือบอยู่ด้านนอก (ภาพที่ 2C) เซลล์ในเนื้อเยื่อผิวมีรูปร่างสี่เหลี่ยมด้านเท่า ผนังเซลล์ด้านนอกที่ขนานกับผิวหนากว่าผนังเซลล์ด้านอื่น ในชั้นนี้จะพบปากใบ (stoma) แทรกอยู่ระดับเดียวกับเซลล์ผิว ถัดมาเป็นชั้นคอร์เทกซ์ (cortex) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อคลอเรนคิมา (chlorenchyma) รูปร่างรูปแท่ง (ภาพที่ 2C) เรียงตัวอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อผิวและมัดท่อ เนื้อเยื่อสเกลอเรนคิมา (sclerenchyma) เรียงเป็นระยะรอบลำต้น เนื้อเยื่อสเกลอเรนคิมาเรียงตัวเป็นแถบ (strand) ติดกับเนื้อเยื่อผิวเป็นแนวยาวจากเนื้อเยื่อผิวถึงมัดท่อลำเลียง (girder sclerenchyma) เป็นกลุ่มเรียงตัวล้อมรอบมัดท่อลำเลียง และ



พบกลุ่มของเซลล์สเกลอแรงคิมาระบายแทรกอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อคลอแรงคิม่า เซลล์สเกลอแรงคิมามีรูปร่างกลมผนังเซลล์หนา ลูเมน (lumen) แคบ เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular tissue) มีมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) แบบท่อลำเลียงเคียงข้าง (collateral bundle) เรียง 1 แถว ขนานกับเนื้อเยื่อผิว มัดท่อลำเลียง มี 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เรียงตัวแทรกอยู่เป็นระยะในชั้นคอร์เทกซ์ มัดท่อลำเลียงประกอบด้วยเนื้อเยื่อโฟลเอ็ม (phloem) เรียงตัวอยู่ด้านนอก เนื้อเยื่อไซเลม (xylem) เรียงตัวอยู่ทางด้านใน บริเวณหัวและท้ายของมัดท่อลำเลียงจะพบไฟเบอร์ (fiber) เรียงตัวอยู่ (ภาพที่ 2B) ถัดมาด้านในบริเวณใจกลางลำต้น (pith) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อแอรองคิม่า (aerenchyma) รูปแบบ hollow เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ ทำให้เห็นเป็นลำต้นกลวง

เส้นใยที่ได้โดยวิธีแยกกระจายเซลล์ (maceration) เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีรูปร่างเรียวยาว เซลล์มีความกว้าง  $12.8 \pm 4.5$  ไมโครเมตร และความยาว  $972.2 \pm 7.8$  ไมโครเมตร ผนังเซลล์หนา  $5.0 \pm 0.8$  ไมโครเมตร ช่องในเซลล์ (lumen) มีความกว้าง  $2.9 \pm 0.6$  ไมโครเมตร ส่วนปลายมีลักษณะปลายแหลม (pointed) (ภาพที่ 2D)

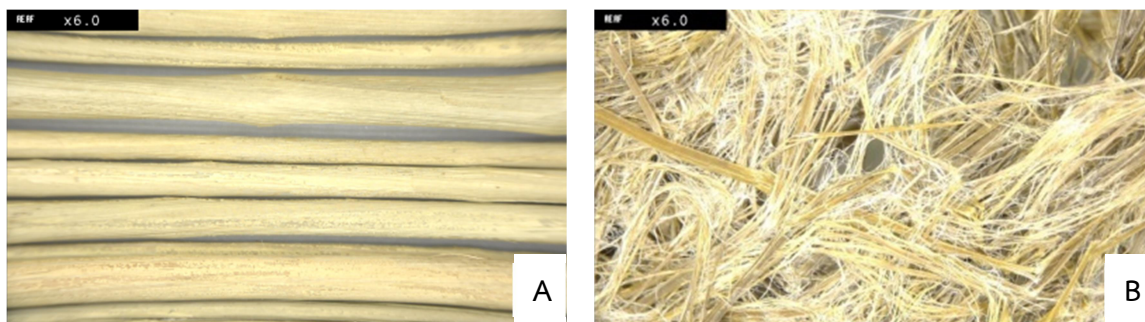


ภาพที่ 2 ลักษณะกายวิภาคของลำต้น (culm) กระจูด (*Lepironia articulata* (Retz.) Domin) A) โครงสร้างภาคตัดขวางของลำต้น (culm) กระจูด B) องค์ประกอบและการจัดเรียงตัวของเนื้อเยื่อชั้นต่างๆในลำต้น C) ภาพขยายบริเวณสารคิตินเคลือบอยู่ด้านนอก (ลูกรสรชี้) D) เส้นใย (fiber) รูปร่างเรียวยาวปลายเส้นใยแบบ pointed (e = epidermis, ch = chlorenchyma, f = fiber, ha= hollow

aerenchyma, p = phloem, pa = parenchyma, sc = sclerenchyma cell, st = stoma, x = xylem)

### 3. ปริมาณเส้นใยจากการแช่ฟอก

จากการศึกษาปริมาณเส้นใยที่แช่ฟอกด้วยน้ำ (ที่ไม่มีคลอรีน) ที่ทิ้งไว้นาน 10 สัปดาห์ พบว่า เส้นใยไม่มีการแยกออกจากเนื้อเยื่ออื่น (ภาพที่ 3A) ส่วนการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 2 3 และ 4 พบว่าเส้นใยสามารถแยกตัวจากเนื้อเยื่ออื่นได้ (ภาพที่ 3B) โดยมีปริมาณเส้นใยร้อยละ 21.45, 17.95, 17.59 และ 16.93 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ลักษณะเส้นใย (fiber) กระจุก A) แช่ฟอกด้วยน้ำ B) แช่ฟอกด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4

### อภิปรายผล

เมื่อศึกษาลักษณะกายวิภาคของลำต้นกระจุกที่ตัดตามขวางพบว่า มีรูปร่างทรงกลม ขณะที่ยกชนิดอื่น ๆ มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมคางหมู หกเหลี่ยม รูปรีมีส่วนยื่นคล้ายปีก หรือรูปร่างคล้ายจันทร์เสี้ยว (crescentiform) (Metcalf, 1971; กมลหทัย, 2545) เนื้อเยื่อผิวของกระจุก เซลล์เรียงตัว 1 แถว เซลล์มีรูปร่างสี่เหลี่ยมด้านเท่า ผนังเซลล์ด้านนอกที่ขนานกับผิวหนากว่าผนังเซลล์ด้านอื่น ขณะที่ยกชนิดอื่น ๆ มีเซลล์ผิวมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือรูปร่างกลม ผนังเซลล์หนาสม่ำเสมอหรือผนังเซลล์ด้านนอกที่ขนานกับผิวหนากว่าผนังเซลล์ด้านอื่น (Metcalf, 1971; กมลหทัย, 2545) ชั้นคอร์เทกซ์ของกระจุกประกอบด้วยเนื้อเยื่อคอลลอเรนคิมา และเนื้อเยื่อสเกลอเรนคิมาเรียงเป็นระยะรอบลำต้น เซลล์สเกลอเรนคิมาเรียงตัวเป็นแถบ (strand) ติดกับเนื้อเยื่อผิว เป็นแนวยาวจากเนื้อเยื่อผิวถึงมัดท่อลำเลียง (girder sclerenchyma) และล้อมรอบมัดท่อลำเลียง ขณะที่ยกบางชนิด กลุ่มเซลล์สเกลอเรนคิมาเรียงติดกับเนื้อเยื่อผิวด้านบน (upper epidermis) ด้านล่างเนื้อเยื่อผิว (lower epidermis) หรือทั้งสองด้าน กลุ่มเซลล์สเกลอเรนคิมาอยู่ตรงกับมัดท่อลำเลียง โดยอาจอยู่รวมกันเป็นแถบติดกับ

เนื้อเยื่อผิว เป็นแนวยาวจากเนื้อเยื่อผิวถึงมัดท่อลำเลียง (girder) เป็นแนวอยู่เหนือมัดท่อลำเลียงแต่ไม่ถึงเนื้อเยื่อผิว (partial girder) หรือเป็นหมวกท่อลำเลียง (bundle cap) (Metcalf, 1971; กมลหทัย, 2545) เนื้อเยื่อลำเลียงมีมัดท่อลำเลียงแบบท่อลำเลียงเคียงข้าง เรียง 1 แถว ขนานกับเนื้อเยื่อผิว กระจุกมีมัดท่อลำเลียง 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ขณะที่กษนิคอื่นมี 3 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ (กมลหทัย, 2545) บริเวณใจกลางลำต้นของกระจุก (pith) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อแอแรงคิมารูปแบบ hollow ซึ่งเกิดจากการแยกออกจากกันของเซลล์พาเรงคิม่า ส่วนกษนิคอื่น ๆ มีเนื้อเยื่อใจกลางลำต้นเป็นเนื้อเยื่อพาเรงคิม่า (อิธิภัทร, 2556)

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเส้นใยกระจุกที่ได้จากการแช่ฟอกทั้งสองวิธี พบว่า การแช่ฟอกด้วยน้ำเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ไม่สามารถแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยของลำต้นของกระจุกได้ เนื่องจากบนเนื้อเยื่อผิวของลำต้นกระจุกมีสารคิวตินเคลือบหนา ผนังเซลล์ผิวด้านนอกหนากว่าชั้นอื่น ทำให้น้ำไม่สามารถซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นในได้ ส่วนการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงจะทำให้ร้อยละปริมาณเส้นใยลดลง สามารถแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยของลำต้นกระจุกได้ดีและใช้เวลาย่อยสลายพีชน้อยกว่า เนื่องจากสารเคมีจะไปละลายองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนิน ออกจากพีชได้ดีกว่าสารเคมีความเข้มข้นต่ำ (Reddy & Yang, 2015) ปริมาณสารเคมีที่ใช้แช่ฟอกมีผลต่อการแยกเส้นใย หากใช้ปริมาณน้อยเกินไปเส้นใยจะแยกออกจากเนื้อเยื่อส่วนอื่นได้ยาก แต่ถ้าใช้สารเคมีปริมาณมากเกินไปจะทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงลดลงและขาดง่าย อย่างไรก็ตาม การสกัดแยกเส้นใยโดยแช่ฟอกด้วยสารเคมียังมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงกว่าแช่ฟอกด้วยน้ำ (Chonsakorn, 2015) ดังนั้นในระดับอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้การแช่ฟอกด้วยน้ำ (บุษรา และคณะ, 2554)

## สรุปผล

กายวิภาคของลำต้นกระจุก มีรูปร่างกลม เนื้อเยื่อผิวเรียงตัว 1 แถว ชั้นคอร์เทกซ์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อคลอเรนคิม่าและเนื้อเยื่อสเกลอแรงคิม่าเรียงเป็นระยะรอบลำต้น เซลล์สเกลอแรงคิม่าเรียงตัวเป็นแถบติดกับเนื้อเยื่อผิว เป็นแนวยาวจากเนื้อเยื่อผิวถึงมัดท่อลำเลียงและล้อมรอบมัดท่อลำเลียง เนื้อเยื่อลำเลียงมีมัดท่อลำเลียงแบบท่อลำเลียงเคียงข้าง เรียง 1 แถว ขนานกับเนื้อเยื่อผิวมัดท่อลำเลียงมี 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ บริเวณใจกลางลำต้น (pith) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อแอแรงคิมารูปแบบ hollow เซลล์เส้นใยเดี่ยวมีรูปร่างเรียวยาว ส่วนปลายแหลม จากการแช่ฟอกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นสูงทำให้สามารถแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยได้ดีขึ้น แต่ยังมีความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงมากขึ้นจะทำให้ร้อยละปริมาณเส้นใยลดลง การแช่ฟอกด้วยน้ำเป็นเวลา 10 สัปดาห์ ไม่สามารถแยกเส้นใยออกจากส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยของลำต้นของกระจุกได้

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณชาวบ้านชุมชนหมู่บ้านใหม่ ตำบลกะลุวอเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บตัวอย่างพืช ขอขอบคุณ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

## อ้างอิง

- Chonsakorn, S. (2015). *Textile production technology from plant fibers Vol. 2: Retting technology*. Textile Industry Development Institute, Bangkok. (in Thai)
- Franklin, G.L. (1937). *Permanent preparations of macerated wood fibres*. *Tropical Woods*, 49, 21-22.
- Kermanee, P. (2008). *Techniques in plant tissue*. Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Luepong, K. Sasithorn, N. Manarungwit, K. (2011). *Water hyacinth paper production for packaging*. Faculty of Industry Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)
- Metcalfe, CR. (1971). *Anatomy of the Monocotyledon V. Cyperaceae*. Great Britain: Oxford University Press.
- Ratanakamnuan, U. (2014). *Preparation of Biodegradable Modified Cellulose Films from Agricultural Waste under Microwave Energy*. Maejo University. (in Thai)
- Reddy, N. & Yang, Y. (2015). *Innovative Biofibers from Renewable Resources*. Springer, Berlin.
- กมลหทัย พูลพงษ์. (2545). *การวิภาคศาสตร์เปรียบเทียบของ Fimbristylis Vahl (Cyperaceae) ในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- บุษรา สร้อยระย้า ชมพูนุช เผื่อนพิภพ ดวงกมล ตั้งสถิตพร อชชา ศิริพันธ์ และประพาฬภรณ์ ธีรมงคล. (2554). *การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อมจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป*. *RMUTP Research Journal*. 7, 9–24.
- เปรมฤดี ด้ายศ. (2556). *การขยายพันธุ์และการอนุรักษ์พันธุ์กรรมกระจูด (Lepironia articulata (Retz.) Domin) ในพื้นที่ชุ่มน้ำพรุควนเคร็ง จังหวัดนครศรีธรรมราช*. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- วรรณถ ธรรมรงค์ และพิมพ์ดี พรพงษ์รุ่งเรือง. (2556). *พืชวงศ์กกและวงศ์หญ้าในบริเวณน้ำตกห้วยเข อูทยาน  
แห่งชาติน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.*
- สุทธิรัตน์ ขาวปากกรอ กรรณิการ์ อีระกิตต์ธนากุล สมนึกลิ้มเจริญ สุนทร โต๊ะดำ อมลวรรณ ยอดรัก และปิยวรรณ  
ไกรนรา. (2563). *ลักษณะกายวิภาคและเส้นใยของใบเตยหอมและเตยทะเล. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.*  
25, 151-167.
- อธิภัทร เงินหมื่น. (2556). *ผลของความเค็มต่อลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของพืชทนเค็มบางชนิดที่พบภายใน  
พื้นที่น้ำกุ่มทิ้งร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.*

# การบำบัดสีจากน้ำเสียผ้าบาติกในชุมชนจังหวัดนราธิวาสโดยกระบวนการทางเคมี

## The Color Treatment from Batik Wastewater in Narathiwat Community by using Chemical Process

ปิยะวรรณ หลีชาติ<sup>1\*</sup> และ ชูรียานา ดอเฮะ<sup>1</sup>  
Piyawan Leechart<sup>1\*</sup> and Sureeyana Doheh<sup>1</sup>

(Received: 9 August 2024; Revised: 8 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

### บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตผ้าบาติกทำให้เกิดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสีและโลหะหนักเป็นส่วนประกอบของสี ย้อมที่มาจากขั้นตอนการย้อมและการล้างผ้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีใน น้ำเสียผ้าบาติกจากกลุ่มผลิตผ้าบาติกของวิสาหกิจชุมชนในจังหวัดนราธิวาสจำนวน 2 กลุ่ม การศึกษาการบำบัดสี ในน้ำเสียโดยใช้สารเคมีจำนวน 12 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Ca(OH)_2$ ) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ไอรอน (II) ซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) โซเดียมไฮโปคลอไรด์ ( $NaClO$ ) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $Na_2S_2O_5$ ) และ โซเดียมไนเตรต ( $NaNO_3$ ) ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% เพื่อให้ ได้ชนิดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีสูงสุด จากนั้นนำชนิดสารเคมีที่ได้จากผลการทดลองมาศึกษาผล ของเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีลงในน้ำเสียที่เวลา 10 20 30 40 60 และ 90 นาที ผลการศึกษาพบว่า สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้ดีที่สุดคือโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ( $NaClO$ ) ที่ความเข้มข้น 3% กวนผสมกับน้ำเสียผ้าบาติกเป็นระยะเวลา 90 นาที ประสิทธิภาพสูงสุดของการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกของ ชุมชนที่ 1 และชุมชนที่ 2 คือ 90.15 และ 76.90% ตามลำดับ โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบอยู่ในช่วง 10.00–11.20

**คำสำคัญ :** น้ำเสียผ้าบาติก การบำบัดสี สารเคมี

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

\*Corresponding Author, E-mail: piyawan.l@pnu.ac.th

## Abstract

The batik production process led to the wastewater that are contaminated with color and heavy metals ion inclusion in a dye molecule from dyeing and washing process. The objective of the project was study the color treatment efficiency in batik wastewater from two batik production communities of the small and micro community enterprise (SMCE) in Narathiwat province. The study of color treatment in batik wastewater by using the twelve chemical reagents such as Aluminum sulphate ( $Al_2(SO_4)_3$ ), Calcium chloride ( $CaCl_2$ ), Calcium hydroxide ( $Ca(OH)_2$ ), Hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ), Iron (II) sulphate ( $FeSO_4$ ), Nitric acid ( $HNO_3$ ), Potassium chloride (KCl), Potassium hydroxide (KOH), Sulphuric acid ( $H_2SO_4$ ), Sodium hypochlorite (NaClO), Sodium metabisulphite, ( $Na_2S_2O_5$ ) and Sodium nitrate ( $NaNO_3$ ) concentration 1, 3 and 5% were investigated for the type of chemical reagents that have the highest color treatment efficiency. Then, the type of chemical reagents from the experiment results were studied the effect of stirring duration time of the mixing chemical reagents in wastewater at 10, 20, 30, 40, 60 and 90 minutes. The results were shown that 3% of sodium hypochlorite (NaClO) with stirring duration time 90 minutes was the highest color removal. The highest color treatment efficiency of batik wastewater from the community 1 and community 2 were about 90.15 and 76.90%, respectively. The pH of the system after wastewater treatment were about 10.00–11.20.

**Keywords :** Batik wastewater, Color treatment, Chemical reagents

## บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตผ้าบาติกมีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นอุตสาหกรรมที่มีในหลายประเทศของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น อินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทย เป็นต้น การผลิตผ้าบาติกในประเทศไทยมักจะเป็นการผลิตโดยสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดเล็ก วิชาหกิจชุมชน และกลุ่มชุมชนท้องถิ่น กระบวนการผลิตทำให้เกิดน้ำเสียที่เกิดจากการปนเปื้อนของสีย้อมผ้าและสารเคมี จึงทำให้คุณลักษณะของน้ำเสีย เช่น สี ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total suspended solids : TSS) บีโอดี (Biochemical oxygen demand : BOD) และ ซีโอดี (Chemical oxygen demand : COD) มีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งตามที่

กฎหมายกำหนดไว้ (Zakaria et al., 2023; Istirokhatun et al., 2021) นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น โครเมียม (Cr) โคบอลต์ (Co) นิกเกิล (Ni) สารหนู (As) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และ แคดเมียม (Cd) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมผ้าอีกด้วย (Juliani et al., 2021) กระบวนการบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 ประเภท ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment process) กระบวนการบำบัดทางเคมี (Chemical treatment process) กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological treatment process) และกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี (Physical-chemical treatment process) (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557) โดยระบบบำบัดน้ำเสียมักจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การบำบัดก่อนเบื้องต้น (Pretreatment) การบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) การบำบัดขั้นที่ 2 (Secondary treatment) และการบำบัดขั้นที่ 3 (Tertiary treatment) (Tchobanoglous et al., 2004; David & Bele, 1999; Crini & Lichtfouse, 2019) ซึ่งในระบบบำบัดน้ำเสียหนึ่งระบบอาจมีการใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียมากกว่าหนึ่งประเภทที่นำไปใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบบำบัด การพิจารณากระบวนการและขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียต้องพิจารณาให้ครอบคลุมปัจจัยต่าง ๆ เช่น ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสีย คุณภาพน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด การควบคุมและบำรุงรักษาระบบ ปัญหาที่เกิดจากการทำงานของระบบ พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งระบบ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบ ค่าใช้จ่ายการทำงานของระบบ และการบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น เพื่อให้ได้วิธีการบำบัดน้ำเสียที่สามารถบำบัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจะต้องมีค่าดัชนีคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กฎหมายกำหนดไว้ (ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) การบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation) กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic degradation) กระบวนการดูดซับ (Adsorption) กระบวนการโคแอกกูเลชัน (Coagulation) เทคโนโลยีการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ (Aerobic granular sludge technology) การใช้โอโซน (Ozonation) การใช้แสงยูวี (UV Irradiation) (Fadzli et al., 2024; Qomariyah et al., 2024; Utami et al., 2023; Fatimah et al., 2021; Oktavia et al., 2024; Soedjono et al., 2021; Setianingsih et al., 2024; Salim & Prihandrijanti, 2023) ซึ่งสามารถช่วยบำบัดสีและสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสียผ้าบาติกได้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกด้วยการบำบัดทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำ และกลุ่มชุมชนในท้องถิ่นสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียด้วยสารเคมี 12 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Ca(OH)_2$ ) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ไอรอน (II) ซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $Na_2S_2O_5$ ) และ โซเดียมไนเตรต ( $NaNO_3$ ) และศึกษาความ



เข้มข้นและเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมของสารเคมี เพื่อให้ได้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียได้ดีที่สุด

### วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำผ้าบาติกจากกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาส
2. นำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไปศึกษาเพื่อใช้ในขั้นตอนการพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ
3. เป็นทางเลือกในการบำบัดสีในน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำผ้าบาติกของชุมชนท้องถิ่นอีกทางหนึ่ง

### วิธีการวิจัย

#### 1. น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก

น้ำเสียจริงที่ใช้ในการทดลองจะทำการเก็บรวบรวมน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาสจำนวน 2 กลุ่ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าบาติกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำมาตรวจวัดเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

#### 2. สารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

การทดสอบการบำบัดสีด้วยสารเคมีจะใช้สารเคมีจำนวน 12 ชนิด คือ อะลูมิเนียมซัลเฟต ( $Al_2(SO_4)_3$ ) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $Ca(OH)_2$ ) ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) ไอรอน (II) ซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) โพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ( $NaClO$ ) โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ( $Na_2S_2O_5$ ) และโซเดียมไนเตรต ( $NaNO_3$ ) ซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Katheresan et al., 2018; Piaskowski et al., 2018; Dawood & Sen, 2014)

#### 3. การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5 % (v/v) ทดสอบกับน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ทดลอง 3 ซ้ำ) นำไปกวนด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที จากนั้นรอให้สารเคมีทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำส่วนที่ใสไปวัดค่า

ดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 1 และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำส่วนที่ใสที่ได้จากการทดลองในขวดพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนที่เป็นตะกอนให้กรองด้วยกระดาษกรอง นำไปอบให้แห้ง และเก็บใส่ในถุงพลาสติกที่มีซิปล็อกวางไว้ในตู้ดูดความชื้น

#### 4. การศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมี

การศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการบำบัดสีทำการทดสอบโดยใช้ชนิดของสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียมากที่สุดจากผลการทดสอบในข้อ 3 ที่มีปริมาณความเข้มข้น 1 3 และ 5% (% v/v) ทดสอบกับน้ำเสียปริมาตร 50 มิลลิลิตร (ทดลอง 3 ซ้ำ) นำไปกวนด้วยเครื่องเขย่า 30 นาที ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมสารเคมีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที จากนั้นรอให้สารเคมีทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำน้ำส่วนใสไปวัดค่าดูดกลืนแสงสูงสุดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV/VIS Spectrophotometer) ช่วงความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 1 และวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำส่วนใสที่ได้จากการทดลองในขวดพลาสติกแล้วนำไปเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ส่วนที่เป็นตะกอนให้กรองด้วยกระดาษกรอง นำไปอบให้แห้ง และเก็บใส่ในถุงพลาสติกที่มีซิปล็อกวางไว้ในตู้ดูดความชื้น

#### 5. การคำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสี

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดสี (\%)} = \frac{(C_0 - C) \times 100}{C_0} \quad (1)$$

โดย  $C_0$  คือ ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียก่อนการบำบัด (mg/L)

$C$  คือ ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียหลังการบำบัด (mg/L)

#### 6. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

การประมวลผลข้อมูลทั้งหมดด้วยโปรแกรม SPSS โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี One-way analysis of varian (ANOVA) โดยวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยตามวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

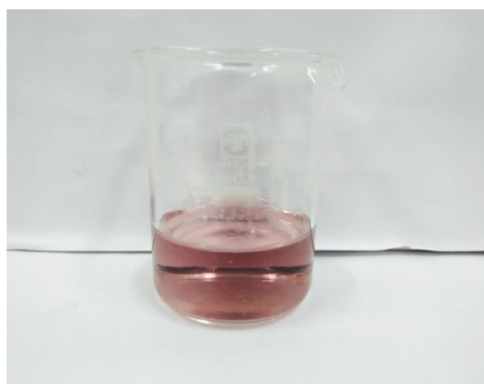
## ผลการวิจัย

### 1. ผลการศึกษา น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก

ผลการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น ( $\lambda_{max}$ ) 526 นาโนเมตร และ 402 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียของสารเคมีชนิดต่าง ๆ เมื่อวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.48 และ 7.89 ตามลำดับ โดยลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นแสดงดังในภาพที่ 1 สีของน้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกจากชุมชนกลุ่มที่ 1 มีสีแดงเข้ม ขณะที่น้ำเสียจากชุมชนกลุ่มที่ 2 มีสีแดงอ่อน โดยสีของน้ำเสียผ้าบาติกจะขึ้นอยู่กับการใช้สีต่าง ๆ ในการวาดลายบนผ้าบาติกและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก (Syed Shaharuddin et al., 2021)



น้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1



น้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2

ภาพที่ 1 น้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาส

### 2. ผลการศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสี

ผลการศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1, 3 และ 5% พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มากที่สุดคือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 3% มีประสิทธิภาพการบำบัดสี 90.70% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.21 (ตารางที่ 1 และ 2) การบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 ความเข้มข้นโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 1% มีประสิทธิภาพการบำบัดสี 76.97% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.21 (ตารางที่ 3 และ 4) นอกจากนี้ในการทดสอบประสิทธิภาพ

การบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ พบว่าสารเคมีบางชนิดที่ไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟตที่ความเข้มข้น 1% ไอรอน (II) ซัลเฟต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารเคมีที่ไม่สามารถบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 ได้แก่ อะลูมิเนียมซัลเฟต แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ไอรอน (II) ซัลเฟต โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 5% โดยสารเคมีดังกล่าวนี้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนทั้ง 2 กลุ่ม ได้ 0% ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีไม่สามารถบำบัดโมเลกุลของสีในน้ำเสียผ้าบาติกและทำให้สีในน้ำเสียผ้าบาติกมีสีเข้มขึ้นหลังจากใส่สารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติก

