



ISSN 2586-9256 (Print)  
ISSN 2697-410X (Online)

**JSSE** Journal of Science  
and Science Education

**วารสารวิทยาศาสตร์  
และวิทยาศาสตร์ศึกษา**

ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 (ม.ค. - มิ.ย. 2565)  
Vol. 5, No. 1 (Jan. - Jun. 2022)



FACULTY OF SCIENCE  
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY  
<https://so04.tci-thaijo.org/index.php/JSSE>

คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

## วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

## Journal of Science and Science Education (JSSE)

ISSN 2586-9256 (Print)

ISSN 2697-410X (Online)

### เจ้าของ

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

### สำนักงาน

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสดมภ์ ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425

โทรสาร 045-353422

Email: jsse.sci.ubu@gmail.com หรือ saksri.s@ubu.ac.th หรือ purim.j@ubu.ac.th

### พิมพ์ที่

โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสดมภ์ ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

วันที่พิมพ์ 6 พฤษภาคม 2565

ข้อคิดเห็นในบทความของวารสารนี้เป็นทัศนะของผู้เขียน  
กองบรรณาธิการของวารสารฯ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

## วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร

วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (Journal of Science and Science Education: JSSE) หมายเลข ISSN 2586-9256 เป็นวารสารที่จัดทำโดยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่บทความวิจัย (Research articles) หรือบทความวิชาการ (Review articles) ทั้งด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา (ซึ่งหมายรวมถึงเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์ศึกษา และคณิตศาสตร์ศึกษา) และด้านวิทยาศาสตร์ (โดยเน้นเป็นวิทยาศาสตร์กายภาพ ได้แก่ เคมี ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยี) ทั้งบทความภาษาไทยและบทความภาษาอังกฤษ โดยลักษณะของบทความที่จะนำเสนอเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ ทุกบทความจะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการจากคณะผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละสาขาวิชา (Peer Review) อย่างน้อย 3 ท่าน ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เป็นต้นมา ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย และต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน ทั้งนี้ วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษามีกำหนดเผยแพร่บทความปีละ 2 ฉบับหรือเล่ม โดยเล่มที่ 1 เป็นเผยแพร่บทความระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน และเล่มที่ 2 เผยแพร่บทความระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม ในกรณีที่มีกิจกรรมหรือโอกาสพิเศษของคณะวิทยาศาสตร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทางกองบรรณาธิการอาจจะมีการพิจารณาเผยแพร่ฉบับเพิ่มเติม (Supplementary Issue) นอกเหนือจากฉบับปกติเป็นรายกรณีไป

### ประเภทผลงานที่ตีพิมพ์

1. บทความผลงานวิจัย (Research Articles) เป็นผลงานที่เตรียมจากข้อมูลที่ผู้เขียนหรือคณะผู้เขียนได้ค้นคว้าวิจัยด้วยตัวเอง

2. บทความวิชาการ (Academic Articles) อาจแยกเป็นบทความปริทัศน์ (Review articles) บทความทางเทคนิค (Technical articles) เรียบเรียงจากการสืบค้น ตรวจสอบเอกสารวิชาการในสาขานั้นๆ และบทความพิเศษ (Special articles) เสนอความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน

### กำหนดออก

เล่มที่ 1 มกราคม – มิถุนายน ของทุกปี

เล่มที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม ของทุกปี

## กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา

### ที่ปรึกษาวารสาร

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

### หัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ศักดิ์ศรี สุภาพร บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา

รองศาสตราจารย์ปฐิมา จารุจรัส บรรณาธิการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### กองบรรณาธิการจากภายนอกมหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์วิชัย ธีวระภูณ

มหาวิทยาลัยมหิดล

ศาสตราจารย์ประพนธ์ จันทร์โณทัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์โกสินทร์ จันทน์ไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์สันติ แม้นศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ศาสตราจารย์วินิช พรหมอารักษ์

สถาบันวิทยสิริเมธี

รองศาสตราจารย์ธีรวัฒน์ ประกอบผล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ชาติรี ฝ่ายคำตา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)

รองศาสตราจารย์อศรา ก้านจักร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์พัชรินทร์ ปัญจบุรี

มหาวิทยาลัยมหิดล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิวัฒน์ ศรีสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์รักษา แก้วคง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรัตน์ วัฒนกลสิวิชัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุทธิดา รักกะเปา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์พัชดาวัน นาใจแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทน์ จันทร์สุรย์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

### กองบรรณาธิการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ศาสตราจารย์ศิริพร จึงสุทธิวงษ์

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์มะลิวรรณ อมตธงไชย

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์สายันต์ แสงสุวรรณ

ภาควิชาเคมี

รองศาสตราจารย์วรศักดิ์ สุขบท

ภาควิชาฟิสิกส์

รองศาสตราจารย์เชิดศักดิ์ บุตรจอมชัย

ภาควิชาฟิสิกส์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กติกา สระมณีอินท

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กัลย์ขวัญภัท อริยะเชาว์กุล

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณัฐ ดิษเจริญ

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุพจน์ สีบุตร

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวรินทร์ นามมัน

ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติ และคอมพิวเตอร์

### กองบรรณาธิการจัดการวารสาร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุระ วุฒิพรหม

ภาควิชาฟิสิกส์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ช่อทิพย์ กัณหาโชติ

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์กานต์ตะวัน วุฒิสเสลา

ภาควิชาเคมี

ฝ่ายประสานงานวารสาร นางสาวอมรรัตน์ วะสุรีย์ นายณัฐพงษ์ สืบสุข และนางสุกัญญา พิมพ์บุญมา



## คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ

ทาง JSSE เปิดรับบทความวิจัยและบทความวิชาการทั้งภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ต้นฉบับบทความประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนบทคัดย่อ และส่วนเนื้อเรื่อง มีความยาวรวมกันไม่เกิน 16 หน้า ทั้งนี้ ถ้าบทความใดมีความยาวมากกว่า 16 หน้า ทางกองบรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาตามความเหมาะสมอีกครั้ง โดยจัดพิมพ์ต้นฉบับบทความด้วยโปรแกรม Microsoft Word 2013 หรือเวอร์ชันที่ใหม่กว่า ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK สำหรับหัวเรื่องให้ใช้ตัวหนาขนาด 18 point ชื่อผู้เขียน ขนาด 14 point สถาบันต้นสังกัดของผู้เขียนขนาด 12 point ส่วนของเนื้อหาขนาด 14 point และให้ตั้งค่าน้ำกระดาษเป็นขนาด A4 (8.5 x 11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะจากขอบกระดาษด้านบน ด้านขวา และด้านล่าง ด้านละ 1 นิ้ว ส่วนด้านซ้ายเว้นระยะเป็น 1.25 นิ้ว จัดเป็นคอลัมน์เดียว ระยะห่างระหว่างบรรทัดเป็น single space โดยมีรายละเอียดดังนี้

**ส่วนบทคัดย่อ** ประกอบด้วยชื่อเรื่อง (Title) ของคณะผู้วิจัย (Authors) ชื่อสถาบัน และเนื้อหา(Body) พร้อมคำสำคัญ (Keywords) โดยชื่อเรื่อง ความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด ให้ใช้ตัวพิมพ์ใหญ่ ยกเว้นคำนำหน้านาม (article) คำบุพบท (proposition) และคำสันธาน (conjunction) ให้พิมพ์เป็นตัวพิมพ์เล็ก ชื่อคณะผู้วิจัย พิมพ์ด้วยตัวอักษรขนาด 14 point ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านามหรือคุณวุฒิ และใส่ดอกจัน (asterisk, \*) หลังนามสกุลของผู้เขียนหลักหรือผู้ประสานงาน (corresponding author) สำหรับภาษาไทยให้เว้นวรรค 2 เคาะ ระหว่างชื่อผู้วิจัย และผู้วิจัยคนสุดท้ายให้ใส่ "และ" นำหน้าโดยไม่ต้องเว้นวรรค และสำหรับภาษาอังกฤษให้ใส่จุลภาค (comma) หลังนามสกุล ยกเว้นคนสุดท้ายให้นำหน้าด้วย "and" และไม่ต้องใส่จุลภาคหน้า "and" ชื่อสถาบันขึ้นบรรทัดใหม่ พิมพ์ด้วยอักษรขนาด 12 point หากมีมากกว่า 1 สถาบัน ให้ใช้ตัวเลขยก (superscript) กำกับหน้าชื่อสถาบันและหลังชื่อผู้วิจัยให้ตรงกัน อีเมลของผู้เขียนหลักหรือผู้ประสานงานพิมพ์บรรทัดใหม่ได้ชื่อสถาบันด้วยตัวอักษรขนาด 12 point เนื้อหาในบทคัดย่อควรครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา เช่น วัตถุประสงค์ วิธีการ ผลและอภิปรายผล และคำสำคัญ ให้ขึ้นบรรทัดใหม่ และมีจำนวนอย่างน้อย 3 คำ แต่ไม่เกิน 5 คำ โดยใช้คำที่สื่อความหมายในการค้นอย่างชัดเจน

**ส่วนเนื้อเรื่อง** ประกอบด้วยบทนำ (Introduction) วิธีดำเนินการวิจัย (Research Method) ผลการวิจัย (Results) อภิปรายผล (Discussion) สรุปผล (Conclusion) กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) และเอกสารอ้างอิง (References) สำหรับบทความวิชาการอาจจะมีการนำเสนอหรือหัวข้อที่แตกต่างออกไปตามความเหมาะสม ทั้งนี้รายละเอียดของบทความวิจัยอาจจะประกอบด้วย (1) บทนำ เป็นส่วนที่อธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหาในการวิจัยหรือการศึกษา ตลอดจนสรุปผลการทบทวนวรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างกระชับเพื่อส่งเสริมให้ที่มาองานวิจัยสำคัญและชัดเจนมากขึ้น (2) วัตถุประสงค์การวิจัย อาจจะเลือกนำเสนอในรูปแบบของคำถามวิจัยหรือสมมติฐานการวิจัยเพียงอย่างเดียวโดยหนึ่ง โดยเป็นการนำเสนอสิ่งที่ต้องการศึกษาให้ชัดเจน (3) วิธีดำเนินการวิจัย เป็นการอธิบายวิธีดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบและประเภทของการวิจัยที่มีรายละเอียดแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม (4) ผลการวิจัยและอภิปรายผล เป็นการนำเสนอผลจากการศึกษาที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัยของการวิจัย ควรนำเสนออย่างตรงประเด็นและอภิปรายผลควบคู่ไปกับผลการวิจัยในแต่ละส่วน โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า หรือเปรียบเทียบกับหลักการหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (5) สรุปผล เป็นการนำเสนอสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษาหรือการวิจัยอย่างกระชับและเข้าใจได้ง่าย ควรมีการให้ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัยหรือการศึกษาเพิ่มเติมเข้าไปด้วย (6) กิตติกรรมประกาศ เป็นการระบุแหล่งทุนสนับสนุนการศึกษา หน่วยงานหรือบุคคลที่ให้การสนับสนุนหรือช่วยเหลือในการศึกษา และ (7) เอกสารอ้างอิง เป็นการเขียนรายการเอกสารที่ใช้ในการอ้างอิงในส่วนของเนื้อหาทั้งหมด โดยให้ยึดรูปแบบ APA (American Psychological Association) โดยเขียนบรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษทั้งหมด โปรดดูคำอธิบายเพิ่มเติมในส่วนของเอกสารอ้างอิง เอกสารอ้างอิงแต่ละรายการให้พิมพ์ต่อกัน

ยาวจนตกบรรทัดเอง (ใช้การเคาะ space bar ตามความเหมาะสม) แต่ห้ามเคาะ enter เพื่อตัดบรรทัด และห้ามใช้ชื่อเต็มของวารสาร ทั้งนี้ เอกสารอ้างอิงทุกรายการต้องเขียนระบบการอ้างอิงแบบ APA (American Psychological Association) เป็นภาษาอังกฤษเท่านั้น กรุณาศึกษาคำแนะนำและตัวอย่างในการเขียนรายการเอกสารอ้างอิง ดังนี้

### คำแนะนำในการเขียนเอกสารอ้างอิง

วารสารนี้ใช้รูปแบบ APA ในการเขียนบรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิง ซึ่งเป็นรูปแบบที่เป็นที่นิยมใช้ในสาขาวิชา จิตวิทยา การศึกษา และสาขาสังคมศาสตร์อื่นๆ การอ้างอิงมีข้อกำหนดตามแหล่งที่มาของเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิง และมีลำดับอักษรเรียงตามพยัญชนะ A B C ตามลำดับ ดังนี้

### การอ้างอิงจากบทความในวารสารวิชาการ

#### บทความภาษาอังกฤษ

Supasorn, S. and Promarak, V. (2015). Implementation of 5E inquiry incorporated with analogy learning approach to enhance conceptual understanding of chemical reaction rate for grade 11 students. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(1), 121-132.

#### บทความภาษาไทย

กฤษฎา พันธ์ชัยและศักดิ์ศรี สุภาจร. (2563). การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เรื่องสารประกอบไอออนิก ด้วยการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับโมเดลระดับอนุภาค. *วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา*, 3(2), 165-176.

#### เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษเป็น

Pananchai, K. and Supasorn, S. (2020). Development of grade-10 students' conceptual understanding of ionic compound by using inquiry learning in conjunction with particulate models (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 3(2), 165-176.

### การอ้างอิงจากบทความในรายงานการประชุมวิชาการ

Author Name. (Year). Article or chapter title. In *Proceedings of \_\_\_\_\_* (pp. page-page). Date (if applicable). City: Publisher.

#### ตัวอย่างบทความภาษาไทย

อิกมะฮ์ อาแวกะจี และศักดิ์ศรี สุภาจร. (2558). การพัฒนาความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ขั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ ม.อบ. วิจัย ครั้งที่ 9 (หน้า 388-398). วันที่ 2-3 กรกฎาคม 2558. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

#### เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

A-waekaji, H. and Supasorn, S. (2015). Development of scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5E inquiry learning cycle integrated with predict-observe-explain in the elaboration step for grade-11 students (in Thai). *Proceedings of 9<sup>th</sup> Ubon Ratchathani University Research Conference* (pp. 388-398). July 2–3, 2015. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

### การอ้างอิงจากหนังสือ

Author Name. (Year). **Textbook title**. City: Publisher.

#### ตัวอย่าง

Okuda, M. and Okuda, D. (1993). **Star trek chronology: The history of the future**. New York: Pocket Books.

### การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์

Author Name. (Year). Dissertation/Thesis title. Master's Thesis or Doctoral Dissertation. City: Publisher/University.

#### ตัวอย่างวิทยานิพนธ์ภาษาไทย

อิภิมะฮ์ อาแวกะจิ (2558). การพัฒนาความเข้าใจในเคมีทวิวิทยาศาสตร์ เรื่องสมดุลเคมี ด้วยวัฏจักรการเรียนรู้แบบสืบเสาะ 5 ชั้น ผสมผสานกับเทคนิคทำนาย-สังเกต-อธิบายในชั้นขยายความรู้ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

#### เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษได้ดังนี้

A-waekaji, H. (2015). Development of scientific conceptual understanding of chemical equilibrium by using 5E inquiry learning cycle integrated with predict-observe-explain in the elaboration step for grade-11 students (in Thai). **Master's Thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.

### การอ้างอิงจากเว็บไซต์

Author Name. (Year). Title. Retrieved Date Month Year, from **Website Name**: URL

#### ตัวอย่างเว็บไซต์ภาษาไทย

วิจารณ์ พานิช. (2562). มหาวิทยาลัยแห่งอนาคต. สืบค้นเมื่อ 8 มิถุนายน 2562, จาก **GoToKnow**: <https://www.gotoknow.org/posts/285169>

#### เขียนรายการอ้างอิงเป็นภาษาอังกฤษ

Panich, V. (2019). University of the future (in Thai). Retrieved 8 June 2019, from **GoToKnow**: <https://www.gotoknow.org/posts/661810>

#### ศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน

<http://www.ams.cmu.ac.th/lib/administrator/paper/APA%206th%20New.pdf>



#### ดาวน์โหลดไฟล์เทมเพลตบทความได้ใน

<https://drive.google.com/open?id=13ODZ6TaSzzXZV6ElmwxHwyBYQ17ynZQb>



## ถ้อยแถลงบรรณาธิการ

ปัจจุบันนี้ นักวิชาการหรือผู้ทำงานในสังคมวิชาการส่วนใหญ่มีภารกิจสำคัญหลายอย่าง และหนึ่งในภารกิจเหล่านั้น คือ การเผยแพร่ผลงานวิชาการในวารสารวิชาการหรือการประชุมวิชาการที่มีการกลั่นกรองผลงานโดยผู้เชี่ยวชาญหรือผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นระหว่างนักวิชาการด้วยกันเองและเพื่อเป็นการเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปที่สนใจได้อ่านและศึกษาตามความสนใจของแต่ละคน ทั้งนี้ ผู้เขียนต้องพึงระวังว่า การอ้างอิงผลงานวิชาการเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจเป็นอย่างยิ่งและต้องอ้างอิงอย่างมีจริยธรรมและมีจรรยาบรรณ ทั้งนี้ ผู้เขียนจะต้องพิจารณาประเด็นเหล่านี้อย่างถี่ถ้วนก่อนส่งมารับการพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฯ เพื่อป้องกันการคัดลอกผลงานวิชาการ (plagiarism) ทั้งที่ตั้งใจและไม่ตั้งใจ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการของวารสารฯ ได้มีการตรวจสอบบทความอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนจากหลักวิชาการ การคัดลอกผลงานวิชาการหรือการกระทำที่ผิดต่อจรรยาบรรณการวิจัย

ทางคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ได้เล็งเห็นความสำคัญข้างต้น จึงได้จัดทำวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ขึ้นมาเพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเผยแพร่ผลงานวิชาการทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา โดยวารสารฉบับนี้เป็นวารสารปีที่ 5 เล่มที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2565 ซึ่งประกอบด้วยบทความทั้งหมด 15 เรื่อง จำแนกเป็นบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ 8 เรื่อง บทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 3 เรื่อง บทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ 1 เรื่อง และบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 3 เรื่อง

กองบรรณาธิการวารสารฯ ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความและให้ข้อเสนอแนะที่มีค่าเพื่อทำให้บทความเหล่านี้มีความน่าสนใจและมีประโยชน์ต่อวงวิชาการมากขึ้น ทั้งนี้ ขอเชิญชวนนักวิจัยและนักวิชาการ ครูอาจารย์ นิสิตหรือนักศึกษา นักเรียน และผู้สนใจส่งบทความวิจัย บทความวิชาการ บทความวิทยานิพนธ์ หรือบทความโครงการ มาเผยแพร่ในวารสารฯ สุดท้ายนี้ ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ จะรักษามาตรฐานคุณภาพและปรับปรุงคุณภาพของวารสารฯ อย่างต่อเนื่องเท่าที่จะทำได้ และขออนุญาตปฏิเสธการเผยแพร่บทความที่ไม่ตรงตามวัตถุประสงค์หรือบทความมีรูปแบบต้นฉบับไม่ถูกต้องโดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ อนึ่ง ตั้งแต่วารสารปีที่ 4 เล่มที่ 2 (มิถุนายน - ธันวาคม 2564) ทางกองบรรณาธิการวารสารฯ ได้ดำเนินการเลือกสาขาวิชาย่อย (sub-subject) ของวารสาร จำนวน 5 สาขาย่อย ได้แก่ (1) การศึกษา ซึ่งอยู่ในสาขาวิชาสังคมศึกษา (2) เคมีทั่วไป (3) คอมพิวเตอร์ทั่วไป (4) คณิตศาสตร์ทั่วไป และ (5) ฟิสิกส์และดาราศาสตร์ทั่วไป ซึ่งอยู่ในกลุ่มสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ

นอกจากนี้ ทางวารสารฯ อยู่ระหว่างการจัดทำประกาศมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เรื่อง กำหนดอัตราค่าธรรมเนียมการพิจารณาบทความเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา ในอัตรา 1,500 บาท/บทความ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการฯ จะเรียกเก็บค่าธรรมเนียมนี้ก่อนส่งต้นฉบับบทความเพื่อให้ผู้ประเมินพิจารณา โดยไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ เพิ่มเติมจากค่าธรรมเนียมดังกล่าว ทั้งนี้ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ลงใน JSSSE ตั้งแต่ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน 2565 เป็นต้นไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (เจ้าของวารสาร) จะดำเนินการขอรหัสตัวระบุวัตถุดิจิทัล (DOI) ให้กับทุกบทความทันที เมื่อบทความนั้นมีการเผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์เรียบร้อยแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ศรี สุภาขร)

หัวหน้ากองบรรณาธิการวารสารฯ

## สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์และขอบเขตของวารสาร	ข
กองบรรณาธิการ	ค
คำแนะนำสำหรับผู้เขียนและการเตรียมต้นฉบับบทความ	ง
ถ้อยแถลงบรรณาธิการ	ช
<b>บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ (Research Articles in Science)</b>	
1) การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้สำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช ลัดดาวัลย์ กงพลี* และพรรณวิภา แผงศรี	1-11
2) การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เกี่ยวกับวัดเมืองไทย ไร่ธรรมะ ชาญชัย ศุภอรธกร* จิรายุ แสงศรี และอัญชสิกร คำหล้า	12-22
3) ความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ปรัชญาพร วันชัย* และเรืองวิทย์ เสนาดี	23-38
4) การพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาามหาวิทยาลัยจากการปรับปรุงด้วยการคัดเลือก คุณลักษณะร่วมกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น อนุวัฒน์ เปาพathy วงศ ศรีอุไร และณัฐ ดิษเจริญ*	39-48
5) การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ (Hopea thorelii Pierre) พืชที่มีความเสี่ยงขั้น วิกฤตต่อการสูญพันธุ์ กฤษฎา บุราไกร, ภาณุพงศ์ กาศา, กิตติญา ขวัญเมือง, สิริยาภรณ์ อ่อนโยน, ชาญณรงค์ ธนนาทนะชน, สุทธนา ปลอดสมบุรณ์ และอรรณญา พิมพ์มงคล*	49-57
6) การตรวจสอบการกลายพันธุ์ของโปรตีนหนามในสายพันธุ์นำกังวลของเชื้อโคโรนาไวรัสสาย พันธุ์ใหม่โดยวิธีการจำแนกโดยใช้ซอฟต์แวร์บนระบบปฏิบัติการพีซี กบิล กาญจนภรณ์กุล ธัญญดา รุ่งโรจน์มงคล และสุพจน์ ทารหนองบัว*	58-71
7) การปรับเปลี่ยนสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์อัลลอย ZnxHg1-xSeyS1-y ด้วยการคำนวณโหนดบายดิงในระดับอะตอม วริศรา ทาจิตร และวรศักดิ์ สุขบท*	72-84
8) การพัฒนาและการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบในการวิเคราะห์สาร Demethylwedelolactoneและสาร Wedelolactone (in Eclipta prostrata) ด้วยเทคนิค HPLC – PDA ประดับ มีสวัสดิ์*	85-96
<b>บทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Research Articles in Science Education)</b>	
9) โมเดลอย่างง่ายจากหนังยางเพื่อสืบเสาะกฎของสเนลล์ อิสสระ พิมพ์วัน และสุระ วุฒิพรหม*	97-106
10) การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สวนสัตว์ของคุณหนู เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา พงศธร บุญชู ศิริรัตน์ เพชรประภัสสร และบรรณรักษ์ คัมรักษา*	107-123
11) การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุใน ท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 (COVID-19) สถาพร เรืองรุ่ง*	124-140