**ตารางที่ 1** การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ประสิทธิภาพการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 (%)		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )	0.00 <sup>a</sup>	2.52 ± 0.55 <sup>a</sup>	12.20 ± 0.85 <sup>ab</sup>
Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )	11.40 ± 0.32 <sup>a</sup>	8.39 ± 0.55 <sup>a</sup>	20.40 ± 0.85 <sup>b</sup>
Calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	63.00 ± 0.10 <sup>d</sup>	68.20 ± 0.12 <sup>d</sup>	66.40 ± 0.32 <sup>d</sup>
Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	13.50 ± 0.44 <sup>ab</sup>	21.00 ± 0.55 <sup>b</sup>	20.80 ± 0.44 <sup>b</sup>
Iron (II) sulphate ( $\text{FeSO}_4$ )	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ )	22.00 ± 0.73 <sup>b</sup>	20.10 ± 0.95 <sup>b</sup>	22.40 ± 0.31 <sup>b</sup>
Potassium chloride (KCl)	36.80 ± 0.95 <sup>c</sup>	37.80 ± 0.64 <sup>c</sup>	36.20 ± 0.32 <sup>c</sup>
Potassium hydroxide (KOH)	8.39 ± 0.55 <sup>a</sup>	15.20 ± 0.32 <sup>ab</sup>	24.60 ± 0.32 <sup>b</sup>
Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	1.26 ± 0.21 <sup>a</sup>	10.50 ± 0.55 <sup>a</sup>	1.47 ± 0.21 <sup>a</sup>
Sodium hypochlorite ( $\text{NaClO}$ )	76.20 ± 0.64 <sup>de</sup>	90.70 ± 0.24 <sup>e</sup>	88.70 ± 0.21 <sup>e</sup>
Sodium metabisulphit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )	1.82 ± 0.32 <sup>a</sup>	2.73 ± 0.42 <sup>a</sup>	10.30 ± 0.53 <sup>a</sup>
Sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ )	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, S.E.) ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

ตารางที่ 2 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	pH ของระบบหลังการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )	10.00 ± 0.06	10.03 ± 0.02	9.89 ± 0.21
Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )	10.31 ± 0.02	10.21 ± 0.02	10.15 ± 0.02
Calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	10.49 ± 0.01	10.75 ± 0.02	11.22 ± 0.02
Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	10.51 ± 0.01	10.41 ± 0.04	10.25 ± 0.06
Iron (II) sulphate ( $\text{FeSO}_4$ )	2.12 ± 0.11	2.03 ± 0.05	1.85 ± 0.11
Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ )	10.92 ± 0.08	10.49 ± 0.02	9.98 ± 0.33
Potassium chloride (KCl)	11.00 ± 0.01	10.94 ± 0.02	10.93 ± 0.01
Potassium hydroxide (KOH)	12.23 ± 0.03	12.68 ± 0.05	12.88 ± 0.02
Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	10.80 ± 0.09	10.32 ± 0.12	9.11 ± 0.04
Sodium hypochlorite (NaClO)	11.21 ± 0.01	11.21 ± 0.04	11.27 ± 0.02
Sodium metabisulphit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )	9.90 ± 0.11	6.17 ± 0.07	5.75 ± 0.06
Sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ )	11.21 ± 0.01	11.11 ± 0.02	11.06 ± 0.01

ตารางที่ 3 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสารเคมี	ประสิทธิภาพการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 (%)		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )	14.34 ± 0.62 <sup>ab</sup>	29.93 ± 0.82 <sup>bc</sup>	18.28 ± 0.54 <sup>b</sup>
Calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	19.35 ± 0.54 <sup>b</sup>	41.22 ± 0.82 <sup>c</sup>	54.03 ± 0.27 <sup>cd</sup>
Iron (II) sulphate ( $\text{FeSO}_4$ )	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ )	11.47 ± 0.31 <sup>ab</sup>	13.98 ± 0.54 <sup>ab</sup>	21.77 ± 0.24 <sup>b</sup>
Potassium chloride (KCl)	22.44 ± 0.35 <sup>b</sup>	19.03 ± 0.46 <sup>b</sup>	11.74 ± 0.41 <sup>ab</sup>
Potassium hydroxide (KOH)	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>	0.00 <sup>a</sup>
Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	17.74 ± 0.54 <sup>b</sup>	15.13 ± 0.43 <sup>ab</sup>	23.76 ± 0.39 <sup>b</sup>
Sodium hypochlorite (NaClO)	76.97 ± 0.41 <sup>d</sup>	72.40 ± 0.82 <sup>d</sup>	32.26 ± 0.54 <sup>bc</sup>
Sodium metabisulphit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )	15.68 ± 0.86 <sup>ab</sup>	14.52 ± 0.54 <sup>ab</sup>	14.34 ± 0.31 <sup>ab</sup>
Sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ )	14.70 ± 0.62 <sup>ab</sup>	46.95 ± 0.31 <sup>cd</sup>	0.00 <sup>a</sup>

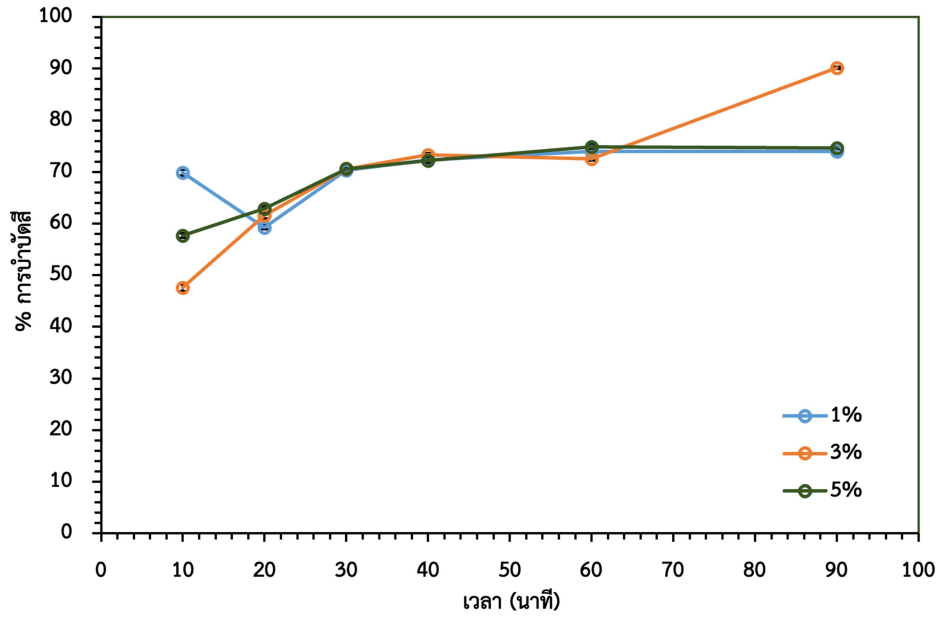
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ย ± คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Standard error of mean, S.E.) ที่ตามด้วยอักษรเหมือนกัน มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธี DMRT (Duncan's Multiple Range Test)

**ตารางที่ 4** ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ

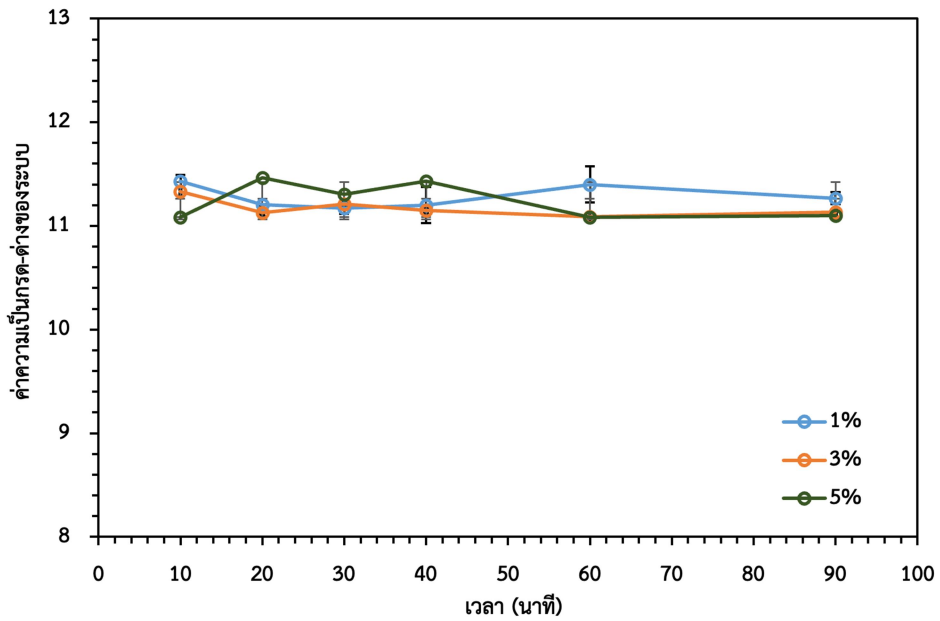
ชนิดของสารเคมี	pH ของระบบหลังการบำบัดสีน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2		
	ความเข้มข้น 1%	ความเข้มข้น 3%	ความเข้มข้น 5%
Aluminum sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ )	$3.37 \pm 0.03$	$3.54 \pm 0.05$	$3.28 \pm 0.03$
Calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ )	$8.79 \pm 0.04$	$8.48 \pm 0.05$	$8.44 \pm 0.05$
Calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	$10.00 \pm 0.06$	$9.96 \pm 0.04$	$9.98 \pm 0.04$
Hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )	$9.73 \pm 0.05$	$9.54 \pm 0.04$	$9.32 \pm 0.01$
Iron (II) sulphate ( $\text{FeSO}_4$ )	$2.02 \pm 0.02$	$1.41 \pm 0.01$	$1.16 \pm 0.01$
Nitric acid ( $\text{HNO}_3$ )	$8.92 \pm 0.03$	$7.51 \pm 0.04$	$6.77 \pm 0.09$
Potassium chloride (KCl)	$10.00 \pm 0.01$	$9.98 \pm 0.01$	$9.97 \pm 0.01$
Potassium hydroxide (KOH)	$12.35 \pm 0.05$	$12.97 \pm 0.01$	$12.75 \pm 0.02$
Sulphuric acid ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	$2.41 \pm 0.18$	$1.42 \pm 0.06$	$1.11 \pm 0.02$
Sodium hypochlorite ( $\text{NaClO}$ )	$10.48 \pm 0.01$	$10.75 \pm 0.02$	$11.24 \pm 0.03$
Sodium metabisulphit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ )	$5.94 \pm 0.03$	$5.04 \pm 0.05$	$4.92 \pm 0.06$
Sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ )	$10.31 \pm 0.02$	$10.21 \pm 0.02$	$10.15 \pm 0.02$

### 3. ผลการศึกษาปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมี

การศึกษ ปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติก โดยใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 1 3 และ 5% ทดสอบระยะเวลาที่เหมาะสมในการกวนผสมสารเคมีระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที จากผลการศึกษาพบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมี 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 ได้สูงสุดคือ 90.15% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 11.13 ดังภาพที่ 2 และ 3

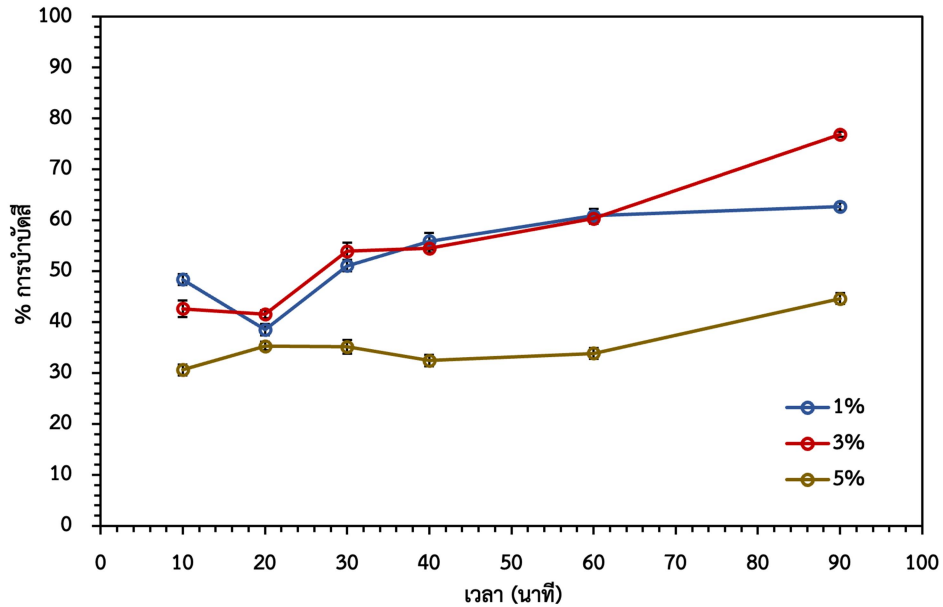


ภาพที่ 2 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์



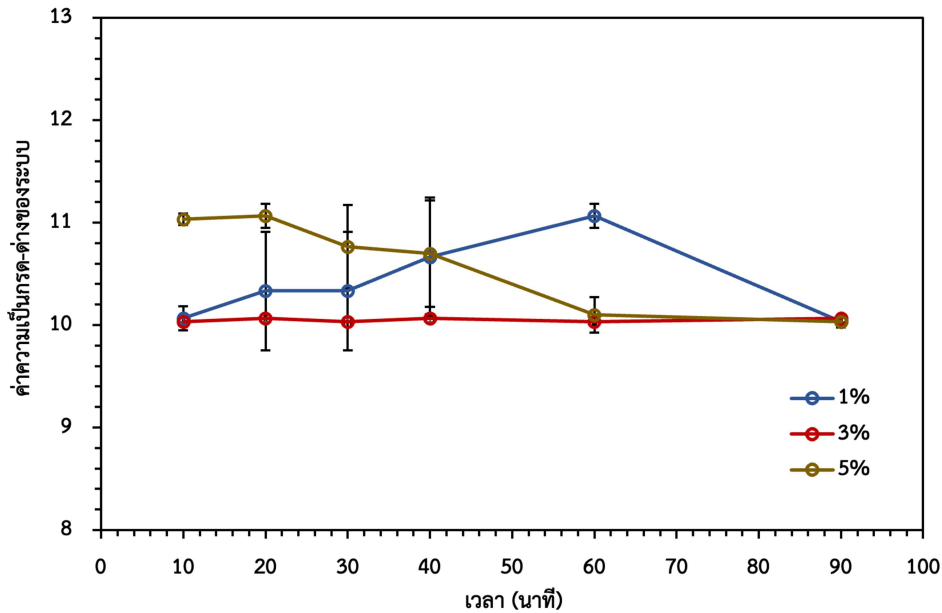
ภาพที่ 3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ผลการศึกษาระดับปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 พบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการบำบัดสี 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้สูงสุดคือ 76.90% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบเท่ากับ 10.07 ดังภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 การบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์





ภาพที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 2 โดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์

### อภิปรายผล

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนท้องถิ่นในจังหวัดนราธิวาสได้ทำการคัดเลือกมา 2 กลุ่ม จากหลาย ๆ ชุมชนที่มีการผลิตผ้าบาติกในช่วงที่กำลังทำโครงการวิจัย ซึ่งจากการสำรวจการผลิตผ้าบาติกของกลุ่มชุมชนในจังหวัดนราธิวาสจะผลิตผ้าบาติกในช่วงเวลาที่ว่างจากการทำงานประจำหรือมีการสั่งผลิตผ้าบาติกจากลูกค้า ทำให้ได้ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาจากกลุ่มชุมชนเพียง 2 กลุ่ม คุณลักษณะของน้ำเสียและสีของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 จะขึ้นอยู่กับการใช้สีต่าง ๆ ในการวาดลายบนผ้าบาติกและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติก (Shaharuddin et al., 2021) ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตผ้าบาติกโดยส่วนมากมักมีค่าเป็นด่าง (Zakaria et al., 2023) ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 10.48 และ 7.89 ตามลำดับ สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการบำบัดสีทั้ง 12 ชนิด เป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยวิธีทางเคมีจะนำมาใช้ในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) ของระบบบำบัดน้ำเสีย (Crini & Lichtfouse, 2019) การศึกษาชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีทดสอบโดยการใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่

1 และกลุ่มที่ 2 มากที่สุดคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีอยู่ในช่วง 32.36 – 90.70% และมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบหลังการบำบัดสีเท่ากับ 10.48 - 11.27

การทดสอบสารเคมีชนิดต่าง ๆ ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการบำบัดขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสีที่อยู่ในน้ำเสียผ้าบาติก (Crini & Lichtfouse, 2019) จากงานวิจัยนี้การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์เป็นสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติก โดยทำให้เกิดการออกซิเดชันทางเคมีปฏิกิริยา (Chemical oxidation) (Crini & Lichtfouse, 2019; Hu et al., 2020) โซเดียมไฮโปคลอไรต์จะช่วยเร่งให้เกิดการแยกออกจากกันของ Azo bond ของโมเลกุลสีที่เป็น Azo dye ได้เร็วขึ้น (Crini & Lichtfouse, 2019; Cheung et al., 2023) นอกจากนี้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ยังเป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing agent) สามารถทำปฏิกิริยากับกลุ่มโครโมฟอร์ของสีทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของสี และกำจัดสีออกจากน้ำได้ (Urano & Fukuzaki, 2011; Pizzolato et al., 2002)

การศึกษาโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่มีความเข้มข้น 1 3 และ 5% ในระยะเวลาการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียผ้าบาติกเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน คือ 10 20 30 40 60 และ 90 นาที พบว่าโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติกเป็นเวลา 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ได้สูงสุด จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มโซเดียมไฮโปคลอไรต์ให้มีความเข้มข้นมากขึ้นไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นสารเคมี ดังนั้นวิธีการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกโดยการใช้สารเคมีควรทำการทดสอบปริมาณสารเคมีและเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียผ้าบาติกในห้องปฏิบัติการก่อนที่จะทำการบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกในระบบบำบัดน้ำเสียจริง เนื่องจากการศึกษาระยะเวลาการกวนผสมโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 มีการทดสอบระยะเวลาการกวนผสมมากกว่า 90 นาที พบว่าน้ำหลังการบำบัดมีสีเข้มขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติก 0% โซเดียมไฮโปคลอไรต์ไม่สามารถบำบัดโมเลกุลของสีในน้ำเสียผ้าบาติกที่ระยะเวลาการกวนผสมมากกว่า 90 นาทีได้ ดังนั้นการศึกษาระยะเวลาการกวนผสมจึงแสดงผลประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกในช่วงระยะเวลา 10-90 นาที

## สรุป

การศึกษาชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 พบว่าสารเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกคือโซเดียมไฮโปคลอไรต์และที่มีความเข้มข้น 3% ใช้เวลาในการกวนผสมสารเคมีในน้ำเสียผ้าบาติกเป็นเวลา 90 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกได้ 76.90 - 90.15% โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบอยู่ในช่วง 10.00 – 11.20 การเพิ่มความเข้มข้นของสารเคมีไม่สามารถทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกเพิ่มขึ้น ข้อดีในการศึกษาชนิดและความ

เข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกทำให้ได้สารเคมีที่มีความสามารถในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกและสามารถนำขั้นตอนนี้ไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียผ้าบาติกที่จะพัฒนาต่อไป

### ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาชนิดของสารเคมี ความเข้มข้นของสารเคมี และเวลาที่ใช้ในการกวนผสมสารเคมีกับน้ำเสียเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดสีในน้ำเสียผ้าบาติกชุมชนกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกระบวนการทางเคมีขั้นตอนหนึ่งที่จะนำมาใช้ในขั้นตอนการบำบัดขั้นต้น (Primary treatment) ของระบบบำบัดน้ำเสียผ้าบาติก การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ทำให้น้ำหลังการบำบัดมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูง ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปของระบบบำบัดน้ำเสียควรมีขั้นตอนในปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำหลังการบำบัด เพื่อให้มีคุณภาพน้ำผ่านเกณฑ์ตามที่กฎหมายกำหนดไว้

### อ้างอิง

- ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. *ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป*, 127, ตอนพิเศษ 69ง.
- สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). *ระบบบำบัดน้ำเสีย : Wastewater treatment system*. ท้อป.
- Cheung, P. C. W., Williams, D. R., Kirk, D. W., Murphy, P. J., Barton, S. J., & Barker, J. (2023). Decolourisation of metal-azo dyes in wastewaters by sodium peroxodisulphate : A template for experimental investigations. *The Open Environmental Research Journal*, 16, 1-18. <http://doi.org/10.2174/25902776-v16-e230216-2022-2>
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters*, 17, 145–155.
- David, H. F. L., & Bele, G. L. (1999). *Wastewater treatment*. CRC Press.
- Dawood, S., & Sen, T. K. (2014). Review on dye removal from its aqueous solution into alternative cost effective and non-conventional adsorbents. *Journal of Chemical and Process Engineering*, 1(104), 1-11. <https://doi.org/10.17303/jce.2014.105>
- Fadzli, J., Puasa, S.W., Him N.R.N., Hamid, K.H.K., & Amri, N. (2024). Electrocoagulation : Removing colour and COD from simulated and actual batik wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 320(1), 2100658. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100658>

- Fatimah, I., Sahroni, I., Dahlyani, M. S. E., Oktaviyani, A. M. N., & Nurillahi, R. (2021). Surfactant-modified *Salacca zalacca* skin as adsorbent for removal of methylene blue and batik's wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 44(3), 3211-3216. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.440>
- Hu, X., Meneses, Y. E., & Hassan, A. A. (2020). Integration of sodium hypochlorite pretreatment with co-immobilized microalgae/ bacteria treatment of meat processing wastewater. *Bioresource Technology*, 304(12), 122953. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122953>
- Istirokhatun, T., Susanto, H., Budihardjo, M. A., Septiyani, E., Wibowo, A. R., & Karamah, E. F. (2021). Treatment of batik industry wastewater plant effluent using nanofiltration. *International Journal of Technology*, 12(4), 770-780. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v12i4.4645>
- Juliani, A., Rahmawati, S., & Yoneda, M. (2021). Heavy metal characteristics of wastewater from batik industry in Yogyakarta area, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 20(80), 59-67. <https://doi.org/10.21660/2021.80.6271>
- Katheresan, V., Kansedo, J., & Lau, S. Y. (2018). Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4676-4697. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
- Oktavia, S., Rohmah, S., & Novi, C. (2024). Application of chitosan from *Litopenaeus vannamei* and baglog waste from *Pleurotus ostreatus* for decolorizing batik wastewater. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(2), 638-647. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i2.5859>
- Piaskowski, K., Dąbrowska, R. S., & Zarzycki, P. K. (2018). Dye removal from water and wastewater using various physical, chemical, and biological processes. *Journal of AOAC international*, 101(5), 1371-1384. <https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0051>
- Pizzolato, T. M., Carissimi, E., Machado, E. L. & Schneider, I. A. H. (2002). Colour removal with NaClO of dye wastewater from an agate-processing plant in Rio Grande do Sul, Brazil. *International Journal of Mineral Processing*, 65(3), 203-211. [http://doi.org/10.1016/S0301-7516\(01\)00082-5](http://doi.org/10.1016/S0301-7516(01)00082-5)
- Qomariyah, L., Kadir, A., Hirano, T., Tejamaya, M., Fauziyah, M., Putra, N. R., Sunarno, S. D. A. M., & Atmajaya, H. (2024) Sustainable removal of pigment dye from traditional batik textile

- wastewater using ZnO photocatalysis. *South African Institution of Chemical Engineers*, 50, 223-234. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.08.010>
- Salim, C., & and Prihandrijanti, M. (2023). The potential of ozone/UV system in the treatment of batik wastewater in Indonesia. *Journal of Applied Science and Advanced Engineering*, 1(2), 42-46. <https://doi.org/10.59097/jasae.v1i2.14>
- Setianingsih, N. I., Hadiyanto, Budihardjo, M. A., Yuliasni, R., Vistanty, H., Mukimin, A., & Sudarno. (2024). Characteristics and performance of aerobic granular sludge technology in the treatment of real batik textile wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05832-0>
- Shaharuddin, S. I. S., Shamsuddin, M. S., Drahman, M. H., Hasan, Z., Mohd Asri, N. A., Nordin, A. A., & Shaffiar, N. M. (2021). A review on the Malaysian and Indonesian batik production, challenges, and innovations in the 21<sup>st</sup> century. *SAGE Open*, 11(3), 1-19. <https://doi.org/10.1177/21582440211040128>
- Soedjono, E. S., Slamet, A., Fitriani, N., Sumarlan, M. S., Supriyanto, A., Isnadina, D. R. M., & Othman, N. B. (2021). Residual seawater from salt production (bittern) as a coagulant to remove lead (Pb<sup>2+</sup>) and turbidity from batik industry wastewater. *Heliyon*, 7(11), e08268. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08268>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2004). *Wastewater engineering treatment and reuse* (4<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Book Company.
- Urano, H., & Fukuzaki, S. (2011). The mode of action of sodium hypochlorite in the decolorization of azo dye orange II in aqueous solution. *Biocontrol Science*, 16(3), 123-126. <https://doi.org/10.4265/bio.16.123>
- Utami, M., Wang, S., Musawwa, M. M., Mafruhah, L., Fitri, M., Wijaya, K., Johnravindar, D., Abd-Elkader, O. H., Yadav, K. K., Ravindran, B., Chung, W. J., Chang, S. W., & Ramanujam, G. M. (2023). Photocatalytic degradation of naphthol blue from Batik wastewater using functionalized TiO<sub>2</sub>-based composites. *Chemosphere*. 337, 139224. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139224>
- Zakaria, N., Rohani, R., Wan Mohtar, W. H. M., Purwadi, R., Sumampouw, G. A., & Indarto, A. (2023). Batik effluent treatment and decolorization : A review. *Water*, 15(7), 1-24. <https://doi.org/10.3390/w15071339>

การศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้  
แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง  
ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี  
The Study of Mathematical Problem-Solving Ability  
Using TAI Technique Cooperative Learning Activities on  
Factoring Quadratic Polynomials of Matthayomsuksa 2 Students  
at Muang Suratthani School

ศุภฤกษ์ เกื้อช่วย<sup>1</sup>, จิรวรรณ เทพจินดา<sup>1\*</sup>, ฤกษ์ฤดี นาควิจิตร<sup>1</sup>, และ สมศิริ พยัคฆรักษ์<sup>1</sup>  
Supparuek Kuechuay<sup>1</sup>, Jirawan Thepjinda<sup>1\*</sup>, Rerkrudee Nakwijit<sup>1</sup>, and Somsiri Payakkarak<sup>1</sup>

(Received: 24 June 2024; Revised: 30 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 2) เปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70 และ 3) ศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง กลุ่มตัวอย่าง คือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมือง สุราษฎร์ธานี ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 42 คน ใช้วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 9 แผน แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของผู้สอน แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แบบบันทึกผลหลังเรียนอนุทิน แบบสัมภาษณ์ผู้เรียน แบบทดสอบท้ายวงจร -

<sup>1</sup>สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี 84100

<sup>1</sup>Mathematics Program, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani 84100, Thailand

\* Corresponding author, E-mail: jthepjinda@gmail.com

ปฏิบัติการที่ 1-4 เป็นแบบอัตโนมัติแสดงวิธีทำจำนวน 9 ข้อ แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เป็นแบบอัตโนมัติแสดงวิธีทำจำนวน 5 ข้อ และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เป็นแบบประมาณค่า 5 ระดับ 15 ข้อ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าเฉลี่ยกลุ่มเดียว

ผลการวิจัยพบว่า หลังจากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยรวมอยู่ในระดับดีมาก นักเรียนสามารถบอกสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบ มีการวางแผน มีการดำเนินการแก้ปัญหา และมีการตรวจคำตอบที่ถูกต้องมากขึ้นและสูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

**คำสำคัญ :** กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือ เทคนิค TAI ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

## Abstract

The objectives of this research were to 1) study the mathematical problem-solving ability using TAI technique cooperative learning activities on factoring quadratic polynomials of Matthayomsuksa 2 students, 2) compare the students' mathematical problem-solving ability after participating in the cooperative learning activities with the 70% criterion, and 3) examine the students' satisfaction level with the use of cooperative learning activities. The cluster random sampling was utilized, resulting in a study sample of 42 Matthayomsuksa 2 students from one classroom at Muang Suratthani School during semester 2 of the academic year 2023. The research data collection instruments employed consisted of nine lesson plans on mathematical problem-solving ability using TAI technique cooperative learning activities on factoring quadratic polynomials of Matthayomsuksa 2 students development, a teacher behavior observation form, a student behavior observation form, a post-learning record, logbooks, student interviews, a 9-item subjective post 1-4 operation cycle test, a 5-item subjective mathematical problem-solving test, and a 15-item questionnaire with a 5-point rating scale on student's satisfaction with the use of TAI technique cooperative learning activities. The statistical measures employed for data analysis included the mean, standard deviation, and One Sample T-test.

The findings revealed that after implementing the cooperative learning activities using the TAI technique, the overall level of the students' ability on mathematical problem-solving on factoring quadratic polynomials was rated the highest, and was significantly higher than the 70% criterion at the .05 level, with the highest level of overall satisfaction with the use of TAI technique cooperative learning activities.

**Keywords:** Cooperative Learning Activities, TAI technique, Mathematical Problem-Solving Ability

## บทนำ

การศึกษาของประเทศไทยได้เปรียบครูเสมือนเป็นกุญแจในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพการศึกษา แต่ครูในสังคมไทยกำลังเผชิญกับปัญหาหลายด้าน โดยเฉพาะด้านความพร้อมในการจัดการเรียนการสอนให้สอดคล้องกับการจัดการเรียนการสอนในศตวรรษที่ 21 (ณัฐภรณ์ ศิริธร และคณะ, 2563) ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) ด้านเทคโนโลยีเป็นความสามารถเกี่ยวกับการใช้งานทั่วไปของเทคโนโลยีต่าง ๆ มาประกอบการเรียนการสอน 2) ด้านเนื้อหา เป็นความสามารถเกี่ยวกับเนื้อหาที่โดยนำองค์ความรู้ที่มีมาประยุกต์ใช้ได้ถูกต้อง และ 3) ด้านกิจกรรมการเรียนการสอน เป็นวิธีการสอนที่ครูเลือกใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนได้อย่างเหมาะสม

สำหรับการศึกษาสภาพการจัดการเรียนการสอนของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี ในปีการศึกษา 2565 ภาคเรียนที่ 2 พบว่าสาเหตุของปัญหาส่วนใหญ่ที่พบคือ นักเรียนขาดทักษะในการคิดวิเคราะห์ การแก้โจทย์ปัญหา และไม่ได้มีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้เท่าที่ควร นอกจากนี้ ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการจัดการเรียนการสอนของครูที่เน้นการสอนแบบบรรยายมากกว่าการเปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการเรียนการสอน ทำให้นักเรียนขาดประสบการณ์การเรียนรู้ด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนหลายคนไม่มีความรู้ความเข้าใจตามเนื้อหาเท่าที่ควร อีกทั้งนักเรียนไม่กล้าสอบถามครูผู้สอน โดยเนื้อหาที่เป็นปัญหามากที่สุดในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 คือ เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง

กรมวิชาการ (2546) ได้ระบุว่าการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เป็นทักษะกระบวนการที่สำคัญในการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และเป็นหัวใจของการเรียนการสอนคณิตศาสตร์เพราะช่วยให้นักเรียนพัฒนาศักยภาพในการวิเคราะห์ เรียนรู้ข้อเท็จจริง ความคิดรวบยอดและหลักการต่าง ๆ ความสำเร็จในการแก้ปัญหาจะทำให้เกิดการพัฒนาคูณลักษณะของนักเรียนที่ต้องการ (Lester, 1977) และในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ตามขั้นตอนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของ Polya (1957) ได้แก่ ขั้นทำความเข้าใจปัญหาหรือวิเคราะห์ปัญหา ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นดำเนินการแก้ปัญหาและหาคำตอบ ขั้นตรวจสอบกระบวนการแก้ปัญหาและคำตอบ ซึ่งในกระบวนการแก้ปัญหาในแต่ละขั้นตอนถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ การให้นักเรียนได้ร่วมเรียนรู้



หรือทำงานเป็นกลุ่มยังเป็นรูปแบบการเรียนรู้หนึ่งที่สามารถพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนได้มากขึ้น (Krulik and Rudnick, 1993) ซึ่งแนวคิดดังกล่าวมีความสอดคล้องกับลักษณะของการจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือ

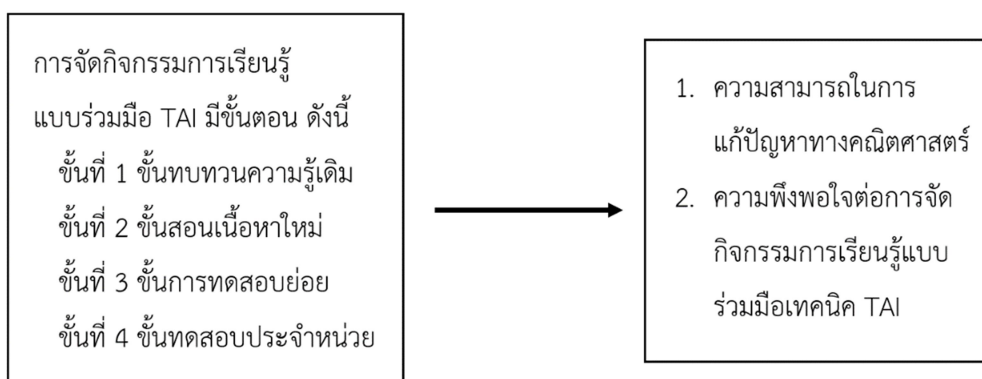
Slavin (1990) ได้กล่าวถึง การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI (Team Assisted Individualization) ว่า เป็นการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างการเรียนแบบร่วมมือ (Cooperative Learning) และการสอนรายบุคคล (Individualized instruction) เข้าด้วยกัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับการเรียนรายบุคคล โดยใช้ลักษณะการเรียนรู้เป็นกลุ่ม ให้นักเรียนในกลุ่มทำการศึกษาและเรียนรู้ร่วมกัน ช่วยกันดำเนินการเรียนและมีการตรวจสอบร่วมกัน โดยมีลักษณะของการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นให้นักเรียนได้ร่วมมือช่วยเหลือซึ่งกันและกันเพื่อบรรลุเป้าหมายของการเรียน

ดังนั้นผู้วิจัยเห็นว่าการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI (Team Assisted Individualization) มีความเหมาะสมในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 เนื่องจากจะช่วยให้นักเรียนเกิดความช่วยเหลือซึ่งกันและกันภายในกลุ่ม ส่งผลให้นักเรียนมีความสนใจในการเรียนเพิ่มขึ้น ได้คิดคำนวณ ค้นคว้า ฝึกฝนทักษะตลอดจนเข้าใจเนื้อหาและสามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนให้สูงขึ้นได้ (Slavin, 1987) อีกทั้งจะเป็นแนวทางหนึ่งสำหรับผู้สอนคณิตศาสตร์ในการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนให้สูงขึ้นต่อไป

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70
3. เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง

## กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงปฏิบัติการ หมายถึง การวิจัยซึ่งใช้กระบวนการปฏิบัติงานอย่างเป็นระบบโดยอาศัยความร่วมมือในการวิเคราะห์วิจารณ์ เพื่อแก้ปัญหาระหว่างผู้วิจัยและผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยจะมีวงจร 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน การปฏิบัติ การสังเกตและการสะท้อนการปฏิบัติ เพื่อปรับแผนการปฏิบัติเข้าสู่วงจรใหม่ วงจรปฏิบัติจะสิ้นสุดลงเมื่อผู้วิจัยสามารถแก้ปัญหาได้จริง หรือ พัฒนาสภาพการณ์ของสิ่งที่ได้ศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Kemmis and Mc Taggart, 2005)

### ประชากร

ประชากรคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 10 ห้องเรียน จำนวน 377 คน

### กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนเมืองสุราษฎร์ธานี ในภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566 จำนวน 1 ห้องเรียน รวม 42 คน โดยผู้วิจัย ได้ใช้วิธีการสุ่มแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) โดยใช้ห้องเรียนเป็น 1 หน่วยในการสุ่มตัวอย่าง เนื่องจากทางโรงเรียนจัดชั้นเรียนแบบคละความสามารถ ดังนั้นในแต่ละห้องเรียนจึงมีทั้งนักเรียนที่มีผลการเรียนในระดับสูง ปานกลาง และ อ่อนในจำนวนสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

### เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติการ ได้แก่ แผนการจัดการเรียนรู้ที่พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 จำนวน 9 แผน แผนละ 1 ชั่วโมง แบ่งเป็น 4 วงจรปฏิบัติ ประกอบไปด้วย วงจรปฏิบัติการที่ 1 (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1-2) วงจรปฏิบัติการที่ 2 (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 3-4) วงจรปฏิบัติการที่ 3 (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 5-6) และวงจรปฏิบัติการที่ 4 (แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 7-9) ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อย คือ 1. ขั้นวางแผน (Plan) 2. ขั้นปฏิบัติการ (Act) 3. ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) และ 4. ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) ซึ่งแผนการจัดการเรียนรู้ผ่านการวิเคราะห์ความเหมาะสมอยู่ในระดับมากโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ก่อนนำไปใช้

2. เครื่องมือที่ใช้ในการสังเกตการณ์ ได้แก่ แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของผู้สอน แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แบบบันทึกผลหลังเรียน อนุทิน แบบสัมภาษณ์นักเรียน และแบบทดสอบท้ายวงจรปฏิบัติการที่ 1-4 เป็นแบบอัตนัยแสดงวิธีทำ จำนวน 9 ข้อ วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 ค่าความยากง่าย (p) มีค่าระหว่าง 0.42 – 0.78 และค่าอำนาจจำแนก (D) มีค่าระหว่าง 0.37- 0.67

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรี 2 เป็นแบบอัตนัย แสดงวิธีทำจำนวน 5 ข้อ เวลา 60 นาที วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าระหว่าง 0.67 ถึง 1.00 ค่าความยากง่าย (p) มีค่าระหว่าง 0.23 – 0.78 และค่าอำนาจจำแนก (D) มีค่าระหว่าง 0.32- 0.58 และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียนจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เป็นแบบประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ 15 ข้อ วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มีค่าระหว่าง 0.67 ถึง 1.00

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

#### 1. แบบแผนการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) โดยการนำหลักการ และขั้นตอนของการวิจัยเชิงปฏิบัติการตามหลักแนวคิดของ Kemmis and Mc Taggart (1988) โดยขั้นตอนการดำเนินการในแต่ละวงจรปฏิบัติจะประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนย่อยดังนี้

1) ขั้นวางแผน (Plan) ผู้วิจัยวิเคราะห์สภาพปัญหาการจัดการจัดกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง โดยการรวบรวมข้อมูลจากผลการเรียนของนักเรียน การสัมภาษณ์ครูผู้สอนคณิตศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ในโรงเรียน เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนการจัดทำแผนการจัดการเรียนรู้ พร้อมกับศึกษาค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ศึกษาและสร้าง

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการจัดการการเรียนรู้ แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของผู้สอน แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน แบบสัมภาษณ์นักเรียน และแบบทดสอบท้ายวงจรปฏิบัติการ แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนต่อการเรียน

2) ขั้นปฏิบัติการ (Act) ผู้วิจัยนำแผนการจัดการเรียนรู้ที่มีคุณภาพเหมาะสมแล้วมาดำเนินการจัดการจัดการการเรียนรู้กับนักเรียนในแต่ละวงจรปฏิบัติการ แล้วผู้วิจัยทำการบันทึกผลหลังการจัดการจัดการการเรียนรู้ให้นักเรียนจดบันทึกก่อนทำและทำแบบทดสอบท้ายวงจรปฏิบัติการในแต่ละวงจรซึ่งนักเรียนต้องใช้กระบวนการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของ Polya (1957) 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นที่ 1 ทำความเข้าใจปัญหา ขั้นที่ 2 วางแผนแก้ปัญหา ขั้นที่ 3 ดำเนินการแก้ปัญหา และขั้นที่ 4 ตรวจสอบผล ในการทำแบบทดสอบ

3) ขั้นสังเกตการณ์ (Observe) ผู้วิจัยดำเนินการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียนโดยในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยนักเรียนจำนวน 6 คน เป็นนักเรียนกลุ่มเก่ง กลุ่มปานกลางและกลุ่มอ่อนอย่างละ 2 คน โดยใช้แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน และใช้วิธีการสุ่มอย่างง่าย สุ่มนักเรียนจำนวน 1 กลุ่ม มาทำแบบสัมภาษณ์หลังเสร็จสิ้นกิจกรรมการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติ ในขณะที่เดียวกันจะให้ผู้สังเกตการณ์ใช้แบบบันทึกการสังเกตพฤติกรรมของผู้สอนเพื่อนำไปสะท้อนผลเมื่อสิ้นสุดการจัดการจัดการการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการ

4) ขั้นสะท้อนผลการปฏิบัติ (Reflect) ผู้วิจัยดำเนินการสรุปผลการจัดการจัดการการเรียนรู้ในแต่ละวงจรปฏิบัติการโดยการนำข้อมูลขั้นปฏิบัติการ (Act) และขั้นสังเกตการณ์ (Observe) วิเคราะห์หาสภาพของปัญหา แนวทางแก้ไขปัญหา เพื่อนำข้อเสนอแนะไปใช้ในการวางแผนการจัดการจัดการการเรียนรู้ในวงจรปฏิบัติการต่อไป

### การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ

นำคะแนนของนักเรียนที่ได้จากแบบทดสอบท้ายวงจรปฏิบัติการที่ 1-4 จำนวน 9 ข้อ และแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์จำนวน 5 ข้อ มาหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละค่าเฉลี่ย โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** เกณฑ์การให้คะแนนแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

รายงานการประเมิน	คะแนน	ระดับคุณภาพ	เกณฑ์การพิจารณา
1. ทำความเข้าใจปัญหา	2	ดีมาก	ระบุสิ่งที่ปัญหากำหนดได้ถูกต้อง
	1	ดี	ระบุสิ่งที่ปัญหากำหนดได้ถูกต้องบางส่วน
	0	ปรับปรุง	ไม่สามารถระบุสิ่งที่ปัญหากำหนดได้
2. วางแผนการแก้ปัญหา	2	ดีมาก	เลือกวิธีการแก้ปัญหาได้เหมาะสมและเขียนประโยคคณิตศาสตร์ได้ถูกต้องทั้งหมด
	1	ดี	เลือกวิธีการแก้ปัญหาซึ่งอาจจะนำไปสู่คำตอบที่ถูกต้อง แต่เขียนประโยคคณิตศาสตร์ไม่ถูกต้อง
	0	ปรับปรุง	ไม่สามารถเลือกวิธีการแก้ปัญหาได้ถูกต้องหรือนำไปสู่คำตอบ
3. ดำเนินการตามแผน	2	ดีมาก	นำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้องทั้งหมด
	1	ดี	นำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้องบางส่วน
	0	ปรับปรุง	ไม่สามารถนำวิธีการแก้ปัญหาไปใช้ได้ถูกต้อง
4. การตรวจสอบและการสรุปคำตอบ	2	ดีมาก	สรุปคำตอบได้ถูกต้องสมบูรณ์
	1	ดี	สรุปคำตอบได้ถูกต้องบางส่วน หรือถูกต้องแต่ใช้สัญลักษณ์ไม่ถูกต้อง
	0	ปรับปรุง	ไม่มีการสรุปคำตอบ

หมายเหตุ. ปรับปรุงจากการวัดประเมินผลคณิตศาสตร์ (น. 58) โดย สถาบันส่งเสริมการสอน วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2555, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น.

ช่วงคะแนน

ระดับผลการประเมิน

ร้อยละ 80 - ร้อยละ 100

มีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก

ร้อยละ 70 - ร้อยละ 79

มีความสามารถอยู่ในระดับดี

ร้อยละ 60 - ร้อยละ 69

มีความสามารถอยู่ในระดับพอใช้

ร้อยละ 50 - ร้อยละ 59

มีความสามารถอยู่ในระดับผ่าน

ร้อยละ 0 - ร้อยละ 49

มีความสามารถอยู่ในระดับไม่ผ่าน

นำคะแนนของนักเรียนที่ได้จากแบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์ เทียบกับเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยใช้สถิติสำหรับการวิเคราะห์แบบ One Sample t-test

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ

จากการใช้แบบสังเกตพฤติกรรมของผู้สอน แบบสังเกตพฤติกรรมของนักเรียน บันทึกผลหลังการจัด

กิจกรรมการเรียนรู้ อนุทิน และการสัมภาษณ์ โดยผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สรุปเป็นความเรียง เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงและพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ให้มีประสิทธิภาพต่อไป

**ผลการวิจัย**

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โดยรวม นักเรียนมีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก ดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ผลการศึกษาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2

ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	จำนวนนักเรียน	คะแนนเต็ม	$\bar{X}$	ร้อยละของค่าเฉลี่ย	S.D.	t	Sig
แบบทดสอบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	42	30	25.10	83.67	2.71	1.68	.000*

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 2 นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยรวมคิดเป็นร้อยละ 83.67 ของค่าเฉลี่ย มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.71 เมื่อเทียบกับระดับผลการประเมินจะมีความสามารถอยู่ในระดับดีมาก

ตอนที่ 2 ผลการเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 กับเกณฑ์ร้อยละ 70

กลุ่มตัวอย่าง	n	เกณฑ์คะแนน (ร้อยละ 70)	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig
ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์	42	21	25.10	2.71	6.845	.000*

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ทำให้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ สูงกว่า

เกณฑ์ที่กำหนดร้อยละ 70 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 25.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 2.71

ตอนที่ 3 ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ดังตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง

ข้อ	ความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1	ข้าพเจ้าชอบทำกิจกรรมในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.69	0.47	มากที่สุด
2	ข้าพเจ้าเห็นว่าใบกิจกรรมการเรียนรู้และแบบทดสอบมีความเหมาะสมกับเนื้อหา	4.61	0.69	มากที่สุด
3	ข้าพเจ้าพอใจกับคะแนนแต่ละครั้งที่ทำได้ทำ	4.28	0.89	มาก
4	ข้าพเจ้าไม่รู้สึกเบื่อหน่ายที่ครูให้ทำกิจกรรมในการจัดกิจกรรม การเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.58	0.50	มากที่สุด
5	ข้าพเจ้ารู้สึกกระตือรือร้นที่สุดเวลาเรียนคณิตศาสตร์ ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบ ร่วมมือเทคนิค TAI	4.64	0.59	มากที่สุด
6	ข้าพเจ้ารู้สึกดีใจเมื่อถูกเรียกให้ไปทำกิจกรรมหน้าชั้นเรียน	4.03	0.74	มาก
7	ข้าพเจ้าอยากให้มีชั่วโมงเรียนคณิตศาสตร์ให้มากกว่านี้	3.89	0.71	มาก
8	การทำกิจกรรมกลุ่มทำให้ข้าพเจ้าเพลิดเพลิน	4.64	0.64	มากที่สุด
9	ข้าพเจ้าอยากเข้าห้องเรียนเมื่อถึงชั่วโมงเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.25	0.73	มาก
10	ข้าพเจ้าไม่่วงนอนเลยเมื่อเรียนคณิตศาสตร์ด้วยการจัดกิจกรรมการเรียนรู้โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.64	0.59	มากที่สุด
11	ข้าพเจ้าปฏิบัติตามที่ครูกำหนดแล้วทำให้เข้าใจเนื้อหายิ่งขึ้น	4.53	0.70	มากที่สุด
12	ข้าพเจ้ามีโอกาสได้สนทนาแลกเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ ในการเรียนกับเพื่อน ๆ จนได้รับความรู้	4.75	0.44	มากที่สุด
13	ข้าพเจ้าได้ฝึกกระบวนการแก้ปัญหา และนำไปใช้แก้ปัญหาได้ถูกต้อง	4.83	0.38	มากที่สุด

**ตารางที่ 4 (ต่อ)** ความพึงพอใจของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ที่มีต่อการใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง

ข้อ	ความพึงพอใจ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
14	ข้าพเจ้าพอใจในการเรียนโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.80	0.40	มากที่สุด
15	ข้าพเจ้ามีโอกาสได้แสดงความคิดเห็นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI	4.72	0.45	มากที่สุด
รวม		4.53	0.59	มากที่สุด

จากตารางที่ 4 พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง โดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.59

### อภิปรายผลการวิจัย

1. ผลการวิจัยหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือด้วยเทคนิค TAI พบว่านักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง โดยรวมอยู่ในระดับดีมากเมื่อเทียบกับระดับผลการประเมิน คิดเป็นร้อยละ 83.67 ของค่าเฉลี่ย เมื่อพิจารณาแต่ละชั้นตอนพบว่านักเรียนสามารถบอกสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ สิ่งที่โจทย์ต้องการทราบได้ มีการวางแผน มีการดำเนินการ แก้ปัญหามิติดพลาดน้อยลง และมีการตรวจคำตอบได้ถูกต้อง ที่เป็นเช่นนี้เพราะการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ทำให้นักเรียนมีความเข้าใจมากขึ้น นักเรียนกลุ่มเก่งสามารถอธิบาย ร่วมมือกันกับนักเรียนกลุ่มปานกลางและกลุ่มอ่อนในการดำเนินการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ร่วมกันก่อนที่จะทำแบบฝึกหัดรายบุคคลเพื่อทบทวนความเข้าใจของตนเองอีกครั้ง แล้วจึงทำแบบทดสอบในแต่ละวงจรปฏิบัติ ซึ่งสอดคล้องกับ อภรณ์ ใจเที่ยง (2553) ได้กล่าวว่า การจัดการเรียนรู้แบบร่วมมือหรือแบบมีส่วนร่วม เป็นการจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ที่นักเรียน มีความรู้ความสามารถต่างกัน ได้ร่วมมือกันทำงานกลุ่มด้วยความตั้งใจและเต็มใจรับผิดชอบในบทบาท ส่งเสริมให้นักเรียนได้พัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และการเรียนแบบร่วมมือนักเรียนจะต้องทำการแลกเปลี่ยนความรู้ อธิบายข้อสงสัยและข้อผิดพลาดร่วมกันเป็นการส่งเสริมให้เกิดความสามารถในการแก้ปัญหาและการให้เหตุผลของนักเรียน Baroody (1993)

2. นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์หลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 สูงกว่าเกณฑ์ร้อยละ 70 โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 25.10 เนื่องจากในการทำกิจกรรมการเรียนรู้นักเรียนจะต้องใช้กระบวนการ



แก้ปัญหาของ Polya (1957) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเรื่องการแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองซึ่งกระบวนการแก้ปัญหาของ Polya มี 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นที่ 1 ขั้นทำความเข้าใจปัญหา ขั้นที่ 2 ขั้นวางแผนแก้ปัญหา ขั้นที่ 3 ขั้นดำเนินการแก้ปัญหา ขั้นที่ 4 ขั้นตรวจสอบผล ส่งผลให้นักเรียนดำเนินการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบมีความสามารถพัฒนาตนเองได้อย่างต่อเนื่องและการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ที่ให้นักเรียนได้ทำงานร่วมกันในกลุ่ม ได้แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน นักเรียนกลุ่มเก่งสามารถช่วยเหลือนักเรียนกลุ่มอ่อน นักเรียนยังได้ฝึกปฏิบัติการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เมื่อมีส่วนที่ไม่เข้าใจสามารถสอบถามจากสมาชิกในกลุ่มคนอื่นได้ ทำให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์สูงขึ้น (ศุภินัย ละครชัย, 2560) เช่นเดียวกับสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2551) ได้กล่าวว่า การพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ครูผู้สอนควรใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือหรือการทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มย่อย เปิดโอกาสให้นักเรียนมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ ซึ่งอาจเริ่มต้นจากการให้นักเรียนลงมือปฏิบัติแก้ปัญหาด้วยตนเอง ซึ่งจะช่วยให้นักเรียนได้ฝึกทักษะการคิด และกระบวนการของการแก้ปัญหาเปิดโอกาสให้นักเรียนได้คิด อธิบายในสิ่งที่ตนคิดและนำเสนอ แนวคิดของตนเองสนับสนุนให้นักเรียนคิดและลงมือปฏิบัติแก้ปัญหาตามขั้นตอนและกระบวนการแก้ปัญหา เพื่อให้นักเรียนมีประสบการณ์และคุ้นเคยกับขั้นตอนและกระบวนการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง

3. นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 คะแนน ที่เป็นเช่นนี้เพราะในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI นักเรียนได้ทำงานร่วมกันซึ่งต้องช่วยเหลือซึ่งกันและกัน ได้อภิปรายและแลกเปลี่ยนความรู้ ทำให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากกว่าการเรียนรู้โดยลำพัง นักเรียนได้ศึกษาด้วยตนเอง ได้ฝึกลงมือปฏิบัติด้วยตัวเอง กระตือรือร้น เพลิดเพลิน เข้าใจเนื้อหายิ่งขึ้น ส่งผลให้นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ดีขึ้นทำให้นักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนอยู่ในระดับมากที่สุด (ครรชิต วงศ์เทิม, 2561 ; กุเกียรติ คุ่มเมือง, 2559)

จะเห็นได้ว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองช่วยให้นักเรียนได้สนทนาแลกเปลี่ยนข้อมูลต่าง ๆ ในการเรียนกับนักเรียนในกลุ่มจนได้รับความรู้ร่วมกับการฝึกการแก้ปัญหาตามกระบวนการแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ส่งผลให้ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนสูงขึ้น

### ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยเรื่อง ศึกษาพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง

จากผลการวิจัยเรื่อง ศึกษาพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI เรื่อง การแยกตัวประกอบของพหุนามดีกรีสองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

### 1. ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

1.1 ในการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ของนักเรียน ครูผู้สอนอาจใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ไปใช้ในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในเรื่องอื่น ๆ

1.2 การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ครูควรอธิบายถึงหน้าที่ บทบาทของสมาชิกในกลุ่มโดยกระตุ้นให้นักเรียนที่เก่งอยากช่วยเหลือนักเรียนในระดับปานกลางและอ่อนด้วยความเต็มใจ และใช้การเสริมแรงให้นักเรียนปานกลาง และอ่อนเกิดความชื่นชมในการช่วยเหลือตนเอง

1.3 การจัดกิจกรรมในแต่ละวงจรปฏิบัติการครูสามารถจัดกิจกรรมการเรียนรู้ แบบร่วมมือเทคนิค TAI ร่วมกับวิธีการสอนที่เหมาะสมกับเนื้อหา นั้น ๆ เช่น การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ร่วมกับวิธีการสอนโดยการใช้สื่อ การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ร่วมกับวิธีสอนโดยใช้การนิรนัย

### 2. ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 นำการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ เพื่อพัฒนาทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์อื่นๆ เช่น ความสามารถในการเชื่อมโยงทางคณิตศาสตร์ ความสามารถในการให้เหตุผล

2.2 ควรมีการศึกษาผลการพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้แบบร่วมมือเทคนิค TAI ในเนื้อหาวิชาคณิตศาสตร์อื่น เช่น การแก้โจทย์ ปัญหาสมการเชิงเส้นสองตัวแปร การแก้ระบบสมการเชิงเส้นสองตัวแปร

## อ้างอิง

กรมวิชาการ. (2546). *การแก้ปัญหาคณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์.