	หน้า
<b>บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ (Academic Articles in Science)</b>	
12) วิธีระบุเงื่อนไขเกินของปัญหากำหนดการเชิงเส้น	141-147
	รติ โบริส*
<b>บทความวิชาการทางวิทยาศาสตร์ศึกษา (Academic Articles in Science Education)</b>	
13) อັตลัษณด้านสะเต็ม: อึกปจัจยหนึ่งที่จจะสงเสริมควมสำเร็จของสะเต็มศึษาในประเทศไทย	148-157
	ลือซา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ*
14) การทบทวนการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายสำหรับห้องเรียนเคมี	158-171
	เพชรวิไล ชัดตยวงค์ ศักดิ์ศรี สุภาจร และเสนอ ชัยรัมย์*
15) ปัญหาคความท้ทำทายในการจัดการเรียนรู้อวิทยาศาสตร์: การจัดการเรียนรู้อแบบออนไลน์ให้	172-180
ประสบควมสำเร็จ	
	สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ* และอรุณ ชาญชัยเชาว์วิวัฒน์
ดัชนีผู้เขียน	181





บทความวิจัย

## การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้สำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช

ลัดดาวัลย์ กงพลี<sup>1\*</sup> และพรรณวิภา แพงศรี<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปทุมธานี

\*Email: Laddawan.kong@vru.ac.th

รับบทความ: 5 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 6 ธันวาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 23 ธันวาคม 2564

### บทคัดย่อ

การศึกษาเนื้อเยื่อพืชทำได้โดยวิธีการตัดเนื้อเยื่อพืชแบบมือเปล่าและย้อมสีเซลล์เพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ สีย้อมที่นิยมใช้คือสีชาฟรานินโอซึ่งมีจำหน่ายในราคาสูง จึงมีผู้ศึกษาการสกัดสีย้อมธรรมชาติเพื่อทดแทน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัด ด้านการใช้งาน เช่น ไม่สะดวกต่อการใช้งาน ไม่สามารถผลิตตามปริมาณที่ต้องการใช้ ยากต่อการเก็บรักษาเพื่อใช้ระยะยาว และไม่สามารถควบคุมคุณภาพการติดสีของตัวอย่างที่ศึกษาได้ ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาสีย้อมธรรมชาติ จากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินสำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืชเพื่อแก้ไขปัญหาข้อจำกัดการใช้สีย้อมธรรมชาติ โดยการคัดเลือกจาก ส่วนของพืช 3 ชนิด ได้แก่ แก่นฝาง (*Biancaea sappan* (L.) Tod.) เปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) และใบประดับ เฟื่องฟ้า (*Bougainvillea* sp.) สกัดด้วย น้ำกลั่น เมททานอล และกรดอะซิติก ร่วมกับการใช้มอร์แดนทีโซเดียมคลอไรด์และ คอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้น 10% ทดสอบการติดสีย้อมกับลำต้นหมอน้อย (*Cyanthillium cinereum* (L.) H. Rob) เปรียบเทียบกับสีย้อมชาฟรานินโอความเข้มข้น 0.1% พบว่าสีย้อมจากแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้คอปเปอร์ซัลเฟตเป็น มอร์แดนที ให้ผลดีที่สุด มีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.98 ให้เฉดสีแดง ค่า L\* เท่ากับ 25.15 ค่า a\* เท่ากับ 24.91 และค่า b\* เท่ากับ 18.07 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการย้อมด้วยสีชาฟรานินโอ จากนั้นนำสีย้อมแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและคอปเปอร์ ซัลเฟตเป็นมอร์แดนทีมาทำแห้งแบบพ่นฝอย ทดสอบความร้อนขาเข้าที่อุณหภูมิ 210 220 และ 230 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิขาเข้า 210 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้น้ำระเหยจากสารสีมีความชื้นในช่วงมาตรฐาน (7.5 %db) และได้ปริมาณผงสีธรรมชาติมากที่สุด (58.3 %yield) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากนั้นหาอัตราส่วนที่ เหมาะสมของการละลายผงสีย้อมธรรมชาติในน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:1 1:2 1:5 และ 1:10 พบว่าอัตราส่วน 1:1 มีผลต่อการติดสี ของเนื้อพืชดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสีย้อมแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้คอปเปอร์ซัลเฟตเป็นมอร์แดนทีก่อนผ่านการทำ แห้งแบบพ่นฝอย โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.22 ค่า L\* เท่ากับ 22.47 ค่า a\* เท่ากับ 20.33 และค่า b\* เท่ากับ 16.51 ดังนั้นจึงเห็นควรใช้สีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติมมอร์แดนทีคอปเปอร์ซัลเฟตในการย้อมเนื้อเยื่อพืชเพื่อ ทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ชาฟรานินโอ

**คำสำคัญ:** การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติ แอนโทไซยานิน เนื้อเยื่อพืช

### อ้างอิงบทความนี้

ลัดดาวัลย์ กงพลี และพรรณวิภา แพงศรี. (2565). การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้สำหรับย้อมเนื้อเยื่อพืช. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 1-11. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.1>

## The development of natural dye from plants in anthocyanin group for staining plant tissue

Laddawan Kongplee<sup>1,\*</sup> and Phunwipa Pangsri<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Pathumthani

\*Email: Laddawan.kong@vru.ac.th

Received <5 November 2021>; Revised <6 December 2021>; Accepted <23 December 2021>

---

### Abstract

Plant tissue are studied by using the Free-hand method and cell staining is studied under a light microscope. The preferred dye is Safranin-O, which is available only expensive. Therefore, there are study the extraction of natural dyes to substitute synthetic dye. But due to its inconvenient when use, cannot produce the required quantity, difficult to store for long-term use and unable to control the colorfastness of the samples studied. Then, this research aims to develop natural dyes from part of plants in anthocyanin group for dyeing plant tissues. Three types were selected, heartwood of Sappan tree (*Biancaea sappan* (L.) Tod.), pericarp of mangosteen (*Garcinia mangostana* L.) and bract of bougainvillea (*Bougainvillea* sp.). Extraction method by using distilled water, methyl alcohol and acetic acid and adding mordant NaCl CuSO<sub>4</sub> at a concentration of 10%. Staining test with plant tissues of little ironweed (*Cyanthillium cinereum* (L.) H. Rob) compared with Safranin-O concentration of solution 0.1%. The result was natural dye of Sappan tree extracted with distilled water and CuSO<sub>4</sub> mordant has best result with pH=2.98, a reddish tint, L\*=25.15, a\*=24.91 and b\*=18.07, which is closest to Safranin-O. Natural dye extracted from distilled water and CuSO<sub>4</sub> mordant for spray drying. Inlet temperatures test at 210, 220 and 230 °C, found that 210 °C is the most suitable temperature for evaporating water from the paint. The moisture content in the standard range (7.5 %db) and the highest natural pigment content (58.3 %yield) were obtained with a statistically significant level of .05. The optimum ratio of natural pigment dyeing to distilled water solubility was determined. The ratio of 1:1, 1:2, 1:5 and 1:10 showed that the ratio of 1:1 had the best effect on the colorfastness of the flesh. Compared with before spray drying method. pH=3.22, L\*=22.47, a\*=20.33 and b\*=16.51. Therefore, it is advisable to use the natural dye essence of Sappan tree extract with distilled water and added mordant CuSO<sub>4</sub> in cell and plant tissue dyeing to substitute Safranin-O dyes.

**Keywords:** Development of natural dye, anthocyanin, plant tissue

---

#### Cite this article:

Kongplee, L. and Pangsri, P. (2022). The development of natural dye from plants in anthocyanin group for staining plant tissue (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 1-11.  
<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.1>

## บทนำ

เนื้อเยื่อพืช (plant tissue) คือ กลุ่มเซลล์ที่รวมกันทำกิจกรรมหรือทำหน้าที่ในส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ดอก ใบ ราก และลำต้น เนื้อเยื่อพืชแบ่งออกได้หลายชนิดโดยอาศัยหลักเกณฑ์ต่าง ๆ ในการจัดจำแนกประเภท เช่น ลักษณะรูปร่าง โครงสร้าง ตำแหน่งที่อยู่ หน้าที่การทำงาน แหล่งกำเนิด ความสามารถในการแบ่งเซลล์ในเนื้อเยื่อ การเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อ เป็นต้น (Hoefnagels, 2019) ในทางชีววิทยาการศึกษาโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืชทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) มีวิธีการเตรียมสไลด์แบบง่ายคือ นำตัวอย่างพืชมาตัดให้บางด้วยมือเปล่า (free-hand section) และย้อมสี (stain) เพื่อให้สามารถมองเห็นโครงสร้างและรายละเอียดของเซลล์ได้ชัดเจนขึ้น สีที่ใช้ย้อมเนื้อเยื่อมีทั้งสีธรรมชาติ (natural dye) และสีสังเคราะห์ (synthetic dye) แต่ส่วนใหญ่นิยมใช้สีสังเคราะห์เฉดสีแดง เช่น สีคาร์มินในกรดอะซิติก (aceto-carmin) สีซาฟรานินโอ (safranin-O) เนื่องจากเมื่อนำไปย้อมเนื้อเยื่อพืชจะพบว่ามีความคมชัดย้อมติดโครโมโซม (chromosome) เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nucleus membrane) ลิกนิน (lignin) ซูเบอร์ริน (suberin) และคิวทิน (cutin) นอกจากนี้ยังพบว่าผนังเซลล์ทุติยภูมิ (secondary cell wall) จะติดสีชมพูหรือสีแดงชัดเจน ทำให้สามารถแยกชนิดของเนื้อเยื่อ สเกลอเรนจิม่า (sclerenchyma) อาทิ เซลล์เส้นใย (fiber) และเซลล์ในเนื้อเยื่อไซเล็ม คือ เซลล์เวสเซล (vessel) และเซลล์เทรคีด (tracheid) (Manit, 2009) อย่างไรก็ตามสีสังเคราะห์ที่ใช้เนื้อเยื่อในประเทศไทยเป็นสีที่นำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาในการจำหน่ายค่อนข้างสูง การซื้อแต่ละครั้งต้องซื้อเต็มจำนวนบรรจุภัณฑ์ไม่มีแบ่งขาย (Rujira *et al.*, 2017) ทำให้มีปริมาณสีย้อมที่ซื้อมามากเกินความต้องการ เนื่องจากการย้อมเนื้อเยื่อแต่ละครั้งจะใช้สีย้อมปริมาณน้อยและสีย้อมที่เหลือจะเกิดการเสื่อมสภาพได้เมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังพบว่าสีย้อมสังเคราะห์คาร์มินในกรดอะซิติกและสีซาฟรานินโอเป็นอันตรายต่อร่างกายของผู้ใช้ที่ได้รับการสูดดมหรือการสัมผัส โดยสามารถทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ ทำให้เยื่อตาอักเสบ และทำให้ผิวหนังเกิดรอยไหม้ได้ (Genesiska and Herda, 2018)

ในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสกัดสีย้อมจากธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินเพื่อใช้แทนสีย้อมสังเคราะห์ เช่น การพัฒนาสีย้อมโครโมโซมจากสารสกัดข้าวเหนียวดำ (Sirirat, Namphon and Manussawee, 2021) การประยุกต์ใช้สีธรรมชาติจากข้าวโพดหวานสีม่วงในการศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของพืช (Rujira *et al.*, 2017) เป็นต้น โดยพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินจะมีรงควัตถุสีม่วงแดงหรือสีน้ำเงิน ซึ่งจัดเป็นสารประกอบฟลาโวนอยด์ (flavonoid) ในกลุ่มฟีนอลิก (phenolic) มีความสามารถในการละลายน้ำได้แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว (non-hydroxyl solvent) เช่น อีเทอร์ อะซิโตน คลอโรฟอร์ม เป็นต้น ความเสถียรภาพของแอนโทไซยานินจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีหมู่ methoxyls ในวง B-ring ลดลงเมื่อมีหมู่ hydroxyls เพิ่มขึ้น และจะเสถียรภาพที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นกรด (Suwichar, 2017) นอกจากนี้ยังพบว่าสีย้อมจากธรรมชาติมีราคาถูกกว่า ปลอดภัยกับผู้ใช้งานมากกว่า สามารถละลายน้ำได้ดีกว่าและช่วยลดสภาวะแวดล้อมเป็นพิษได้ (Mayuree *et al.*, 2018) อย่างไรก็ตามสีย้อมที่สกัดจากธรรมชาติยังมีข้อจำกัดในการใช้งานหลายประการ ได้แก่ ปัญหาด้านขั้นตอนการเตรียมสีย้อมมีความยุ่งยากหลายขั้นตอน ไม่สะดวกต่อการใช้งาน ปัญหาด้านการผลิตกล่าวคือผลิตได้ในปริมาณน้อยและไม่สามารถผลิตสีย้อมตามที่ต้องการ ปัญหาด้านการเก็บรักษาสีย้อมเพื่อใช้ในระยะเวลาอันยาวนาน และปัญหาด้านคุณภาพการย้อมสีธรรมชาติขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการซึ่งควบคุมได้ยาก การย้อมสีกับเซลล์หรือเนื้อเยื่อตัวอย่างให้เหมือนเดิมจึงทำได้ยาก เป็นต้น (Gita, Zulharmita and Ridho, 2021)

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีเป้าหมายในการพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติเพื่อใช้แทนสีสังเคราะห์ รวมถึงการแก้ไขปัญหาด้านข้อจำกัดของการใช้สีย้อมจากธรรมชาติ โดยการนำส่วนของตัวอย่างพืชที่มีการสะสมสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งเป็นรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และให้สารสีแดงส้ม มาสกัดสีและเติมมอร์แดนต์ (mordant) เพื่อเพิ่มคุณภาพด้านการติดสีของเซลล์และเนื้อเยื่อพืช จากนั้นนำมาพัฒนาคุณภาพด้านการเก็บรักษาด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) และพัฒนาด้านการใช้งานโดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของผงสีย้อมธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการละลายน้ำเพื่อไปใช้งานในครั้งต่อไป

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อคัดเลือกสีย้อมธรรมชาติสำหรับการย้อมเนื้อเยื่อพืชจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายและมอร์แดนต์ต่างชนิดกัน
2. เพื่อพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติด้านการเก็บรักษาด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของผงสีย้อมธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการละลายน้ำ

### วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินสำหรับย้อมเนื้อเยื่อด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย ทำการทดลองที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี ระหว่างเดือน พฤษภาคม 2564 ถึง ตุลาคม 2564 โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

#### การสกัดสีย้อมธรรมชาติจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานิน

##### (1) การเตรียมพืชตัวอย่าง

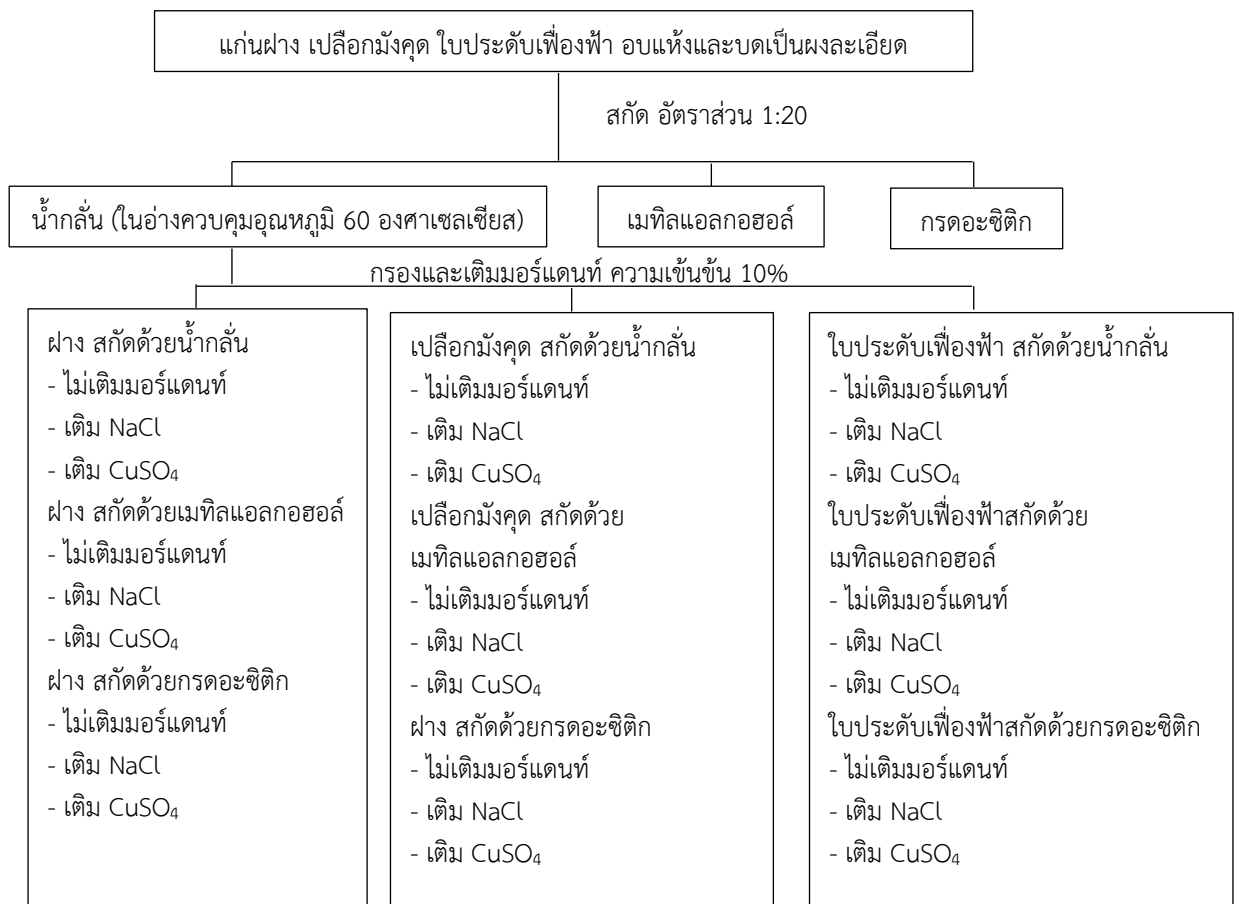
คัดเลือกพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินซึ่งให้เฉดสีแดง ได้แก่ แก่นฝาง (*Biancaea sappan* (L.) Tod.) เปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* L.) และใบประดับเฟื่องฟ้า (*Bougainvillea* sp.) นำมาล้างทำความสะอาดจากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบแห้งแบบถาด (tray dry) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และนำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดผงละเอียด (grinding machine) ความเร็วรอบ 32,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที

##### (2) การสกัดสีย้อมธรรมชาติ

นำผงของพืชตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด มาสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น (distillation water) โดยใช้วิธีการต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) 60 องศาเซลเซียส และตัวทำละลายเมทิลแอลกอฮอล์ (methyl alcohol) กรดอะซิติก (acetic acid) ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยการสกัดสีย้อมธรรมชาติทั้ง 3 ชนิด ใช้อัตราส่วนผงพืชตัวอย่าง 1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 20 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรอง (filter papers) เบอร์ 1

##### (3) การเติมมอร์แดนต์ (mordant)

แบ่งชุดสีย้อมธรรมชาติที่ได้จากการสกัดเพื่อเติมมอร์แดนต์ ดังนี้ ไม่เติมมอร์แดนต์ เติมโซเดียมคลอไรด์และคอปเปอร์ซัลเฟต ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะได้สีย้อมธรรมชาติเพื่อทดลองจำนวน 27 ชุดทดลอง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการสกัดสีย้อมและชุดสีย้อมที่ได้จากการสกัดส่วนของพืชที่มีแอนโทไซยานิน จำนวน 27 ชุดทดลอง

#### ตรวจสอบคุณภาพสีย้อมและการคัดเลือกสีย้อมธรรมชาติ

(1) การติดสีย้อม นำสีย้อมธรรมชาติทั้ง 27 ชุดทดลอง ไปย้อมเซลล์และเนื้อเยื่อของลำต้นหมอน้อย (*Cyanthillium cinereum* (L.) H. Rob) ที่ได้จากการตัดลำต้นหมอน้อยตามขวาง (transvers section) ด้วยวิธีการ free-hand section จากนั้น

หดยีสีย้อม 1-2 หยด ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ (cover slide) แล้วนำไปศึกษาโครงสร้างของเซลล์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope)

(2) ตรวจวัดค่าความเป็นกรด - ต่างด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH meter)

(3) ตรวจวัดคุณภาพสีด้วยเครื่องวัดสี (colorimeter) ใช้ระบบสี CIE โดยค่า  $L^*$  คือ ความสว่างของสี  $a^*$  คือ ค่าสีแดง-เขียว และค่า  $b^*$  คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน

(4) เปรียบเทียบการติดสีย้อมของเนื้อเยื่อพืช ค่าความเป็นกรด-ต่าง และค่าสี ระหว่างสีย้อมธรรมชาติกับสีย้อมสังเคราะห์ชาฟรานินโอความเข้มข้น 0.1% ละลายในเอทิลแอลกอฮอล์ จำนวน 1-2 หยด คัดเลือกสีย้อมธรรมชาติที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับสีย้อมสังเคราะห์ที่เปรียบเทียบ

#### การพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติด้านการเก็บรักษาด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

การวิจัยครั้งนี้ทำการพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติด้านการเก็บรักษาโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) จากนั้นตรวจวิเคราะห์ค่าความชื้น (%db) และปริมาณผงสีที่ได้ (%yield) การทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้ศึกษาเพื่อหาอุณหภูมิเข้า 3 ระดับ ได้แก่ 210 220 และ 230 องศาเซลเซียส ที่มีผลต่อความชื้นมาตรฐานอยู่ในช่วง 5-10% โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ (Phonchai, 2018) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 กำหนดสมมติฐาน ดังนี้

$H_0$ : อุณหภูมิเข้าไม่มีผลต่อความชื้น

$H_1$ : อุณหภูมิเข้ามีผลต่อความชื้น

และ

$H_0$ : อุณหภูมิเข้าไม่มีผลต่อปริมาณผงสี

$H_1$ : อุณหภูมิเข้ามีผลต่อปริมาณผงสี

#### การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของผงสีย้อมธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการละลายน้ำ