กู่เกียรติ คุ่มเมือง. (2559). *การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์โดยใช้การจัดการเรียนรู้แบบกลุ่มร่วมมือเทคนิค TAI ประกอบแบบฝึกทักษะ เรื่อง เศษส่วน ของนักศึกษา ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต]*. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ครรชิต วงศ์เหิม. (2561). *การพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยใช้วิธีสอนแบบร่วมมือ เทคนิค TAI สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 [วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต]*. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

- ณัฐภรณ์ ศิริธร, มณีญา สุราช และนครชัย ชาญอุไร. (2563). ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการสอนของครูผู้สอน กลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาหนองคาย เขต 2. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 8(2), 162-177. <https://so06.tci-thaijo.org/index.php/UDRUAJ/article/view/240623/166659>
- ศุวินัย ลครชัย. (2560). *การพัฒนาความสามารถในการแก้โจทย์ปัญหาคณิตศาสตร์แนวคิดของ Polya เรื่อง สมการเชิงเส้นตัวแปรเดียว สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1* [วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรมหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2551). *ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์*. กรุงเทพฯ: ส.เจริญการพิมพ์.
- อาภรณ์ ใจเที่ยง. (2553). *หลักการสอน* (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- Baroody, Arthur J. (1993). *Problem Solving, Reasoning, and Communicating, K-8. Helping Children Think Mathematically*. New York : Macmillan .
- Kemmis, S., and McTaggart, R. (1988). *The Action Research Planner*, 3<sup>rd</sup> ed. Victoria : Deakin University Press.
- Kemmis, S., and McTaggart, R. (2005). *Participatory Action Research: Communicative Action and the Public Sphere*. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The Sage Handbook of Qualitative Research* (3 ed., pp. 559-603). Thousand Oaks: Sage Publication, Inc.
- Krulik, S., and Rudnick, J. A. (1993). *Reasoning and Problem – Solving. A Handbook for Elementary School Teachers*. Boston: Allyn and Bacon.
- Lester, F.K. (1977). *Ideas about Problem Solving : A Look at Some Psychological Research. Arithmetic Teacher*, 25, 12-15.
- Polya, George. (1957). *How to solve it*. New York: Doubleday & Company.
- Slavin, R. E. (1987). *Cooperative Learning and the Cooperative School. Educational Leadership*, (45)3, 7-13.
- Slavin, R. E. (1990). *Cooperative learning: Theory, research and practice*. New Jersey: Prentice-hall.

# โลหะหนักในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในประเทศไทย: โทษ วิธีการการตรวจวัด ปริมาณที่ตรวจพบ และวิธีการกำจัด

## Heavy Metals in Environment Water Sources and Wastewater in Thailand: Harm, Measurement Methods, Detected Levels, and Removal Techniques

รวีวรรณ วัฒนายน<sup>1\*</sup>, นีอัสมิฮาน นิสัง<sup>2</sup>, สุชาดา ศรีชัย<sup>2</sup>, และ กูดานีลา ประกอบการคดี<sup>2</sup>  
Rawiwan Wattanayon<sup>1\*</sup>, Niamsmihan Niseng<sup>2</sup>, Suchada Srichai<sup>2</sup> and Kudanila Prakobkankdee<sup>2</sup>

(Received: 1 August 2024; Revised: 21 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

### บทคัดย่อ

โลหะหนักถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมและการเกษตรในปัจจุบัน เป็นผลให้โลหะหนักสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งในมนุษย์และสัตว์ การที่มนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตได้รับโลหะหนักเป็นเวลานาน ถึงแม้จะอยู่ในระดับความเข้มข้นในปริมาณต่ำก็สามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพ ความพิการ โรค หรืออันตรายถึงแก่ชีวิตได้ การศึกษาแหล่งที่มา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กระบวนการสลายตัว รูปแบบการสะสมของโลหะหนัก และวิธีการกำจัดโลหะหนักจึงมีความสำคัญ เพื่อที่จะเข้าใจและหาวิธีการควบคุมปัญหาดังกล่าว โดยวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักจำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เนื่องจากปริมาณโลหะที่อยู่ในระดับต่ำ อีกทั้งยังต้องมีความแม่นยำและถูกต้องของวิธีในทุกขั้นตอน ตั้งแต่วิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การกำจัดสิ่งรบกวน ตลอดจนวิธีการตรวจวัด โดยเทคนิคแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน งบประมาณ และความถนัดของผู้ควบคุม ซึ่งจะต้องใช้ในการพิจารณาในการเลือกวิธีการกำจัด จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักหลายพื้นที่ในประเทศไทย ทำเทียบเรือกรุงเทพ ทำเทียบเรือแหลมฉบัง ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน แม่น้ำเจ้าพระยา ปากแม่น้ำท่าตะเภา ปากแม่น้ำท่าจีน น้ำทิ้งและน้ำเสียจากโรงพยาบาลและอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีการตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณชุมชนชาวประมง

<sup>1</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Princess of Naradhiwas University

<sup>2</sup> โรงเรียนมนร.วิทยานุสรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์

<sup>2</sup> PNU Wittayanusorn, Princess of Naradhiwas University

\* Corresponding author, E-mail: rawiwan.w@pnu.ac.th

จังหวัดนราธิวาส โดยปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ  $\text{mgL}^{-1}$  และพบว่ามียาหลายบริเวณมีปริมาณโลหะเกินค่ามาตรฐาน คือ ปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2554 พบแคดเมียม ทองแดง ตะกั่ว และนิกเกิลเกินมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดินเช่นเดียวกับบริเวณแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขา (นครชัยถึงปากแม่น้ำท่าจีน) ในปี พ.ศ. 2556 พบสารหนูมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน และบริเวณลำน้ำมูล ในปี พ.ศ. 2560 ตรวจพบสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน

ในส่วนของวิธีการกำจัดโลหะหนักและการพัฒนาวิธีการกำจัดที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีการศึกษาอย่างกว้างขวางทั่วโลก ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี การดูดซับ การออสโมซิสย้อนกลับ การสกัดตัวทำละลาย และการกรองด้วยเมมเบรน ทั้งนี้ เนื่องจากรายงานวิจัยเกี่ยวกับการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมในประเทศไทยยังมีน้อย จึงเห็นว่าควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

**คำสำคัญ:** โลหะหนัก สิ่งแวดล้อม การปนเปื้อน

## Abstract

Heavy metals are widely used in industry and agriculture today. As a result, heavy metals can enter the food chain of living organisms, including humans and animals. Long-term exposure to heavy metals, even at low concentration levels, can adversely affect health, lead to disabilities, diseases, or even life-threatening conditions. Therefore, studying the sources, chemical transformations, degradation processes, accumulation patterns of heavy metals, and methods for their removal is crucial to understanding and finding ways to control these issues. The techniques used to measure the concentrations of heavy metals must employ advanced methods due to the low levels of these metals present. Additionally, the accuracy and precision of the methods must be ensured at every stage, from sampling, sample preparation, contamination removal, to the measurement methods. Each technique has its own strengths and weaknesses, depending on the application, budget, and expertise of the operator, which must be considered when selecting a removal method. Recent research has indicated that heavy metal concentrations have been measured in various locations in Thailand, including the Port of Bangkok, Laem Chabang Port, the upper Gulf of Thailand coastline, the Chao Phraya river, Tha Thapao estuary, the Tha Chin estuary, and wastewater from hospitals and industries.

Heavy metal contamination has also been detected in fishing communities in Narathiwat province, with measured levels in water sources reaching  $\text{mgL}^{-1}$ , and several areas exceeding standard limits. For instance, at the mouth of the Tha Thapao estuary in Chumphon province in 2011, cadmium, copper, lead, and nickel were found to exceed surface water standards. Similarly, in the Tha Chin estuary and its branches (from Nakhon Chai to the Tha Chin estuary) in 2013, arsenic levels exceeded surface water quality standards, and in the Mun River area in 2017, zinc, lead, cadmium, and copper were also found to exceed standard limits.

Regarding methods for removing heavy metals and developing effective and environmentally friendly removal techniques, extensive studies have been conducted worldwide, including ion exchange, chemical precipitation, electrochemical processes, adsorption, reverse osmosis, solvent extraction, and membrane filtration. Given that research reports on heavy metal contamination in the environment in Thailand are still limited, it should have more encouragement for research and publication.

**Keywords:** Heavy metal, Environment, Contamination

## บทนำ

การขยายตัวของอุตสาหกรรมและการเกษตรในปัจจุบันส่งผลต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์และถือเป็นปัญหาระดับโลกที่สำคัญในปัจจุบัน การศึกษาแหล่งที่มา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี กระบวนการสลายตัว รูปแบบการสะสมของโลหะหนัก และวิธีการกำจัดโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะเข้าใจและหาวิธีการควบคุมปัญหาดังกล่าว (Zou et al., 2016) โลหะหนักถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องจักร และสิ่งประดิษฐ์ในชีวิตประจำวัน ตลอดจนในแอปพลิเคชันเทคโนโลยีขั้นสูง เป็นผลให้โลหะหนักสามารถเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งในมนุษย์และสัตว์ ตลอดจนจากการฟุ้งกระจายตามธรรมชาติของดินและหิน แหล่งปนเปื้อนหลักได้แก่ ของเสียจากการทำเหมือง ตะกอนจากหลุมฝังกลบ น้ำเสียจากเทศบาล น้ำทิ้ง และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม (Tjandraatmadja et al., 2008; Taseidifar et al., 2017) การที่มนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตได้รับโลหะหนักเป็นเวลานาน ถึงแม้จะอยู่ในระดับความเข้มข้นในปริมาณต่ำก็สามารถส่งผลเสียต่อสุขภาพ ความพิการ โรค หรืออันตรายถึงแก่ชีวิตได้ น้ำที่ปนเปื้อนโลหะหนักเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทุกประเภท รวมถึงสุขภาพของมนุษย์และสิ่งมีชีวิต แม้ว่าโลหะหนักบางชนิดจะจำเป็นต่อร่างกายและทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์เอนไซม์ ธาตุอาหารรอง

ตัวควบคุมความดันออสโมซิส และสารคงตัวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต แต่โลหะหนักส่วนใหญ่ไม่มีหน้าที่ทางชีวภาพที่ทราบแน่ชัด และอาจเป็นพิษได้หากมีมากเกินไป นอกจากนี้ โลหะหนักบางชนิด เช่น แคดเมียมและตะกั่ว แม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อยก็มีความเสี่ยงอย่างมากต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อันตรายต่อมนุษย์และปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม (Lace & John, 2021)

โลหะหนัก	อันตรายต่อมนุษย์	ค่าสูงสุดตาม Environmental Protection Agency (mgL <sup>-1</sup> )	ค่าสูงสุดตาม World Health Organization (mgL <sup>-1</sup> )
ตะกั่ว (Pb)	อาการเฉียบพลันและเรื้อรัง คือ ปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ประสาทหลอน ซึม ไม่รู้สึกตัว ชัก มือและเท้าตก เป็นอัมพาต สลบและอาจเสียชีวิตได้ อวัยวะที่มักถูกทำลายได้แก่ กระจุก สมอง ไต และต่อมไทรอยด์ เด็กที่ได้สารตะกั่วจะมีระดับ IQ ต่ำกว่าเด็กทั่วไป	0.015	0.01
โครเมียม (Cr)	ผิวหนังเกิดการอักเสบ เยื่อของอวัยวะภายในต่าง ๆ เกิดการระคายเคือง และถูกทำลาย ไต ตับ และปอดทำงานผิดปกติ และถูกทำลายระบบหายใจขัดข้อง และล้มเหลวได้ง่าย เสี่ยงต่อการเสียชีวิตกะทันหัน	0.1	0.05
แคดเมียม (Cd)	โรคไต กระจุกฝู ปวดบริเวณเอวและหลัง เป็นสารก่อมะเร็งโดยเฉพาะมะเร็งปอด มะเร็งต่อมลูกหมากและไต พิษจากสารแคดเมียม ที่รู้จักกันดี คือ โรคอิไต อิไต	0.005	0.003
อาร์เซนิก (As)	ตับอักเสบ ทำลายตับ และทำลายระบบสมอง ไม่สามารถควบคุมการทรงตัวได้ ซาตามแซนซาแซนซาบิตเบี้ยวคล้ายคนพิการ ตาบอด กล้ามเนื้อสั่น หูตึง หลอดเลือดแข็ง	0.01	0.01

ตารางที่ 1 (ต่อ) อันตรายต่อมนุษย์และปริมาณสูงสุดของโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม (Lace &amp; John, 2021)

โลหะหนัก	อันตรายต่อมนุษย์	ค่าสูงสุดตาม Environmental Protection Agency (mgL <sup>-1</sup> )	ค่าสูงสุดตาม World Health Organization (mgL <sup>-1</sup> )
ปรอท (Hg)	เป็นอัมพาต และสามารถถ่ายทอดจากมารดาสู่บุตรได้ ทำให้เด็กที่เกิดมา มีอาการพิการทางสมอง พิษจากสารปรอท ที่รู้จักกันดี คือ โรคมินามิตะ	0.002	0.006
ทองแดง (Cu)	คลื่นไส้ อาเจียน อักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ เป็นโรคโลหิตจาง	1.3	2
นิกเกิล (Ni)	คลื่นไส้ปวดศีรษะ อาเจียน และเจ็บหน้าอกร่างกายอ่อนเพลีย ชูบผอม ปอดอักเสบรุนแรง ซิฟจรเต้นเร็วผิดปกติ เกิดภาวะความดันเลือดสูง เสี่ยงต่อเส้นเลือดในสมองแตกจนกลายเป็นอัมพฤกษ์อัมพาต เสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง	-	0.007
สังกะสี (Zn)	อ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ ท้องร่วง	5	3

### การตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในประเทศไทย

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักคือ แคดเมียม โครเมียม ตะกั่ว เหล็ก ทองแดง สังกะสี ปรอท นิกเกิล และอาร์เซนิก หลายพื้นที่ในประเทศไทยไม่ว่าจะเป็น ท่าเทียบเรือกรุงเทพ ท่าเทียบเรือแหลมฉบัง (จาก น้อยจินดา, 2560) ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน (สาโรจน์ เริ่มคำริห์ และคณะ, 2552) แม่น้ำเจ้าพระยา (สุภกร บุญยีน และคณะ, 2550) ปากแม่น้ำท่าตะเภา (Duangsawat, 2010) ปากแม่น้ำท่าจีน (ธัญชนก จินดาศรี และคณะ, 2560) น้ำทิ้งและน้ำเสียจากโรงพยาบาลและอุตสาหกรรม (อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวลัย วิลัย, 2563) อีกทั้งยังมีการตรวจพบการปนเปื้อนของโลหะหนักในบริเวณชุมชนชาวประมง จังหวัดนราธิวาส โดยปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ mgL<sup>-1</sup> ดังตารางที่ 2 และพบว่ามีหลายบริเวณมีปริมาณโลหะเกินค่ามาตรฐาน คือ ปากแม่น้ำท่าตะเภา จังหวัดชุมพร ในปี พ.ศ. 2554 พบแคดเมียม ทองแดง



ตะกั่ว และนิกเกิลเกินมาตรฐานน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (Duangsawat, 2010) เช่นเดียวกับบริเวณแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขา (นครชัยถึงปากแม่น้ำท่าจีน) ในปี พ.ศ. 2556 พบสารหนูมีค่าสูงเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน (ฉัญชนก จินดาศรี และคณะ, 2560) และบริเวณลำน้ำมูล ในปี พ.ศ. 2560 ตรวจพบสังกะสี ตะกั่ว แคดเมียม และทองแดงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานเช่นกัน (ธวัชชัย ธาณี และคณะ, 2561)

โดยวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักจำเป็นต้องใช้เทคนิคขั้นสูง เนื่องจากปริมาณโลหะที่อยู่ในระดับต่ำ (Trace Analysis) อีกทั้งยังต้องมีความแม่นยำและถูกต้องของวิธีในทุกขั้นตอน ตั้งแต่วิธีการเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การกำจัดสิ่งรบกวน ตลอดจนวิธีการตรวจวัด โดยเทคนิคที่ใช้โดยทั่วไป คือ 1) Atomic-Absorption และ Emission Spectrometry (AAS และ AES) เป็นเทคนิคการวัดแสงที่อะตอมเกิดการดูดกลืน (AAS) และเทคนิคการวัดแสงที่อะตอมคายออกมา (AES) ซึ่งมีความสัมพันธ์กันโดยอาศัยระดับชั้น พลังงานของอะตอมแต่ละธาตุที่มีความเฉพาะตัวของธาตุแต่ละธาตุนั้น ๆ 2) Inductively Coupled Plasma and mass-spectrometry และ Optical Emission Spectroscopy (ICP-MS และ ICP-OES) ใช้พลังงานจากพลาสมาที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 10,000 K ทำให้ธาตุที่วิเคราะห์เป็นอะตอมและไอออนในสถานะกระตุ้น (excited state) จากนั้นวัดแสงที่อะตอมคายออกมา 3) X-ray Fluorescence (XRF) เป็นเครื่องสำหรับ วิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง โดยใช้หลักการ X-ray Fluorescence โดยไม่ทำลายตัวอย่างและ 4) Voltammetry เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ต้องให้ศักย์ที่คงที่เข้าไปในวงจรและวัดกระแสที่เกิดขึ้น ซึ่งแต่ละเทคนิคมีจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน (Kumari et al., 2024) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mgL <sup>-1</sup> )	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Pb	0.050 – 0.123	AAS	บริเวณน้ำทิ้งจากการย้อมสี	2541	อานอบ คันทะ
Cr	0.002 – 0.068		กระจุดที่ทะเลน้อย จังหวัดพัทลุง		ชาม, 2542
Fe	0.80 – 1.08	ICP-OES	แม่น้ำเจ้าพระยา	2550	สุภกร บุญยีน
Ca	0.05 – 0.08		จังหวัด		และคณะ, 2550
Mg	5.00 – 9.00		ปทุมธานี		
Mn	0.05 – 0.22				

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ(mgL <sup>-1</sup> )	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Cu	0.08	ICP-OES	ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยตอนบน	2550	สาโรจน์ เรืองดำริห์ และคณะ, 2552
Zn	0.06				
Pb	0.05				
Cd	0.01				
Cd	0.260 – 1.360	AAS	ปากแม่น้ำท่าฟ้า	2554	Duangsawat, 2010
Cu	0.110 – 0.245		ตะกั่วจังหวัดชุมพร		
Pb	0.135 – 0.880				
Ni	0.130 – 2.440				
Pb	0 – 0.0020	ICP-OES	แม่น้ำท่าจีนและคลองสาขาตั้งแต่ นครชัยศรีถึงปากแม่น้ำท่าจีน	2555	จินตนันท์ วัชรสิงห์ม และคณะ, 2557
Cd	0				
As	0.0027 –				
Hg	0.0130				
Ni	0 – 0.0020 0 – 0.0047				
Mn	0.0503 –	ICP-OES	น้ำบาดาลในบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี	2557	Omking, 2014
Fe	0.6695				
Cu	0.2739 –				
Zn	2.9135 0.0012 – 0.0801 0.0066 – 0.2189				
Zn	0.112 – 0.298	AAS	บริเวณชุมชนประมงบาและฮีเล จังหวัดนราธิวาส	2559	รอฮานา อาตาม, 2562
Cd	0.001 – 0.016				
Cu	0.006 – 0.021				
Pb	0.001 – 0.019				
Ni	0.001 – 0.018				

ตารางที่ 2 (ต่อ) ปริมาณโลหะหนักที่ถูกตรวจวัดในแหล่งน้ำ น้ำทิ้งและน้ำเสียในประเทศไทย

ชนิดของโลหะ	ปริมาณที่ตรวจพบ (mgL <sup>-1</sup> )	วิธีการตรวจวัด	สถานที่	ปีที่ตรวจวัด	อ้างอิง
Cd	ND – 0.045	AAS	บริเวณปากแม่	2560	ัญชนก จินดา
Pb	ND – 0.009		น้ำท่าจีน จังหวัด		ศรี และคณะ,
Cu	1.00 – 0.095		สมุทรสาคร		2560
Zn	12.50 – 0.05				
Cd	0.02 – 0.064	AAS	ท่าเทียบเรือ	2560	จาก น้อย
Cu	0.09 – 0.241		กรุงเทพ		จินดา, 2560
Pb	0.392 – 0.425				
Zn	0.027 – 0.056				
Cd	0.020 – 0.125	AAS	ท่าเทียบเรือ	2560	จาก น้อย
Cu	0.179 – 0.222		แหลมฉบัง		จินดา, 2560
Pb	0.143 – 0.566				
Zn	0.018 – 0.048				
Zn	0.010 – 0.140	AAS	ลำน้ำมูล	2560	ธวัชชัย ธาณี
Cu	0.002 – 0.080				และคณะ, 2561
Cd	0.020 – 0.050				
Pb	0.070 – 0.910				
Cr	0.021	AAS	น้ำเสีย	2562	อนุรักษ์ ปิ่นทอง
Pb	0.086		โรงพยาบาล		และดาราวัลย์
Zn	0.816		สมเด็จ อำเภอก		วิสัย, 2563
Fe	1.606		สมเด็จ จังหวัด		
			กาฬสินธุ์		
Cr	0.014	AAS	น้ำทิ้งโรงพยาบาล	2562	อนุรักษ์ ปิ่นทอง
Pb	0.052		สมเด็จ อำเภอก		และดาราวัลย์
Zn	0.603		สมเด็จ จังหวัด		วิสัย, 2563
Fe	0.459		กาฬสินธุ์		

ND : Not detected

จากปริมาณของโลหะที่ถูกตรวจพบในสิ่งแวดล้อมจะเห็นได้ว่าประเทศไทยควรมีความตระหนักถึงการตรวจวัด การกำจัด และการควบคุมการใช้และการปล่อยโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ได้ รวมทั้งรายงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังมีน้อย ควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

ตารางที่ 3 วิธีที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณโลหะหนัก (Kumari et al., 2024)

เทคนิค	จุดเด่น
Atomic-Absorption และ Emission Spectrometry (AAS และ AES)	ขั้นตอนง่ายและความสะดวกในการใช้งานราคาไม่แพง
Inductively Coupled Plasma and mass-spectrometry และ Optical Emission Spectroscopy (ICP-MS และ ICP-OES)	ความไวสูงสามารถตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ได้ความสามารถในการวิเคราะห์หลายองค์ประกอบ
X-ray Fluorescence (XRF)	เทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็งได้โดยไม่ต้องเตรียมการอย่างละเอียด
Voltammetry	ความไวสูงสำหรับโลหะบางชนิด สามารถตรวจวิเคราะห์ได้พร้อมๆกัน หลายชนิดของไอออนโลหะ

### วิธีการกำจัดโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

วิธีการกำจัดโลหะหนักและการพัฒนาวิธีการกำจัดที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมนั้นมีการศึกษาอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การแลกเปลี่ยนไอออน การตกตะกอนทางเคมี กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

การดูดซับ การออสโมซิสย้อนกลับ การสกัดตัวทำละลาย และการกรองด้วยเมมเบรน (Qasem et al., 2021) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน สามารถแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยหลักการความแตกต่างของความชอบหรือถูกจับกันโดยสารแลกเปลี่ยนไอออนหรือเรซิน (Resin) ที่ไม่เท่ากันของไอออนแต่ละชนิด โดยแบ่งเป็น การแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก แคตไอออนเอกเชนเจอร์ (Cation Exchange) ส่วนการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุลบ เรียกว่า แอนไอออนเอกเชนเจอร์ (Anion Exchange) แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะสมกับ น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีความเข้มข้นสูง ๆ 2) การดูดซับ การดูดซับอาศัยหลักการที่องค์ประกอบของสารละลายแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการกระจายที่ผิวและเกิดแรงดึงดูดกับวัสดุดูดซับได้ต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลักษณะโครงสร้างพื้นผิวและรูพรุนของวัสดุดูดซับ การดูดซับเป็นอีกหนึ่งวิธีที่นิยมในการกำจัดโลหะหนัก เนื่องจากขั้นตอนไม่ซับซ้อน ควบคุมได้ง่าย อีกทั้งยังสามารถนำวัสดุดูดซับ (Adsorbents) กลับมาใช้ใหม่ได้ 3) การตกตะกอน (Precipitation) เป็นการตกตะกอนโลหะหนักในสารละลายให้อยู่ในรูปของโลหะ ไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นของแข็ง เกิดการตกตะกอนลงด้านล่างของภาชนะที่ เรียกว่า กากตะกอน (Sludge) โดยสารที่นิยมเติมเพื่อให้เกิดตะกอนโดยทั่วไป คือ ปูนขาว (Lime) นิยมใช้ตกตะกอนแคดเมียม โครเมียม นิกเกิล เป็นต้น 4) การสกัด (Extraction) เป็นการใช้สารเคมีที่มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายสารที่ต้องการแยกออกจากรูปของโลหะหนักออกจากสารละลาย เช่น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือกรดกำมะถัน ( $H_2SO_4$ ) เป็นต้น 5) การแยกด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Treatment) เป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งจะลดปริมาณไอออนของโลหะที่อยู่ในสารละลายให้อยู่ในรูปของธาตุที่ขั้วแคโทดและเกิดก๊าซออกซิเจนในขั้วแอโนดตลอดเวลา วิธีการนี้เหมาะสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นของโลหะสูง แต่ไม่เป็นที่นิยมเพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าสูงมาก และมีราคาเครื่องมือสูง 6) กระบวนการแยกด้วยเมมเบรน เป็นกระบวนการที่อาศัยเยื่อเมมเบรนในการแยก กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงมาก รวมไปถึงการกำจัดโลหะหนักต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ชนิดของเมมเบรนที่สามารถใช้ในการกำจัดโลหะหนักคือ อัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration, UF) นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration, NF) และรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis, RO) แต่กระบวนการแยกด้วยเมมเบรนไม่ได้รับความนิยมมากนัก เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการควบคุมระบบสูง (Qasem et al., 2021)

จากวิธีการกำจัดโลหะข้างต้น จะเห็นว่าวิธีต่าง ๆ มีทั้งข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะงานงบประมาณ และความถนัดของผู้ควบคุม ซึ่งจะต้องใช้ในการพิจารณาในการเลือกวิธีการกำจัด

### ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปริมาณของโลหะหนักในบริเวณอื่น ๆ ในประเทศไทย พร้อมทั้งประเมิน -

ความเสี่ยงต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

## 2. การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการกำจัดโลหะหนักที่มีประสิทธิภาพ

### บทสรุป

จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการตรวจวัดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำหลายพื้นที่ในประเทศไทย ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจวัดในแหล่งน้ำอยู่ที่ระดับ  $\text{mgL}^{-1}$  โดยหลายบริเวณพบว่าปริมาณโลหะหนักมีค่าเกินกว่ามาตรฐาน ทุกคนจึงควรมีความตระหนักถึงการตรวจวัด การกำจัด และการควบคุมการใช้และการปล่อยโลหะหนักสู่แหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิตรวมทั้งมนุษย์ได้ รายงานวิจัยเกี่ยวกับการตรวจวัดการปนเปื้อนของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมยังมีน้อย ควรที่จะมีการสนับสนุนให้มีการทำวิจัยและตีพิมพ์ให้มากกว่านี้

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่สนับสนุนในการเขียนบทความในครั้งนี้

### อ้างอิง

- จินตนันท์ วัชรสิงห์, วิทย์ ธารชลาณุกิจ, เกษม จันทรแก้ว และนฤชิต คำปิ่น. (2557). ปริมาณโลหะหนักในแม่น้ำท่าจีนและคลองสาขาตั้งแต่ต้นนครชัยศรีถึงปากแม่น้ำท่าจีน. *Naresuan University Journal: Science And Technology (NUJST)*, 21(2), 1–13.
- จากฤ น้อยจินดา, นิพนธ์ ตังคณานุรักษ์, และคณิตา ตังคณานุรักษ์. (2560). การเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำ ตามความลึกและในดินตะกอนที่ทำเรือแหลมฉบังและท่าเรือกรุงเทพฯ ประเทศไทย. *วารสารวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม*, 31(2), 1–13.
- ธวัชชัย ธาณี, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ, รุ่งลาวัลย์ สุดมูล และอรุณรัตน์ ฉวีราช. (2561). การสะสมทางชีวภาพของโลหะหนักในน้ำ ตะกอนดินและปลา ในอ่างเก็บน้ำห้วยแก่ง อำเภอดอนจาน จังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน*, 13(1), 4–19.

- ธัญชนก จินดาศรี, เชษฐพงษ์ เมฆสัมพันธ์, นิศรา ถาวรโสตร์, อรอินทร์ เวชสิทธิ์ และพฤษ จันทน์นวล. (2560). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำ บริเวณปากแม่น้ำท่าจีน จังหวัดสมุทรสาคร. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55*. (น. 591-599). สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- รอฮานา อาดาม. (2562). การปนเปื้อนโลหะหนักในน้ำและตะกอนท้องน้ำบริเวณชุมชนประมงบาและฮิเล จังหวัดนราธิวาส. *Princess of Naradhiwas University journal*, 11(3), 202–211.
- สาโรจน์ เริ่มดำริห์, สาวิตรี แก้วเรียส และเกริก วงศ์สอนธรรม. (2552). การปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำและตะกอนดินบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยตอนบน. *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47: สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. 221–228.
- สุภกร บุญยืน, ศราวุธ ล้นวงษา และศิริวิทย์ บัวเจริญ. (2552). การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะในแม่น้ำเจ้าพระยา บริเวณจังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 17(4), 14–22.
- อนุรักษ์ ปิ่นทอง และดาราวลัย วิลัย. (2563). ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียและน้ำทิ้งของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงพยาบาลสมเด็จพระเจ้าตากสินมหาราช จังหวัดกาฬสินธุ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี*. 4(2), 45–57.
- อานอบ คันตะชาม. (2542). การปนเปื้อนของตะกั่วและโครเมียมในน้ำทิ้ง จากการย่อยสรีระจุดที่ทะเลน้อย (รายงานผลการวิจัย), มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- Duangawat, T. (2010). Heavy Metals Contamination in Water and Sediments from Thataphao River Mouth, Chum-phon Province. Master of Education in Chemistry Thesis, Songkhla: Thaksin University.
- Kumari, P., Kachhwaha, V., & Mishra, P. (2024). A Comparative Study of Heavy Metal Toxicity in the Vegetables Using ICP-MS and AAS. *Oriental Journal of Chemistry*, 40(2), 446–453.
- Lace, A., & John, C. (2021). A Review of Microfluidic Detection Strategies for Heavy Metals in Water. *Chemosensors*, 9(4), 60.
- Omking, J. (2014). Pollutant Contamination in Groundwater near Industrial Zone and Landfill Site in Muang District Na-khonratchasima. Master of Engineering Thesis (Environmental Engineering). Na-khon Ratchasima: Suranaree University of Technology.
- Qasem, N.A.A., Mohammed, R.H. & Lawal, D.U. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review. *npj Clean Water*, 4, 1–15.
- Taseidifar, M., Makavipour, F., Pashley, R. M. & Rahman, A. F. M. M. (2017). Removal of heavy metal ions from water using ion flotation. *Environmental Technology & Innovation*, 8, 182–190.

- Tjandraatmadja, G., Diaper, C., Gozukara, Y., Burch, L., Sheedy, C., & Price, G. (2008). *Sources of priority contaminants in domestic wastewater: Contaminant loads from household products*. CSIRO: Water for a Healthy Country National Research Flagship.
- Zou, Y., Wang, X., Khan, A., Wang, P., Liu, Y., Alsaedi, A., Hayat, T., & Wang, X. (2016). Environmental remediation and application of nanoscale zero-valent iron and its composites for the removal of heavy metal ions: A review. *Environmental Science & Technology*, 50(14), 7290–7304. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b01897>



พัฒนาการของสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวน  
ในลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง

Development of the Properties of Divisibility and Exact Divisibility by  
Powers of the Integers in the Lucas Sequences of  
the First and Second Kinds

กฤตขจร อ่อนแพง<sup>1\*</sup>  
Kritkhajohn Onphaeng<sup>1\*</sup>

(Received: 2 August 2024; Revised: 31 October 2024; Accepted: 14 November 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการรวบรวมและเรียบเรียงสมบัติการหารลงตัว สมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) ลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) และ ลำดับที่เป็นความสัมพันธ์เวียนเกิด (Recurrence relation) อื่น ๆ และ สมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวกับการพัฒนาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่ง (Lucas sequence of the first kind) และชนิดที่สอง (Lucas sequence of the second kind) ซึ่งสมบัตินี้มีผู้ที่ศึกษาและพัฒนาเป็นจำนวนมากและใช้ระยะเวลายาวนาน โดยสมบัตินี้เริ่มเป็นที่สนใจและได้รับการพัฒนาในปี ค.ศ. 1970 และเสร็จสมบูรณ์ในปี ค.ศ. 2021 รวมเป็นระยะเวลา 51 ปี

**คำสำคัญ:** การหารลงตัว การหารลงตัวอย่างแท้จริง ลำดับฟีโบนัชชี ลำดับลูคาส์ ความสัมพันธ์เวียนเกิด ลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่ง ลำดับลูคาส์ชนิดที่สอง

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุธานุสรณ์

<sup>1</sup>Faculty of Science and technology, Princess of Naradhiwas University

\* Corresponding Author, E-mail: kritkhajohn.o@pnu.ac.th

## Abstract

This article provides a comprehensive compilation and organization the properties of divisibility and exact divisibility by powers of the integers in the Fibonacci sequence, Lucas sequence, and other recurrence relations. It also explores properties related to the development of divisibility properties and exact divisibility by powers of the integers in the Lucas sequences of the first and second kinds. By exploring the development of these properties from 1970 to 2021, it highlights the contributions of numerous researchers over this 51-year period and identifies avenues for future research.

**Keywords:** Divisibility, Exact divisibility, Fibonacci sequence, Lucas sequence, Recurrence relation, Lucas sequence of the first kind, Lucas sequence of the second kind

## บทนำ

ลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) เป็นลำดับของตัวเลขที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์และมักถูกศึกษาร่วมกันเนื่องจากมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน

ลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) เป็นลำดับตัวเลขที่เริ่มต้นจาก 0 และ 1 และตัวเลขถัดไปในลำดับจะเป็นผลรวมของสองตัวเลขก่อนหน้า ลำดับนี้มีลักษณะดังนี้:

$$0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, \dots$$

และต่อไปเรื่อย ๆ เราสามารถเขียนลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) แทนด้วย  $\{F_n\}_{n \geq 0}$  และนิยามลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) ด้วยความสัมพันธ์เวียนเกิด  $F_n = F_{n-1} + F_{n-2}$  สำหรับ  $n \geq 2$   $F_0 = 0$  และ  $F_1 = 1$

ลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) เป็นลำดับตัวเลขที่คล้ายกับลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) แต่เริ่มต้นด้วย 2 และ 1 แทนที่จะเป็น 0 และ 1 ลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) เริ่มต้นดังนี้:

$$2, 1, 3, 4, 7, 11, 18, 29, 47, 76, 123, \dots$$

และต่อไปเรื่อย ๆ เราสามารถเขียนลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) แทนด้วย  $\{L_n\}_{n \geq 0}$  และนิยามลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ด้วยความสัมพันธ์เวียนเกิด  $L_n = L_{n-1} + L_{n-2}$  สำหรับ  $n \geq 2$   $L_0 = 2$  และ  $L_1 = 1$

ทั้งสองลำดับสามารถใช้ในการศึกษาคุณสมบัติเฉพาะของตัวเลขและรูปแบบในคณิตศาสตร์ เช่น สัดส่วนทองคำ (Golden Ratio) ซึ่งเป็นค่าประมาณ 1.618 และเลขในธรรมชาติ เช่น รูปแบบของเปลือกหอย การจัดเรียงของใบไม้ หรือแม้แต่โครงสร้างของดอกไม้และเมล็ดพืช ทั้งสองลำดับไม่เพียงแต่มีความสวยงามและ

น่าสนใจ แต่ยังมีประยุกต์ใช้ในหลากหลายสาขาวิชา เช่น การเข้ารหัสข้อมูล การวิเคราะห์ทางการเงิน และการออกแบบทางวิศวกรรม เป็นต้น

เนื่องจากได้มีการศึกษาสมบัติของทั้งสองลำดับมาอย่างยาวนานจึงทำให้มีสมบัติที่รู้จักกันโดยทั่วไปมากมายตัวอย่างเช่น

$$F_{m+n} = F_m F_{n+1} + F_{m-1} F_n$$

$$F_{n+1} F_{n-1} - (F_n)^2 = (-1)^n$$

$$L_{-n} = (-1)^n L_n$$

$$L_n = F_{n+1} + F_{n-1}$$

$$5F_n = L_{n+1} + L_{n-1}$$

$$F_{2n} = F_n L_n$$

$$m|n \rightarrow F_m | F_n$$

$$F_m | F_n \text{ และ } m \neq 2 \rightarrow m|n$$

นอกจากลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ในบทความนี้เราจะกล่าวถึงลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่ง (Lucas sequence of the first kind) และชนิดที่สอง (Lucas sequence of the second kind) เขียนแทนด้วย  $\{U_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{V_n\}_{n \geq 0}$  ตามลำดับ นิยามด้วยความสัมพันธ์เวียนเกิด ให้  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มจะได้ว่า  $U_n = aU_{n-1} + bU_{n-2}$  สำหรับ  $n \geq 2$   $U_0 = 0$  และ  $U_1 = 1$  และ  $V_n = aV_{n-1} + bV_{n-2}$  สำหรับ  $n \geq 2$   $V_0 = 2$  และ  $V_1 = a$  สังเกตว่า ถ้า  $a = b = 1$  แล้ว  $\{U_n\}_{n \geq 0} = \{F_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{V_n\}_{n \geq 0} = \{L_n\}_{n \geq 0}$  นั่นคือ ลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) เป็นรูปทั่วไปของลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ตามลำดับ นอกจากนี้แล้วเมื่อเราแทน  $a = 2$  และ  $b = 1$  จะได้ว่า  $U_n = 2U_{n-1} + U_{n-2}$  ซึ่งเป็นนิยามเดียวกันกับลำดับเพล (Pell sequence) เขียนแทนด้วย  $\{P_n\}_{n \geq 0}$  นั่นคือ  $\{U_n\}_{n \geq 0} = \{P_n\}_{n \geq 0}$  เมื่อ  $a = 2$  และ  $b = 1$  ในทำนองเดียวกัน จำนวนบาลานซ์และจำนวนโคบาลานซ์ (Balancing and Cobalancing numbers) เขียนแทนด้วย  $\{B_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{C_n\}_{n \geq 0}$  ตามลำดับ เราได้ว่า  $\{U_n\}_{n \geq 0} = \{B_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{V_n\}_{n \geq 0} = \{C_n\}_{n \geq 0}$  เมื่อ  $a = 6$  และ  $b = -1$  ซึ่งลำดับเพล (Pell sequence) จำนวนบาลานซ์และจำนวนโคบาลานซ์ (Balancing and Cobalancing numbers) เราจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

ในบทความนี้เราจะเน้นไปที่สมบัติการหารและการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{F_n\}_{n \geq 0}$   $\{L_n\}_{n \geq 0}$   $\{U_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{V_n\}_{n \geq 0}$  ซึ่งเราจะแบ่งการนำเสนอเป็นสามส่วน ส่วนแรกจะเป็นการรวบรวมและเรียบเรียง

พัฒนาการของสมบัติการหารลงตัวและสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ส่วนที่สองจะเป็นการรวบรวมและเรียบเรียงการขยายสมบัติการหารลงตัวและสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ไปสู่ลำดับที่ทั่วไปกว่านั้นคือ ลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) และส่วนสุดท้ายจะเป็นการกล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาสมบัติอื่น ๆ หรือ สมบัติเดียวกันนี้กับลำดับอื่น ๆ

พัฒนาการของสมบัติการหารลงตัวและสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{F_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{L_n\}_{n \geq 0}$

ในส่วนนี้เราจะขอเริ่มที่นิยามของฟังก์ชันต่าง ๆ การหารลงตัวอย่างแท้จริง เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $m^k || n$  หมายถึง  $m^k | n$  และ  $m^{k+1} \nmid n$  หรือ  $m^k$  หาร  $n$  ลงตัว แต่  $m^{k+1}$  หาร  $n$  ไม่ลงตัว สัญลักษณ์  $v_p(n) = k$  ถ้า  $p^k || n$  ตัวอย่างเช่น ให้  $n = 2^4 \times 3^5 \times 5^2 \times 7$  จะได้ว่า  $2^4 || n$   $3^5 || n$   $5^2 || n$   $7 || n$   $11^0 || n$   $v_2(n) = 4$   $v_3(n) = 5$   $v_5(n) = 2$   $v_7(n) = 1$  และ  $v_{11}(n) = 0$

สมบัติการหารลงตัวของ  $F_n$  กลับมาเป็นที่น่าสนใจในปี ค.ศ. 1970 เนื่องจาก Matiyasevich (1970) ได้พิสูจน์

$$F_n^2 | F_{mn} \leftrightarrow F_n | m \tag{1}$$

และใช้ (1) ในการแก้ปัญหาข้อที่ 10 ของ Hilbert ต่อมาในปี ค.ศ. 1977 Hoggatt and Bicknell-Johnson (1977) ได้ให้การพิสูจน์อีกแบบหนึ่งและขยายผลลัพธ์ (1) ของ (Matiyasevich, 1970) ได้ผลลัพธ์ดังนี้ ถ้า  $m$  เป็นจำนวนคี่ แล้ว

$$F_n^3 | F_{mn} \leftrightarrow F_n^2 | m$$

และได้ผลลัพธ์คล้าย ๆ กันในบางกรณีที่เลขชี้กำลังของ  $F_n$  ไม่เกิน 6 และยังได้แสดงอีกว่า ถ้า  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับแล้ว

$$F_n^k | m \rightarrow F_n^{k+1} | F_{mn} \tag{2}$$

สังเกตว่าผลลัพธ์ (2) ของ Hoggatt and Bicknell-Johnson (1977) ยังไม่สมบูรณ์ ต่อมาในปี ค.ศ. 2012 Tangboonduangjit and Wiboonon (2012) ได้ศึกษา  $\{G_k(n)\}_{k \geq 0}$  ซึ่งเป็นลำดับย่อยของ  $\{F_n\}_{n \geq 0}$  นิยามดังนี้  $G_k(n) = F_n G_{k-1}(n)$  และ  $G_1(n) = F_n$  ตัวอย่าง  $G_k(n)$

$$F_n, F_n F_n, F_n F_n F_n, F_n F_n F_n F_n, \dots$$

และได้ผลลัพธ์ดังนี้  $F_n^k | G_k(n)$  สำหรับทุก  $k \geq 1$  ในปีต่อมา Panraksa et al. (2013) ได้พิสูจน์  $F_n^k || G_k(n)$  สำหรับทุก  $k \geq 1$  ต่อมาในปี ค.ศ. 2014 Onphaeng and Pongsriiam (2014) ได้ขยายนิยาม  $G_k(n)$  และ

ผลลัพธ์ของ Panraksa et al. (2013) Tangboonduangjit and Wiboonton (2012) เป็น  $G(1, n, m) = F_n^m$  และ  $G(k + 1, n, m) = F_{nG(k,n,m)}$  สังเกตว่า  $G(k, n, 1) = G_k(n)$  และได้ผลลัพธ์เป็น  $F_n^{k+m-1} | G(k, n, m)$  สำหรับทุก  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $F_n^{k+m-1} | G(k, n, m)$  สำหรับ  $k \geq 2, n \geq 4$  และ  $m \geq 1$  ในปีเดียวกัน Pongsriiam (2014) ขยายผลลัพธ์การหารลงตัวอย่างแท้จริงของ Panraksa et al. (2013) Tangboonduangjit and Wiboonton (2012) และ Onphaeng and Pongsriiam (2014) ไปกรณีทั่วๆไปกว่า แสดงใน ทฤษฎีบทที่ 1 ขยายผลลัพธ์การหารและการหารลงตัวอย่างแท้จริงใน  $\{L_n\}_{n \geq 0}$  แสดงใน ทฤษฎีบทที่ 2 และขยายผลลัพธ์การหารและการหารลงตัวอย่างแท้จริงใน  $\{F_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{L_n\}_{n \geq 0}$  แสดงใน ทฤษฎีบทที่ 3 ดังนี้ ทฤษฎีบทที่ 1 Pongsriiam (2014) สำหรับจำนวนนับ  $n \geq 3$  จะได้ว่า

- 1.1 ถ้า  $F_n^k | m$  และ  $n \not\equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $F_n^{k+1} | F_{mn}$
- 1.2 ถ้า  $F_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $\frac{F_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $F_n^{k+1} | F_{mn}$
- 1.3 ถ้า  $F_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $\frac{F_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $F_n^{k+2} | F_{mn}$

ทฤษฎีบทที่ 2 Pongsriiam (2014) ให้  $m$  เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า

- 2.1 ถ้า  $L_n^k | m$  แล้ว  $L_n^{k+1} | L_{mn}$
- 2.2 ถ้า  $L_n^k | m$  และ  $n \geq 2$  แล้ว  $L_n^{k+1} | L_{mn}$

ทฤษฎีบทที่ 3 Pongsriiam (2014) ให้  $m$  เป็นจำนวนคู่และ  $n \geq 2$  จะได้ว่า

- 3.1 ถ้า  $L_n^k | m$  แล้ว  $L_n^{k+1} | F_{mn}$
- 3.2 ถ้า  $L_n^k | m$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{3}$  แล้ว  $L_n^{k+1} | F_{mn}$
- 3.3 ถ้า  $L_n^k | m$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $\frac{L_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $L_n^{k+1} | F_{mn}$
- 3.4 ถ้า  $L_n^k | m$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $\frac{L_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $L_n^{k+2} | F_{mn}$
- 3.5 ถ้า  $L_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $\frac{L_n^{k+1}}{4} \nmid m$  แล้ว  $L_n^{k+1} | F_{mn}$
- 3.6 ถ้า  $L_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $\frac{L_n^{k+1}}{4} | m$  แล้ว  $L_n^{k+2} | 4F_{mn}$

ต่อมาในปี ค.ศ. 2018 Onphaeng and Pongsriiam (2018) พิสูจน์บทกลับของ (2) ทฤษฎีบทที่ 1 ทฤษฎีบทที่ 2 และ ทฤษฎีบทที่ 3 ได้ดังนี้

ทฤษฎีบทที่ 4 Onphaeng and Pongsriiam (2018) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $n \geq 3$  จะได้ว่า

- 4.1 ถ้า  $F_n^{k+1} | F_{mn}$  และ  $n \not\equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $F_n^k | m$
- 4.2 ถ้า  $F_n^{k+1} | F_{mn}$  และ  $n \equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $F_n^k | 2m$  และ  $F_n^{k-1} | m$
- 4.3 ถ้า  $F_n^{k+1} | F_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $2^k | m$  แล้ว  $F_n^k | m$

สังเกตว่า ทฤษฎีบทที่ 4 เป็นบทกลับของ (2)

ทฤษฎีบทที่ 5 Onphaeng and Pongsriiam (2018) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $n \geq 3$  จะได้ว่า

- 5.1 ถ้า  $F_n^{k+1} || F_{mn}$  และ  $n \not\equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $F_n^k || m$
- 5.2 ถ้า  $F_n^{k+1} || F_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $2^k | m$  แล้ว  $F_n^k || m$
- 5.3 ถ้า  $F_n^{k+1} || F_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $2^k \nmid m$  แล้ว  $F_n^{k-1} || m$

สังเกตว่า ทฤษฎีบทที่ 5 เป็นบทกลับของ ทฤษฎีบทที่ 1

ทฤษฎีบทที่ 6 Onphaeng and Pongsriiam (2018) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $n \geq 2$  จะได้ว่า

- 6.1 ถ้า  $L_n^{k+1} | L_{mn}$  แล้ว  $n \not\equiv 0 \pmod{3}$   $m$  เป็นจำนวนคี่ และ  $L_n^k | m$
- 6.2 ถ้า  $L_n^{k+1} || L_{mn}$  แล้ว  $L_n^k || m$

สังเกตว่า ทฤษฎีบทที่ 6 เป็นบทกลับของ ทฤษฎีบทที่ 2

ทฤษฎีบทที่ 7 Onphaeng and Pongsriiam (2018) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $n \geq 2$  ถ้า  $L_n^{k+1} | F_{mn}$  แล้ว  $m$  เป็นจำนวนคู่ และจะได้ว่า

- 7.1 ถ้า  $L_n^{k+1} | F_{mn}$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{6}$  แล้ว  $L_n^k | m$
- 7.2 ถ้า  $L_n^{k+1} || F_{mn}$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{6}$  แล้ว  $L_n^k || m$
- 7.3 ถ้า  $L_n^{k+1} | F_{mn}$  และ  $n \equiv 0 \pmod{6}$  แล้ว  $L_n^{\min\{v_2(m), k\}} | m$
- 7.4 ถ้า  $L_n^{k+1} || F_{mn}$  และ  $n \equiv 0 \pmod{6}$  แล้ว  $L_n^{\min\{v_2(m), k\}} || m$

สังเกตว่า ทฤษฎีบทที่ 7 เป็นบทกลับของ ทฤษฎีบทที่ 3 เมื่อรวมผลลัพธ์ (2) ของ Hoggatt and Bicknell-Johnson (1977) ทฤษฎีบทที่ 1-3 ของ Pongsriiam (2014) และ ทฤษฎีบทที่ 4-7 ของ Onphaeng and Pongsriiam (2018) เราจะได้ว่า ปัญหาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) ที่กลับมาเป็นที่น่าสนใจในปี ค.ศ. 1970 เริ่มโดย Matiyasevich นั้นครบถ้วนสมบูรณ์แล้วในปี ค.ศ. 2018

**สมบัติการหารลงตัวและสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{U_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{V_n\}_{n \geq 0}$**

ในส่วนนี้เราจะขอเริ่มที่นิยามของฟังก์ชันเพิ่มเติม ลำดับการปรากฏของ  $m$  ใน  $\{U_n\}_{n \geq 0}$  เขียนแทนด้วย  $\tau(m)$  เป็นจำนวนเต็มบวก  $k$  ที่เล็กที่สุดที่  $m | U_k$  ตัวอย่างเช่น เมื่อ  $a = b = 1$  แล้ว  $\{U_n\}_{n \geq 0} = \{F_n\}_{n \geq 0} = 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, \dots$  จะได้ว่า  $\tau(2) = 3$   $\tau(3) = 4$   $\tau(4) = 6$  และ  $\tau(5) = 5$

ในปี ค.ศ. 2018 Panraksa and Tangboonduangjit (2018) ได้ศึกษา  $\{G_k(n)\}_{k \geq 0}$  ซึ่งเป็นลำดับย่อยของ  $\{U_n\}_{n \geq 0}$  นิยามดังนี้  $G_k(n) = U_{nG_{k-1}(n)}$  สำหรับ  $k \geq 2$  และ  $G_1(n) = U_n$  ตัวอย่างลำดับ  $G_k(n)$

$$G_n, G_{nG_n}, G_{nG_nG_n}, G_{nG_nG_nG_n}, \dots$$

ในปี ค.ศ. 2020 Patra et al. (2021) ศึกษาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงของจำนวนบาลานซ์และจำนวนโคบาลานซ์ (Balancing and Cobalancing numbers) ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ทฤษฎีบทที่ 8 Patra et al. (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $n, m \geq 2$  จะได้ว่า

$$B_n^k || m \leftrightarrow B_n^{k+1} || B_{mn}$$

ทฤษฎีบทที่ 9 Patra et al. (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $m$  เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า

$$C_n^k || m \leftrightarrow C_n^{k+1} || C_{mn}$$

ทฤษฎีบทที่ 10 Patra et al. (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับและ  $m$  เป็นจำนวนคู่ จะได้ว่า

$$C_n^k || m \leftrightarrow C_n^{k+1} || B_{mn}$$

สังเกตว่า ทฤษฎีบทที่ 1 ทฤษฎีบทที่ 5 และ ทฤษฎีบทที่ 8 เป็นสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{F_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{B_n\}_{n \geq 0}$  ซึ่งทั้งสองเป็นลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่ง (Lucas sequence of the first kind) ในกรณีที่  $a = b = 1$  และ  $a = 6 \ b = -1$  ตามลำดับ ทฤษฎีบทที่ 2 ทฤษฎีบทที่ 6 และ ทฤษฎีบทที่ 9 เป็นสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{L_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{C_n\}_{n \geq 0}$  ซึ่งทั้งสองเป็นลำดับลูคาส์ชนิดที่สอง (Lucas sequence of the second kind) ในกรณีที่  $a = b = 1$  และ  $a = 6 \ b = -1$  ตามลำดับ ทฤษฎีบทที่ 3 ทฤษฎีบทที่ 7 และ ทฤษฎีบทที่ 10 เป็นสมบัติการหารลงตัวอย่างแท้จริงของ  $\{F_n\}_{n \geq 0}$   $\{B_n\}_{n \geq 0}$   $\{L_n\}_{n \geq 0}$  และ  $\{C_n\}_{n \geq 0}$  ดังนั้นลำดับที่ทั่วไปกว่าอย่างลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) จะมีสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงหรือไม่ และคำตอบของคำถามนี้เกิดขึ้นในปีเดียวกันและปีถัดมาเมื่อ Onphaeng and Pongsriiam (2020,2021) ศึกษาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงของลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) ได้ผลลัพธ์ดังนี้

ทฤษฎีบทที่ 11 Onphaeng and Pongsriiam (2020) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ จะได้ว่า

$$U_n^k || m \rightarrow U_n^{k+1} || U_{mn}$$

ทฤษฎีบทที่ 12 Onphaeng and Pongsriiam (2020) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1 \ n \geq 2$  และ  $U_n^k || m$  จะได้ว่า