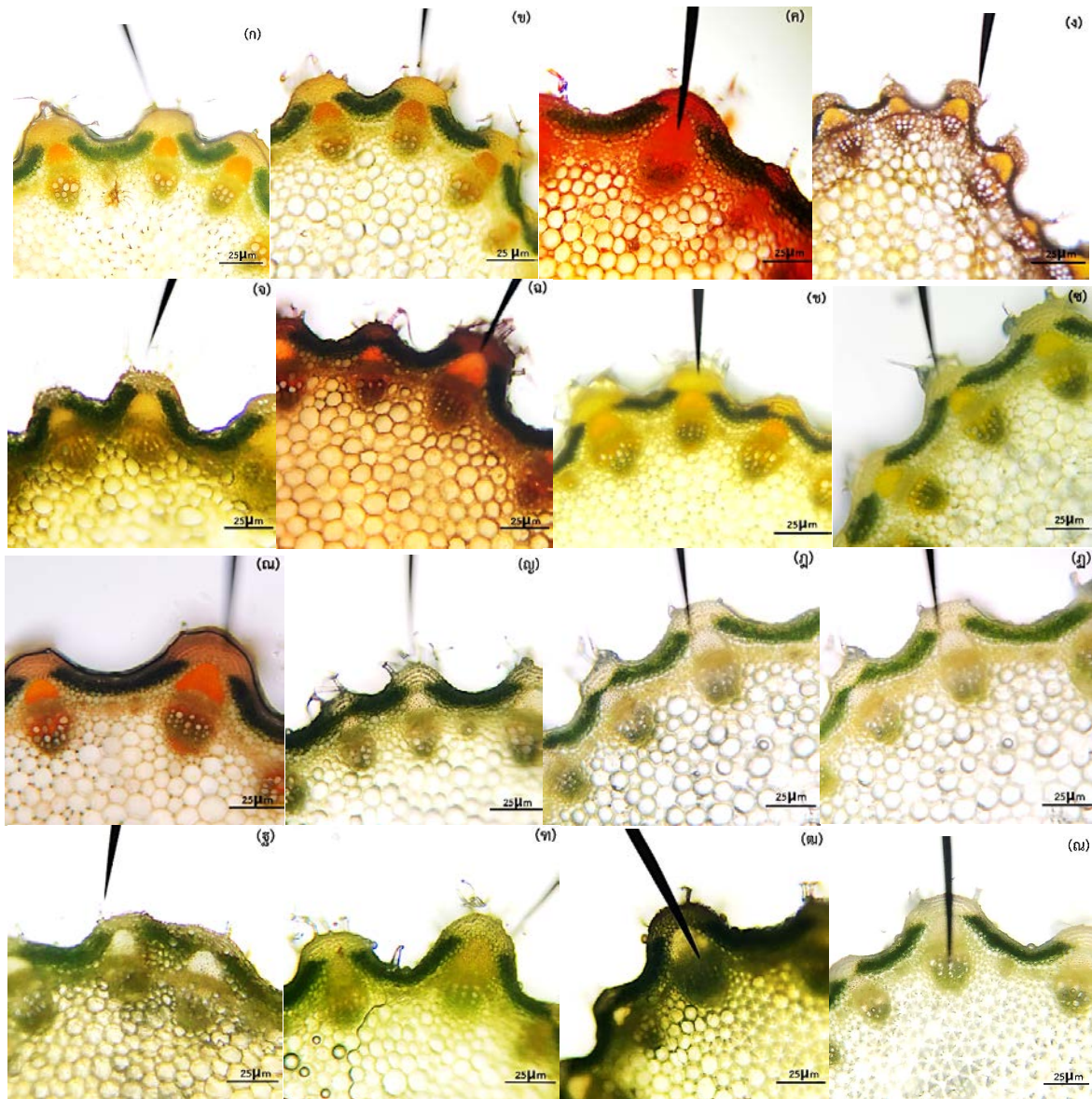
นำผงสีย้อมธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาละลายกับน้ำกลั่น เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานครั้งต่อไป โดยศึกษาอัตราส่วน 1:1 1:2 1:5 และ 1:10 [ผงแห้งสีย้อมธรรมชาติ (กรัม) : น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)] จากนั้นนำไปย้อมเนื้อเยื่อพืชตัวอย่างและศึกษาโครงสร้างเนื้อเยื่อพืช ตรวจสอบคุณภาพสีและวัดค่าความเป็นกรด - ต่าง และทำการเปรียบเทียบกับสีย้อมธรรมชาติก่อนผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

(1) ผลการคัดเลือกสีย้อมธรรมชาติสำหรับการย้อมเนื้อเยื่อพืชจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินที่ได้จากการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายและมอร์แดนท์ต่างชนิดกัน

จากการทดลอง พบว่า สีย้อมธรรมชาติจากส่วนของพืชในกลุ่มแอนโทไซยานิน 3 ชนิด ได้แก่ แก่นฝาง เปลือกมังคุด และใบประดับเฟื่องฟ้า เมื่อนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันและการเติมมอร์แดนท์ที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้สีย้อมธรรมชาติที่แตกต่างกันทั้งหมด 27 ชุดทดลอง และเมื่อนำไปย้อมเนื้อเยื่อพืชของลำต้นหอมอ่อน และทำการศึกษาโครงสร้างเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่า สีของแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติมมอร์แดนท์  $\text{CuSO}_4$  มีค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) เท่ากับ 2.98 ให้เฉดสีแดง โดยมีค่า  $L^*$  เท่ากับ 25.15 ค่า  $a^*$  เท่ากับ 24.91 และค่า  $b^*$  เท่ากับ 18.07 ซึ่งมีความใกล้เคียงกับสีสังเคราะห์ชาฟรานินโอ ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) เท่ากับ 2.94 ซึ่งให้เฉดสีแดง มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 22.11  $a^*$  เท่ากับ 23.80 และค่า  $b^*$  เท่ากับ 14.96 ทำให้สามารถมองเห็นโครงสร้างของเนื้อเยื่อพืชได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 2 ภาพที่ 3 และตารางที่ 1) ทั้งนี้การติดสีย้อมของเนื้อเยื่อในสีย้อมแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน เพราะในเซลล์พืชมีเอนไซม์ (enzyme) อยู่ในแต่ละส่วนแตกต่างกัน ซึ่งเอนไซม์บางชนิดจะจับกับโคแฟกเตอร์ (cofactor) ที่เป็นไอออนของโลหะ และความเป็นกรด-ต่างมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ (Hoefnagels, 2019) ดังนั้นการย้อมเนื้อเยื่อพืชด้วยสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติม  $\text{CuSO}_4$  เป็นมอร์แดนท์ ซึ่งมีสภาวะใกล้เคียงกับสีย้อมชาฟรานินโอมากที่สุด จึงเป็นข้อบ่งชี้ว่าเนื้อเยื่อพืชเหมาะกับการย้อมสีในเฉดสีแดงและค่าความเป็นกรด-ต่าง (pH) ในช่วง 2.9 สอดคล้องกับการศึกษาของมานิต (Manit, 2009) ที่ทำการศึกษาสีย้อมธรรมชาติจากฝางสำหรับการศึกษาเซลล์และเนื้อเยื่อ พบว่า ส่วนของแก่นฝางเมื่อนำมาต้มกับน้ำจะได้สารสีแดงและเมื่อนำมาย้อมเซลล์จะติดผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ นิวเคลียสจะติดสีชมพูหรือแดงให้ประสิทธิภาพในการย้อมใกล้เคียงกับสีสังเคราะห์ชาฟรานินโอ นอกจากนี้ยังมีรายงานเกี่ยวกับความแตกต่างของสีย้อมธรรมชาติที่สกัดจากพืชในกลุ่มแอนโทไซยานินขึ้นอยู่ตามค่าความเป็นกรด-ต่าง เมื่อสังเกตลักษณะสีย้อมธรรมชาติด้วยตาเปล่าจะพบว่าสีย้อมเป็นน้ำเงินเข้มในสภาวะที่เป็นด่าง (pH>7) เป็นสีม่วงในสภาวะที่เป็นกลาง (pH=7) และเป็นสีแดงส้มในสภาวะที่เป็นกรด (pH<7) (Department of Science Service, 2010) และจากรายงานการศึกษาเกี่ยวกับเสถียรภาพของสารสกัดแอนโทไซยานินจากรำข้าวไรซ์เบอร์รี่ (Suporn, 2019)

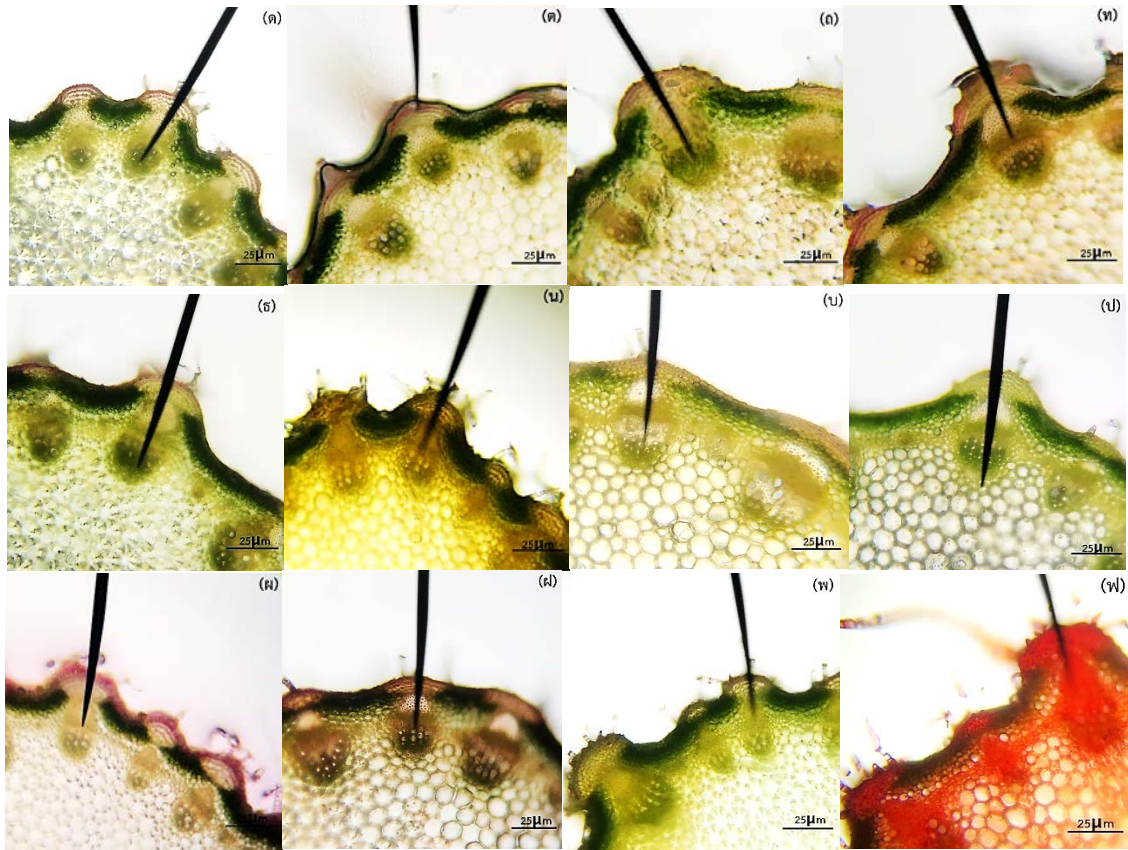
พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง มีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินในทุกตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่มีผลต่อการคงตัวของแอนโทไซยานินมีค่าเท่ากับ 1 และ 4 แต่ไม่คงตัวเมื่อมีความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 9 จากการศึกษาการพัฒนาสีของธรรมชาติสำหรับย้อมเซลล์และเนื้อเยื่อของ Sobchai (2006) ในพืช 5 ชนิดได้แก่ มะพร้าว ขนุน ฝรั่ง ขมิ้น และคำแสด โดยทำการสกัดด้วยน้ำและเติมมอร์แดนต์สารส้ม จุนสี เหล็ก เกลือแกง และโคบอลท์ในเตรทที่ระดับความเข้มข้นของสีย้อมและมอร์แดนต์ 10% และนำไปย้อมลำต้นของหญ้าละออง (*Vernonia cinerea*) เมื่อประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่ตอบแบบสอบถาม พบว่า สีย้อมจากแก่นฝางที่เติมโคบอลท์ในเตรท มีประสิทธิภาพในการย้อมดีที่สุดใน



ภาพที่ 2 การติดสีย้อมของเนื้อเยื่อพืชของลำต้นหมอน้อย

- |   |   |
|---|---|
| (ก) แก่นฝาง-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนต์             | (ข) แก่นฝาง-น้ำกลั่น-NaCl                     |
| (ค) แก่นฝาง-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>            | (ง) แก่นฝาง-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนต์   |
| (จ) แก่นฝาง-Methyl alcohol-NaCl                   | (ฉ) แก่นฝาง-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub>  |
| (ช) แก่นฝาง-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนต์          | (ซ) แก่นฝาง- Acetic acid-NaCl                 |
| (ฌ) แก่นฝาง- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub>        | (ญ) เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนต์    |
| (ฎ) เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-NaCl                    | (ฏ) เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>   |
| (ฐ) เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนต์  | (ฑ) เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-NaCl          |
| (ฒ) เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub> | (ณ) เปลือกมังคุด-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนต์ |





ภาพที่ 3 การติดสีย้อมของเนื้อเยื่อพืชของลำต้นหอมน้อย

- |   |   |
|---|---|
| (ด) เปลือกมังกุด- Acetic acid-NaCl                  | (ต) เปลือกมังกุด- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub>       |
| (ธ) ใบประดับเพื่อง่า-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนท์      | (ท) ใบประดับเพื่อง่า-น้ำกลั่น-NaCl                    |
| (ถ) ใบประดับเพื่อง่า-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>     | (น) ใบประดับเพื่อง่า-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนท์  |
| (บ) ใบประดับเพื่อง่า-Methyl alcohol-NaCl            | (ป) ใบประดับเพื่อง่า-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub> |
| (ผ) ใบประดับเพื่อง่า-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนท์   | (ฝ) ใบประดับเพื่อง่า- Acetic acid-NaCl                |
| (พ) ใบประดับเพื่อง่า- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub> | (ฟ) สีย้อมสังเคราะห์ซาฟรานินโอ (safranin-O)           |

## (2) ผลการพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติด้านการเก็บรักษาด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาคุณภาพสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติมมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> ด้านการเก็บรักษาโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาอุณหภูมิขาเข้าที่มีผลต่อความชื้นหลังทำอบแห้งและปริมาณผงสี พบว่าที่อุณหภูมิขาเข้า 210 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการนำไปพัฒนาสีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้มอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากสามารถทำให้เกิดการระเหยน้ำจากสารละลายสีย้อมธรรมชาติโดยมีความชื้นของผงสีที่อยู่ในกำหนดมาตรฐาน (ค่าเฉลี่ย 7.5%) และทำให้ได้ปริมาณผงสีมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 58.3%) (ตารางที่ 2) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิขาเข้ากับความชื้น พบว่า ค่า *p*-Value มีค่าน้อยกว่า 0.001 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิขาเข้ามีผลความชื้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 3) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความร้อนแต่ละระดับกับความชื้นพบว่าความร้อนแต่ละระดับมีผลต่อความชื้นแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 4) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิขาเข้ากับปริมาณผงสี พบว่า ค่า *p*-Value มีน้อยกว่า 0.001 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิขาเข้ามีผลต่อปริมาณผงสี ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 5) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความร้อนแต่ละระดับกับปริมาณผงสี พบว่าที่อุณหภูมิ 210 กับ 220 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณผงสีแตกต่างกัน แต่ที่อุณหภูมิ 220 กับ 230 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ตารางที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Phonchai (2018) ที่ทำการศึกษการเพิ่มผลิตภาพของกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตสีย้อมหนึ่ง โดยทำการศึกษาอุณหภูมิขาเข้าที่เหมาะสมพบว่าอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส เป็นที่ดีที่สุด ที่ได้ผลิตภาพและความชื้นในเกณฑ์มาตรฐานยอมรับ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้นไปด้วย ทำให้ผงสีถูกลมร้อนเป่ามากขึ้น จึงทำให้ผงสีมีความชื้นต่ำและเมื่อผงสีมีความชื้นต่ำทำให้มีน้ำหนักเบา จึงถูกลมร้อนเป่าผ่านกลายเป็นฝุ่นลอยกลับขึ้นไปข้างบนของแชมเบอร์ (chamber) ทำให้ได้ปริมาณผงสีที่น้อยลง

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าสีของสีย้อมธรรมชาติกับสีย้อมสังเคราะห์

ลำดับ	สีย้อม	ค่ากรด-ด่าง (pH)	คุณภาพสี		
			L*	a*	b*
<b>สีย้อมธรรมชาติ (พืช-สารที่ใช้สกัด-มอร์แดนท์)</b>					
1	แก่นฝาง-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนท์	6.21	28.86	17.41	31.76
2	แก่นฝางแก่นฝาง-น้ำกลั่น-NaCl	6.51	27.28	17.17	30.33
3	แก่นฝาง-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>	2.98	25.15	24.91	18.07
4	แก่นฝาง-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนท์	8.35	27.28	18.46	46.68
5	แก่นฝาง-Methyl alcohol-NaCl	8.11	25.48	16.86	24.23
6	แก่นฝาง-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub>	3.12	25.47	19.46	24.16
7	แก่นฝาง-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนท์	4.09	43.15	-3.90	17.28
8	แก่นฝาง- Acetic acid-NaCl	4.10	38.21	-3.57	15.60
9	แก่นฝาง- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub>	3.01	37.17	-3.59	15.35
10	เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนท์	7.23	19.65	-4.40	37.76
11	เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-NaCl	7.53	19.30	-3.20	36.05
12	เปลือกมังคุด-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>	6.30	19.76	-2.85	35.73
13	เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนท์	6.57	18.51	-2.47	20.77
14	เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-NaCl	6.40	18.93	-2.77	21.82
15	เปลือกมังคุด-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub>	3.28	19.26	-2.50	20.93
16	เปลือกมังคุด-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนท์	4.30	30.51	-5.86	10.95
17	เปลือกมังคุด- Acetic acid-NaCl	4.20	30.21	-5.88	10.85
18	เปลือกมังคุด- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub>	3.90	30.03	-5.69	10.74
19	ใบประดับเฟื่องฟ้า-น้ำกลั่น-ไม่เติมมอร์แดนท์	7.15	35.09	-7.59	18.21
20	ใบประดับเฟื่องฟ้า-น้ำกลั่น-NaCl	7.02	32.90	-5.36	18.90
21	ใบประดับเฟื่องฟ้า-น้ำกลั่น-CuSO <sub>4</sub>	3.50	32.27	-4.92	16.93
22	ใบประดับเฟื่องฟ้า-Methyl alcohol-ไม่เติมมอร์แดนท์	7.38	31.84	-2.80	20.91
23	ใบประดับเฟื่องฟ้า-Methyl alcohol-NaCl	7.31	31.09	-2.51	20.30
24	ใบประดับเฟื่องฟ้า-Methyl alcohol-CuSO <sub>4</sub>	4.20	33.17	-2.82	21.73
25	ใบประดับเฟื่องฟ้า-Acetic acid-ไม่เติมมอร์แดนท์	7.76	18.92	17.33	10.23
26	ใบประดับเฟื่องฟ้า- Acetic acid-NaCl	7.70	18.97	14.81	10.34
27	ใบประดับเฟื่องฟ้า- Acetic acid-CuSO <sub>4</sub>	3.30	18.03	16.68	10.10
สีย้อมสังเคราะห์ซาฟรานินโอ (safranin-O)		2.94	22.11	23.80	14.96

ตารางที่ 2 ผลการทดลองอุณหภูมิขาเข้า ค่าความชื้นและปริมาณผงสีย้อมธรรมชาติ

การทดลอง	อุณหภูมิขาเข้า (C°)	ความชื้น (%db)	ค่าเฉลี่ยความชื้น (mean)	ปริมาณผงสี (%yield)	ค่าเฉลี่ยปริมาณผงสี (mean)
1	210	7.8	7.5%	59.6	58.3%
2	210	7.6		58.4	
3	210	7.2		57.1	
4	220	5.8	5.6%	42.1	43.0%
5	220	5.7		44.6	
6	220	5.4		43.0	
7	230	3.7	3.4%	40.2	41.8%

การทดลอง	อุณหภูมิ ขาเข้า (C°)	ความชื้น (%db)	ค่าเฉลี่ยความชื้น (mean)	ปริมาณผลผลิต (%yield)	ค่าเฉลี่ยปริมาณผลผลิต (mean)
8	230	3.2		43.5	
9	230	3.4		42.0	

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิขาเข้าสำหรับความชื้นของสีย้อมธรรมชาติ

Groups	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	25.260	2	12.630	189.450	<.001
Within Groups	.400	6	.067		
Total	25.660	8			

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณแบบ LSD ระหว่างอุณหภูมิขาเข้ากับความชื้นของสีย้อมธรรมชาติ

(I) Inlet temperature	(J) Inlet temperature	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T210	T220	1.9000*	.2108	<.001	1.384	2.416
	T230	4.1000*	.2108	<.001	3.584	4.616
T220	T210	-1.9000*	.2108	<.001	-2.416	-1.384
	T230	2.2000*	.2108	<.001	1.684	2.716
T230	T210	-4.1000*	.2108	<.001	-4.616	-3.584
	T220	-2.2000*	.2108	<.001	-2.716	-1.684

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของอุณหภูมิขาเข้าสำหรับปริมาณผลผลิตสีย้อมธรรมชาติ

Groups	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	501.947	2	250.973	127.686	<.001
Within Groups	11.793	6	1.966		
Total	513.740	8			

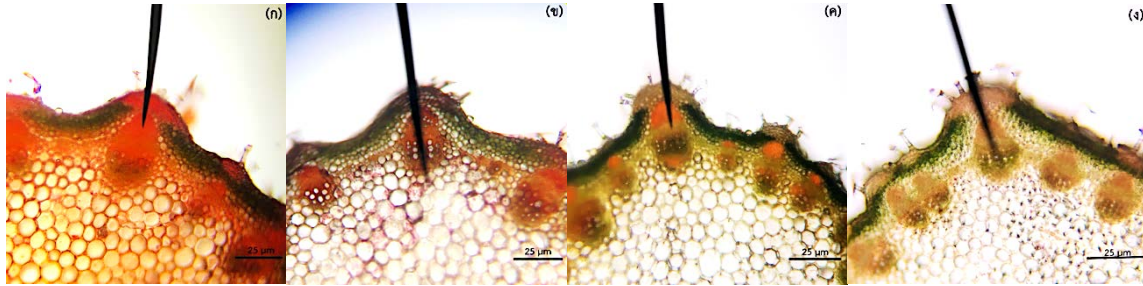
ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบพหุคูณแบบ LSD ระหว่างอุณหภูมิขาเข้ากับปริมาณผลผลิตสีย้อมธรรมชาติ

(I) temperature	(J) temperature	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
T210	T220	15.1333*	1.1447	<.001	12.332	17.934
	T230	16.4667*	1.1447	<.001	13.666	19.268
T220	T210	-15.1333*	1.1447	<.001	-17.934	-12.332
	T230	1.3333	1.1447	.288	-1.468	4.134
T230	T210	-16.4667*	1.1447	<.001	-19.268	-13.666
	T220	-1.3333	1.1447	.288	-4.134	1.468

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

**(3) อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของผงสีย้อมธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อการละลายน้ำ**

ผลจากการทดลองอัตราส่วน 1:1 1:2 1:5 และ 1:10 [ผงแห้งสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติมเมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> (กรัม) : น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)] พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:1 เมื่อเปรียบเทียบการติดสีของเนื้อเยื่อพืชของสีย้อมธรรมชาติก่อนผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย อาจเนื่องจากเมื่อทำการละลายผงสีย้อมธรรมชาติกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 ทำให้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.22 ค่าสีความสว่าง (L\*) เท่ากับ 22.47 ค่าสีแดง (a\*) เท่ากับ 20.33 และค่าสีเหลือง (b\*) เท่ากับ 16.51 ซึ่งใกล้เคียงกับสีย้อมธรรมชาติก่อนผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยมากที่สุด การติดเนื้อเยื่อพืชอยู่ในเฉดสีแดงและสามารถมองเห็นโครงสร้างเซลล์ได้อย่างชัดเจน (ภาพที่ 4 และตารางที่ 7)



ภาพที่ 4 การติดสีของเนื้อเยื่อลำต้นหม่อนน้อยจากการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติมเมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> หลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยละลายน้ำกลั่น อัตราส่วน (ก) 1:1 (ข) 1:2 (ค) 1:5 (ง) 1:10

ตารางที่ 7 ความเป็นกรด-ด่างและคุณภาพสีของผงสีย้อมธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยละลายน้ำกลั่น

อัตราส่วน ผงแห้งสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและเติม เมอร์แดนท์ CuSO <sub>4</sub> (กรัม) : น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ค่ากรด-ด่าง (pH)	คุณภาพสี		
		L*	a*	b*
1:1	3.22	22.47	20.33	16.51
1:2	3.51	20.28	18.17	16.33
1:5	4.02	29.15	17.82	18.07
1:10	4.21	27.28	17.46	19.68

**สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย**

สีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้เมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> เป็นวิธีการสกัดสีย้อมธรรมชาติที่ดีที่สุดจากตัวอย่างพืชที่มีการศึกษาในครั้งนี้ โดยพบว่ามีความใกล้เคียงกับสีย้อมสังเคราะห์ชาฟรานินโอ เมื่อนำสีย้อมธรรมชาติแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้เมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> มาทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าอุณหภูมิที่เข้าที่ที่เหมาะสมที่สุด คือ 210 องศาเซลเซียส โดยทำให้ผงสีย้อมมีความชื้นที่อยู่ในช่วงมาตรฐานและทำให้ได้ปริมาณผงสีย้อมมากที่สุด การละลายผงสีย้อมในน้ำกลั่น (กรัม: มิลลิลิตร) ที่เหมาะสมที่สุด คือ อัตราส่วน 1:1 เพราะย้อมสีสามารถติดเนื้อเยื่อพืชในเฉดสีแดงและมองเห็นโครงสร้างเซลล์อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเห็นควรใช้สีย้อมธรรมชาติจากแก่นฝางที่สกัดด้วยน้ำกลั่นและใช้เมอร์แดนท์ CuSO<sub>4</sub> ในการย้อมเนื้อเยื่อพืชเพื่อทดแทนสีย้อมสังเคราะห์ชาฟรานินโอ ข้อเสนอแนะในการใช้งานคือควรเก็บผงสีย้อมธรรมชาติไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อรักษาคุณภาพของสีย้อม

**กิตติกรรมประกาศ**

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่อนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในการศึกษาวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Department of Science Service. (2010). **Anthocyanin** (In Thai). Bangkok: Bureau of Science and Technology Information.
- Genesiska, A. and Herda, R. (2018). Extract of dragon fruit pulp (*Hylocereus polyrhizus*) potentially stain chromosomes of red onion (*Allium ascaloncum*). **Biogenesis: Journal Ilmiah Biology**, 6(2), 93-97.
- Gita, H., Zulharmita, Z. and Ridho, A. (2021). Utilization of natural dyes substances for histological staining: a review. **Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development**, 9(1), 149-158.
- Hoefnagels, M. (2019). **Biology: the essentials**. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Manit, K. (2009). Natural dry from sappan tree (*Caesalpinia sappan* L.) for studying plant cells and tissues (in Thai). **Thai Journal of Botany**, 1(2), 61-70.
- Mayuree, K., Prawpran, D., Suchaya, W. and Siaporn, H. (2018). Extraction and application of natural dyes from indigenous plants for plant histological staining (In Thai). **Proceedings of 3<sup>rd</sup> North Eastern Science and Technology Conference**. (pp.462-471). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani Rajabhat University.
- Phonchai, P. (2018). Productivity improvement of spray drying process in the leather dye manufacturing (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Kasetsart University.
- Rujira, T., Yodchai, C., Alongkod, T. and Sayan, P. (2017). Application of natural dye from purple sweet corn (*Zea mays saccharate*) for plant cell mitosis studies (in Thai). **Koch Cha Sarn Journal of Science**, 39(2), 34-44.
- Sirirat, P., Naphon, W. and Manussawee, D. (2021). Development of chromosome staining dye extracted from black glutinous rice (*Oryza sativa* ver. Indica) (In Thai). **Burapha Science Journal**, 26(2), 1096-1108.
- Sobchai, S. (2006). The development of natural dry for staining cell and tissue. **Master's Thesis**. Chiang Mai: Chiang Mai University.
- Supapporn, P. (2019). Stability of anthocyanin extract from riceberry rice bran encapsulated with rice bran protein concentrate under different pH and heating conditions (in Thai). **RMUTSB Academic Journal**, 7(2), 205-215.
- Suwichar, D. (2007). Extration and purification of anthocyanin from java plum (*Syzygium cumini* L.) (in Thai). **Master's Thesis**. Bangkok: Kasetsart University.

บทความวิจัย

## การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ

ชาญชัย ศุภอรรรถกร<sup>1,\*</sup> จิรายุ แสงศรี<sup>2</sup> และอัญชลีกร คำหล้า<sup>2</sup><sup>1</sup>ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี<sup>2</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี\*Email: [chanchai.s@ubu.ac.th](mailto:chanchai.s@ubu.ac.th)

รับบทความ: 21 มกราคม 2565 แก้ไขบทความ: 1 มีนาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 24 มีนาคม 2565

### บทคัดย่อ

“Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ” เป็นเว็บแอปพลิเคชันที่รวบรวมข้อมูลการท่องเที่ยววัดเมืองไทย ผู้ใช้งานสามารถทำการสืบค้นข้อมูลวัด โดยจะแสดงข้อมูลที่สำคัญของวัด ข้อมูลความคิดเห็นของนักท่องเที่ยว ข้อมูลรีวิวของนักท่องเที่ยว และการกดดูใจของนักท่องเที่ยวเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเดินทางมาท่องเที่ยววัด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ 3) สอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ ระบบแบ่งผู้ใช้งานเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) บุคคลทั่วไป 2) สมาชิก 3) เจ้าหน้าที่วัด และ 4) ผู้ดูแลระบบ ผลการทดสอบและประเมินผลระบบ ใช้วิธีการทดสอบกล่องดำ แบบ User Acceptance Test (UAT) การประเมินผลระบบใช้แบบสอบถามลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่าที่คำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา เท่ากับ 0.909 และผลประเมินจากผู้ใช้งาน ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79 ดังนั้นระบบจะช่วยส่งเสริมและกระตุ้นการท่องเที่ยววัดเมืองไทยให้นักท่องเที่ยวสามารถค้นหาข้อมูลเพื่อศึกษาวัดนั้น ๆ ได้

**คำสำคัญ:** เว็บแอปพลิเคชัน การท่องเที่ยว วัดไทย

### อ้างอิงบทความนี้

ชาญชัย ศุภอรรรถกร, จิรายุ แสงศรี และอัญชลีกร คำหล้า. (2565). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 12-22. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.2>



Research Article

## Wongwat Web Application Development: Thai temples tour, pursuing Dharma

Chanchai Supaartagorn<sup>1,\*</sup> Jirayu Saengsri<sup>2</sup> and Aunchaleekorn Khamla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

<sup>2</sup>Bachelor of Science, Major of Information Technology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

\*Email: chanchai.s@ubu.ac.th

Received <21 January 2022>; Revised <1 March 2022>; Accepted <24 March 2022>

### Abstract

“Wongwat: Thai temples tour, pursuing Dharma” is a web application that collects travel information for Thai temples. There is a searching function to show temple information, traveler’s comments, reviews and liked. This information is important for decision-making in traveling to the temple. The objectives of this research were to 1) design and develop the Wongwat web application: Thai temples tour, pursuing Dharma”. 2) evaluate the performance of the Wongwat web application: Thai temples tour, pursuing Dharma”. 3) examine users’ satisfaction for the Wongwat web application: Thai temples tour, pursuing Dharma”. There are 4 user groups: 1) General user 2) Member 3) Temple staff and 4) System administrator. The result of system testing and evaluation uses Black-box testing with User Acceptance Test (UAT). The questionnaire had a rating scale format that calculated Cronbach's alpha coefficient was 0.909. The average satisfaction level was high, the average was 4.23, the standard deviation was 0.79. Therefore, the system will help promote and stimulate tourism in Thai temples for tourists. They can search for information to study that temple.

**Keywords:** Web application, Travel, Thai temples

#### Cite this article:

Supaartagorn, C., Saengsri, J. and Khamla, A. (2022). Wongwat Web Application Development: Thai temples tour, pursuing Dharma (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 12-22.  
<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.2>

## บทนำ

นับจากอดีตพุทธศาสนาเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดวิถีชีวิตของชาวไทยโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นแหล่งที่รวบรวมงานศิลป์ วิทยาการและความรู้มากมายหลายสาขา ตลอดจนเป็นแหล่งรวมของศิลปกรรมที่มีค่าเช่น โบราณสถาน โบราณวัตถุ และจิตรกรรมฝาผนัง ซึ่งงานศิลปกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ นับเป็นมรดกทางวัฒนธรรมอันล้ำค่าและเป็นเสมือนเอกลักษณ์ของความเป็นชาติไทยด้วย ศิลปวัฒนธรรมที่สะท้อนให้เห็นอารยธรรมและความเจริญของชาติอันเป็นแหล่งรวมที่สามารถศึกษาย้อนกลับได้ในด้านประวัติศาสตร์ โบราณคดี วัฒนธรรม ศิลปกรรม สถาปัตยกรรม รวมทั้งการเชื่อมโยงความเป็นมาของวัฒนธรรมกับชุมชนและการตั้งถิ่นฐานของชุมชน (Jullasikkee, 2019) ปัจจุบันวัดหรือศาสนาสถานได้กลายเป็นอีกหนึ่งแหล่งท่องเที่ยวที่ผู้คนต่างให้ความสนใจเพิ่มขึ้น ประกอบกับการที่ กรมการศาสนา กระทรวงวัฒนธรรม ได้มีโครงการส่งเสริมการท่องเที่ยวเส้นทางแสวงบุญในมิติทางศาสนา ตั้งแต่ปี 2557 เพื่อเป็นการส่งเสริมให้วัดเป็นแหล่งท่องเที่ยวในทุกภูมิภาคอันจะนำมาซึ่งการธำรงรักษาความเลื่อมใสศรัทธาในพระพุทธศาสนาและวัฒนธรรมประเพณีอันดีงามของไทย และเป็นการเพิ่มรายได้จากการท่องเที่ยวและบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการส่งเสริมการท่องเที่ยวในมิติศาสนา ซึ่งเป็นนโยบายที่สำคัญของประเทศ (Publication database system, 2014)

อินเทอร์เน็ต จัดเป็นเครื่องมือสื่อสารที่ได้รับความนิยม เนื่องจากสามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างกว้างขวางและรวดเร็ว โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของเวลา อีกทั้งยังใช้ต้นทุนต่ำในการลงทุน ดังนั้นหลาย ๆ องค์กรจึงเริ่มพัฒนาเทคโนโลยีเว็บไซต์เพื่อใช้ในการประชาสัมพันธ์องค์กร การนำเสนอข้อมูลต่าง ๆ นักท่องเที่ยวนิยมวางแผนการเดินทางล่วงหน้าโดยการค้นหาข้อมูลการท่องเที่ยวและการเดินทางผ่านทางโปรแกรมค้นหา (search engine) เช่น Google โดยหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานที่ท่องเที่ยวที่สนใจ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเว็บไซต์การท่องเที่ยวหลายงานวิจัย เช่น Kumpala and Srisamran (2019) ได้พัฒนาเว็บไซต์ส่งเสริมการท่องเที่ยววัดในเขตเมืองแก่นนครราชสีมา เพื่อให้ผู้สนใจหรือนักท่องเที่ยวศึกษาข้อมูลเว็บไซต์ที่มีปฏิสัมพันธ์ในรูปแบบสภาพแวดล้อม 360 องศา ซึ่งทำให้ผู้เข้าชมมีความรู้สึกเหมือนได้เข้าชมสถานที่จริง Chatkaew, et al (2021) ได้พัฒนาเว็บไซต์ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยววัดในอำเภอเมือง จังหวัดลำพูน โดยผู้ใช้ทั่วไปสามารถดูข้อมูลเกี่ยวกับวัด ข้อมูลเกี่ยวกับการประชาสัมพันธ์ ข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรม และสามารถเข้าไปแสดงความคิดเห็นได้ จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเว็บไซต์การท่องเที่ยววัดที่กล่าวมาจะมีลักษณะของการพัฒนาข้อมูลเฉพาะที่ได้ที่หนึ่งเท่านั้น ไม่ได้พัฒนาในลักษณะในรูปแบบของเว็บท่า (Web portal) คือเป็นเว็บไซต์ที่เป็นศูนย์รวมข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากมารวมไว้ในที่เดียวกัน และข้อมูลทั้งหมดสามารถที่จะเชื่อมโยงถึงกันได้ ตัวอย่างเว็บไซต์สนุก (sanook) ซึ่งเป็นเว็บท่าอันดับหนึ่งของประเทศ ประกอบไปด้วยเนื้อหาที่หลากหลายครอบคลุมทุกไลฟ์สไตล์ และมักมีการจัดกระแสข่าวที่ร้อนแรงในแต่ละช่วงเวลาแนะนำเสนอ ดังนั้นข้อมูลการท่องเที่ยววัด ซึ่งในประเทศไทยมีวัดอยู่เป็นจำนวนมาก จากข้อมูลของสำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ ในปี 2564 ประเทศไทยมีวัดทั่วประเทศทั้งหมดจำนวน 42,626 วัด พระอารามหลวง 310 วัด วัดราษฎร์ 42,316 วัด (Information Technology subdivision, 2021) ทางผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาเว็บไซต์ที่เป็นศูนย์รวมของข้อมูลวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศ โดยผู้เข้าเยี่ยมชมสามารถค้นหาวัดที่สนใจด้วยระบบการสืบค้นตามชื่อวัด สืบค้นตามจังหวัด ข้อมูลของวัดก็จะประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐานของวัดนั้น ๆ อาทิเช่น ประวัติความเป็นมา สถานที่ตั้ง การเดินทาง รูปภาพวัด เป็นต้น นอกจากนี้ทางผู้วิจัยยังได้แนวคิดจากการพัฒนาเว็บท่า Wongnai ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่ได้รับความนิยมของผู้บริโภคเป็นอย่างมาก โดยผู้ใช้งานสามารถค้นหาร้านอาหาร ข้อมูล รูปภาพและคำวิจารณ์จากสมาชิกคนอื่น สมาชิกผู้ใช้งานเว็บไซต์สามารถเพิ่มข้อมูลร้านอาหารหรือเสนอแนะให้แก่ไขข้อมูลร้านอาหารที่มีอยู่ในฐานข้อมูล แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับร้านอาหาร สามารถอัปโหลดรูปภาพเกี่ยวกับร้านอาหาร และติดตามความเคลื่อนไหวของเพื่อนภายในเว็บไซต์ได้แบบตามเวลาจริง (Songsraboon, 2019) ดังนั้นตามแนวคิดของเว็บท่า Wongnai ถ้าเปลี่ยนจากข้อมูลร้านอาหารเป็นข้อมูลวัดภายในประเทศที่มีจำนวนมาก ก็จะสามารถให้บริการข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวได้ศึกษาข้อมูลก่อนเดินทางจริง ทั้งข้อมูลวัด รูปภาพวัด คำวิจารณ์ รวมทั้งข้อเสนอแนะ ความคิดเห็นจากผู้ที่มาท่องเที่ยวเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการเดินทางมาท่องเที่ยว

จากเหตุผลข้างต้น สรุปปัญหาที่สำคัญในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับการท่องเที่ยววัดในปัจจุบันได้ 2 ประการ คือ 1) ปัญหาเรื่องการเข้าถึงเนื้อหา (content) ข้อมูลวัดที่กระจัดกระจาย ไม่รวมภายในเว็บเดียว 2) ปัญหาการให้ข้อมูลที่ไม่หลากหลายสำหรับประกอบการตัดสินใจแก่นักท่องเที่ยววัด ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้แนวคิดในการพัฒนาระบบเว็บท่าที่รวบรวมข้อมูลวัดทั่วประเทศและสามารถเข้าถึงเนื้อหาได้ภายในเว็บเดียว และการมีฟังก์ชันการทำงานที่สำคัญเหมือนเว็บ Wongnai โดยระบบที่พัฒนามีชื่อว่า “Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ” โดยระบบแบ่งผู้ใช้งานเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) บุคคลทั่วไป สามารถค้นหาวัด ดูข้อมูลวัด ดูรีวิว ดูความคิดเห็นที่มีต่อวัดนั้น ๆ 2) สมาชิก สามารถค้นหาวัด ดูข้อมูลวัด เขียนรีวิว แสดงความคิดเห็น ให้คะแนน กดถูกใจ และแชร์ไปยังเฟซบุ๊ก 3) เจ้าหน้าที่วัด สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลวัด และ 4) ผู้ดูแลระบบ สามารถตรวจสอบจัดการข้อมูลความคิดเห็น ข้อมูลวัด ข้อมูลรีวิว และข้อมูลสมาชิกได้ นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ทำการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้

เพื่อปรับปรุงแก้ไขระบบให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ทั้งนี้เพื่อให้ระบบมีความสมบูรณ์และถูกต้อง ซึ่งจะสามารถช่วยส่งเสริมและกระตุ้นการท่องเที่ยววัดเมืองไทย

### วัตถุประสงค์การวิจัย

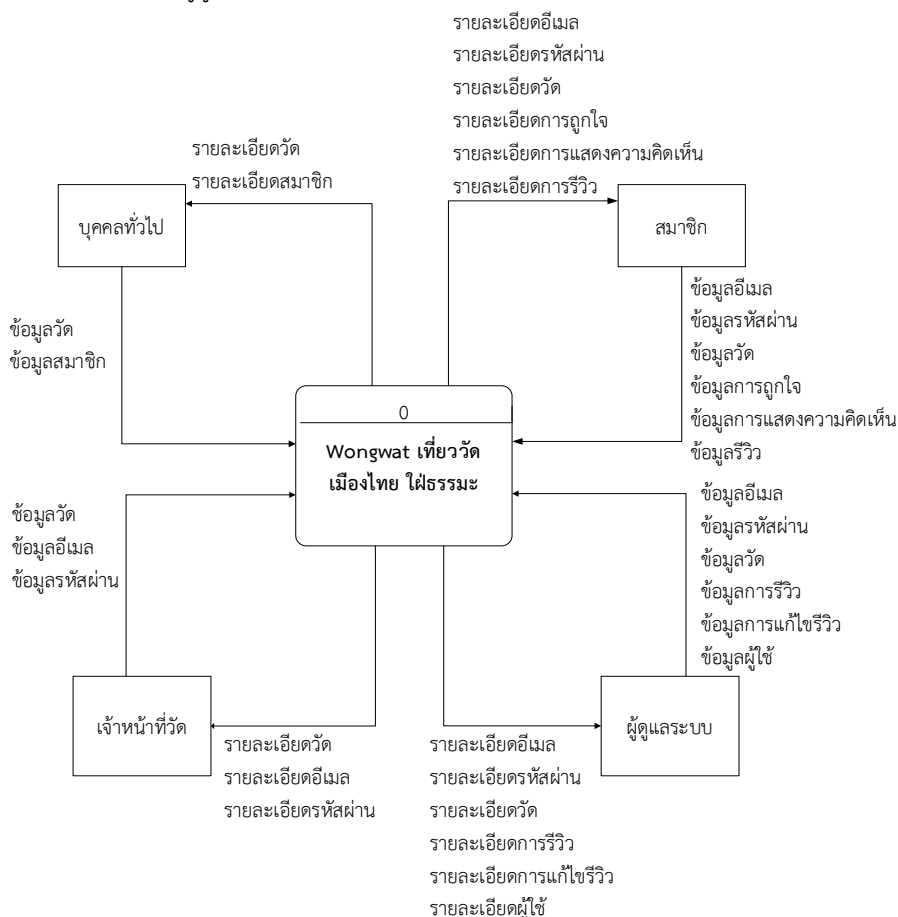
1. เพื่อออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ฝั่งธรรมะ
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ฝั่งธรรมะ
3. เพื่อสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ฝั่งธรรมะ