12.1 ถ้า  $a$  เป็นจำนวนคี่  $b$  เป็นจำนวนคู่ แล้ว  $U_n^{k+1} || U_{mn}$

12.2 ถ้า  $a$  เป็นจำนวนคู่  $b$  เป็นจำนวนคี่ แล้ว  $U_n^{k+1} || U_{mn}$

12.3 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่ และ  $n \not\equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $U_n^{k+1} || U_{mn}$

12.4 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $\frac{U_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $U_n^{k+1} || U_{mn}$

12.5 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$   $\frac{U_n^{k+1}}{2} | m$  และ  $2 | a^2 + 3b$  แล้ว  $U_n^{k+1} || U_{mn}$

12.6 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$   $\frac{U_n^{k+1}}{2} | m$  และ  $4 | a^2 + 3b$  แล้ว  $U_n^{k+t+1} || U_{mn}$

เมื่อ  $t = \min(\{v_2(U_6) - 2\} \cup \{y_p - k | p \text{ เป็นจำนวนเฉพาะคี่ที่หาร } U_n \text{ ลงตัว}\})$  และ  $y_p = \left\lfloor \frac{v_p(m)}{v_p(U_n)} \right\rfloor$  สำหรับทุกจำนวนเฉพาะคี่  $p$  ที่หาร  $U_n$  ลงตัว

ทฤษฎีบทที่ 13 Onphaeng and Pongsriiam (2020) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1 \ n \geq 2$  และ  $U_n^k || m$  จะได้ว่า

13.1 ถ้า  $a$  เป็นจำนวนคี่  $b$  เป็นจำนวนคู่ แล้ว  $U_n^k || m$

13.2 ถ้า  $a$  เป็นจำนวนคู่  $b$  เป็นจำนวนคี่ แล้ว  $U_n^k || m$

13.3 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่ และ  $n \not\equiv 3 \pmod{6}$  แล้ว  $U_n^k || m$

13.4 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $2 || a^2 + 3b$  แล้ว  $U_n^k || m$

13.5 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$   $4 | a^2 + 3b$  และ  $v_2(m) \geq k$  แล้ว  $U_n^k || m$

13.6 ถ้า  $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $n \equiv 3 \pmod{6}$   $4 | a^2 + 3b$  และ  $v_2(m) < k$  แล้ว  $m$  เป็นจำนวนคู่  $v_2(m) \geq k + 1 - v_2(a^2 + 3b)$  และ  $U_n^{v_2(m)} || m$

ทฤษฎีบทที่ 14 Onphaeng and Pongsriiam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1$  และ  $m$  เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า

14.1 ถ้า  $V_n^k | m$  แล้ว  $V_n^{k+1} | V_{mn}$

14.2 ถ้า  $V_n^k || m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || V_{mn}$

14.3 ถ้า  $V_n^k | V_{mn}$  แล้ว  $V_n^{k-1} | m$

14.4 ถ้า  $V_n^k || V_{mn}$  แล้ว  $V_n^{k-1} || m$

ทฤษฎีบทที่ 15 Onphaeng and Pongsriiam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1$   $a$  เป็นจำนวนคี่  $b$  เป็นจำนวนคู่ และ  $m$  เป็นจำนวนคี่ จะได้ว่า

15.1 ถ้า  $V_n^k | m$  แล้ว  $V_n^{k+1} | U_{mn}$

15.2 ถ้า  $V_n^k || m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

15.3 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$  แล้ว  $V_n^k | m$

15.4 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$  แล้ว  $V_n^k || m$

ทฤษฎีบทที่ 16 Onphaeng and Pongsriiam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1$   $a$  เป็นจำนวนคู่  $b$  เป็นจำนวนคี่  $m$  เป็นจำนวนคู่  $y_p = \left\lfloor \frac{v_p(m)}{v_p(V_n)} \right\rfloor$  สำหรับทุกจำนวนเฉพาะคี่  $p$  ที่หาร  $V_n$  และ  $t = \min(\{v_2(n) + v_2(a) - 2\} \cup \{y_p - k | p \text{ เป็นจำนวนเฉพาะคี่ที่หาร } V_n \text{ ลงตัว}\})$  ลงตัวจะได้ว่า

16.1 ถ้า  $V_n^k | m$  และ  $2 | n$  แล้ว  $V_n^{k+1} | U_{mn}$

16.2 ถ้า  $V_n^k | m$  และ  $2 \nmid n$  แล้ว  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | U_{mn}$

16.3 ถ้า  $V_n^k | m$   $2 \nmid n$  และ  $v_2(m) \geq v_2(V_n^k) + 1$  แล้ว  $V_n^{k+1} | U_{mn}$

16.4 ถ้า  $V_n^k | m$   $2 | n$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $t \geq 0$   $v_2(m) \geq k$  และ  $V_n^{k+t+1} | U_{mn}$

16.5 ถ้า  $V_n^k || m$   $2 | n$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

16.6 ถ้า  $V_n^k || m$   $2 | n$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $V_n^{k+t+1} || U_{mn}$

16.7 ถ้า  $V_n^k || m$   $2 \nmid n$  และ  $v_2(m) = v_2(V_n^k)$  แล้ว  $V_n^k || U_{mn}$

16.8 ถ้า  $V_n^k || m$   $2 \nmid n$  และ  $v_2(m) \geq v_2(V_n^k)$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$



ทฤษฎีบทที่ 17 Onphaeng and Pongsriam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง  $(a, b) = 1$   $a$  เป็นจำนวนคู่  $b$  เป็นจำนวนคี่ และ  $m$  เป็นจำนวนคู่ จะได้ว่า

17.1 สำหรับทุกจำนวนเฉพาะคี่  $p$  ถ้า  $v_p(V_n^{k+1}) \leq v_p(U_{mn})$  แล้ว  $v_p(V_n^k) \leq v_p(m)$

17.2 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$  และ  $2 | n$  แล้ว  $V_n^{\min(k, v_2(m))} | m$

17.3 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$  และ  $2 | n$  แล้ว  $V_n^{\min(k, v_2(m))} || m$

17.4 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$  และ  $2 \nmid n$  แล้ว  $V_n^k | m$

17.5 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$   $2 \nmid n$  และ  $\frac{V_n^{k+2}}{2} \nmid U_{mn}$  แล้ว  $V_n^k || m$

17.6 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$   $2 \nmid n$  และ  $\frac{V_n^{k+2}}{2} | U_{mn}$  แล้ว  $V_n^{k+1} || m$

ทฤษฎีบทที่ 18 Onphaeng and Pongsriam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง

$(a, b) = 1$   $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่  $m$  เป็นจำนวนคู่  $y_p = \left\lfloor \frac{v_p(m)}{v_p(V_n)} \right\rfloor$  สำหรับทุกจำนวนเฉพาะคี่  $p$  ที่หาร  $V_n$

ลงตัว  $c = v_2(U_6) - 1$

$t = \min(\{v_2(n) + c - 1\} \cup \{y_p - k | p \text{ เป็นจำนวนเฉพาะคี่ที่หาร } V_n \text{ ลงตัว}\})$

และ  $s = \min(\{c - 1\} \cup \{y_p - k | p \text{ เป็นจำนวนเฉพาะคี่ที่หาร } V_n \text{ ลงตัว}\})$  จะได้ว่า

18.1 ถ้า  $V_n^k | m$  แล้ว  $V_n^{k+1} | U_{mn}$

18.2 ถ้า  $V_n^k || m$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{3}$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

18.3 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

18.4 ถ้า  $V_n^k | m$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $t \geq 0$  และ  $V_n^{k+t+1} | U_{mn}$

18.5 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $V_n^{k+t+1} || U_{mn}$

18.6 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} \nmid m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

18.7 ถ้า  $V_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $s \geq 0$  และ  $V_n^{k+s+1} | U_{mn}$

18.8 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2} | m$  แล้ว  $V_n^{k+s+1} || U_{mn}$

18.9 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $4 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2^c} \nmid m$  แล้ว  $V_n^{k+1} || U_{mn}$

18.10 ถ้า  $V_n^k | m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $4 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2^c} | m$  แล้ว  $V_n^{k+2} | 2^c U_{mn}$

18.11 ถ้า  $V_n^k || m$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $4 | a^2 + 3b$  และ  $\frac{V_n^{k+1}}{2^c} | m$  แล้ว  $V_n^{k+2} || 2^c U_{mn}$

ทฤษฎีบทที่ 19 Onphaeng and Pongsriam (2021) ให้  $k, n, m$  เป็นจำนวนนับ  $a, b$  เป็นจำนวนเต็มซึ่ง

$(a, b) = 1$   $a$  และ  $b$  เป็นจำนวนคี่ และ  $m$  เป็นจำนวนคู่ จะได้ว่า

19.1 สำหรับทุกจำนวนเฉพาะคี่  $p$  ที่หาร  $V_n$  ลงตัว ถ้า  $v_p(V_n^{k+1}) \leq v_p(U_{mn})$  แล้ว  $v_p(V_n^k) \leq v_p(m)$

- 19.2 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{3}$  แล้ว  $V_n^k | m$
- 19.3 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$  และ  $n \not\equiv 0 \pmod{3}$  แล้ว  $V_n^k || m$
- 19.4 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $v_2(m) \geq k$  แล้ว  $V_n^k | m$
- 19.5 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $v_2(m) \geq k$  แล้ว  $V_n^k || m$
- 19.6 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$   $n \equiv 0 \pmod{6}$  และ  $v_2(m) < k$  แล้ว  $V_n^{v_2(m)} | m$
- 19.7 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $v_2(m) \geq k$  แล้ว  $V_n^k | m$
- 19.8 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $v_2(m) \geq k$  แล้ว  $V_n^k || m$
- 19.9 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$   $2 | a^2 + 3b$  และ  $v_2(m) < k$  แล้ว  $V_n^{v_2(m)} | m$
- 19.10 ถ้า  $V_n^{k+1} | U_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $4 | a^2 + 3b$  แล้ว  $V_n^k | m$
- 19.11 ถ้า  $V_n^{k+1} || U_{mn}$   $n \equiv 3 \pmod{6}$  และ  $4 | a^2 + 3b$  แล้ว  $V_n^k || m$

เมื่อรวมผลลัพธ์ ทฤษฎีบทที่ 10-19 ของ Onphaeng and Pongsriam (2020,2021) เราจะได้ว่า ปัญหาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) ที่เริ่มโดย Matiyasevich ในปี ค.ศ. 1970 นั้นครบถ้วนสมบูรณ์แล้วในปี ค.ศ. 2021 รวมเวลาทั้งสิ้น 51 ปี

### แนวทางในการพัฒนาสมบัติอื่น ๆ

สำหรับแนวทางในการขยายปัญหานี้ ผู้จัดทำขอเสนอสองแนวทาง แนวทางแรกศึกษาเศษเหลือจากการหาร ซึ่งจะมีตัวอย่างเป็นผลลัพธ์ใน Onphaeng and Pongsriam (2014) Panraksa et al. (2013) Patra et al. (2022) แนวทางที่สองศึกษาสมบัติเดียวกันนี้กับลำดับอื่น ๆ

### บทสรุป

หลายครั้งที่ปัญหาทางคณิตศาสตร์เริ่มต้นแก้จากจุดเล็ก ๆ และขยายไปเรื่อย ๆ จนครบถ้วนสมบูรณ์ ปัญหาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงก็เช่นเดียวกันถึงแม้จะใช้เวลาทั้งสิ้น 51 ปี ก็ตามแต่เมื่อเราสังเกตดูแล้วจะเห็นว่า การพัฒนาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงในช่วงแรกจะค่อนข้างช้าใช้เวลาถึง 48 ปี ปัญหาสมบัติการหารลงตัวและการหารลงตัวอย่างแท้จริงด้วยกำลังของจำนวนในลำดับฟีโบนัชชี (Fibonacci sequence) และลำดับลูคาส์ (Lucas sequence) จึงจะครบถ้วนสมบูรณ์ แต่เมื่อขยายปัญหาไปลำดับลูคาส์ชนิดที่หนึ่งและชนิดที่สอง (Lucas sequences of the first and second kinds) ซึ่งเป็นลำดับที่ทั่วไปกว่าและมีกรณีแยกย่อยกว่ามาก แต่กลับใช้เวลาเพียง 3 ปี ในการแก้ปัญหานี้ ส่วนหนึ่งอาจจะมาจากการที่เรามีเครื่องมือในการแก้ปัญหาคือดีซีเอ็นและเรามีแนวทางในการแก้ปัญหาคือที่ได้มาจากความสำเร็จในการแก้ปัญหาค้างก่อนหน้า

## อ้างอิง

- Hoggatt, V. E., and Bicknell-Johnson, M. (1977). Divisibility by Fibonacci and Lucas squares. *The Fibonacci Quarterly*, 15(1), 3 – 8.
- Matiyasevich, Y. (1970). Enumerable Sets are Diophantine. *Proc. of the Academy of Sciences of the USSR*, 11(2), 354 – 358.
- Onphaeng, K., and Pongsriiam, P. (2020). Exact divisibility by powers of the integers in the Lucas sequence of the first kind. *AIMS Mathematics*, 5(6), 6739 – 6748.
- Onphaeng, K., and Pongsriiam, P. (2021). Exact divisibility by powers of the integers in the Lucas sequences of the first and second kinds. *AIMS Mathematics*, 6(11), 11733 – 11748.
- Onphaeng, K., and Pongsriiam, P. (2014). Subsequences and divisibility by powers of the Fibonacci numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 52(2), 163 – 171.
- Onphaeng, K., and Pongsriiam, P. (2018). The converse of exact divisibility by powers of the Fibonacci and Lucas numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 56(4), 296 – 302.
- Panraksa, C., and Tangboonduangjit, A. (2018). p-adic valuation of Lucas iteration sequences. *The Fibonacci Quarterly*, 56(4), 348 – 353.
- Panraksa, C., Tangboonduangjit, A. and Wiboonton, K. (2013). Exact divisibility properties of some subsequence of Fibonacci numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 51(4), 307 – 318.
- Patra, A., Panda, G. K., and Khemaratchatakumthorn, T. (2021). Exact divisibility by powers of the balancing and Lucas-balancing numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 59(1), 57 – 64.
- Patra, A., Panda, G. K., Onphaeng, K., Phunphayap, P. and Khemaratchatakumthorn, T. (2022). Subsequences and exact divisibility by the powers of the balancing numbers. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 17(2), 611 – 617.
- Pongsriiam, P. (2014). Exact divisibility by powers of the Fibonacci and Lucas numbers. *Journal Integer Sequences*, 17, Article 14.11.2. <https://cs.uwaterloo.ca/journals/JIS/VOL17/Pongsriiam/pong6.pdf>
- Tangboonduangjit, A. and Wiboonton, K. (2012). Divisibility properties of some subsequence of Fibonacci numbers. *East-West Journal Mathematics*, Special Volume, 331 – 336.

## คำแนะนำการเตรียมและส่งต้นฉบับ

### วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

วารสารวิทยาศาสตร์ปริติยาธร เป็นวารสารที่รับตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาต่างๆ ประกอบด้วย สาขาชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ สถิติ และสารสนเทศ และด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ โดยบทความที่จะตีพิมพ์เผยแพร่ ต้องเป็นผลงานวิจัยที่แล้วเสร็จไม่เกิน 5 ปี ไม่เคยตีพิมพ์หรืออยู่ในระหว่างพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น เมื่อได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ ถ้าเป็นบทความวิจัยที่เป็นหรือเป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ต้องมีหนังสือรับรองและลงนามทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาหลักและนักศึกษาผู้ทำวิทยานิพนธ์/ดุษฎีนิพนธ์ กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับเพื่อความเหมาะสมและเป็นไปตามเกณฑ์ที่กองบรรณาธิการกำหนด โดยบทความที่จะตีพิมพ์เผยแพร่ ต้องผ่านการพิจารณาถ่วงถ่วง ตรวจสอบจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ที่มีความรู้ ความชำนาญ มีประสบการณ์ ในด้านที่เกี่ยวข้องในการประเมินบทความ เพื่อให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ที่เป็นประโยชน์ก่อนการตีพิมพ์เผยแพร่จำนวนอย่างน้อย 2 ท่าน โดยจะไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้เขียนและผู้ประเมินบทความ (Double blinded peer review)

#### ประเภทของบทความ

1. บทความวิจัย
2. บทความวิชาการ
3. บทความปริทัศน์ บทความพิเศษ และปกิณกะ

#### การเตรียมบทความต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์ด้วยคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูป MS Word 97/03 for Windows แบบอักษร TH SARABUN PSK ขนาดตัวอักษร 16 อักษรปกติ พิมพ์หน้าเดียวบนกระดาษ A4 ระยะขอบกระดาษ ด้านบน-ด้านล่าง 2.54 ซม. ด้านใน 2.54 ซม. ด้านนอก 2.54 ซม. และจำนวนหน้าของบทความไม่ควรเกิน 20 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
2. ชื่อเรื่อง ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ พิมพ์ไว้หน้าแรกตรงกลางขนาดตัวอักษร 20 ตัวหนา
3. ชื่อผู้เขียน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ อยู่ใต้ชื่อเรื่องโดยชิดขอบกระดาษด้านขวา ขนาด ตัวอักษร 14 อักษรปกติและให้ระบุตัวเลขเป็นตัวยกท้ายชื่อผู้เขียน เพื่อแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสถานที่ทำงานของผู้เขียนบทความทุกคนไว้ที่เชิงบรรทัดในหน้าแรก

4. ชื่อหน่วยงานของผู้เขียน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ อยู่ส่วนล่างสุดที่เชิงอรรถในหน้าแรก ขนาดตัวอักษร 12 หนา ระบุหน่วยงานรองและหน่วยงานหลัก และระบุตัวเลขเป็นตัวยกหน้าชื่อหน่วยงานผู้เขียนทุกท่าน และ E-mail Address ของผู้เขียนหลักเพื่อเป็น Corresponding Author

5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ

6. คำสำคัญ (Key words) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ (จำนวน 3-5 คำ)

7. การพิมพ์หัวข้อ หัวข้อใหญ่สุด ให้ขีดขอบด้านซ้าย หัวข้อย่อยเว้นห่างจากหัวข้อใหญ่ 4 ตัวอักษร และหัวข้อย่อยขนาดเดียวกัน ต้องพิมพ์ให้ตรงกัน เมื่อขึ้นหัวข้อใหญ่ควรเว้นระยะพิมพ์หนึ่งบรรทัด

8. การใช้ตัวเลขคำย่อ และวงเล็บควรใช้เลขอารบิกทั้งหมด ใช้คำย่อ ที่เป็นสากลเท่านั้น (ระบุคำเต็ม ไว้ในครั้งแรก) การวงเล็บภาษาอังกฤษ ควรใช้ดังนี้ (Student centered learning)

9. กรณีมีรูปภาพ บันทึกเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล JPEGs หรือ Tiffs เท่านั้น

10. บทความวิจัย ให้เรียงลำดับสาระ ดังนี้

10.1 บทคัดย่อ (Abstract)

10.2 บทนำ ระบุความสำคัญของปัญหาการวิจัย กรอบแนวคิด สมมุติฐาน การ ทบทวนหรืออ้างอิงเอกสาร/ทฤษฎี/งานวิจัย ที่นำไปสู่กรอบแนวคิดหรือวัตถุประสงค์การวิจัย

10.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

10.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

10.5 วิธีการวิจัย (Research methodology) ระบุแบบแผนการวิจัยการได้มาซึ่งกลุ่มตัวอย่าง และการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การหาคุณภาพเครื่องมือ วิธีการ เก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

10.6 ผลการวิจัย (Results) เสนอผลที่พบตามวัตถุประสงค์การวิจัยตามลำดับอย่างชัดเจน ควรเสนอในรูปตารางหรือแผนภูมิ

10.7 อภิปรายผล (Discussion) เสนอเป็นความเรียง ชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของผลการวิจัยกับกรอบแนวคิด และงานวิจัยที่ผ่านมา ไม่ควรอภิปรายเป็นข้อ ๆ แต่ชี้ให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของตัวแปรที่ศึกษาทั้งหมด

10.8 สรุป (Conclusions) ระบุข้อสรุปที่สำคัญ สอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือไม่

10.9 ข้อเสนอแนะ (Suggestion) ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ และสำหรับการวิจัยต่อไป

10.10 รายการอ้างอิง (References) ต้องเป็นรายการที่มีการอ้างอิงไว้ในเนื้อหาเท่านั้น รายการอ้างอิงที่นำมาอ้างอิงต้องมีความทันสมัย ทันต่อเหตุการณ์ และควรตีพิมพ์เผยแพร่ไม่เกิน 5 ปีย้อนหลัง และให้เขียนเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด

11. บทความวิชาการ ประกอบด้วย

11.1 บทคัดย่อ (Abstract)

11.2 บทนำ (Introduction)

11.3 เนื้อเรื่อง (Content) แสดงสาระสำคัญที่ต้องการนำเสนอตามลำดับ

11.4 บทสรุป (Conclusion)

11.5 ข้อเสนอแนะ (Suggestion)

11.6 รายการอ้างอิง (References)

12. การพิมพ์เอกสารอ้างอิง ให้ใช้ APA Formatted References, 7th edition ดังรายละเอียดท้ายเล่ม

13. การเขียนตาราง เขียนด้วยตัวหนา ขีดขอบซ้ายเส้นตารางให้มีเฉพาะแนวนอนตรงหัวและท้ายตารางเท่านั้น กรณีที่มีหมายเหตุใต้ตารางให้เขียนด้วยตัวปกติ ดังตัวอย่าง

**ตารางที่ 3** จำนวนรากของยอดดาวเรืองที่วางเลี้ยงบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นต่างๆ เป็นเวลา 3 สัปดาห์

สูตรอาหาร	ปริมาณรากที่เกิดขึ้น
MS + 150 ml/l CW	++++
MS + 150 ml/l CW + 1 mg/l BA	+++
MS + 150 ml/l CW + 3 mg/l BA	++
MS + 150 ml/l CW + 5 mg/l BA	+

หมายเหตุ	เครื่องหมาย (-)	= ไม่เกิดราก
	เครื่องหมาย (+)	= 1-5 ราก
	เครื่องหมาย (++)	= 6-10 ราก
	เครื่องหมาย (+++)	= 11-15 ราก

เครื่องหมาย (++++ ) = 16-20 ราก

## ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

### 1. การอ้างอิงในเนื้อหา

ใช้ระบบนาม-ปี (Author's last name – year of Publication) กรณีบทความวิจัย(paper) และเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ(proceeding) ตัวอย่างเช่น

ผู้เขียน 1 คน: (Siripan, 2016)

ผู้เขียน 2 คน: (Siripan & Kaewchai, 2016)

ผู้เขียน 3-5 คน: การอ้างครั้งแรกให้ใส่ชื่อสกุลของทุกคน และการอ้างครั้งต่อไปให้ใส่เฉพาะชื่อสกุลของคนแรก แล้วตามด้วย et al. ตัวอย่างเช่น

(Seeley, VanPutte, Regan, & Russo, 2016) ในการอ้างครั้งแรก

และ (Seeley et al., 2016) ในการอ้างครั้งต่อไป

ผู้เขียนตั้งแต่ 6 คนขึ้นไป: อ้างครั้งแรกและครั้งต่อไป ให้ใส่เฉพาะชื่อสกุลของคนแรก แล้วตามด้วย et al. เช่น

(Chongchareon et al., 2016)

### 2. การอ้างอิงในรายการอ้างอิง

#### 2.1 การอ้างอิงทั่วไป

1) ถ้าผู้เขียนไม่เกิน 7 คน ใส่ชื่อผู้เขียนทุกคน ถ้าผู้เขียนตั้งแต่ 8 คนขึ้นไป ให้ใส่ชื่อ 6 คนแรกและตาม ด้วย...และชื่อผู้เขียนคนสุดท้าย

2) ถ้าแหล่งอ้างอิงมาจากหนังสือ หนังสือออนไลน์ หรือ ebook ให้เอียงชื่อหนังสือ

3) ถ้าแหล่งอ้างอิงมาจากวารสาร ให้เอียงชื่อวารสาร

4) ถ้าแหล่งอ้างอิงเป็นเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ ให้เอียงชื่อการประชุม

5) กรณีบทความวิจัย (paper) และ เอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ (proceeding) ที่รายการอ้างอิง ไม่มีภาษาอังกฤษให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ และให้วงเล็บ (in Thai) ตัวอย่างเช่น

Oliveira, L.F., Correa, J.L.G., Tosato P.G., Borges S.V., Alves J.G.L.F., & Fonseca, B.E. (2011).

Sugarcane Bagasse Drying in a Cyclone: Influence of Device Geometry and Operational Parameters. *Drying Technology*, 29, 946-952.

Grimm, A., Elustondob, D., Mäkelä, M., Segerström M., Kalén, G., Fraikin L., Larsson, H. S. (2017). Drying recycled fiber rejects in a bench-scale cyclone: Influence of device geometry and operational parameters on drying mechanisms. *Fuel Processing Technology*, 167, 631-640.

Suriyawongpaisarn, P., Srithamrongsawat, S., Hempisut, P., Aueasiriwon, B., Pholpark, A., & Wannasri. A. (2013). *The Emergency Management System of the Regional Emergency Medical System*. Health Insurance System. Research Office (HISRO). Health System Research Institute (HSRI). (in Thai).

## 2.2 ผู้เขียนเป็นหน่วยงาน ตัวอย่างเช่น

National Institute of Emergency Medicine. (2014). *The gap of Thai Emergency Medicine: Report Emergency Medical Service System 2013*. (1st ed.) Bangkok. NP Press.

Muangjunburee, P. (2012). *Welding Engineering*. Songkhla: Educational Technology, Faculty of Engineering, Prince of Songkhla University.

## 2.3 การอ้างอิงเฉพาะบทในหนังสือ ตัวอย่างเช่น

Sahieam, C. (2014). Nurse case management for clients with diabetes mellitus. In Sindhu S, Wongrod P. (editor). *Case management for clients with diabetes mellitus and hypertension* (2nd ed.) (pp.9-46). Bangkok: Wattanakanpim Printting.

Benedyk, J. (2010). Aluminum alloys for lightweight automotive structures. *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles, Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*, 79-113.

## 2.4 การอ้างอิงเอกสารจากอินเทอร์เน็ต ตัวอย่างเช่น

Inada, K. A. (1995). Buddhist response to the nature of human rights. *Journal of Buddhist Ethics*  
Retrieved May 21, from <http://www.psu.edu/jbe.html>

## 2.5 วิทยานิพนธ์ตัวอย่างเช่น

Siriphan, S. (2011). *Development of an Instructional Model Emphasizing Cultural*



*Competency of Nursing Students. A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctor of Philosophy School of Educational Studies Sukhothai Thammathirat Open University. (in Thai).*

## 2.6 บทความในวารสาร

Sangnimitchaikul, W. (2012). Student-centered learning: A case study of Instructional model in the nursing care of children and adolescents course at the faculty of Nursing, Thammasat University. *Journal of Nursing and Education*, 5(2), 64-76.