### วิธีดำเนินการวิจัย

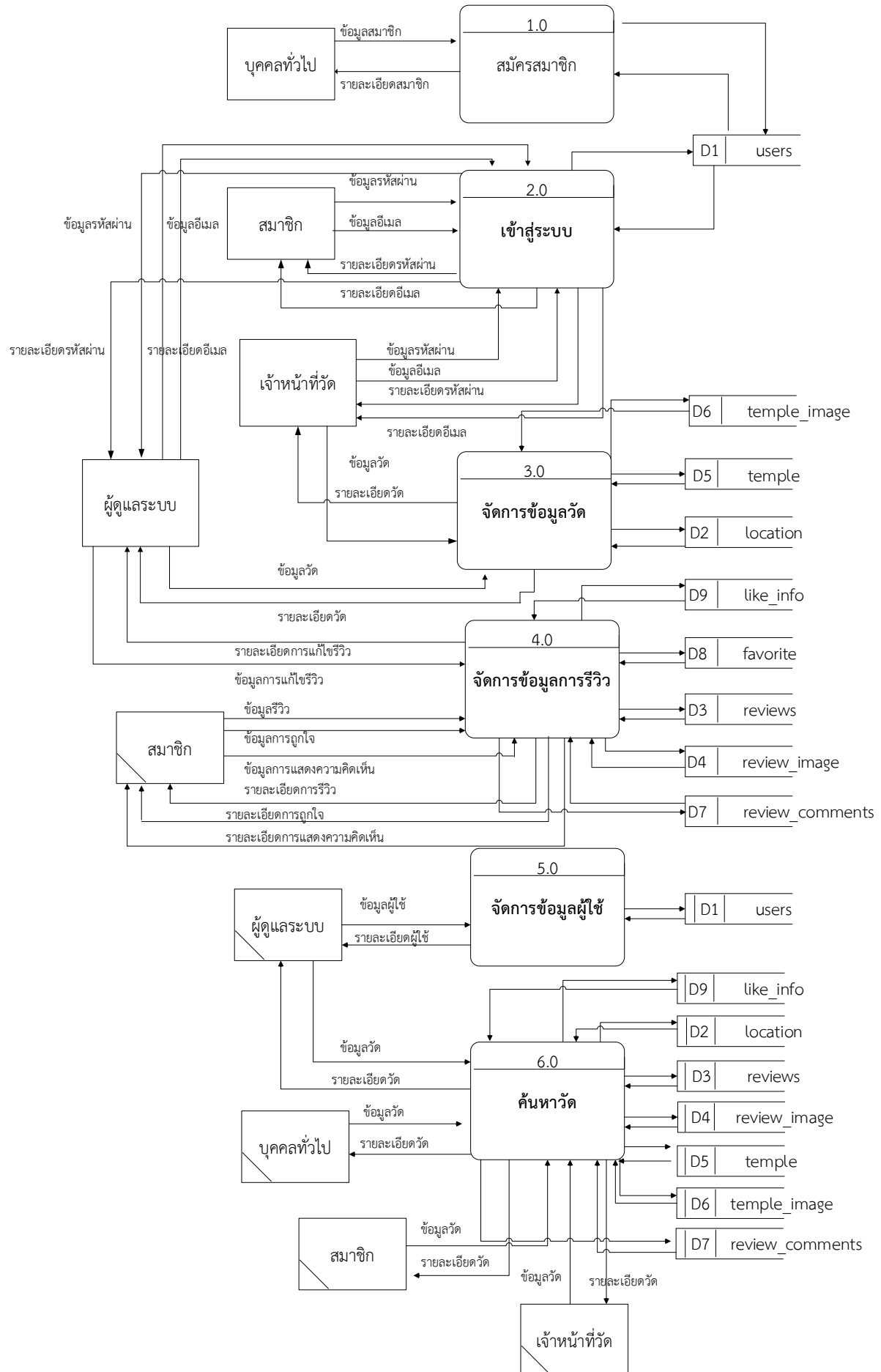
เว็บแอปพลิเคชัน “Wongwat เที่ยววัดเมืองไทย ฝั่งธรรมะ” ประกอบด้วยขั้นตอนวิธีการวิจัย ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการของผู้ใช้ (User requirement)** ผู้วิจัยเริ่มการดำเนินงานโดยศึกษาถึงความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคเกี่ยวกับเทคโนโลยีที่ใช้พัฒนา ความเป็นไปได้ทางด้านการปฏิบัติงานว่าสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ระบบหรือไม่ ความเหมาะสมของระบบกับผู้ใช้ รวมทั้งปัญหาที่สำคัญของการพัฒนาเว็บไซต์ทางด้านการท่องเที่ยวต่าง ๆ ที่ไม่รวมในเว็บเดียวและการให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจที่ไม่หลากหลายแก่นักท่องเที่ยว นอกจากนี้ ยังมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเว็บไซต์การท่องเที่ยว แนวคิดการพัฒนาเว็บไซต์บริการเครือข่ายสังคมที่ชื่อ วงใน โดยหลักการสำคัญที่ วงใน ใช้คือการสร้างสารสนเทศเชิงเนื้อหา (Information content) ที่มีลักษณะเป็นการสร้างแรงบันดาลใจหรือกระตุ้นให้ผู้บริโภคอยากท่องเที่ยวด้วยการนำเสนอ แนะนำ รีวิว รวบรวมสถานที่ท่องเที่ยว ที่พัก ร้านอาหาร ตลอดจนเรื่องราวที่เป็นประโยชน์สำหรับการเดินทาง (Promsit, 2020)

**ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System analysis and design)** โดยใช้แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram - DFD) เพื่อแสดงการไหลของข้อมูลจากแหล่งข้อมูลภายนอกเข้ามาในระบบ และแสดงการไหลของข้อมูลจากกระบวนการหนึ่งไปยังอีกกระบวนการหนึ่ง แผนภาพบริบท (Context Diagram) และ แผนภาพกระแสข้อมูล (DFD level 1) ของระบบ แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ โดยระบบแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) บุคคลทั่วไป 2) สมาชิก 3) เจ้าหน้าที่วัด และ 4) ผู้ดูแลระบบ

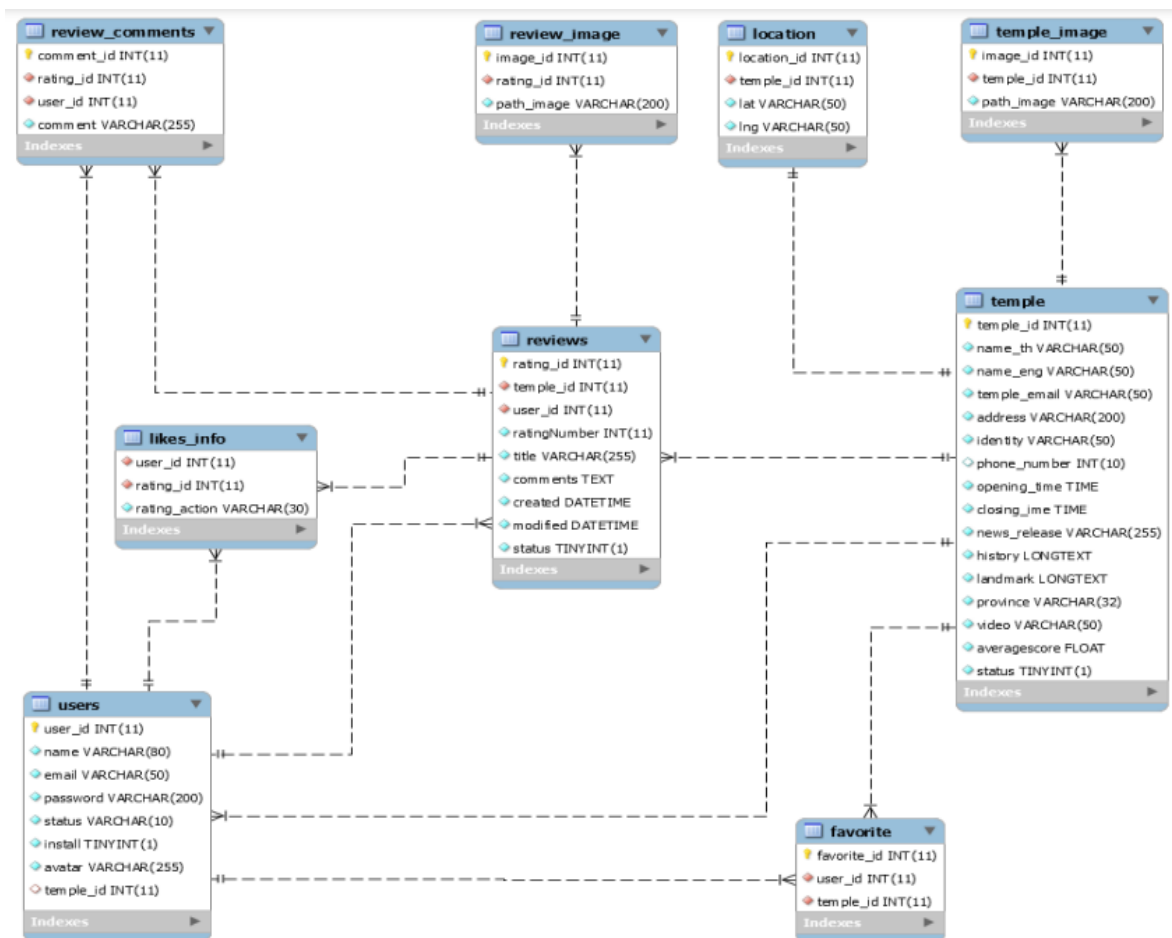


ภาพที่ 1 แผนภาพบริบท (Context Diagram) ของระบบ



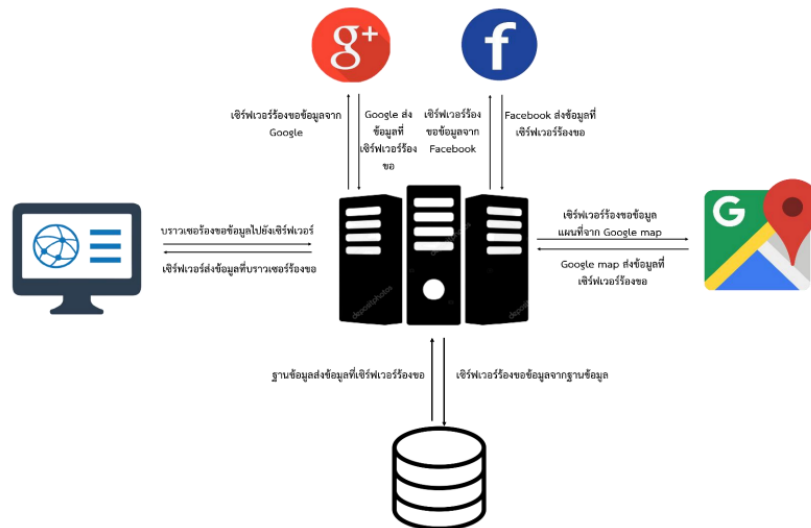
ภาพที่ 2 แผนภาพกระแสข้อมูล (DFD level 1) ของระบบ

นอกจากนั้น ผู้วิจัยได้ใช้แผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี (Entity Relationship Diagram – ER Diagram) เพื่อแสดงโครงสร้างและความสัมพันธ์ของฐานข้อมูล แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนภาพความสัมพันธ์ของเอนทิตี (ER Diagram) ของระบบ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบ ( System development) ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมภาษา PHP ในการพัฒนาร่วมกับ Bootstrap framework ในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (user interface) ฐานข้อมูล MariaDB สำหรับการจัดเก็บข้อมูลของระบบ ขั้นตอนการทำงานเป็นในรูปแบบระบบรับ-ให้บริการ (client/server) โดยเริ่มจากเว็บเบราว์เซอร์ (web browser) ทำการร้องขอข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ เครื่องเซิร์ฟเวอร์เมื่อได้รับคำร้องขอก็จะทำการประมวลผลทั้งการจัดการข้อมูลในฐานข้อมูล การใช้ Google Maps API ซึ่งเป็นชุดเชื่อมต่อกจากระบบหนึ่งไปสู่อีกระบบหนึ่ง เพื่อให้ซอฟต์แวร์ภายนอกในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับเรียกใช้แผนที่ในการแสดงตำแหน่งที่อยู่ของวัด ได้เหมือนกับที่ google แสดง นอกจากนั้นยังใช้ Facebook API กับ Google API เพื่อเปิดใช้งาน Facebook login และ Google login ตามลำดับ ทำให้ผู้ใช้งานที่มีบัญชีของ facebook และ google สามารถเข้าสู่ระบบได้เลย ไม่ต้องเสียเวลาในการลงทะเบียนใช้งาน หลังจากนั้นเซิร์ฟเวอร์ก็จะส่งข้อมูลกลับไปยังเว็บเบราว์เซอร์ตามที่ร้องขอมา โดยในการพัฒนาระบบผู้วิจัยได้กำหนดสถาปัตยกรรมของระบบ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมของระบบ

**ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบและประเมินผลระบบ (System testing & evaluation)** การทดสอบประสิทธิภาพของระบบประกอบด้วยขั้นตอนที่จะทดสอบข้อมูลนำเข้ากระบวนการประมวลผลและผลลัพธ์ของเว็บแอปพลิเคชัน ส่วนการประเมินผลการใช้ระบบใช้วิธีการทดสอบกล่องดำ แบบ User Acceptance Test (UAT) ด้วยการใช้กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งานและทำการประเมินผลระบบ โดยใช้แบบสอบถามในลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating scale) ใช้เกณฑ์ 5 ระดับของลิเคิร์ต (Likert's scale) ซึ่งผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามนี้ไปทดลองใช้ (Try-Out) กับพระและเจ้าหน้าที่วัดที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้จำนวน 10 ตัวอย่าง และทำการคำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ได้ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ได้ค่าเท่ากับ 0.909 ของแบบสอบถามทั้งฉบับ และค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา ในคำถามรายข้อจำนวน 34 ข้อ ได้ค่าระหว่าง 0.900-0.914 หลังจากนั้นจึงนำแบบสอบถามไปทำการประเมิน โดยผู้วิจัยได้เลือกการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยกำหนดให้เป็นกลุ่มผู้ดูแลข้อมูลวัดและข้อมูลการท่องเที่ยวภายในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ พระ เจ้าหน้าที่วัด จำนวน 5 วัด คือ วัดสุปฏิหารามวรวิหาร วัดใต้พระเจ้าใหญ่องค์ตื้อ วัดหลวง วัดมหาวนาราม วัดกลางและเจ้าหน้าที่สำนักงานการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย จังหวัดอุบลราชธานี รวมจำนวน 10 ตัวอย่าง หลังจากนั้นทำการสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบด้วยการหาค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

**ขั้นตอนที่ 5 การบำรุงรักษาระบบ (System Maintenance)** เป็นการตรวจสอบความผิดพลาดในการทำงานของระบบเพื่อทำการแก้ไข ปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์ นอกจากนั้นยังมีการจัดทำคู่มือเอกสารการใช้งานของระบบ

## ผลการวิจัย

### ผลการพัฒนาระบบ

ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน “Wongwat เทียววัดเมืองไทย ไร้ธรรมะ” ซึ่งแบ่งผู้ใช้เป็น 4 กลุ่ม คือ 1) บุคคลทั่วไป สามารถค้นหาวัด ดูข้อมูลวัด ดูรีวิว ดูความคิดเห็นที่มีต่อวัดนั้น ๆ ตัวอย่างหน้าแรกของเว็บซึ่งสามารถทำการค้นหาข้อมูลวัดที่ต้องการได้ โดยเลือกจังหวัดหรือพิมพ์ชื่อวัดที่ต้องการค้นหา และทำการคลิกปุ่มค้นหา แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างหน้าเว็บการค้นหาข้อมูลวัด



2) สมาชิก สามารถค้นหาวัด ดูข้อมูลวัด เขียนรีวิว แสดงความคิดเห็น ให้คะแนน กดถูกใจ และแชร์ไปยังเฟซบุ๊ก ตัวอย่างหน้าเว็บแสดงการขั้นตอนการเขียนรีวิวดู โดยให้ดาว กรอกหัวข้อรีวิวดู กรอกความคิดเห็น อัปโหลดรูปภาพ และทำการคลิกปุ่มบันทึกรีวิว แสดงดังภาพที่ 6

The screenshot shows a review form with the following steps highlighted:

- ให้คะแนนวัดนี้** (Rate this temple): A star rating system with five stars, the first one is filled yellow.
- Title\***: A text input field for the review title.
- Comment\***: A larger text area for the review content.
- อัปโหลดรูป** (Upload photo): A file selection button labeled "Choose Files" and "No file chosen".
- บันทึกรีวิว** (Save review): A button to submit the review.

Labels for each step:

- ขั้นตอนที่ 1: กดดาวที่ต้องการจะให้สูงสุดทำดาวโดยนับจากทางซ้ายไปทางขวา
- ขั้นตอนที่ 2: กรอกหัวข้อเรื่องที่ต้องการรีวิว ในที่นี้ไม่จำเป็นต้องกรอกก็ได้
- ขั้นตอนที่ 3: กรอกความคิดเห็น ในที่นี้ไม่จำเป็นต้องกรอกก็ได้
- ขั้นตอนที่ 4: ใสรูปภาพที่เกี่ยวข้องกับการรีวิว (ถ้ามี)
- ขั้นตอนที่ 5: เมื่อกรอกข้อมูลเสร็จแล้วให้กดปุ่มบันทึกรีวิว

ภาพที่ 6 ตัวอย่างหน้าเว็บขั้นตอนการเขียนรีวิวดู

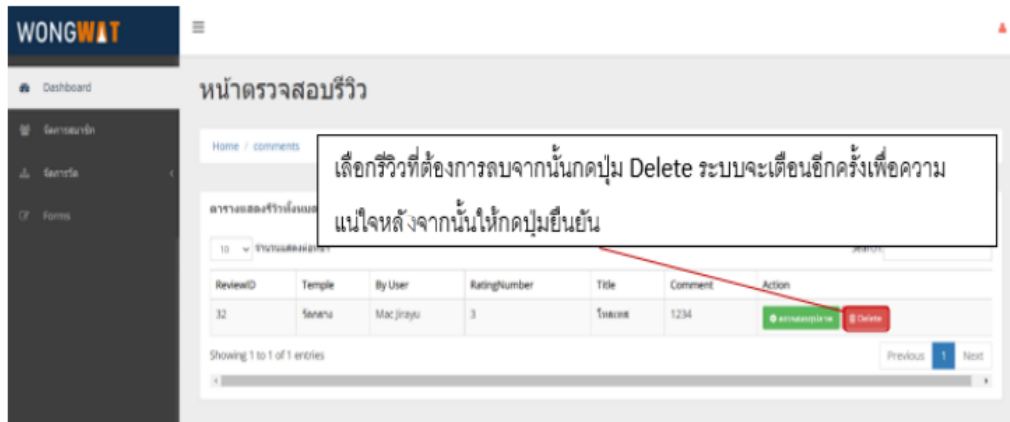
3) เจ้าหน้าที่วัด สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลวัด ตัวอย่างหน้าเว็บแสดงขั้นตอนการแก้ไขข้อมูลวัดของเจ้าหน้าที่วัด โดยให้คลิกปุ่มแก้ไขของวัดที่ต้องการแก้ไข ซึ่งมีข้อมูลเวลาเปิด-ปิดวัด เอกลักษณ์ อีเมล และเบอร์โทรศัพท์ หลังจากแก้ไขแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม บันทึก แสดงดังภาพที่ 7

The screenshots show a temple management interface with the following details:

- WONGWAT** logo and "wat Supan" name.
- Facebook, Messenger, and Line social media icons.
- Temple image and name: วัดสุปฏิหารามวรวิหาร 0.0/5.
- Address: ประดิษฐานเป็นมา.
- Hours: เวลาเปิด: 07:00น. - 17:00น.
- Phone: เบอร์โทรศัพท์: 0983730811.
- Buttons: แก้ไข (Edit), บันทึก (Save).
- Modal form for editing:
  - แก้ไขรายละเอียด (Edit details)
  - เวลาเปิด: 07:00 AM
  - เวลาปิด: 05:00 PM
  - เอกลักษณ์: พระอารามหลวงชั้นเอกแห่งนครราชบุรี
  - อีเมล: watsupat2563@gmail.com
  - เบอร์โทรศัพท์: 983730811
  - Buttons: บันทึก (Save), ยกเลิก (Cancel).

ภาพที่ 7 ตัวอย่างหน้าเว็บการแก้ไขข้อมูลวัดของเจ้าหน้าที่วัด

4) ผู้ดูแลระบบ สามารถตรวจสอบจัดการข้อมูลความคิดเห็น ข้อมูลวัด ข้อมูลรีวิว และข้อมูลสมาชิกได้ ตัวอย่างหน้าเว็บแสดง การตรวจสอบรีวิวของสมาชิกที่ไม่เหมาะสม ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถทำการลบรีวิวดังกล่าวได้ โดยเลือกรีวิวที่ต้องการตรวจสอบ ถ้าต้องการลบรีวิวนั้นก็ให้ทำการคลิกที่ปุ่ม Delete แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตัวอย่างหน้าเว็บการตรวจสอบรีวิววัดของผู้ดูแลระบบ

### ผลการประเมินความพึงพอใจ

สำหรับการประเมินระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานของระบบ ด้วยแบบสอบถามประเมินคุณภาพ จำนวน 8 ด้าน ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.23 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79 เมื่อพิจารณาเป็นในแต่ละด้าน พบว่า 3 ลำดับแรกที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุดจากการสำรวจความพึงพอใจ คือ ด้านวัตถุประสงค์การใช้งาน (Functionality) ด้านคุณค่า (Value) ด้านการให้สิทธิ์การใช้งาน (Authority) กับด้านการออกแบบ (Design) โดยมีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ เท่ากับ 4.43, 4.35 และ 4.28 ตามลำดับ รายละเอียดแสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผู้ใช้ต่อเว็บแอปพลิเคชัน “Wongwat เทียววัดไทย ใฝ่ธรรมะ”

หัวข้อการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านการใช้ประโยชน์ (Usefulness)	4.27	0.74	มาก
2. ด้านความถูกต้อง (Accuracy)	4.07	0.91	มาก
3. ด้านการให้สิทธิ์การใช้งาน (Authority)	4.28	0.72	มาก
4. ด้านวัตถุประสงค์การใช้งาน (Functionality)	4.43	0.73	มาก
5. ด้านฟังก์ชันการทำงาน (Functionality)	4.05	0.83	มาก
6. ด้านการออกแบบ (Design)	4.28	0.76	มาก
7. ด้านความปลอดภัย (Security)	4.10	0.87	มาก
8. ด้านคุณค่า (Value)	4.35	0.74	มาก
ภาพรวมทั้งหมด	4.23	0.79	มาก

### สรุปผลการวิจัย

“Wongwat เทียววัดเมืองไทย ใฝ่ธรรมะ” เป็นเว็บแอปพลิเคชันที่ได้แนวคิดในการพัฒนามาจากหลักการของเว็บทำ และเว็บวงใน โดยสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลวัด และนำเสนอข้อมูลวัดที่จำเป็นสำหรับนักท่องเที่ยว อาทิเช่น ประวัติความเป็นมา รูปภาพวัด สถานที่ตั้ง ข้อมูลความคิดเห็น การรีวิว การกดถูกใจจากนักท่องเที่ยว ทำให้นักท่องเที่ยวได้รับทราบข้อมูลก่อนตัดสินใจไปท่องเที่ยว ในส่วนของกรวิเคราะห์และออกแบบระบบได้ใช้แผนภาพกระแสข้อมูล และแผนภาพความสัมพันธ์ของ เอนทิตี หลังจากนั้น ในการพัฒนาได้กำหนดสถาปัตยกรรมของระบบในลักษณะการทำงานของระบบรับ-ให้บริการ คือการที่มี เครื่องผู้ให้บริการและเครื่องผู้ใช้บริการเชื่อมต่อกันอยู่ และเครื่องผู้ให้บริการได้มีการติดต่อร้องขอบริการจากเครื่องผู้ให้บริการ เครื่องผู้ให้บริการก็จะจัดการส่งข้อมูลที่ร้องขอกลับไปให้เครื่องผู้ใช้บริการ การแสดงตำแหน่งที่อยู่ของวัดใช้ Google map API

และการเข้าสู่ระบบใช้ Facebook API กับ Google API ในส่วนของการทดสอบและประเมินผลระบบ ใช้วิธีการทดสอบกล่องดำแบบ User Acceptance Test (UAT) การประเมินผลระบบใช้แบบสอบถามมีลักษณะแบบมาตราส่วนประมาณค่าตามวิธีของลิเคิร์ตที่คำนวณค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา เท่ากับ 0.909 หลังจากนั้นจึงนำแบบสอบถามไปทำการประเมิน โดยผู้วิจัยได้เลือกการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงกับกลุ่มพระ เจ้าหน้าทีวัด และเจ้าหน้าที่สำนักงานการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย จังหวัดอุบลราชธานี สรุปผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวม พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานของระบบอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.23 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.79

### อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยกำหนดการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง ได้แก่ พระ เจ้าหน้าทีวัดสุปฏิภูมิารามวรวิหาร วัดใต้พระเจ้าใหญ่องค์ตื้อ วัดหลวง วัดมหายานาราม วัดกลางและเจ้าหน้าที่สำนักงานการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย จังหวัดอุบลราชธานี รวมจำนวน 10 ตัวอย่าง ที่มีต่อเว็บแอปพลิเคชัน “Wongwat เทียววัดเมืองไทย ใฝ่ธรรมะ” อยู่ในระดับมาก ซึ่งถือว่าเป็นเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถใช้ประชาสัมพันธ์และแลกเปลี่ยนแสดงความคิดเห็นสำหรับการท่องเที่ยววัดภายในประเทศผ่านสื่อดิจิทัล โดยเว็บแอปพลิเคชันนี้ได้แนวคิดจากการพัฒนาเว็บไซต์ดวงใน ซึ่งเป็นเว็บแอปพลิเคชันให้บริการค้นหาและรีวิวร้านอาหาร มีข้อมูลร้านอาหารมากกว่า 200,000 ร้านค้า และมีผู้ใช้งานมากกว่า 2.3 ล้านราย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Songsraboon (2019) ที่ศึกษารูปแบบการตัดสินใจใช้บริการเว็บแอปพลิเคชัน “วงใน” ในกรุงเทพมหานคร จำนวน 400 ตัวอย่าง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจใช้บริการแอปพลิเคชัน วงใน อยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 3.89, S.D. = 0.845$ ) โดยปัจจัยด้านการสื่อสารทางการตลาดดิจิทัลที่มีความสำคัญมากที่สุด ได้แก่ การประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อดิจิทัล และการโฆษณาผ่านสื่อดิจิทัล นอกจากนี้ การที่เว็บแอปพลิเคชัน Wongwat ใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลวัดทั้งหมดไว้ภายในเว็บเดียวตามแนวคิดของการทำเว็บท่า ก็ทำให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการค้นหาข้อมูลวัด เนื่องจากมีข้อมูลวัดครอบคลุมและครบถ้วน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chatket (2017) ที่ศึกษาปัจจัยและพฤติกรรมการใช้งานแอปพลิเคชันค้นหาร้านอาหารของผู้บริโภคกรณีศึกษาแอปพลิเคชันดวงใน โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์ผู้ใช้งานแอปพลิเคชันดวงในจำนวน 20 คน พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานแอปพลิเคชันดวงใน คือ ข้อมูลของร้านอาหารที่ครอบคลุม และมีความน่าเชื่อถือ ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานเกิดความพึงพอใจในการใช้งาน

### ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน Wongwat เทียววัดเมืองไทย ใฝ่ธรรมะ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อพัฒนาต่อระบบในอนาคต ดังนี้

1. การพัฒนาระบบในลักษณะโปรแกรมประยุกต์สำหรับมือถือพกพา (Mobile application) ทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และไอโอเอส (iOS) เพื่อเพิ่มช่องทางในการเข้าถึง
2. ในส่วนของเนื้อหาเว็บอาจเพิ่มเติมข้อมูลเกร็ดความรู้สำหรับนักท่องเที่ยว สารความรู้ เรื่องน่ารู้ บทความที่น่าสนใจ เป็นต้น
3. การเพิ่มเนื้อหาข้อมูลที่เป็นภาษาอื่น ๆ เพื่อรองรับกรณีชาวต่างชาติมาใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน

### เอกสารอ้างอิง

- Chatkaew, M., Butchot, W, Wongtha, P. and Ariya, A. (2021). Develop a Cultural Tourism Promote Website, Case Study if Temples of Muang District, Lamphum Province (in Thai). **Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University**, 1(1), 39-47.
- Chatket, C. (2017). Factors and Behaviors of Restaurant Search Engine Users in a case of Wongnai Application (in Thai). **Independent Study**. Bangkok: Thammasat University.
- Information Technology subdivision. (2021). Information on temples and monks across the country (in Thai). Retrieved 9 January 2022, from **National Office of Buddhism**: <https://www.onab.go.th/th/page/item/index/id/>
- Jullasikkee, M. (2019). The Approaches to Manage Buddhist Tourism: Temples in the Thonburi Area (in Thai). **Journal of Management Science Review**, 21(2), 203-210.

- Kumpala, I. and Srisamram, W. (2019). Development of websites in the 360 environment temple tourism in the old city of Nakhon Ratchasima (in Thai). **Journal of Information Science and Technology**, 9(1), 71-80.
- Promsit, S. (2020). Content Marketing's Pattern on Facebook Fanpage Wongnai (in Thai). **CRRU Journal of Communication**, 3(1), 22-44.
- Publication database system. (2014). Project to promote tourism on the pilgrimage route in religious dimensions (in Thai). Retrieved 9 January 2022, from **Department of Religious Affairs, Ministry of Culture**: <https://e-book.dra.go.th/p/2.html>
- Songsraboon, R. (2019). Model of decision to use the Wongnai application service in Bangkok (in Thai). **Silpakorn University Journal** 39(4), 120-136.



บทความวิจัย

## ความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปรัชญาพร วันชัย<sup>1,\*</sup> และเรืองวิทย์ เสนาดี<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*Email: pratyaporn.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 8 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 3 กุมภาพันธ์ 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 6 กุมภาพันธ์ 2564

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ใน 2 พื้นที่ คือ พื้นที่เขตการศึกษาและพื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี ดำเนินการสำรวจระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 โดยใช้วิธีหยุดสำรวจตามจุดที่กำหนด (point count) จากการสำรวจพบนกทั้งสิ้น 101 ชนิด จาก 14 อันดับ 45 วงศ์ พื้นที่เขตการศึกษาพบนกทั้งสิ้น 64 ชนิด จาก 11 อันดับ 34 วงศ์ ในขณะที่ พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อพบนกทั้งสิ้น 87 ชนิด จาก 13 อันดับ 42 วงศ์ อันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 57 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลนและนกนางนวล (Charadriiformes) พบอันดับละ 7 ชนิด เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด Shannon-Wiener index ( $H'$ ) ทั้ง 12 เดือน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.70 (2.34 - 2.98) ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดสูงสุดในเดือนมกราคม ( $H' = 2.94$ ) รองลงมาได้แก่ กุมภาพันธ์ ( $H' = 2.90$ ) และมีนาคม ( $H' = 2.87$ ) ในขณะที่ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดในเดือนสิงหาคม ( $H' = 2.34$ ) มีค่าต่ำสุด ตามด้วย กรกฎาคม ( $H' = 2.41$ ) และ กันยายน ( $H' = 2.49$ ) เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลพบว่าในฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) มีค่าเฉลี่ยดัชนีความหลากหลายชนิดสูงสุด ( $H' = 2.89$ ) ตามด้วยฤดูร้อน ( $H' = 2.82$ ) และฤดูฝน ( $H' = 2.55$ ) จากการตรวจสอบสถานภาพด้านการอนุรักษ์จากบัญชีแดงขององค์การระหว่างประเทศเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ (IUCN 2016) พบนกที่มีความสำคัญด้านการอนุรักษ์ 1 ชนิด ได้แก่ นกอ้ายงั่ว (*Anhinga melanogaster*) ซึ่งถูกจัดเป็นนกชนิดที่เกือบอยู่ในข่ายเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Near-threatened)

**คำสำคัญ:** นก ความหลากหลายชนิด มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ

### อ้างอิงบทความนี้

ปรัชญาพร วันชัย และเรืองวิทย์ เสนาดี. (2565). ความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 23-38. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.3>

Research Article

## Species diversity of bird in Ubon Ratchathani University

Pratyaporn Wanchai<sup>1,\*</sup> and Raeungwit Senadee<sup>1</sup>

Department of Biology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

\*Email: pratyaporn.w@ubu.ac.th

Received <8 November 2021>; Revised <3 February 2022>; Accepted <6 February 2022>

---

### Abstract

This study aims to study the diversity of bird in Ubon Ratchathani University at 2 areas, which included education area and Rongko conserved forest Warin Chamrap district Ubon Ratchathani province during March 2020 to February 2021 using point count method. A total of 101 species representing 14 orders and 45 families were reported in this study. Education area were found 64 species representing 11 orders and 34 families while Rongko conserved forest were found 87 species, representing 13 orders and 42 families. Order Passeriformes was the highest number of species (57 species), followed by Order Pelecaniformes (7 species) and Order Charadriiformes (7 species). The average of Shannon diversity index ( $H'$ ) of bird in a year-round of Ubon Ratchathani University was 2.70 (2.34 - 2.98). The highest  $H'$  was in January ( $H' = 2.94$ ) followed by February ( $H' = 2.90$ ) and March ( $H' = 2.87$ ) whereas the lowest  $H'$  was in August ( $H' = 2.34$ ), July ( $H' = 2.41$ ) and September ( $H' = 2.49$ ). Cold-dry season (November-February) had highest average of species diversity index ( $H' = 2.89$ ) followed by hot-dry season (March-April) ( $H' = 2.82$ ) and rainy season (May-October) ( $H' = 2.55$ ). According to the IUCN Red List of threatened species 2016, one species, *Anhinga melanogaster* was classified as Near Threatened.

**Keywords:** Bird, diversity, Ubon Ratchathani University, Rongko conserved forest

---

**Cite this article:**

Wanchai, P. and Senadee, R. (2022). Species diversity of birds in Ubon Ratchathani University (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(1), 23-38. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.3>

## บทนำ

นกเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังที่มีวิวัฒนาการเป็นสัตว์มีปีกบินได้ มีพัฒนาการโครงสร้างร่างกายเหมาะสมกับการบิน สภาพภูมิประเทศและระยะทางจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการบินของนก เป็นผลให้นกมีชนิดพันธุ์หลากหลาย มีขนาดประชากร สภาพถิ่นอาศัย บทบาทหน้าที่ทางนิเวศ และพฤติกรรมดำรงชีวิตต่าง ๆ กัน (Schweizer and Liu, 2018) นกหลายชนิดมีการอพยพตามฤดูกาลเพื่อไปยังพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกว่าหรืออุดมสมบูรณ์กว่า หลายชนิดอพยพเพื่อทำรังวางไข่ หรืออีกหลายชนิดที่ไม่มีกรอพยพและพบเป็นนกอประจำถิ่นในพื้นที่นั้น ๆ นกมีความสำคัญในธรรมชาติ นกหลายชนิดที่กินน้ำหวานจากดอกไม้เป็นอาหารสามารถผสมเกสรดอกไม้ได้ นกกินผลไม้สามารถกระจายเมล็ดพันธุ์พืช หรือช่วยให้เมล็ดของพืชบางชนิดงอกได้ เป็นส่วนสำคัญในห่วงโซ่อาหารตามธรรมชาติ นอกจากนี้ นกแต่ละชนิดยังสามารถบ่งบอกถึงลักษณะทางภูมิศาสตร์ที่นกอาศัยอยู่ได้ เป็นดัชนีชี้วัดถึงความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ที่นกอาศัย (Wongthirawat, 2009) โดยนกบางชนิดจะอาศัยอยู่ในระบบนิเวศที่แตกต่างกันไป เช่น เขตชุมชน สวนสาธารณะ ทุ่งหญ้า พื้นที่เกษตรกรรม แหล่งน้ำ ป่าเต็งรัง ป่าเบญจพรรณ ป่าดงดิบ ป่าสนเขา ป่าชายเลน ชายฝั่งทะเล เป็นต้น

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นศูนย์กลางของการศึกษาและการค้นคว้าวิจัยในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ตั้งอยู่ในอำเภวารินชำราบ ห่างจากตัวเมืองอุบลราชธานีประมาณ 15 กิโลเมตร มีพื้นที่สำหรับจัดการเรียนการสอนและการวิจัยในปัจจุบันประมาณ 5,228 ไร่ พื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีมีระบบนิเวศที่หลากหลาย เฉพาะเขตการศึกษามีพื้นที่ประมาณ 450 ไร่ ประกอบด้วยพื้นที่สีเขียวมากมาย ทั้งสวนสาธารณะ หอสมุดป่า สภาพป่าบางส่วนมีความหนาแน่นของพรรณไม้ค่อนข้างสูง รวมไปถึงแหล่งน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นอกจากนี้ ทางทิศตะวันออกของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ยังประกอบด้วยป่าต้นน้ำร่องก่อ พื้นที่ประมาณ 175 ไร่ เป็นพื้นที่ในโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช (อพ.สธ.) ซึ่งทางมหาวิทยาลัยได้อนุรักษ์และพัฒนาให้เป็นสวนพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และผลักดันให้เป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ โดยจัดทำเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติภายในพื้นที่ นอกจากนี้ยังใช้เป็นแหล่งที่ใช้ในการเรียนการสอน รวมไปถึงการวิจัยทางวิชาการในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านความหลากหลายทางชีวภาพ ระบบนิเวศประกอบด้วยป่าดั้งเดิมซึ่งส่วนใหญ่เป็นป่าเต็งรังและบางส่วนเป็นป่าดิบแล้ง ที่มีพรรณไม้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก มีความหลากหลายของสัตว์ชนิดต่าง ๆ ทั้งสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก สัตว์เลื้อยคลาน รวมถึงแมลงชนิดต่าง ๆ และป่าทุติยภูมิซึ่งเป็นป่าปลูก ไม้ที่ปลูกเป็นไม้ดั้งเดิมที่พบในพื้นที่ป่าดั้งเดิม เช่น กันเกรา ทองกวาว ประดู่และซี่เหล็ก เป็นต้น (Ubon Ratchathani University, 2020; Kesonbua and Udomsirichakorn, 2013) นอกจากนี้ยังมีหนองน้ำขนาดใหญ่ ได้แก่ บึงร่องก่อและหนองกระทา ซึ่งเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญของมหาวิทยาลัยและชุมชนโดยรอบ จัดเป็นแหล่งต้นน้ำที่มีความหลากหลายทางชีวภาพและถือได้ว่าพื้นที่แห่งนี้เป็นตัวแทนของป่าธรรมชาติในพื้นที่ในแถบนี้ได้ ด้วยที่ผ่านมายังไม่มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายชนิดของนกภายในพื้นที่ดังกล่าว ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อเป็นฐานข้อมูลให้กับผู้ที่สนใจจะศึกษาเกี่ยวกับความหลากหลายชนิดของนกต่อไปในอนาคต

## วิธีดำเนินการวิจัย

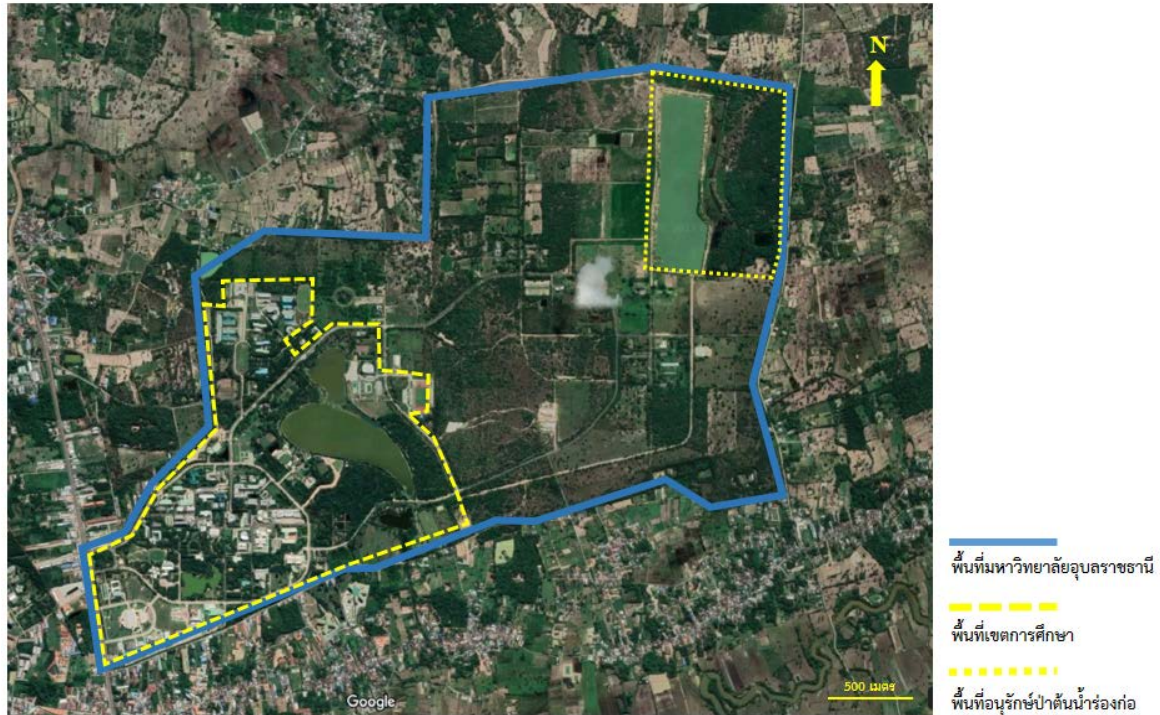
### พื้นที่ศึกษา

การศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี แบ่งการสำรวจออก 2 พื้นที่ คือ 1) เขตพื้นที่การศึกษา ประกอบด้วยพื้นที่ที่ใช้ในการเรียนการสอน โรงพยาบาล ศูนย์กีฬา ที่พักอาศัยของบุคลากรและนักศึกษา หนองน้ำ สวนสาธารณะ และหอสมุดป่า และ 2) พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ อยู่ทางทิศตะวันออกของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นพื้นที่ที่อยู่ในเขตของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตั้งอยู่บริเวณห่างจากพื้นที่การเรียนการสอนประมาณ 2 กิโลเมตร ประกอบด้วยระบบนิเวศที่หลากหลาย ทั้งป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า หนองน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (ภาพที่ 1)

### วิธีการสำรวจ

ใช้วิธีการสำรวจตามจุดที่กำหนด (point count) ตามวิธีของ Bibby (1992) โดยในแต่ละพื้นที่จะแบ่งจุดสำรวจออกเป็น 15 จุด ให้ครอบคลุมพื้นที่และถิ่นอาศัยของนก เช่น ป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า แหล่งน้ำ และอาคารที่พักอาศัย เป็นต้น ในการสำรวจแต่ละครั้งจะใช้ผู้สำรวจครั้งละ 2 คน สำรวจจุดละประมาณ 20 นาที แบ่งการสำรวจออกเป็น 2 ช่วงเวลา ในตอนเช้า 6.00 - 9.00 น. และตอนเย็น 16.00 - 19.00 น. สำรวจพื้นที่ละ 2 ครั้งต่อเดือน ระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 ใช้กล้องส่องทางไกลชนิดสองตา (binocular) และกล้องส่องทางไกลชนิดตาเดียว (monocular) จำแนกชนิดของนกโดยใช้คู่มือศึกษาธรรมชาติหมอบุณยสูง เลขะกุล นกเมืองไทย (Nabhitabhata *et al.*, 2012) บันทึกข้อมูลชนิดและจำนวนของนกเมื่อพบเห็นนกโดยตรง

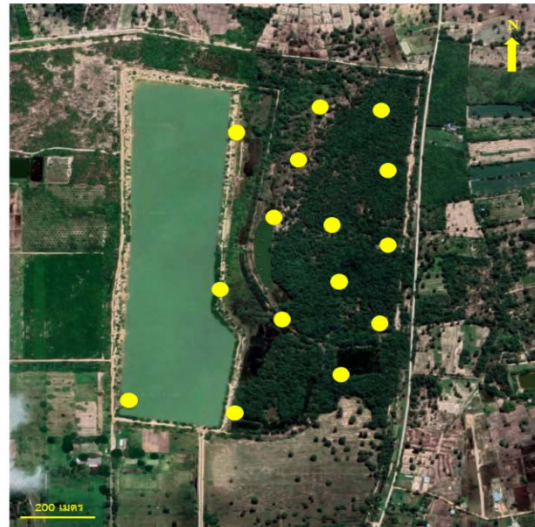




(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 (ก) เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (ข) จุดสำรวจความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่เขตการศึกษา (ค) จุดสำรวจความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ (ดัดแปลงจาก: <https://www.google.com/maps/>)

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

1) วิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลาย (Shannon-Wiener index) จากสูตรของ Shannon (1949)

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i \ln P_i)$$

เมื่อ  $H'$  = ค่าดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener

$S$  = จำนวนชนิดของนกที่พบทั้งหมด

$P_i$  = สัดส่วนจำนวนของนกชนิด  $i$  ต่อจำนวนของนกทั้งหมด

- 2) วิเคราะห์ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ (Evenness index) จากสูตร

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

เมื่อ  $E$  = ค่าดัชนีความสม่ำเสมอ

$H'$  = ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของ Shannon-Wiener

$S$  = จำนวนชนิดทั้งหมด

- 3) วิเคราะห์ค่าความชุกชุมหรือความถี่ของการปรากฏ (frequency of species occurrence) จากสูตรของ Pettingill (1969)

$$\text{ความชุกชุมสัมพัทธ์ (Relative abundance)} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พบนกชนิดนั้นๆ}}{\text{จำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่ทำการสำรวจ}} \times 100$$

โดยใช้เกณฑ์ในการแบ่งระดับความชุกชุมของนกออกเป็น 5 ระดับ คือ

เมื่อ นกที่พบบ่อยมาก (abundant) พบในอัตราร้อยละ 90-100

นกที่พบบ่อย (common) พบในอัตราร้อยละ 65-89

นกที่พบปานกลาง (moderately common) พบในอัตราร้อยละ 31-64

นกที่พบน้อย (uncommon) พบในอัตราร้อยละ 10-30

นกที่หายาก (rare) พบในอัตราร้อยละ < 10

- 4) วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) จากสูตรของ Krebs (1992)

$$IS = \left[ \frac{2W}{(A+B)} \right] \times 100$$

เมื่อ  $IS$  = สัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง

$W$  = จำนวนชนิดนกที่ซ้ำกันในสองพื้นที่

$A$  = จำนวนชนิดนกทั้งหมดในพื้นที่ A

$B$  = จำนวนชนิดนกทั้งหมดในพื้นที่ B

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทั้งหมด 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ และพื้นที่เขตการศึกษา ระหว่างเดือนระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 โดยวิธีการหยุดตามจุดสำรวจที่กำหนด (point count) จากนั้นนำข้อมูลชนิดและจำนวนของนกที่พบมาวิเคราะห์ผล ได้ผลดังนี้

#### ความหลากหลายชนิดของนก

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบนกทั้งสิ้น 101 ชนิด จาก 14 อันดับ 44 วงศ์ (ตารางภาคผนวกที่ 1) โดยเดือนที่พบจำนวนชนิดมากที่สุดได้แก่เดือน มกราคม 2564 พบจำนวนทั้งสิ้น 52 ชนิด ตามด้วยเดือน กุมภาพันธ์ 2564 พบ 48 และเดือนมีนาคม 2563 พบ 45 ชนิด ในขณะที่เดือนที่พบจำนวนชนิดของนกลดน้อยที่สุด ได้แก่เดือนสิงหาคม 2563 พบ 26 ชนิด ตามด้วย เดือนกรกฎาคม 2563 พบ 27 ชนิด และเดือนกันยายน 2563 พบ 29 ชนิด (ภาพที่ 2) เมื่อพิจารณาจากจำนวนชนิดของนกที่พบจัดว่ามีความหลากหลายค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับการศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่สถานศึกษาอื่นๆ เช่น มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี พบ 76 ชนิด (Khachonpisitsak and Muangmee, 2016) มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัดจันทบุรี พบ 74 ชนิด (Dumrongrojwathana and Kunsook, 2018) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร พบ 96 ชนิด Chulalongkorn University (2013) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร พบ 79 ชนิด (Duengkae, 2010) สาเหตุที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบจำนวนชนิดมากกว่าสถานศึกษาอื่นๆ อาจจะเป็นเนื่องจากขนาดของพื้นที่ศึกษารวมไปถึงความหลากหลายของแหล่งที่อยู่อาศัย ทำให้มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีพบชนิดของนกมากกว่าพื้นที่อื่นๆ อันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 57 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลนและนกนางนวล (Charadriiformes) พบอันดับละ 7 ชนิด สอดคล้องกับการศึกษานกในประเทศไทยหลาย ๆ งานวิจัย ที่มักจะพบนกในอันดับนกจับคอนมากที่สุด (Phengpengpit *et al.*, 2008; Duengkae, 2010; Tothaisong and Thunhikorn, 2010; Pongkhumpeiy, 2011; Khachonpisitsak and Muangmee, 2016; Dumrongrojwathana and Kunsook, 2018) เนื่องจากนกอันดับนกจับคอนเป็นอันดับที่มีจำนวนสมาชิกมากที่สุดที่มีการสำรวจในประเทศไทย อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลน

และนกนางนวล (Charadriiformes) พบมากเป็นอันดับ 2 อาจจะเป็นเนื่องจากสถานที่ศึกษาทั้งในพื้นที่เขตการศึกษาและพื้นที่ป่าอนุรักษ์ต้นน้ำร่องก่อ ประกอบไปด้วยแหล่งน้ำมากมาย ทั้งแหล่งน้ำขนาดเล็ก แหล่งน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งมีน้ำตลอดทั้งปี จึงเหมาะสมต่อการเป็นพื้นที่หากินของนกกลุ่มนี้ นอกจากนี้ยัง สอดคล้องกับ (Khachonpisitsak and Muangmee, 2016) ที่ศึกษาความหลากหลายของนกในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี พบว่าอันดับนกที่พบมากที่สุดสองอันดับแรก คืออันดับนกจับคอน (Passeriformes) และอันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) ตามลำดับ นกในวงศ์นกยาง (Ardeidae) และ วงศ์นกจับแมลง (Muscicapidae) พบจำนวนชนิดมากที่สุด โดยพบวงศ์ละ 7 ชนิด สอดคล้องกับการศึกษาของ Sripho (2018) ที่ศึกษานกในเขตลุ่มแม่น้ำโขง อ. เชียงคาน จังหวัดเลย และ Sripho (2015) ที่ศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในอุทยานแห่งชาติภูเรือ จ.เลย และ Meesena *et al.* (2014) ที่ศึกษาความหลากหลายของนกบนดอยแม่สลอง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ที่พบนกในวงศ์นกจับแมลงมากที่สุดเช่นเดียวกัน โดย Sripho (2015) กล่าวว่า กลุ่มนกจับแมลงแต่ละชนิดมีรูปแบบการหากินที่แตกต่างกัน หรือมีรูปแบบหากินที่จำเพาะเจาะจง (specialized niches) เพื่อลดการแก่งแย่งแข่งขัน เช่น บางชนิดหากินตามต้นไม้ บางชนิดหากินตามทุ่งหญ้า บางชนิดหากินตามพื้น จึงทำให้นกในกลุ่มนี้สามารถอยู่ร่วมกันในพื้นที่เดียวกันได้ ประกอบกับพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 พื้นที่ประกอบไปด้วยหอยม่น้ำ ทุ่งหญ้า สนามหญ้า รวมถึงไม้ดอกหลายๆ ชนิด ซึ่งมักจะเป็นที่อยู่ของแมลงที่เป็นอาหารของนกกลุ่มนี้ ทำให้พื้นที่สามารถดึงดูดนกในกลุ่มนี้ได้เป็นอย่างดี

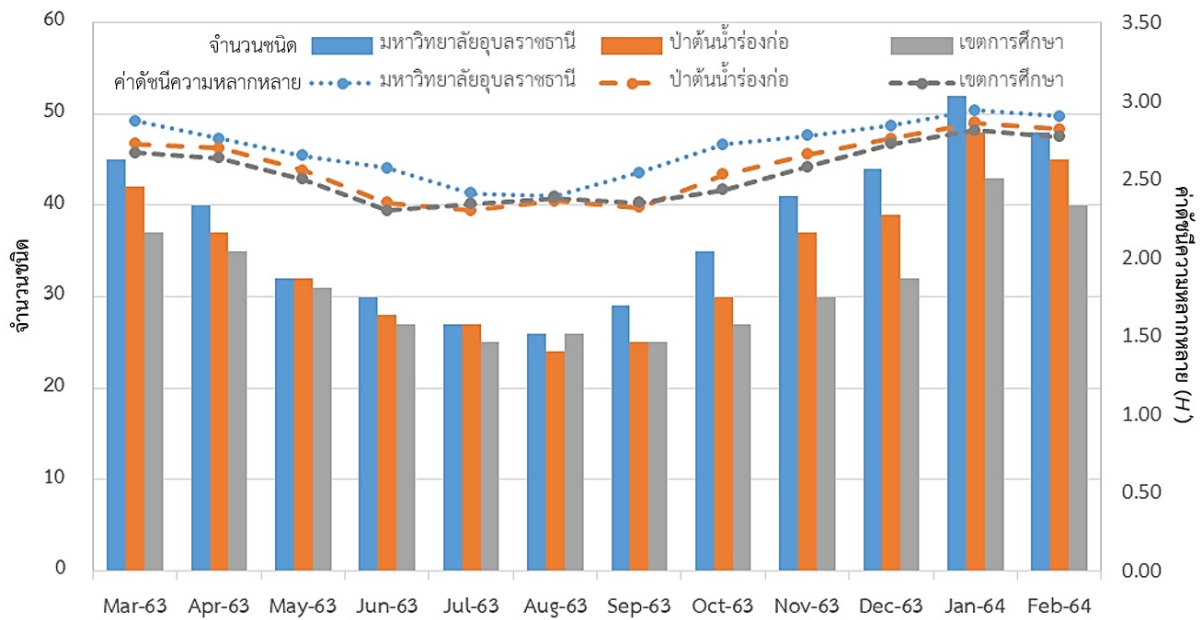
เมื่อพิจารณาในแต่ละพื้นที่พบว่า พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อพบจำนวนชนิดของนกมากกว่าพื้นที่เขตการศึกษา โดยพื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อพบนกทั้งสิ้น 87 ชนิด จาก 14 อันดับ 42 วงศ์ โดยอันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 45 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลนและนกนางนวล (Charadriiformes) พบอันดับละ 7 ชนิด ในขณะที่พื้นที่เขตการศึกษาพบนกทั้งสิ้น 64 ชนิด จาก 9 อันดับ 34 วงศ์ โดยอันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 43 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกพิราบ (Columbiformes) และอันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) พบอันดับละ 4 ชนิด (ตารางภาคผนวกที่ 1) พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อเป็นพื้นที่ที่ประกอบด้วยระบบนิเวศที่หลากหลาย ทั้งป่าดิบแล้ง ป่าเต็งรัง ทุ่งหญ้า หนองน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ รวมถึงเป็นพื้นที่ที่ห่างไกลผู้คน ถูกรบกวนจากผู้คนน้อย จึงเหมาะแก่การพักอาศัยและหลบภัย ในขณะที่พื้นที่เขตการศึกษา ถึงแม้ว่าจะมีขนาดของพื้นที่ที่ใหญ่กว่าและแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลาย แต่การรบกวนของผู้คนอาจจะส่งผลต่อการเลือกแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งหลบภัยและแหล่งทำรัง นอกจากนี้พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อยังติดกับพื้นที่การเกษตร เช่น แปลงหญ้าเลี้ยงสัตว์ นาข้าว โดย Kamtaeja (2008) กล่าวว่าพื้นที่นาข้าวมีความสำคัญต่อนก นกสามารถใช้ประโยชน์จากนาข้าวในการทำกิจกรรมหลายอย่าง ได้แก่ ที่พักอาศัย ที่หลบภัย เป็นสถานที่จับคู่ผสมพันธุ์และเป็นแหล่งหาอาหาร เนื่องจากมีทั้งพื้นที่นาข้าวที่มีเมล็ดพืช และสัตว์หลายชนิด เช่น แมลง ไส้เดือนดิน กบ และปลา ซึ่งเป็นอาหารอย่างดีของนก

#### ดัชนีความหลากหลายชนิด

เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ ในรอบ 1 ปี ของทั้งสองพื้นที่ในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบว่ามีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด Shannon-Wiener index ( $H'$ ) ทั้ง 12 เดือน อยู่ระหว่าง 2.34 - 2.98 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.70 โดยมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด สูงที่สุดในเดือนมกราคม ( $H' = 2.94$ ) รองลงมาได้แก่ กุมภาพันธ์ ( $H' = 2.90$ ) และมีนาคม ( $H' = 2.87$ ) ตามลำดับ ในขณะที่ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดมีค่าต่ำสุดในเดือนสิงหาคม ( $H' = 2.39$ ) กรกฎาคม ( $H' = 2.41$ ) และ กันยายน ( $H' = 2.49$ ) ตามลำดับ (ภาพที่ 2) สำหรับค่าดัชนีความสม่ำเสมอมีค่าสูงสุดในเดือน ธันวาคม (0.76) รองลงมาได้แก่ เดือนมกราคม (0.75) และเดือน กุมภาพันธ์ (0.73) ในขณะที่เดือนสิงหาคม (0.43) มีค่าความสม่ำเสมอต่ำที่สุด ตามมาด้วย เดือนกรกฎาคม (0.50) และเดือน กันยายน (0.59) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตามฤดูกาลพบว่าในฤดูหนาว (พฤศจิกายน – กุมภาพันธ์) มีค่าเฉลี่ยของดัชนีความหลากหลายชนิดสูงสุด ( $H' = 2.86$ ) ตามด้วยฤดูร้อน ( $H' = 2.82$ ) และฤดูฝน ( $H' = 2.55$ ) ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดของแต่ละพื้นที่ พบว่า ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดสอดคล้องกับจำนวนชนิดที่พบ โดยพื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดสูงกว่าในพื้นที่เขตการศึกษา โดยมีค่าเฉลี่ยทั้ง 12 เดือน เท่ากับ 2.58 (2.30-2.81) ในขณะที่ พื้นที่เขตการศึกษามีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดอยู่ระหว่าง 2.29 - 2.86 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.54 (ตารางที่ 1)

จากข้อมูลทั้งจำนวนชนิดและค่าดัชนีความหลากหลายชนิดแสดงให้เห็นว่าพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พบจำนวนประชากรของนกมากที่สุดในช่วงฤดูหนาว สอดคล้องกับรายงานของ Sripho (2015; 2018) และ Phengpengpit *et al.* (2008) สาเหตุอาจจะเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่มีการอพยพย้ายถิ่นของนกอพยพ ส่งผลให้พบจำนวนชนิดของนกมากกว่าในฤดูฝนซึ่งมักจะพบเฉพาะนกประจำถิ่น (Lekagul and Round, 1991) ประกอบกับในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เป็นช่วงเวลาที่มีระดับน้ำของแหล่งน้ำหลายๆ แหล่งของทั้ง 2 พื้นที่ลดระดับลง ซึ่งอาจส่งผลต่อนกหากินกับแหล่งน้ำหลายๆ ชนิด โดยเฉพาะนกที่มักหากินตามพื้นหรือในถ้ำน้ำ (wading bird) เช่น นกในอันดับ Pelecaniformes และ Charadriiformes เป็นต้น โดย Whitfield and Blaber (1978) และ Maheswaran and Rahmani (2001) รายงานว่าระดับน้ำที่ลดลงในพื้นที่ชุ่มน้ำ ส่งผลให้ความชุ่มชื้นของนกที่หากินกับแหล่งน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยระดับน้ำที่ลดลงส่งผลต่อความสามารถในการมองเห็นเหยื่อ ทำให้

นกสามารถล่าเหยื่อได้มากขึ้น ซึ่งนกกลุ่มนี้พบชุกชุมมากในพื้นที่ศึกษาระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับ Nakwa (2008) ที่รายงานว่าในเขตอุทยานทุ่งแสลงหลวง จังหวัดเพชรบูรณ์ จำนวนชนิดและจำนวนนกจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น สาเหตุที่ฤดูฝนพบจำนวนชนิดน้อยกว่าฤดูกาลอื่นอาจจะเนื่องมาจาก ในช่วงฤดูฝน พื้นที่ชุ่มน้ำหรือมีน้ำขังมีกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้มีแหล่งที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของนกเพิ่มมากขึ้น ทำให้นกกระจายตัวไปอยู่ที่อื่น Wilson (1980) อ้างถึงใน Nakwa (2014) รายงานว่าปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อการพบจำนวนชนิดของนกในฤดูฝนน้อยกว่าในฤดูอื่นๆ เนื่องจากช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่มีอาหารอุดมสมบูรณ์ประกอบกับนกตกกิจกรรมต่าง ๆ ลง ส่งผลให้การปรากฏตัวของนกลดลง



ภาพที่ 2 ค่าดัชนีความหลากหลายชนิดและจำนวนชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ระหว่างเดือน มีนาคม 2563 – กุมภาพันธ์ 2564

ตารางที่ 1 จำนวนอันดับ วงศ์ ชนิด และ ค่าเฉลี่ย Shannon-Wiener index และ Evenness index ของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีระหว่างเดือนมีนาคม 2563 – กุมภาพันธ์ 2564

	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	พื้นที่เขตการศึกษา	พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ
อันดับ	14	11	13
วงศ์	45	34	42
ชนิด	101	64	87
Shannon-Wiener index	2.70 (2.39-2.94)	2.55 (2.30-2.81)	2.58 (2.30-2.86)
Evenness Index	0.75 (0.63-0.77)	0.72 (0.63-0.77)	0.71 (0.62-0.80)

#### สถานภาพนก

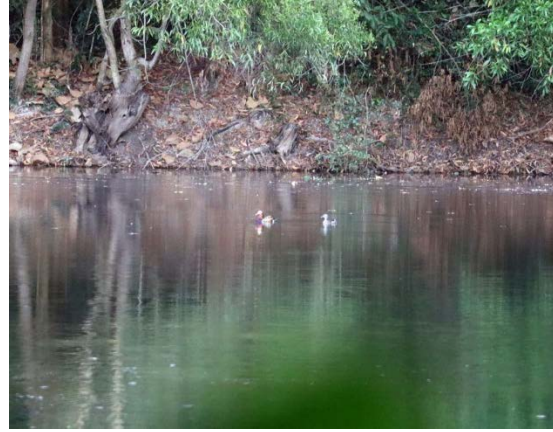
เมื่อพิจารณาสถานภาพนกตามฤดูกาล (seasonal status) ตาม Nabhitabhata *et al.* (2012) ของนกที่พบทั้งหมด 101 ชนิด พบว่า จัดเป็นนกประจำถิ่น 57 ชนิด คิดเป็นร้อยละ 56.44 ของจำนวนชนิดนกทั้งหมด นกอพยพ 44 ชนิด รวมคิดเป็นร้อยละ 43.56 แสดงให้เห็นว่ามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เป็นแหล่งพักพิงเพื่อหาอาหาร หลบภัย หรือแหล่งสร้างรังวางไข่ของนกอพยพหลายๆ ชนิด เมื่อพิจารณาสถานภาพด้านการอนุรักษ์จากบัญชีแดงของสหภาพเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ หรือบัญชีแดง (IUCN Red List of Threatened Species) พบนกที่สำคัญ 1 ชนิด ได้แก่ นกอ้ายจ้าว (*Anhinga melanogaster*) ซึ่งจะพบอยู่ในระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม ซึ่งถูกจัดเป็นนกชนิดที่เกือบอยู่ในข่ายเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ (Near-threatened) จากการสูญเสียน้ำจืด (IUCN, 2016) (ภาพที่ 3 (ก)) ในขณะที่ชนิดอื่นๆ อีก 100 ชนิด ถูกจัดให้อยู่ในสถานะมีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern) ส่วนสถานภาพด้านการอนุรักษ์ในประเทศไทยหรือชนิดพันธุ์ที่ถูกคุกคามของประเทศไทย พบ 2 ชนิด ได้แก่ นกอ้ายจ้าว (*Anhinga melanogaster*) และ นกกระสาแดง (*Ardea purpurea*) ซึ่งทั้ง 2 ชนิด ถูกจัดให้อยู่ในมี



แนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable species) (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning, 2017) นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบเป็ดแมนดาริน 2 ตัว ตัวผู้และตัวเมีย (ภาพที่ 3 (ข)) พบในช่วงเดือนมกราคม ซึ่งถึงแม้ว่าจะถูกจัดให้อยู่ในสถานะมีความเสี่ยงต่ำต่อการสูญพันธุ์ (Least Concern) แต่ก็ไม่บ่อยนักที่มีการรายงานการพบในธรรมชาติ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากยังไม่เคยมีรายงานการพบนกชนิดนี้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย รวมถึงไม่มีรายงานการพบในเขตลาวใต้และเวียดนาม จึงมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นนกพลัดหลงหรือหลุดจากกรงเลี้ยง



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 (ก) นกอ้ายจ้าว (*Anhinga melanogaster*)  
(ข) เป็ดแมนดาริน (*Aix galericulata*)

#### ความชุกชุมของนก

ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี นกที่พบบ่อยมาก 13 ชนิด นกที่พบว่าส่วนใหญ่เป็นนกประจำถิ่นอาศัยอยู่ในพื้นที่ตลอดทั้งปี จึงทำให้พบบ่อยครั้งและพบเป็นจำนวนมาก นกที่พบบ่อย 13 ชนิด นกที่พบบานกลาง 15 ชนิด นกที่พบน้อย 6 ชนิด และนกที่หายาก 13 ชนิด พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ นกที่พบบ่อยมาก 3 ชนิด นกที่พบบ่อย 15 ชนิด นกที่พบบานกลาง 14 ชนิด นกที่พบน้อย 21 ชนิด และนกที่หายาก 20 ชนิด (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 จำนวนชนิดนกที่พบในแต่ละระดับความชุกชุมของแต่ละพื้นที่การสำรวจระหว่างเดือนมีนาคม 2563 – กุมภาพันธ์ 2564

ระดับความชุกชุมของนก	จำนวนชนิด	
	พื้นที่เขตการศึกษา	พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ
นกที่พบบ่อยมาก (abundant)	13	4
นกที่พบบ่อย (common)	15	16
นกที่พบบานกลาง (moderately common)	15	15
นกที่พบน้อย (uncommon)	6	24
นกที่หายาก (rare)	15	28
<b>รวม</b>	<b>64</b>	<b>87</b>

เขตพื้นที่การศึกษา นกที่พบบ่อยมาก พบ 13 ชนิด ได้แก่ นกตีทอง (*Megalaima haemacephala*) นกจาบคาเล็ก (*Merops orientalis*) นกพิราบป่า (*Columba livia*) นกเขาไฟ (*Streptopelia tranquebarica*) นกเขาขาว (*Geopelia striata*) นกกิ่งไคร้ดำ (*Gracupica nigricollis*) นกเอี้ยงสาริกา (*Acridotheres tristis*) นกเอี้ยงหงอน (*Acridotheres grandis*) นกแอ่นพง (*Artamus fuscus*) นกกินปลีอกเหลือง (*Cinnyris jugularis*) นกกระจอกบ้าน (*Passer montanus*) นกกระต๊อ ( *Lonchura punctulata*) และนกกระต๊อตะโพกขาว (*Lonchura striata*)

นกที่พบบ่อย พบ 15 ชนิด ได้แก่ นกกาเหว่า (*Eudynamis scolopaceus*) นกกะปูดใหญ่ (*Centropus sinensis*) นกแอ่นตาล (*Cypsiurus balasiensis*) นกยางกรอกพันธุ์จีน (*Ardeola bacchus*) อีกา (*Corvus macrorhynchos*) นกอีแพรดแถบออกดำ (*Rhipidura javanica*) นกแซงแซวหางปลา (*Dicrurus macrocerus*) นกจับแมลงสีน้ำตาล (*Muscicapa dauurica*) นก

ยออดหญ้าสีดำ (*Saxicola caprata*) นกนางเขนบ้าน (*Copsychus saularis*) นกปรอดสวน (*Pycnonotus blanfordi*) นกกระจิ๊ดธรรมดา (*Phylloscopus inornatus*) นกกระจิ๊ดสีคล้ำ (*Phylloscopus fuscatus*) นกสีชมพูสวน (*Dicaeum cruentatum*) และนกกระจอกใหญ่ (*Passer domesticus*)

นกที่พบปานกลาง พบ 15 ชนิด ได้แก่ นกกะเต็นน้อยธรรมดา (*Alcedo atthis*) นกบั้งรอกใหญ่ (*Phaenicophaeus tristis*) นกแอนบ้าน (*Apus affinis*) นกเขาใหญ่ (*Spilopelia chinensis*) นกเค้าดิน (*Actitis hypoleucos*) นกยางเปีย (*Egretta garzetta*) นกกระสาขาว (*Ardea cinerea*) นกอีเสือสีน้ำตาล (*Lanius cristatus*) นกขมิ้นน้อยธรรมดา (*Aegithina tiphia*) นกจับแมลงคอแดง (*Ficedula albicilla*) นกนางแอนบ้าน (*Hirundo rustica*) นกปรอดหัวสีเขม่า (*Pycnonotus aurigaster*) นกกระจิบหญ้าสีเขียว (*Prinia inornata*) นกกินปลีคอสีน้ำตาล (*Antheptes malacensis*) และนกกระจอกตาล (*Passer flaveolus*)

นกที่พบน้อย พบ 6 ชนิด ได้แก่ นกอีเสือหลังแดง (*Lanius collurio*) นกกระเบื้องผา (*Monticola solitarius*) นกเฉียวดงธรรมดา (*Tephrodornis pondicerianus*) นกปรอดเล็กตาขาว (*Iole propinqua*) นกกระจิบธรรมดา (*Orthotomus sutorius*) และนกกระจาปธรรมดา (*Ploceus philippinus*)

นกที่พบยาก พบ 15 ชนิด ได้แก่ นกเค้าโม่ง (*Glaucidium cuculoides*) นกปากซ่อมหางพัด (*Gallinago gallinago*) เหยี่ยวแดง (*Haliastur indus*) นกยางเขียว (*Butorides striata*) นกปากห่าง (*Anastomus oscitans*) นกแซงแซวหางบ่วงใหญ่ (*Dicrurus paradiseus*) นกขมิ้นน้อยปีกสีเขียว (*Aegithina lafresnayeri*) นกยออดหญ้าสีเทา (*Saxicola ferreus*) นกกระจิบคอดำ (*Orthotomus atrogularis*) นกแว่นตาขาวหลังเขียว (*Zosterops simplex*) นกพงคิ้วดำ (*Acrocephalus bistrigiceps*) นกพงใหญ่พันธุ์ญี่ปุ่น (*Acrocephalus orientalis*) นกจาบผนปีกแดง (*Mirafra erythrocephala*) นกกินปลีดำม่วง (*Cinnyris asiaticus*) และนกเค้าลมเหลือง (*Motacilla tschutschensis*)

พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ นกที่พบบ่อยมาก พบ 4 ชนิด ได้แก่ นกจาบคาเล็ก (*Merops orientalis*) นกกะปูดใหญ่ (*Centropus sinensis*) นกยออดหญ้าสีดำ (*Saxicola caprata*) และนกกระจิ๊ดเข็ม (*Lonchura punctulata*)