### ข้อแนะนำในการส่งต้นฉบับ

เมื่อผู้เขียนเตรียมไฟล์ต้นฉบับตามการเตรียมต้นฉบับบทความวิจัย/บทความวิชาการแล้ว สามารถส่งไฟล์ต้นฉบับทาง E-mail: journal sci@pnu.ac.th

### ข้อแนะนำการส่งเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ผู้เขียนศึกษา ตรวจสอบขั้นตอนการส่งบทความวิจัย/วิชาการ และดาวน์โหลดเอกสารที่เกี่ยวข้อง ที่เว็บไซต์ <https://www2.st.pnu.ac.th/journal/index.php> หลังจากนั้นส่งเอกสารที่เกี่ยวข้องและบทความต้นฉบับ จำนวน 1 ชุด ทางไปรษณีย์ ส่งมาที่

บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ปริทัศน์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

99 หมู่ 8 ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000

## การเขียนอ้างอิง APA ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 7

### การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา (Citing References in Text)

การเขียนอ้างอิงแหล่งที่มาของสารสนเทศที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าและวิจัย ซึ่งนำมาอ้างไว้ในเนื้อหาวิทยานิพนธ์ทั้งที่เป็นการสรุปแนวคิดหรือเป็นการคัดลอกข้อความหรือแนวคิดมาใช้ โดยตรง ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จะต้องระบุแหล่งที่มาหรืออ้างถึงสารสนเทศให้ถูกต้องชัดเจนและครบถ้วน โดยการใช้ระบบนาม-ปี (Author-Date Citation System) ประกอบด้วย ข้อมูลชื่อผู้แต่ง และปีพิมพ์

รูปแบบการอ้างอิงแบบแทรกในเนื้อหาที่วางข้อมูลนาม-ปี มีหลักเกณฑ์ดังนี้

#### 1. ข้อมูลนาม-ปี ไว้หน้าข้อความและท้ายข้อความ

1.1 กรณีชื่อผู้แต่งปรากฏในเนื้อหาแล้ว ให้ใส่ปีพิมพ์อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ วางไว้ หน้าข้อความที่อ้างอิง

##### ผู้แต่ง (ปีพิมพ์)

รสสุคนธ์ แสงมณี (2560) ได้วิจัยเรื่อง การใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นร่วมกับพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงในสามจังหวัดชายแดนภาคใต้...

In this article, Campbell (2021) recounts his research into the literacy experiences of eight junior high students...

1.2 กรณีชื่อผู้แต่งไม่ปรากฏในเนื้อหา ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง ตามด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) และปีพิมพ์ อยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ วางต่อท้ายข้อความที่อ้างอิง

##### (ผู้แต่ง, ปีพิมพ์)

มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ เป็นมหาวิทยาลัยที่เกิดจากการหลอมรวมของสถาบันการศึกษาในจังหวัดนราธิวาส 4 สถาบัน... (จงรัก พลาศัย, 2557)

Digitalization in education, arranging educational content using technological opportunities and applying gamification in education becomes important in terms of the effectiveness of education. (Arisoy, 2012)

#### 2. การลงชื่อผู้แต่ง

##### 2.1 คำนำหน้าชื่อ

ไม่ใช่คำนำหน้าชื่อ ได้แก่ นาย นาง หรือนางสาว

2.2 ไม่ใส่ยศทหาร ตำรวจ มีตำแหน่งทางวิชาการ หรือมีคำเรียกทางวิชาชีพ ให้ใส่เฉพาะชื่อ ผู้แต่ง

พล.อ. เปรม ติณสูลานนท์	ลงชื่อผู้แต่งเป็น เปรม ติณสูลานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุฮัมมัด อูมูดี	ลงชื่อผู้แต่งเป็น มุฮัมมัด อูมูดี
ทันตแพทย์หญิงลีนา กิรติวุฒิ	ลงชื่อผู้แต่งเป็น ลีนา กิรติวุฒิ
Professor Dr. Rossukon Sangmanee	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Rossukon Sangmanee

2.3 ผู้แต่งชาวไทย

ให้ใส่ชื่อ ตามด้วยชื่อสกุลผู้แต่ง โดยไม่มีเครื่องหมายคัน

รัตนะ บัวสนธ์	ลงชื่อผู้แต่งเป็น รัตนะ บัวสนธ์
นงนภัส คู่วรัญญู เทียงกมล	ลงชื่อผู้แต่งเป็น นงนภัส คู่วรัญญู เทียงกมล

2.4 ผู้แต่งชาวต่างประเทศ

ให้ใส่เฉพาะชื่อสกุลผู้แต่ง

Ahmad Asmuni	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Asmuni
John W. Creswell	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Creswell
Harrison Michael Campbell	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Campbell

2.5 ผู้แต่งที่มีฐานันดรศักดิ์หรือบรรดาศักดิ์

ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง และชื่อสกุลผู้แต่ง คันด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) และฐานันดรศักดิ์หรือ ตัวย่อของฐานันดรศักดิ์

หม่อมราชวงศ์คึกฤทธิ์ ปราโมช	ลงชื่อผู้แต่งเป็น คึกฤทธิ์ ปราโมช, ม.ร.ว.
คุณหญิงศศิมา ศรีวิกรม์	ลงชื่อผู้แต่งเป็น ศศิมา ศรีวิกรม์, คุณหญิง
His Majesty King Maha Vajiralongkorn Phra Vajiraklaochaoyuhua	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Maha Vajiralongkorn Phra Vajiraklaochaoyuhua, His Majesty King

2.6 ผู้แต่งที่มีสมณศักดิ์

ให้ใส่ชื่อสมณศักดิ์ หรือนามแฝงตามข้อมูลที่ปรากฏ

พระมหาจุฬิชาชัย วชิรเมธี	ลงชื่อผู้แต่งเป็น พระมหาจุฬิชาชัย วชิรเมธี
พระธรรมโกศาจารย์	ลงชื่อผู้แต่งเป็น พระธรรมโกศาจารย์
พระครูปลัดราชันย์ อริโย	ลงชื่อผู้แต่งเป็น พระครูปลัดราชันย์ อริโย
Phra Buddhacara Toh	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Phra Buddhacara Toh
Phramarangsi	Phramarangsi

2.7 ผู้แต่งที่ใช้นามแฝง

ให้ใส่นามแฝงตามที่ปรากฏ

นิ้วกลม	ลงชื่อผู้แต่งเป็น นิ้วกลม
Robert Galbraith	ลงชื่อผู้แต่งเป็น Robert Galbraith

3. การลงชื่อผู้แต่งในการอ้างอิงแบบแทรกในเนื้อหา

3.1 ผู้แต่ง 1 คน

กรณีผู้แต่งชาวไทย ให้ใส่ชื่อ ตามด้วยชื่อสกุลผู้แต่ง โดยไม่มีเครื่องหมายค้น

กรณีผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่เฉพาะชื่อสกุล

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ	การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ
กฤติยา อ่องวุฒิวัดน์ (2560)	(กฤติยา อ่องวุฒิวัดน์, 2560)
Brickman (2021)	(Brickman, 2021)

3.2 ผู้แต่งหลายคน

3.2.1 ผู้แต่ง 2 คน

กรณีผู้แต่งชาวไทย ให้ใส่ชื่อและชื่อสกุลผู้แต่งทั้ง 2 คน ใช้คำว่า **และ** คั่น ระหว่าง ผู้แต่งคนที่ 1 และคนที่ 2

กรณีผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อสกุลผู้แต่งทั้ง 2 คน ใช้คำว่า **and** คั่นระหว่าง ผู้แต่งคนที่ 1 และคนที่ 2 หากชื่อสกุลผู้แต่งอยู่ในเครื่องหมายวงเล็บ ให้ใส่เครื่องหมาย **&**

<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ</b>	<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ</b>
กาญจนา โกทียะ และศิริพันธุ์ ศิริพันธุ์ (2559) Sutter and Jue (2021)	(กาญจนา โกทียะ และศิริพันธุ์ ศิริพันธุ์, 2559) (Sutter & Jue, 2021)

3.2.2 ผู้แต่ง 3 คน หรือ 3 คน ขึ้นไป

กรณีผู้แต่งชาวไทย และผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่เฉพาะชื่อผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำว่า **และคณะ** หรือคำว่า **et al.**

<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ</b>	<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ</b>
เครือวัลย์ ห้วนกั๋ง และคณะ (2565) Sayoh et al. (2020)	(เครือวัลย์ ห้วนกั๋ง และคณะ, 2565) (Sayoh et al., 2020)

3.3 ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

3.3.1 ให้ใส่ชื่อหน่วยงาน สถาบัน สมาคม หรือบริษัท แทนชื่อผู้แต่ง สำหรับการอ้างอิงครั้งแรก ให้ใส่ชื่อเต็มของหน่วยงาน ตามด้วยอักษรย่อ ในเครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม [ ] และการอ้างอิงครั้งต่อไป ให้ใช้เฉพาะอักษรย่อ หากอักษรย่อบางหน่วยงานซ้ำกัน ให้ใส่ชื่อเต็มของหน่วยงานในการอ้างอิงทุกครั้ง

<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ (ครั้งแรก)</b>	<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ (ครั้งต่อมา)</b>
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช., 2560) World Health Organization (WHO, 2020)	วช. (2560) WHO (2020)

<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ (ครั้งแรก)</b>	<b>การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ (ครั้งต่อมา)</b>
(สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ [วช.], 2560) (World Health Organization [WHO], 2020)	(วช., 2560) (WHO, 2020)

3.3.2 กรณีที่มีทั้งชื่อหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย เฉพาะต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อหน่วยงานใหญ่ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ตามด้วยชื่อหน่วยงานย่อย

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ	การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ คณะ แพทยศาสตร์ (2561) University of Southampton, Faculty of Health Sciences (2021)	(มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ คณะ แพทยศาสตร์, 2561) (University of Southampton, Faculty of Health Sciences, 2021)

3.4 การอ้างอิงเอกสารมากกว่าหนึ่งงานจากผู้แต่งคนเดียว ปีพิมพ์ต่างกัน

ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง และลงเฉพาะปีพิมพ์ โดยเรียงลำดับตามปีพิมพ์ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) หากเอกสารอยู่ระหว่างการจัดพิมพ์ ให้ใส่คำว่า กำลังจัดพิมพ์ หรือ in press ต่อจากปีพิมพ์ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , )

(ยุทธ ไถยวรรณ, 2556, 2557, 2559) (เดชดนัย จุ้ยชุม และคณะ, 2564, 2565, กำลังจัดพิมพ์) (Stufflebeam, 2000, 2004, 2007) (Gogel, 1996, 2006, in press)
---

3.5 การอ้างอิงเอกสารมากกว่าหนึ่งงานจากผู้แต่งคนเดียว ปีพิมพ์ซ้ำกัน

ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง และลงปีพิมพ์โดยเรียงลำดับปีพิมพ์ด้วยการใส่ตัวอักษร ก, ข, ค, ง,... หรือ a, b, c, d,... ท้ายปีพิมพ์แต่ละปีคั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , )

(ทรงศักดิ์ ภูสีอ่อน, 2561ก, 2561ข) (Danielson, 1997a, 1997b)
---

3.6 การอ้างอิงเอกสารมากกว่าหนึ่งงานที่ผู้แต่งต่างกัน

ให้ใส่ชื่อผู้แต่ง โดยเรียงตามลำดับอักษร แยกแต่ละรายการอ้างอิง โดยคั่นด้วยเครื่องหมายอัฒภาค ( ; ) หากมีทั้งงานภาษาไทยและภาษาต่างประเทศ ให้เรียงรายการอ้างอิงภาษาไทยก่อน

(กิตติพิศ ทูปิยะ, 2560; โชติมา วัฒนนะ, 2563) (Knecht, et al., 2000; Moskal, 2000; Schrock, 2000)
---

3.7 การอ้างอิงเอกสารทุติยภูมิ (Secondary source)

การอ้างอิงเอกสารที่ไม่ได้ศึกษาจากเอกสารต้นฉบับ (Primary source) โดยตรง ให้ระบุชื่อผู้แต่ง และปีพิมพ์ของเอกสารต้นฉบับก่อน ให้ใส่คำว่า **อ้างถึงใน** หรือ **as cited in** และตามด้วยชื่อผู้แต่ง และปีพิมพ์ของเอกสารทุติยภูมิ

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ	การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ
สุมิตรา อังวัฒนกุล (2540, อ้างถึงใน อัจฉรา ภาบุตร และถนอมวรรณ ประเสริฐเจริญสุข, 2556) Arnett (2000, as cited in Claiborne & Drewery, 2010)	(สุมิตรา อังวัฒนกุล, 2540 อ้างถึงใน อัจฉรา ภาบุตร และถนอมวรรณ ประเสริฐเจริญสุข, 2556) (Arnett, 2000 as cited in Claiborne & Drewery, 2010)

3.8 การอ้างอิงจากการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal communication)

การสื่อสารทางจดหมาย การสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ อีเมล กระดานข่าว การสนทนาทางโทรศัพท์ การสัมภาษณ์ หรือการสนทนากลุ่ม กรณีไม่มีการเผยแพร่ข้อมูล ให้ระบุเฉพาะอ้างอิงแทรกในเนื้อหาเท่านั้น โดยไม่ต้องใส่รายการอ้างอิงท้ายเล่ม

การอ้างอิงภาษาไทย

ชื่อผู้สื่อสาร (การสื่อสารส่วนบุคคล, วัน เดือน ปี)

(ชื่อผู้สื่อสาร, การสื่อสารส่วนบุคคล, วัน เดือน ปี)

การอ้างอิงภาษาต่างประเทศ

อักษรย่อชื่อต้น. อักษรย่อชื่อกลาง. ชื่อสกุลผู้สื่อสาร (personal communication, เดือน วัน, ปี)

(อักษรย่อชื่อต้น. อักษรย่อชื่อกลาง. ชื่อสกุลผู้สื่อสาร, personal communication, เดือน วัน, ปี)

การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา หน้าข้อความ	การอ้างอิงแทรกในเนื้อหา ท้ายข้อความ
พัชรินทร์ บินเจ๊ะมิง (การสื่อสารส่วนบุคคล, 10 กุมภาพันธ์ 2563) S. Nomnian. (personal communication, September 15, 2022)	(พัชรินทร์ บินเจ๊ะมิง, การสื่อสารส่วนบุคคล, 8 กันยายน 2564) (S. Nomnian, personal communication, September 15, 2022)

### 3.9 การอ้างอิง ตาราง (Table) และรูปภาพ (Figures)

3.10.1 ตาราง ข้อมูลของตารางที่นำมาประกอบในเนื้อหาของงาน ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1) เลขที่ของตาราง ใช้คำว่า **ตารางที่** หรือ **Table** กำกับไว้ด้านบนของตาราง ตามด้วยลำดับที่ของตารางในแต่ละบท พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์หนา เช่น **ตารางที่ 3.1** หรือ **Table 3.1**

2) ชื่อตาราง อยู่ถัดจากเลขที่ของตาราง พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ปกติชื่อตารางควรกระชับและชัดเจน ในภาษาต่างประเทศ อักษรตัวแรกของแต่ละคำ ให้ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ ยกเว้นคำบุพบท และคำสันธาน

3) ตัวตาราง ระบุข้อความและตัวเลขในตารางเป็นรูปแบบคอลัมน์และแถวให้เหมาะสม โดยใช้รูปแบบเดียวกันทั้งหมด

4) การอธิบายเพิ่มเติมด้านล่างตารางที่พิมพ์ขึ้นเองโดยไม่ได้อ้างอิงจากแหล่งที่มาอื่นและที่อ้างอิงจากแหล่งที่มาอื่น

3.10.2 รูปภาพ ที่นำไปประกอบในงาน ได้แก่ กราฟ แผนผัง แผนภูมิ แผนที่ ภาพวาด และ

ภาพถ่าย ข้อมูลของรูปภาพที่นำมาประกอบในเนื้อหาของงาน ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ

1) เลขที่ของรูปภาพ ใช้คำว่า **ภาพที่** หรือ **Figure** กำกับไว้ด้านล่างของภาพ ตามด้วยลำดับที่ของภาพในแต่ละบท พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์หนา เช่น **ภาพที่ 2.1** หรือ **Figure 2.1**

2) ชื่อภาพ อยู่ถัดจากเลขที่ของภาพ พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์ปกติ

3) รูปภาพ ภาพต้องชัดเจน พิมพ์ตัวอักษรปกติใช้ขนาดเดียวกันทั้งภาพ และกำหนดสัดส่วนของภาพให้เหมาะสม

4) การอธิบายเพิ่มเติมด้านล่างภาพที่พิมพ์ขึ้นโดยไม่ได้อ้างอิงจากแหล่งที่มาอื่นและที่อ้างอิงจากแหล่งที่มาอื่น



## ตัวอย่างการอ้างอิง ตาราง และรูปภาพ

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวแปรปัจจัยส่วนบุคคลที่ส่งผลต่อการตัดสินใจใช้แหล่งสารสนเทศ  
บุคคลของกลุ่มตัวอย่าง

	B	S.E.	Wald	Sig.	Exp(B)
เพศ	-.799	.798	1.002	.317	.450
ชั้นปี	.815	.836	.951	.330	2.258
คณะ (แพทยศาสตร์) (Ref.)			10.461	.005**	
(ศิลปศาสตร์)	1.942	.805	5.815	.016*	6.972
(เกษตรศาสตร์)	-1.265	1.178	1.152	.283	.282
(วิทยาการจัดการ)	3.207	1.146	7.830	.005**	4.694
ค่าคงที่	1.236	1.985	.388	.534	3.441

Nagelkerke R Square = .203, Observes= 89.0

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$

ที่มา: รจเรช กำแพงกิจ (2564)

**Table 4.2** *Acanthamoeba* spp. from soil in Narathiwat province, Thailand identified under Microscope and PCR technique

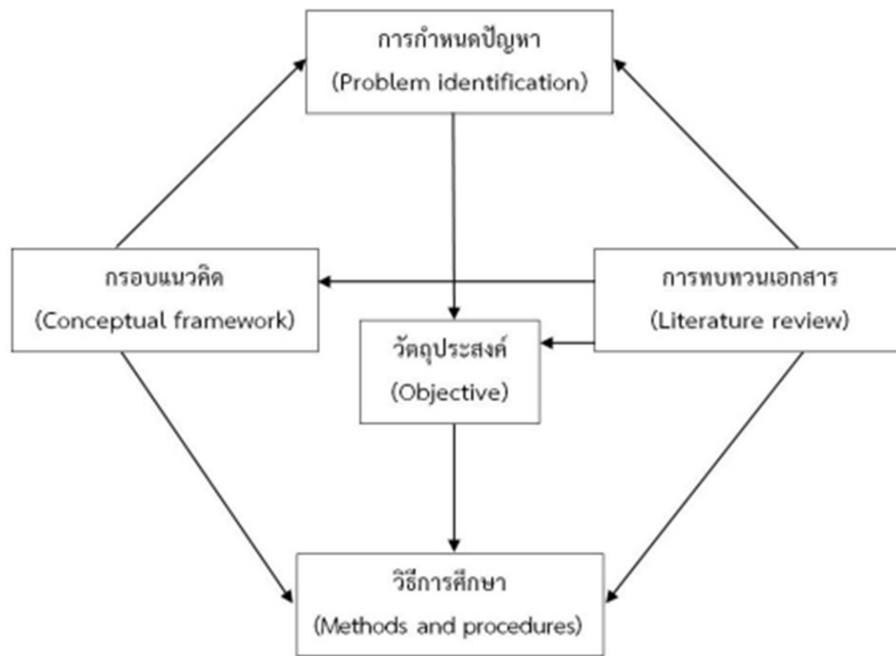
Sampling area	Sample Total	Microscopic	PCR technique
Bacho District	20	13	1
Yi-ngo District	20	16	5
Ra-ngae District	20	15	9
Total	60	44	15

Source: Hounkong et al. (2022)

**Table 4.3** The Experts' Attitude to the Main Theories of Media Education/Media Literacy

N	The main theories of media education/media literacy	The number of the experts, preferring to base on the Given theory:
1	Critical Thinking/Critical Autonomy/Critical Democratic Approach	22(84, 61%)
2	Cultural Studies Approach	18(69, 23%)
3	Sociocultural Approach	17(65, 38%)
4	Semiotic Approach	15(57, 69%)
5	Practical/Hands-On Production Approach	13(50, 00%)
6	Aesthetical/Media as Popular Arts Approach	12(46, 15%)
7	Ideological Approach	10(38, 46%)
8	Uses an Gratifications Approach	8(30, 77%)
9	Inoculatory/Protectionist/Hypodermic Needle/Civil Defense Approach	4(15, 38%)

Source: Fedorov (2007)



ภาพที่ 2.1 ความเชื่อมโยงของส่วนประกอบสำคัญในข้อเสนอโครงการวิจัย  
ที่มา: วรัญญา ภัทรสุข (2557)

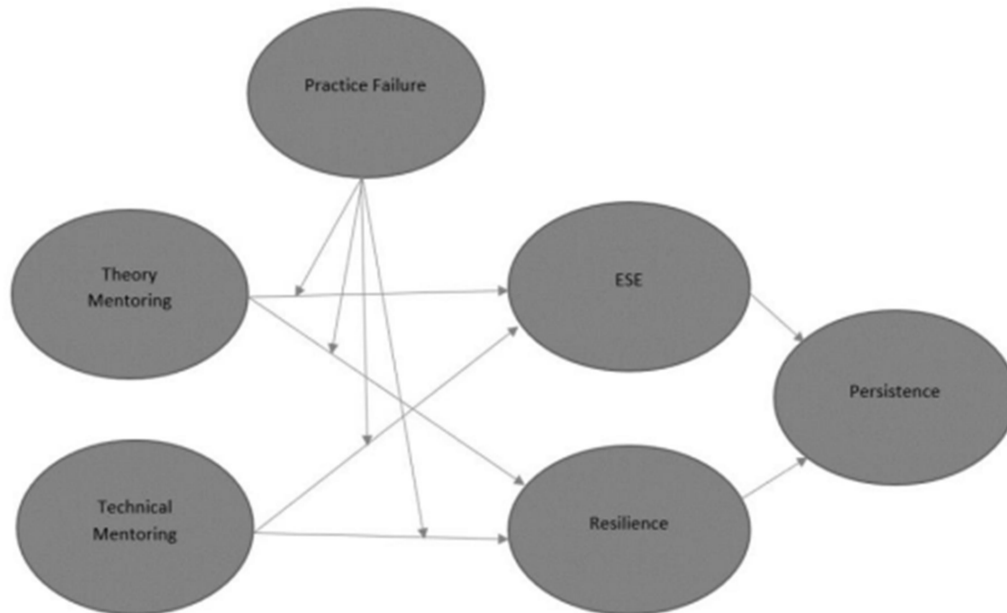


Figure 2.2 Supporting Theoretical Model

Source: Karriker and Mayo (2021)

## รายการอ้างอิงหรือบรรณานุกรม (References)

รายการอ้างอิงหรือบรรณานุกรมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของการเขียนงานวิชาการ ซึ่งรวบรวมรายการอ้างอิงทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา ค้นคว้าและวิจัย การเขียนรายการอ้างอิงแต่ละรายการจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับแหล่งข้อมูลแต่ละประเภท จึงควรศึกษาและเขียนรายการอ้างอิงให้ถูกต้องตามรูปแบบแต่ละประเภท มีหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

### 1. การลงชื่อผู้แต่ง

#### 1.1 ผู้แต่ง 1 คน

กรณีผู้แต่งชาวไทย ให้ใส่ชื่อ ตามด้วยชื่อสกุลผู้แต่ง โดยไม่มีเครื่องหมายใด ๆ คั่น

กรณีผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อสกุล คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ตามด้วย อักษรย่อชื่อต้น และอักษรย่อชื่อกลาง (ถ้ามี)

#### ผู้แต่งชาวไทย

รัตนะ บัวสนธ์

ลงชื่อผู้แต่งเป็น รัตนะ บัวสนธ์

นงนภัส คู่ขวัญญู เทียงกมล

ลงชื่อผู้แต่งเป็น นงนภัส คู่ขวัญญู เทียงกมล

#### ผู้แต่งชาวต่างประเทศ

Ahmad Asmuni

ลงชื่อผู้แต่งเป็น Asmuni, A.

John W. Creswell

ลงชื่อผู้แต่งเป็น Creswell, J. W.

Harrison Michael Campbell

ลงชื่อผู้แต่งเป็น Campbell, H. M.

#### 1.2 ผู้แต่ง 2 คน

กรณีผู้แต่งชาวไทย ให้ใส่ชื่อและชื่อสกุลผู้แต่งทั้ง 2 คน ใช้คำว่า **และ** คั่นระหว่างผู้แต่ง คนที่ 1 และคนที่ 2

กรณีผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อสกุล คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ตามด้วยอักษรย่อชื่อต้น และอักษรย่อชื่อกลางของผู้แต่งทั้ง 2 คน โดยใส่เครื่องหมายจุลภาคคั่น และตามด้วย **&** หน้าชื่อสกุลผู้แต่งคนที่ 2

กาญจนา โกทียะ และศิริพันธุ์ ศิริพันธุ์

Sutter, J., & Jue, A.

## 1.3 ผู้แต่ง 3-20 คน

กรณีผู้แต่งชาวไทย ให้ใส่ชื่อและชื่อสกุลผู้แต่งทุกคน คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ใช้คำว่า **และ** หน้าชื่อผู้แต่งคนสุดท้าย

กรณีผู้แต่งชาวต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อสกุล คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ตามด้วยอักษรย่อชื่อต้น และอักษรย่อชื่อกลางของผู้แต่งทุกคน โดยใส่เครื่องหมายจุลภาคคั่นระหว่างผู้แต่งทุกคนและตามด้วย **&** หน้าชื่อสกุลผู้แต่งคนสุดท้าย

ปริญญา พานิชย์, ประไพพิศ ถาวรศรี, ทวีศักดิ์ ชัตติยวรรณ, ประทาน ศรีชัย,  
พิมพ์ประไพ ไผ่สุข, สุมาลี เรืองหนู, ภรณ์ทิพย์ ศรีหมั่น, อภิญญา บุรีศรี, วุฒิชัย  
วัฒนาพันธ์, ญัฐภัทร แก้วบุญ, พิสมัย วิชราทักษิณ, ฉลองรัตน์ วงษ์วรรณ,  
ณัฐพงศ์ทองจันทร์ และธิติมา พานิชย์  
Fonghoi, W., Tayjasnant, C., & Nomnian, S.

## 1.4 ผู้แต่ง 21 คน ขึ้นไป

ให้ใส่ชื่อผู้แต่งคนที่ 1 ถึงผู้แต่งคนที่ 19 คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ระหว่างผู้แต่งทุกคน ตามด้วยเครื่องหมายมหัพภาค 3 จุด ( . . . ) โดยหน้าและหลังของแต่ละจุด ต้องเว้นวรรค 1 ตัวอักษร และตามด้วยชื่อผู้แต่งคนสุดท้าย

Yagi, K., Sato, Y., Sakaguchi, S., Goda, M., Hamano, H., Aizawa, F.,  
Shimizu, M., Inoue-Hamano, A., Nishimori, T., Tagi, M., Kanno, M.,  
Matsuoka-Ando, R., Yoshioka, T., Matstubara, Y., Izawa-Ishizawa, Y.,  
Shimizu, R., Maruo, A., Kuniki, Y., Sakamoto, Y., . . . Ishizawa, K.

## 1.5 บรรณาธิการ

ให้ใส่ชื่อบรรณาธิการ ตามด้วยตัวย่อ **บ.ก.** หรือ **Ed.** หากมากกว่า 1 คน ให้ใช้ **Eds.** ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( )

สรัญณี อุเสินยาง (บ.ก.)  
Rayanakorn, K. (Ed.)  
Shelley, M., & Sahin, I. (Eds.)

1.6 ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

ให้ใส่ชื่อเต็มของหน่วยงาน กรณีที่มีทั้งชื่อหน่วยงานใหญ่และหน่วยงานย่อย เฉพาะต่างประเทศ ให้ใส่ชื่อหน่วยงานใหญ่ คั่นด้วยเครื่องหมายจุลภาค ( , ) ตามด้วยชื่อหน่วยงานย่อย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์  
World Health Organization  
University of Southampton, Faculty of Health Sciences

2. ประเภทรายการอ้างอิง

2.1 วารสาร นิตยสาร หนังสือพิมพ์ และจดหมายข่าว

2.1.1 บทความในวารสาร ฉบับตีพิมพ์

- 1) ชื่อผู้แต่ง ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง
- 2) ปีพิมพ์ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้ใช้เป็นปี ค.ศ.
- 3) ชื่อบทความ สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้นคำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because
- 4) ชื่อวารสาร ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกในแต่ละคำด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และเป็นตัวพิมพ์เอียง
- 5) ปีที่วารสาร พิมพ์ด้วยตัวพิมพ์เอียง
- 6) ฉบับที่ ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ติดกับปีที่ แต่ไม่ต้องเป็นตัวพิมพ์เอียง
- 7) เลขหน้า

\*เครื่องหมาย / หมายถึง เว้นวรรค 1 ตัวอักษร

รูปแบบ  
ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์) /ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่(ฉบับที่) /เลขหน้า.  
นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์) /ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร./ปีที่(ฉบับที่) /เลขหน้า.

กาญจนา โกทียะ และศิริพันธุ์ ศิริพันธุ์. (2559). การบริหารร่างกายของหญิงตั้งครรภ์เพื่อบรรเทา

อาการปวดหลังส่วนล่าง. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 8(3), 154-167.

U-senyang, S., Trichandhara, K., & Rinthaisong, I. (2017). Antecedents of Organizational Health in Southern Thailand. *International Journal of Behavioral Science*, 12(1), 79-94.

### 2.1.2 บทความในวารสาร ฉบับที่เผยแพร่ออนไลน์

#### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./URL

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./URL

อาปีเต็ง ฮาวา, ปรีชา สะแลแม, ชุลกีฟลี มามะ และชุลกีฟลี เดมะ. (2565). สมบัติทางกลและโครงสร้างระดับจุลภาคของจีโอพอลิเมอร์เก้าลอยที่ใช้เศษยางรถยนต์เป็นมวลรวมละเอียด. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.*, 45(1), 125-144. [https://digital.lib.kmutt.ac.th/journal/loadfile.php?A\\_ID=1017](https://digital.lib.kmutt.ac.th/journal/loadfile.php?A_ID=1017)

Fonghoi, W., Tayjasanant, C., & Nomnian, S. (2019). In-service Secondary School English Language Teachers' Instructional Practices, Challenges, and their Training Needs: A Focus Group Interview Study. *Princess of Naradhiwas University Journal of Humanities and Social Sciences*, 6(2), 152-165. <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/pnuhuso/article/view/173972/142226>

### 2.1.3 บทความในวารสาร ที่มีเลข Digital Object Identifier (DOI)

#### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./<https://doi.org/>  
เลข DOI

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)./ชื่อบทความ./ชื่อวารสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./  
<https://doi.org/>////////เลข DOI

อับลอรอมาน อับซี และสร้งณี อุเส่นียง. (2565). ภาวะผู้นำการเปลี่ยนแปลงของผูบริหารองคร  
ปกครองสวนทองถิ่น. *วารสารสหวิทยาการวิจัยและวิชาการ*, 2(1), 1-16. <https://doi.org/10.14456/iarj.2022.2>

Sayoh, I., Rusling, D. A., Brown, T., & Fox, K. R. (2020). DNA Structural Changes Induced by Intermolecular Triple Helix Formation. *ACS Omega* 2020, 5, 1679-1687. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03776>

#### 2.1.4 บทความในนิตยสาร

##### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปี,/วัน/เดือน)/ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า.

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ./ (ปี,/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.). (2563, 10 กรกฎาคม).

MagikTuch ปุ่มกดลิตไฟไร้สัมผัส นวัตกรรมรับนิวนอร์มอล. *สาระวิทย์*, 88, 8-9.

Walt, V. (2021, May). The Lonely Quest for Ethical Chocolate. *Fortune*, 183(2), 54-58.

#### 2.1.5 บทความในนิตยสารออนไลน์

##### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปี,/วัน/เดือน)/ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./URL

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ./ (ปี,/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ./ชื่อนิตยสาร,/ปีที่(ฉบับที่),/เลขหน้า./

URL

นพพร อภิวัฒน์กุล. (2562, มีนาคม). โรคติดเชื้อที่พบบ่อยจากสัตว์เลี้ยง. *นิตยสารวาไรตี้เพื่อสุขภาพ @Rama*, 33, 38-39. <https://www.rama.mahidol.ac.th/atrama/issue033/prevent-protect>

Kelleher, K. (2020, February 13). Here are the Biggest Tax Law Changes to Look Out for this Year. *Time*, 195(3). <https://time.com/5770130/tax-law-changes-2020/>



### 2.1.6 หนังสือพิมพ์หรือหนังสือพิมพ์ออนไลน์

#### รูปแบบ

ชื่อ/สกุล/(ปี,/วัน/เดือน)/ชื่อคอลัมน์/ชื่อหนังสือพิมพ์/เลขหน้า./URL

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ/(ปี,/เดือน/วัน)/ชื่อคอลัมน์/ชื่อหนังสือพิมพ์/เลขหน้า./URL

โทม อารียา. (2565, 26 ธันวาคม). ผังเมืองนั้นสำคัญไฉน. คอลัมน์นิสต์. *มติชน*.

[https://www.matichon.co.th/columnists/news\\_3743376](https://www.matichon.co.th/columnists/news_3743376)

Wolfe, J, & Moser, W. (2022, December 14). Who are the Never-Covididers?. *Science*.

*The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2022/12/14/briefing/never-covid.html>

### 2.2 หนังสือ

1) ชื่อผู้แต่ง ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง

2) ปีพิมพ์ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานต่างประเทศ ให้ใช้เป็นปี ค.ศ. กรณีที่ไม่ปรากฏปีพิมพ์ ให้ใส่ (ม.ป.ป.) หรือ (n.d.)

3) ชื่อหนังสือ สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้นคำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because และเป็นตัวพิมพ์เอียง

4) กรณีหนังสือจัดพิมพ์ครั้งที่ 2 ขึ้นไป ให้ระบุ (พิมพ์ครั้งที่/เลข) ไว้หลังชื่อหนังสือ โดยไม่ต้องคั่นด้วยเครื่องหมายมหัพภาค ( . ) สำหรับงานต่างประเทศ ให้ใส่ด้วยย่อ ed. ไว้หลังครั้งที่พิมพ์

5) สำนักพิมพ์ไม่ใส่คำว่า สำนักพิมพ์ ห้างหุ้นส่วน จำกัด บริษัท จำกัด มหาชน ยกเว้นสำนักพิมพ์ ของสถาบันการศึกษา ให้ใส่ตามข้อมูลที่ปรากฏ เช่น สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นต้น หรือภาษาต่างประเทศ ที่ใช้คำว่า Books หรือ Press

6) กรณีไม่ปรากฏสำนักพิมพ์ ให้ใส่ (ม.ป.พ.) หรือ (n.p.)

7) กรณีที่ชื่อผู้แต่งและสำนักพิมพ์เหมือนกัน ให้ใส่คำว่า ผู้แต่ง หรือ Author แทนตรงสำนักพิมพ์

**รูปแบบ**

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./สำนักพิมพ์.

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./สำนักพิมพ์.

รัตนะ บัวสนธ์. (2552). *การวิจัยและพัฒนาวัตกรรมการศึกษา*. คำสมัย.

เสริมสุข สลักเพ็ชร์, สุขวัฒน์ จันทร์บรรณิก และหิรัญ หิรัญประดิษฐ์. (2542). เทคโนโลยีการผลิต  
ทุเรียน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Mackey, A. (2007). *Oxford Applied Linguistics: Conversational Interaction in Second  
Language Acquisition*. Oxford University Press.

Shelley, M., & Sahin, I. (Eds.). (2022). *Studies on Education, Science, and Technology  
2021*. ISTES Organization.

**รูปแบบ (ตีพิมพ์ 2 ครั้ง ขึ้นไป)**

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ/(พิมพ์ครั้งที่/เลข)/สำนักพิมพ์.

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ/(พิมพ์ครั้งที่/เลข)/สำนักพิมพ์.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ. (2543). *เทคนิคการวัดผลการเรียนรู้*(พิมพ์ครั้งที่ 2). ชมรมเด็ก.

Feist, J., Feist, G. J., & Roberts, T. (2013). *Theories of Personality* (8th ed.). McGraw  
Hill.

**รูปแบบ (ไม่ปรากฏสำนักพิมพ์)**

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./ม.ป.พ.

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./ม.ป.พ.

สนธยา เรื่องหิรัญ. (2551). *การบัญชีชั้นกลาง 1*. ม.ป.พ.

Pelegrin-Genel, E. (1996). *The Office*. n.p.

**รูปแบบ (ชื่อผู้แต่งและสำนักพิมพ์เหมือนกัน)**

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./ผู้แต่ง.

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อหนังสือ./ผู้แต่ง.

มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ คณะศิลปศาสตร์ งานสหกิจศึกษา. (2561). *คู่มือสหกิจศึกษา*. ผู้แต่ง.

The UNESCO Institute for Lifelong Learning. (2021). *Education in Prison: A Literature Review*. Author.

### 2.2.1 บทในหนังสือ

#### รูปแบบ

ชื่อ/สกุล./ (ปีพิมพ์)/ชื่อบทหรือชื่อบทความ./ใน/ชื่อบรรณาธิการ/(บ.ก.)/,/ชื่อหนังสือ/(น./เลขหน้า).  
 ///////////////สำนักพิมพ์.

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อบทหรือชื่อบทความ./In/ชื่อบรรณาธิการ/(Ed. หรือ  
 ///////////////Eds.)/,/ชื่อหนังสือ/(p./เลขหน้า)./สำนักพิมพ์.

ธเนศ วงศ์ยานนาวา. (2561). การสอดส่องดูแลเด็กกับครอบครัวจิตรกรรมในประเทศไทย: จาก  
 นามสกุลสู่รักทางอารมณ์. ใน พิพัฒน์ พสุธารชาติ(บ.ก.), *ครอบครัวจิตรกรรม: บทวิพากษ์  
 ว่าด้วยชุมชน การปกครอง และรัฐ* (น. 33-79). ภาพพิมพ์.

Button, L. (2009). Facing Time: The Evocation of Time in Visual and Literary Forms  
 of Autobiography. In S. Panja, S. Chakrabarti & C. Devadawson (Eds.), *Word,  
 Image, Text: Studies in Literary and Visual Culture* (p. 152-160). Orient  
 BlackSwan.

### 2.2.2 หนังสืออิเล็กทรอนิกส์

#### รูปแบบ

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

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)/ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)/สำนักพิมพ์./URL

พระครูใบฎีกาอำนาจ โอภาโส. (2558). *อยู่กับยิ้ม*. กรีน ปัญญาญาณ.[https://www.2ebook.com/  
 new/ebookReader/index.php](https://www.2ebook.com/new/ebookReader/index.php)

Fedorov, A. (2007). *Media Education: Sociology Surveys*. House.  
<https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED557586.pdf>

**รูปแบบ (ที่มีเลข DOI)**

ชื่อ/สกุล./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์./https://doi.org/เลข DOI

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์./https://doi.org/เลข DOI

Rosengarten, R. (2022). *Second Chance: My Life in Things. Open Book.*

<https://doi.org/10.11647/OBP.0285>

**2.2.3 หนังสือแปล**

**รูปแบบ**

นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีพิมพ์)./ชื่อเรื่อง/(ชื่อผู้แปล./ผู้แปล)/(พิมพ์ครั้งที่)./สำนักพิมพ์.

เบิร์กแมน, โอลิเวอร์. (2565). *ชีวิตเรามีแค่สี่พันสี่ปดาห์* (วาดฝัน คุณาวงศ์, ผู้แปล). อมรินทร์ ฮาว ทู.

**2.3 วิทยานิพนธ์**

1) ชื่อผู้แต่ง ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง

2) ปีที่เผยแพร่ ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานต่างประเทศ ให้ใช้เป็น ปี ค.ศ.

3) ชื่อวิทยานิพนธ์สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้นคำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because และเป็น ตัวพิมพ์เอียง

4) ให้ใส่คำว่า วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต หรือวิทยานิพนธ์ปริญญาคุชฎีบัณฑิตในเครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม [ ] สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้ใส่คำว่า Master's thesis หรือ Doctoral dissertation

5) ชื่อมหาวิทยาลัย

### 2.3.1 วิทยานิพนธ์ ฉบับตีพิมพ์

#### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทหรือวิทยานิพนธ์  
 ///ปริญญาตรีบัณฑิต]./ชื่อมหาวิทยาลัย.  
 นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[Master’s thesis หรือ Doctoral  
 ///dissertation]./ชื่อมหาวิทยาลัย.

อิบรอฮีม ซาโยะ. (2552). การศึกษาผลของน้ำมะพร้าวอ่อนต่อการสมานแผลในหนูขาวเพศเมีย  
 [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Mayi, L. (2011). Doing Repair in Native-Non-Native *Talk: A Conversation Analytic  
 Study of Thai-English Interaction* [Master’s thesis]. York St John University.

### 2.3.2 วิทยานิพนธ์ จากฐานข้อมูลออนไลน์

#### รูปแบบ

ชื่อ/นามสกุล./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[วิทยานิพนธ์ปริญญาโทหรือวิทยานิพนธ์  
 ///ปริญญาตรีบัณฑิต]./ชื่อมหาวิทยาลัย./ชื่อฐานข้อมูล./URL  
 นามสกุล./อักษรย่อของชื่อ./ (ปีที่เผยแพร่)./ชื่อวิทยานิพนธ์/[Master’s thesis หรือ Doctoral  
 ///dissertation,ชื่อมหาวิทยาลัย]./ชื่อฐานข้อมูล./URL

กฤติยา อ่องวุฒิวัฒน์. (2560). ผลกระทบของการแทรกผ่านความชื้นในเสื้อผ้าต่อความสบายเชิง  
 อุณหภูมิ [วิทยานิพนธ์ปริญญาตรีบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์]. TU Digital  
 Collections. [http://digital.library.tu.ac.th/tu\\_dc/frontend/Info/item/dc:141844](http://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:141844)

Houngkong, K. (2015). *Coptosapelta Flavescens as a Potential Anti-Entamoeba  
 Histolytica and Anti-Giardia Intestinalis* [Doctoral dissertation, Prince of  
 Songkla University]. PSU Knowledge Bank. [https://kb.psu.ac.th/psukb/  
 bitstream/2010/10246/1/404643.pdf](https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/10246/1/404643.pdf)

### 2.4 รายงานการวิจัย

- 1) ชื่อผู้แต่งหรือชื่อหน่วยงาน ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง
- 2) ปี ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานต่างประเทศ ให้ใช้เป็นปี ค.ศ.

3) ชื่อเรื่อง สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้น คำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because และเป็นตัวพิมพ์ เอียง

4) สำนักพิมพ์

**รูปแบบ**

ชื่อ/สกุล./ (ปี)./ชื่อเรื่อง./สำนักพิมพ์./URL (ถ้ามี)

นามสกุล./อักษรย่อชื่อ./ (ปี)./ชื่อเรื่อง./สำนักพิมพ์./URL (ถ้ามี)

นฤมล เนตรวิเชียร. (2560). *การพัฒนารูปแบบการให้บริการวิชาการผ่านระบบสารสนเทศ*

*ออนไลน์*(รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยบูรพา. [http://digital\\_collect.lib.buu.ac.th/research/2564\\_192.pdf](http://digital_collect.lib.buu.ac.th/research/2564_192.pdf)

Rushton, N. (2022). *Register of Change Part 1 2000-2010* (Research Report).

Cambridge University Press & Assessment. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED622104.pdf>

**2.5 เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ**

1) ชื่อผู้แต่ง ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง

2) ปี ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานต่างประเทศ ให้ใช้เป็นปี ค.ศ.

3) ชื่อบทความ สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้น คำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because และเป็นตัวพิมพ์ เอียง

4) ให้ใส่คำว่า **ใน** หรือ **In** ตามด้วยชื่อบรรณาธิการหรือชื่อหน่วยงาน หากเป็นบรรณาธิการ ให้ใส่คำว่า **บ.ก.** หรือ **Ed.** หรือ **Eds.** ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ กำกับไว้หลังชื่อบรรณาธิการ

5) ชื่อหัวข้อการประชุม

6) ชื่อการประชุม ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกในแต่ละคำด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ และเป็นตัวพิมพ์เอียง จากนั้น ให้ใส่ตัวอักษรย่อ **น.** หรือ **p.** ตามด้วยเลขหน้า ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ

**รูปแบบ รายงานการประชุมทางวิชาการ (Proceeding)**

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

นามสกุล./อักษรย่อชื่อ./ (ปี)./ชื่อบทความ./ใน/ชื่อบรรณาธิการ/(Ed. หรือ Eds.),/ชื่อหัวข้อการประชุม./  
 //////////////ชื่อการประชุม/(p./เลขหน้า)/ฐานข้อมูล หรือชื่อหน่วยงานจัดการประชุม.

รจเรช กำแหงกิจ, เดชดนัย จุ้ยชุม และเกษรา บ่าวเข้มซ้อย. (2564). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการ

ตัดสินใจใช้แหล่งสารสนเทศเพื่อการเขียนงานทางวิชาการของนักศึกษามหาวิทยาลัย  
 นราธิวาสราชนครินทร์. ใน The Role, importance and challenges of humanities  
 and social sciences in the disruptive society, การประชุมวิชาการระดับชาติและ  
 นานาชาติ ด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ครั้งที่ 2 (น. 305-318). คณะมนุษยศาสตร์  
 และสังคมศาสตร์มหาวิทยาลัยทักษิณ.

Kakinuma, Y. (2022). Catching on to Crypto: Evidence from the Stock Exchange of  
 Thailand. In Faculty of Management and Tourism, Burapha University,  
 Business transformation thriving through changes and turbulences. *The  
 International and National Conference on Business Administration and  
 Accountancy 2022: INCBAA 2022* (p. 4). Faculty of Management and Tourism,  
 Burapha University.

**2.6 สารสนเทศจากเว็บไซต์**

- 1) ชื่อผู้แต่ง ให้ใส่ตามหลักเกณฑ์การลงชื่อผู้แต่ง
- 2) ปีวัน เดือนที่เผยแพร่ ให้ใส่ไว้ในเครื่องหมายวงเล็บ ( ) สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้ใส่ ปี  
 เดือน วัน โดยเรียงต่างจากงานภาษาไทย กรณีที่ไม่ปรากฏวัน เดือนที่เผยแพร่ ให้ใส่เฉพาะ พ.ศ. หรือ ค.ศ. เท่านั้น  
 และกรณีที่ไม่ปรากฏปีวัน เดือนที่เผยแพร่ ให้ใส่ (ม.ป.ป.) หรือ (n.d.)
- 3) ชื่อเรื่อง สำหรับงานภาษาต่างประเทศ ให้พิมพ์ตัวอักษรตัวแรกด้วยตัวพิมพ์ใหญ่ทุกคำ ยกเว้น  
 คำสันธาน (Conjunction) ได้แก่ for, and, or, but, while, when, after, before, because และเป็นตัวพิมพ์  
 เอียง
- 4) ชื่อเว็บไซต์กรณีชื่อผู้แต่งและชื่อเว็บไซต์เป็นชื่อเดียวกัน ให้ตัดชื่อเว็บไซต์ออก

5) URL ระบุตำแหน่งที่อยู่ของข้อมูลบนเว็บไซต์ โดยไม่ต้องตามด้วยเครื่องหมายหัพภาค ( . ) ตรงส่วนทำ

**รูปแบบ**

ชื่อ/นามสกุล./(ปี,/วัน/เดือนที่เผยแพร่)./ชื่อเรื่อง./ชื่อเว็บไซต์./URL

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อ./(ปี,/เดือน/วันที่เผยแพร่)./ชื่อเรื่อง./ชื่อเว็บไซต์./URL

อมรา ประสิทธิ์รัฐสินธุ์. (2563, 4 มีนาคม). *เทคนิคการเขียนบทความวิจัยและบทความวิชาการ*.

มหาวิทยาลัยมหิดล.[https://op.mahidol.ac.th/ra/contents/orra\\_document/MMS04/20200304-1430\\_02-PROF.AMARA.pdf](https://op.mahidol.ac.th/ra/contents/orra_document/MMS04/20200304-1430_02-PROF.AMARA.pdf)

Sirisilla, S. (2022, December 19). *Effective Use of Statistics in Research–Methods and Tools for Data Analysis*. Enago Academy. <https://www.enago.com/academy/statistics-in-research-data-analysis/>

**2.7 การสัมภาษณ์**

**รูปแบบ**

ชื่อ/นามสกุลผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง/สถานที่ทำงาน./(ปี,/วัน/เดือนที่สัมภาษณ์)./สัมภาษณ์.

นามสกุล,/อักษรย่อของชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ตำแหน่ง,/สถานที่ทำงาน./(ปี,/เดือน/วันที่สัมภาษณ์)./Interview.

พัชรินทร์ บินเจ๊ะมิง. ประธานกลุ่มผลิตภัณฑ์กระจุต บ้านทอนอามาน จังหวัดนราธิวาส. (2563, 10 กุมภาพันธ์). สัมภาษณ์.

Nomnian, S. Associate Professor, Mahidol University. (2022, September 15). Interview.

**2.8 ราชกิจจานุเบกษา**

**รูปแบบ**

ชื่อกฎหมาย./(ปี,/วัน/เดือน)./ราชกิจจานุเบกษา./เล่ม/เลขเล่ม/ตอนที่/เลขตอน./หน้า/เลขหน้า.



กฎกระทรวง มาตรฐานการจัดการศึกษาระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2565. (2565, 31 มีนาคม).

ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139. ตอนที่ 20 ก. หน้า 3-11.

ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ เรื่อง มาตรฐานสถาบันอุดมศึกษา พ.ศ. 2554. (2554, 24 เมษายน).

ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 128. ตอนพิเศษ 47 ง. หน้า 44-46.

พระราชบัญญัติ ระเบียบข้าราชการพลเรือน พ.ศ. 2551. (2551, 25 มกราคม). ราชกิจจานุเบกษา.

เล่ม 125. ตอนที่ 22 ก. หน้า 1-48.

### 3. การจัดเรียงรายการอ้างอิง

#### 3.1 การเรียงตามลำดับตัวอักษร

การเรียงรายการอ้างอิงภาษาไทย ให้ใช้หลักการเดียวกับเรียงคำในพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน โดยเรียงตามรูปพยัญชนะ ก-ฮ ส่วนคำที่มีตัวสะกดให้จัดเรียงตามลำดับ กก-กช ไว้ก่อนคำที่มีรูปสระ ดังนี้

อะ อัว อัวะ อา อำ อีอีอีอี อู อุ เอะ เอ เอะ

เอา เอ็น เอีย เอียะ เอื้อ เอื้อะ แอ แอะ โอะ โอะ โอ โอ

การเรียงรายการอ้างอิงภาษาอังกฤษ ให้ใช้หลักการเดียวกับการเรียงคำใน Dictionary โดยเรียงตามอักษร A-Z กรณีที่มีรายการอ้างอิงทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้เรียงรายการอ้างอิงภาษาไทยทุกรายการก่อนรายการอ้างอิงภาษาอังกฤษ

#### 3.2 การเรียงลำดับรายการอ้างอิงที่มีชื่อผู้แต่งคนแรกเหมือนกัน

3.2.1 ชื่อผู้แต่งคนแรกและทุกคนเหมือนกัน ให้จัดเรียงปีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง

ยุทธ ไถยวรรณ. (2559). *การวางแผนการทดลองสำหรับการวิจัย*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุทธ ไถยวรรณ. (2562). *หลักสถิติวิจัยและการใช้โปรแกรม SPSS* (พิมพ์ครั้งที่ 6). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Crawley, M. J. (2013). *The R Book* (2nd ed.). Wiley.

Crawley, M. J. (2015). *Statistics : An Introduction Using R* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

3.2.2 ชื่อผู้แต่งคนแรกเหมือนกัน แต่มีชื่อผู้แต่งอื่นร่วมแตกต่างกัน ให้จัดเรียงรายการอ้างอิงที่มีชื่อผู้แต่งคนแรกก่อน และตามด้วยรายการอ้างอิงที่มีชื่อผู้แต่งอื่นร่วม โดยเรียงตามลำดับอักษรตัวแรกของชื่อผู้แต่งคนที่สอง และคนที่สามตามลำดับ

สร้อยณี อุเสินยาง. (2559). *สุขภาพองค์การขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเขตพื้นที่ภาคใต้ประเทศไทย: การพัฒนาโมเดลสมการโครงสร้างและการทดสอบความไม่แปรเปลี่ยนของโมเดลตามบริบทวัฒนธรรมและประเภทขององค์การ* [วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สร้อยณี อุเสินยาง. (2562). จริยธรรมทางธุรกิจ: แนวทางในการจัดการธุรกิจสู่ความยั่งยืน. *วารสารอัล-ฮิกมะฮฺ มหาวิทยาลัยฟาฏอนี*, 9(18), 225-235.

Creswell, J. W. (2009). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed.). Sage.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative Inquiry and Research Design Choosing among Five Approaches* (4th ed.). Sage.

### รายการอ้างอิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะครุศาสตร์ ศูนย์นวัตกรรมทางการศึกษา สื่อสิ่งพิมพ์ และสื่อออนไลน์.

(2564). *การอ้างอิงสารสนเทศตาม Publication Manual of the American Psychological Association (7th Edition)*. Online Journal Education (OJED).

<https://so02.tci-thaijo.org/index.php/EDUCU/article/view/153329/111738>

หอสมุดแห่งชาติมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2564). *การอ้างอิงแบบแทรกในเนื้อหาตามหลักเกณฑ์ APA (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1)*. ผู้แต่ง. <https://web.tulibs.net/th/academic-support/thesis-templates-manuals>

American Psychological Association. (2020). *Publication Manual of the American Psychological Association* (7th ed.). Author. <https://doi.org/10.1037/0000165-000>

### Research Article.

- Development of Pineapple Sorbet Ice Cream Mixed with Torch Ginger
- Culm anatomy and fiber characteristics of blue rush (*Lepirania articulata* (Retz.) Domin)
- The Color Treatment from Batik Wastewater in Narathiwat Community by using Chemical Process
- The Study of Mathematical Problem-Solving Ability Using TAI Technique Cooperative Learning Activities on Factoring Quadratic Polynomials of Matthayomsuksa 2 Students at Muang Suratthani School

### Academic article.

- Heavy Metals in Environment Water Sources and Wastewater in Thailand: Harm, Measurement Methods, Detected Levels, and Removal Techniques
- Development of the Properties of Divisibility and Exact Divisibility by Powers of the Integers in the Lucas Sequences of the First and Second Kinds

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ปริดิยาธร

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000

โทร. 09-9799-1914

<https://www2.st.pnu.ac.th/journal/index.php>

E-mail: [journal\\_sci@pnu.ac.th](mailto:journal_sci@pnu.ac.th)