นกที่พบบ่อย พบ 16 ชนิด ได้แก่ นกโพระดกธรรมดา (*Megalaima lineata*) นกกาเหว่า (*Eudynamis scolopacea*) นกแอนตาล (*Cypsiurus balasensis*) นกเขาไฟ (*Streptopelia tranquebarica*) นกเขาขาว (*Geopelia striata*) นกเค้าดิน (*Actitis hypoleucos*) นกยางกรอกพันธุ์จีน (*Ardeola bacchus*) นกอีเสือสีน้ำตาล (*Lanius cristatus*) อีกา (*Corvus macrorhynchos*) นกแซงแซวหางปลา (*Dicrurus macrocerus*) นกกิ่งโครงคอดำ (*Gracupica nigricollis*) นกนางแอนบ้าน (*Hirundo rustica*) นกกระจิ๊ดธรรมดา (*Phylloscopus inornatus*) นกจาบผนปีกแดง (*Mirafra erythrocephala*) นกสีชมพูสวน (*Dicaeum cruentatum*) และนกกินปลีอกเหลือง (*Cinnyris jugularis*)

นกที่พบปานกลาง พบ 15 ชนิด ได้แก่ เป็ดแดง (*Dendrocygna javanica*) นกตีทอง (*Megalaima haemacephala*) นกเขาใหญ่ (*Spilopelia chinensis*) เหยี่ยวนกเขาขีดรา (*Accipiter badius*) นกกาบน้ำเล็ก (*Phalacrocorax niger*) นกยางเปีย (*Egretta garzetta*) นกกระสาขาว (*Ardea cinerea*) นกพญาไฟสีเทา (*Pericrocotus divaricatus*) นกเอี้ยงสาริกา (*Acridotheres tristis*) นกเอี้ยงหงอน (*Acridotheres grandis*) นกปรอดสวน (*Pycnonotus blanfordi*) นกกระจิบหญ้าสีเขียว (*Prinia inornata*) นกกระจอกใหญ่ (*Passer domesticus*) นกกระจอกตาล (*Passer flaveolus*) และนกกระจอกบ้าน (*Passer montanus*)

นกที่พบน้อย พบ 24 ชนิด ได้แก่ นกกะเต็นน้อยธรรมดา (*Alcedo atthis*) นกบั้งรอกใหญ่ (*Phaenicophaeus tristis*) นกแอนบ้าน (*Apus affinis*) นกเค้าโม่ง (*Glaucidium cuculoides*) นกกระแตแต้แว๊ด (*Vanellus indicus*) นกหัวโตเล็กขาเหลือง (*Charadrius dubius*) เหยี่ยวขาว (*Elanus caeruleus*) เหยี่ยวดำใหญ่ (*Milvus lineatus*) นกยางโทนใหญ่ (*Ardea alba*) นกกระสาแดง (*Ardea purpurea*) นกอีเสือหลังเทา (*Lanius tephronotus*) นกเฉียวบั้งใหญ่ (*Lalage melaschistos*) นกขมิ้นน้อยธรรมดา (*Aegithina tiphia*) นกจับแมลงจุกดำ (*Hypothymis azurea*) นกจับแมลงสีน้ำตาล (*Muscicapa dauurica*) นกจับแมลงคอแดง (*Ficedula albicilla*) นกยออดหญ้าหัวดำ (*Saxicola stejnegeri*) นกเฉียวดงธรรมดา (*Tephrodornis pondicerianus*) นกนางเขนบ้าน (*Copsychus saularis*) นกจับแมลงหัวเทา (*Culicicapa ceylonensis*) นกแอนพวง (*Artamus fuscus*) นกปรอดเหลืองหัวจุก (*Pycnonotus flaviventris*) นกกินปลีดำม่วง (*Cinnyris asiaticus*) และนกเค้าลมหลังเทา (*Motacilla cinerea*)

นกที่พบยาก พบ 28 ชนิด ได้แก่ นกอ้ายจ้าว (*Anhinga melanogaster*) นกกระรางหัวขวาน (*Upupa epops*) เป็ดแมนดาริน (*Aix galericulata*) นกตะขาบทุ่ง (*Coracias benghalensis*) นกกะเต็นอกขาว (*Halcyon smyrnensis*) นกกะเต็นหัวดำ (*Halcyon pileata*) นกจาบคาหัวสีส้ม (*Merops leschenaulti*) นกเค้ากู่ (*Otus lettia*) นกเค้ากระ (*Glaucidium brodiei*) นกชายเลนน้ำจืด (*Tringa glareola*) นกปากซ่อมหางพัด (*Gallinago gallinago*) นกสตี้นท์อกเทา (*Calidris temminckii*) นกตีนเทียน (*Himantopus himantopus*) เหยี่ยวแดง (*Haliastur indus*) นกยางควาย (*Bubulcus ibis*) นกยางเขียว (*Butorides*)

*striata*) นกขมิ้นท้ายทอยดำ (*Oriolus chinensis*) นกแซงแซวสีเทา (*Dicrurus leucophaeus*) นกจับแมลงอกสีฟ้า (*Cyornis haunanus*) นกกิ่งโครงเกลบหัวเทา (*Sturnus malabaricus*) นกกิ่งโครงเกลบบีกขาว (*Sturnia sinensis*) นกปรอดเล็กตาขาว (*Iole propinqua*) นกกระจิบธรรมดา (*Orthotomus sutorius*) นกกระจิบคอดำ (*Orthotomus atrogularis*) นกแว่นตาขาวหลังเขียว (*Zosterops simplex*) นกพงใหญ่พันธุ์ญี่ปุ่น (*Acrocephalus orientalis*) นกเต่าลมเหลือง (*Motacilla tschutschensis*) และนกอุ้มบาตร (*Motacilla alba*)

จากผลการศึกษาความชุกชุมของนกพบว่าส่วนใหญ่เป็นนกประจำถิ่น อาศัยอยู่ในพื้นที่ตลอดทั้งปี จึงทำให้พบเห็นบ่อยครั้งและพบเป็นจำนวนมาก เช่น นกเอี้ยงหงอน (*Acridotheres grandis*) นกยอดหญ้าสีดำ (*Saxicola caprata*) นกกะปูดใหญ่ (*Centropus siensis*) และนกจาบคาเล็ก (*Merops orientalis*) เป็นต้น ส่วนนกที่พบยากส่วนใหญ่จะเป็นนกอพยพหรือนกที่เข้ามาหากินในพื้นที่แล้วกลับรังไป จึงทำให้พบเห็นได้ไม่บ่อยนัก เช่นนกชายเลนน้ำจืด (*Tringa glareola*) นกأيยงัว (*Anhinga melanogaster*) นกยางเขียว (*Butorides striata*) และนกแซงแซวหางบ่วงใหญ่ (*Dicrurus paradiseus*) เป็นต้น

#### ความคล้ายคลึงของนกระหว่างพื้นที่

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) มีค่าเท่ากับ 66.23% โดยในนกที่พบเฉพาะพื้นที่การศึกษาพบ 14 ชนิด ในขณะที่นกที่พบเฉพาะในเขตป่าร่องก่อ พบ 37 ชนิด เช่น เป็ดแดง นกอ้ายงัว นกเป็ดแมนดาริน และนกที่พบได้ทั้งสองพื้นที่พบทั้งหมด 50 ชนิด (ตารางภาคผนวกที่ 1) จากค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) แสดงให้เห็นว่าสภาพแวดล้อมของทั้งสองพื้นที่ก็ยังมีสภาพแวดล้อมบางส่วนหรือมีความเหมาะสมกับนกบางชนิดที่เหมือนกัน และพื้นที่ทั้งสองไม่ได้ตัดขาดจากกันอย่างสิ้นเชิงจึงทำให้สามารถพบเห็นนกบางชนิดได้ทั้งสองพื้นที่ เขตพื้นที่การศึกษาถึงแม้ว่าจะเป็นพื้นที่เขตชุมชนแต่ก็ประกอบไปด้วยแหล่งที่อยู่ที่หลากหลาย เช่น แหล่งน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ที่มีน้ำตลอดทั้งปี ทุ่งหญ้า สนามหญ้า สวนสาธารณะที่มีต้นไม้ใหญ่ และไม้ดอกที่เป็นแหล่งอาหารของนกบางกลุ่มซึ่งอาจจะสามารถดึงดูดแมลงที่เป็นอาหารของนกให้เข้ามาได้ ซึ่งแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลายนี้ย่อมส่งผลต่อถิ่นอาศัยที่หลากหลายของนกตามไปด้วย (Block and Brennan, 1993) แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าในพื้นที่เขตการศึกษาจะมีแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลาย แต่การรบกวนของผู้คนอาจจะส่งผลต่อการเลือกแหล่งที่อยู่อาศัย แหล่งหลบภัยและแหล่งทำรังของนก ส่งผลให้นกบางชนิดไม่สามารถพบเห็นได้ในพื้นที่เขตการศึกษา

#### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการศึกษาความหลากหลายชนิดของนกในพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีระหว่างเดือนมีนาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 โดยใช้วิธีหยดตามจุดสำรวจที่กำหนด (point count) พบนกทั้งสิ้น 101 ชนิด จาก 14 อันดับ 45 วงศ์ โดยอันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 57 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลนและนกนางนวล (Charadriiformes) พบอันดับละ 7 ชนิด พื้นที่เขตการศึกษาพบนกทั้งสิ้น 64 ชนิด จาก 11 อันดับ 34 วงศ์ โดยอันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 43 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกพิราบ (Columbiformes) และอันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) พบอันดับละ 4 ชนิด พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อพบนกทั้งสิ้น 87 ชนิด จาก 14 อันดับ 42 วงศ์ โดยอันดับที่พบชนิดของนกมากที่สุดคือ อันดับนกจับคอน (Passeriformes) พบ 45 ชนิด รองลงมาคือ อันดับนกกระทุง (Pelecaniformes) และอันดับนกชายเลนและนกนางนวล (Charadriiformes) พบอันดับละ 7 ชนิด เมื่อจากการวิเคราะห์ค่าดัชนีต่าง ๆ ของทั้งสองพื้นที่ พบว่า พื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ พบจำนวนชนิดและมีค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (Shannon-Wiener index) มากกว่าพื้นที่เขตการศึกษา และจากการศึกษาพบว่านกอพยพมีมากถึง 44 ชนิด ซึ่งคิดเป็น 43.56 % จากข้อมูลข้างต้น แสดงให้เห็นว่าพื้นที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเฉพาะพื้นที่อนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ เป็นพื้นที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถให้แหล่งอาศัย แหล่งทำรังวางไข่ สำหรับนกอพยพรวมไปถึงนกประจำถิ่นหลายๆ ชนิด รวมถึงนกที่มีความสำคัญในด้านอนุรักษ์และนกที่พบเห็นได้ยากในธรรมชาติ เช่น นกอ้ายงัว และเป็ดแมนดาริน และมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแหล่งอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพของสัตว์ในท้องถิ่น รวมถึงเป็นแหล่งเรียนรู้ให้กับชุมชน นักเรียน นักศึกษาและผู้สนใจ ต่อยอดเป็นแหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศได้ในอนาคต

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทั้งในด้านห้องปฏิบัติการและอุปกรณ์ ในการทำงาน และขอขอบคุณนายชัยวุฒิ ศรีศรารุ และนางสาวสุจิตร์ อินทรสาร ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล



## จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับใบรับรองการอนุมัติให้ดำเนินการเลี้ยงสัตว์และใช้สัตว์จากคณะกรรมการกำกับดูแลการเลี้ยงและใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี หมายเลขโครงการ 11/2563/IACUC

## เอกสารอ้างอิง

- Bibby, C. J., Burgess, N. D. and Hill, D. A. (1992). **Bird Census Techniques**. London: Academic Press.
- Block, W. M. and Brennan, L. A. (1993). The habitat concept in ornithology: Theory and applications. **Current Ornithology**, 11, 35-91.
- Chulalongkorn University. (2013). **Bird in Chamchuri park**. Bangkok. Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- Duengkae, P. (2010). Avifaunal Diversity on the Kasetsart University Campus, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province. **Kasetsart Journal Natural Science**, 44, 1107 – 1114.
- Dumrongrojwatthana, P. and Kunsook, C. (2018). Bird Species Composition Change in the Natural Resource Protected Area, Rambhai Barni Rajabhat University (in Thai). **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 13(1), 5-19.
- IUCN. (2016). IUCN Red List of Threatened Species, Version 2015-4. Retrieved June 10, 2021, from [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)
- Kamtaeja, S. 2008. Birds in Western Rice Field of Phitsanulok (Research Report) (in Thai). Retrieved May 20, 2021, from Pibulsongkram Rajabhat University: [http://etheses.psu.ac.th/lib-irpsru/sites/default/files/site/default/thesis/fulltext\\_131.pdf](http://etheses.psu.ac.th/lib-irpsru/sites/default/files/site/default/thesis/fulltext_131.pdf).
- Kesonbua, W., and Udomsirichakorn, K. (2013). **A field guide to plants of Ubon Ratchathani University Botanical Garden** (in Thai). Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Khachonpisitsak, S and Muangmee, W. (2016). Bird Diversity Survey in Burapha University Area, Chon Buri Province (in Thai). **Burapha Science Journal**, 21(2), 260-279.
- Krebs, C.J. (1992). **Ecological methodology 2nd Edition**. California: Addison-Educational.
- Lekagul, B. and Round, P.D. (1991). **A Guide to the Birds of Thailand**. Bangkok: Darnsutha Press.
- Maheswaran, G. and Rahmani, A. R. (2001). Effects of water level changes and wading bird abundance on the foraging behaviour of blacknecked storks *Ephippiorhynchus asiaticus* in Dudwa National Park, India. **Journal of Biosciences**, 26(3), 373-382.
- Meesena, J. N., Sitasuwan, X., and Elliott, S. (2014). Birds diversity on Doi Mae Sa Long Mae Fah Luang District, Chiang Rai Province (in Thai). **Journal of Yala Rajabhat University**, 9(1), 9–29.
- Nabhitabhata, J., Lekagul, K. and Sanguansombat, W. (2012). **Dr. Boonsong's Bird Guide of Thailand**. Bangkok: Dansutha printing.
- Nakwa, A. (2008). Biodiversity of Birds at Thung Saleang Luang National Park, Phetchabun Province. **Ph. D.'s Thesis**. Faculty of Science, Biology Department, Chiang Mai University, Thailand.
- Nakwa, A. (2014). Bird Diversity at Thalaekaeaw, Ban Klong and Plaichumpom Subdistrict, Phitsanulok Province (in Thai). **Phetchabun Rajabhat Journal**, 16(1), 68-75.
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning. (2017). Thailand Red Data: Vertebrate. Retrieved 2 June 2021, **Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning**: <https://www.onep.go.th/reddatavertibrates/>.
- Pettingill, O. S. (1969). **A Laboratory and Field Manual of Ornithology**. United States: Bures Publishing Company.
- Phengpengpit, A., S. Petchmanee. and S. Thunhikorn. (2008). Species diversity of birds in hill evergreen. Case study in Phuluang Wildlife Sanctuary (in Thai). **Wildlife Yearbook. Vol.9**. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation.

- Pongkhumpeiy, P. (2011). Study of bird diversity at Kwan Phayao Wetland, Phayao Province (in Thai). **Proceedings of Phayao Research Conference**,6-14.
- Schweizer, M., and Liu, Y. (2018). Avian Diversity and Distributions and Their Evolution Through Space and Time. **Bird Species**. Cham: Springer.
- Shannon, C. E. (1949). Mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, 27, 379-423.
- Sriptho, S. (2015). Diversity of Birds in Phuruea National Park, Loei Province (in Thai). **Rajabhat Journal of Sciences, Humanities and Social Sciences**, 16(2), 286-299.
- Sriptho, S. (2018). Diversity of birds along Mekong river, Chiang Khan district, Loei province (in Thai). **Journal of Wildlife in Thailand**, 25, 67-79.
- Tothaisong, J. and Thunhikorn, S. (2010). Species Diversity and Habitat Utilizations of Birds in Hill Evergreen forest at Phuluang Wildlife Sanctuary (in Thai). **Wildlife Yearbook Vol.12**. Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation.
- Ubon Ratchathani University. (2020). Ubon Ratchathani University: Introduction (in Thai). Retrieved 2 October 2021, **Ubon Ratchathani University**: <https://www.ubu.ac.th/new/about01.php>.
- Whitfield, A. K. and Blaber, S., J. M. (1978). Feeding ecology of piscivorous birds at Lake St. Lucia, Part 2: Wading birds. **Journal of African Ornithology**, 50, 1–9.
- Wilson, E. O. (1980). **Sociobiology**. Massachusetts: The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge.
- Wongthirawat, S. (2009). **A Guide to Study on Ecology and Wildlife Habitats, by Using Birds as indicators** (in Thai). Bangkok: Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation.

## ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 รายชื่อนกที่พบในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ระหว่างมีนาคม พ.ศ. 2563 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564

Order	Family/Common name	Species	Area		Seasonal Status
			ED	RK	
Bucerotiformes	Upupidae				
	1. นกกระรางหัวขวาน	<i>Upupa epops</i>	-	+	Re
Anseriformes	Anatidae				
	2. เป็ดแดง	<i>Dendrocygna javanica</i>	-	+	Re
	3. เป็ดแมนดาริน	<i>Aix galericulata</i>	-	+	W
Piciformes	Megalaimidae				
	4. นกโพระดกธรรมดา	<i>Megalaima lineata</i>	-	+	Re
	5. นกตีทอง	<i>Megalaima haemacephala</i>	+	+	Re
Coraciiformes	Coraciidae				
	6. นกตะขาบทุ่ง	<i>Coracias benghalensis</i>	-	+	Re
	Alcedinidae				
	7. นกกะเต็นน้อยธรรมดา	<i>Alcedo atthis</i>	+	+	W
	8. นกกะเต็นอกขาว	<i>Halcyon smyrnensis</i>	-	+	Re
	9. นกกะเต็นหัวดำ	<i>Halcyon pileata</i>	-	+	P
	Meropidae				
	10. นกจาบคาเล็ก	<i>Merops orientalis</i>	+	+	Re
	11. นกจาบคาหัวสีส้ม	<i>Merops leschenaulti</i>	-	+	Re
Cuculiformes	Cuculidae				
	12. นกกาเหว่า	<i>Eudynamys scolopaceus</i>	+	+	Re
	13. นกกะปูดใหญ่	<i>Centropus sinensis</i>	+	+	Re
	14. นกบั้งรอกใหญ่	<i>Phaenicophaeus tristis</i>	+	+	Re
Apodiformes	Apodidae				
	15. นกแอ่นตาล	<i>Cypsiurus balasiensis</i>	+	+	Re
	16. นกแอ่นบ้าน	<i>Apus affinis</i>	+	+	Re
Strigiformes	Strigidae				
	17. นกเค้ากู่	<i>Otus lettia</i>	-	+	Re
	18. นกเค้าโมง	<i>Glaucidium cuculoides</i>	+	+	Re
	19. นกเค้ากระรอก	<i>Glaucidium brodiei</i>	-	+	Re
Columbiformes	Columbidae				
	20. นกพิราบป่า	<i>Columba livia</i>	+	-	Re
	21. นกเขาใหญ่	<i>Spilopelia chinensis</i>	+	+	Re
	22. นกเขาไฟ	<i>Streptopelia tranquebarica</i>	+	+	Re
	23. นกเขาชวา	<i>Geopelia striata</i>	+	+	Re
Charadriiformes	Scolopacidae				
	24. นกชายเลนน้ำจืด	<i>Tringa glareola</i>	-	+	W
	25. นกปากซ่อมหางพัด	<i>Gallinago gallinago</i>	+	+	W
	26. นกเด้าดิน	<i>Actitis hypoleucos</i>	+	+	W
	27. นกสตี้นท์อกเทา	<i>Calidris temminckii</i>	-	+	W

ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)					
Order	Family/Common name	Species	Area		Seasonal Status
			ED	RK	
Charadriiformes	Recurvirostridae				
	28. นกตีนเทียน	<i>Himantopus himantopus</i>	-	+	W
	Charadriidae				
Accipitriformes	29. นกกระแตแต้แว้ด	<i>Vanellus indicus</i>	-	+	Re
	30. หัวโตเล็กขาเหลือง	<i>Charadrius dubius</i>	-	+	W
	Accipitridae				
	31. เหยี่ยวแดง	<i>Haliastur indus</i>	+	+	Re
	32. เหยี่ยวขาว	<i>Elanus caeruleus</i>	-	+	Re
	33. เหยี่ยวดำใหญ่	<i>Milvus lineatus</i>	-	+	W
	34. เหยี่ยวนกเขาชिरา	<i>Accipiter badius</i>	-	+	Re
Suliformes	Anhingidae				
	35. นกฮ้ายจ้าว	<i>Anhinga melanogaster</i>	-	+	W
Pelecaniformes	Phalacrocoracidae				
	36. นกกาน้ำเล็ก	<i>Phalacrocorax niger</i>	-	+	Re
	Ardeidae				
	37. นกยางเป็ย	<i>Egretta garzetta</i>	+	+	W
	38. นกกระสาขาว	<i>Ardea cinerea</i>	+	+	W
	39. นกยางโทนใหญ่	<i>Ardea alba</i>	-	+	W
	40. นกยางควาย	<i>Bubulcus ibis</i>	-	+	W
Passeriformes	41. นกกระสาแดง	<i>Ardea purpurea</i>	-	+	W
	42. นกยางกรอกพันจู้จิ้น	<i>Ardeola bacchus</i>	+	+	W
	43. นกยางเขียว	<i>Butorides striata</i>	+	+	W
	Ciconiidae				
	44. นกปากห่าง	<i>Anastomus oscitans</i>	+	-	W
	Laniidae				
	45. นกอีเสือสีน้ำตาล	<i>Lanius cristatus</i>	+	+	W
	46. นกอีเสือหลังแดง	<i>Lanius colluriooides</i>	+	-	P
	47. นกอีเสือหลังเทา	<i>Lanius tephronotus</i>	-	+	W
	Corvidae				
	48. อีกา	<i>Corvus macrorhynchos</i>	+	+	Re
Oriolidae					
49. นกขมิ้นท้ายทอยดำ	<i>Oriolus chinensis</i>	-	+	W	
Campephagidae					
50. นกพญาไฟสีเทา	<i>Pericrocotus divaricatus</i>	-	+	W	
51. นกเขียวบั้งใหญ่	<i>Lalage melaschistos</i>	-	+	W	
Rhipiduridae					
52. นกอีแพรดแถบอกดำ	<i>Rhipidura javanica</i>	+	-	Re	
Dicruridae					
53. นกแซงแซวสีเทา	<i>Dicrurus leucophaeus</i>	-	+	W	
54. นกแซงแซวหางปลา	<i>Dicrurus macrocerus</i>	+	+	W	
55. นกแซงแซวหางบ่วงใหญ่	<i>Dicrurus paradiseus</i>	+	-	Re	

## ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

Order	Family/Common name	Species	Area		Seasonal Status
			ED	RK	
Passeriformes	Aegithinidae				
	56. นกขมิ้นน้อยธรรมดา	<i>Aegithina tiphia</i>	+	+	Re
	57. นกขมิ้นน้อยปีกสีเขียว	<i>Aegithina lafresnayeii</i>	+	-	Re
	Monarchidae				
	58. นกจับแมลงจุกดำ	<i>Hypothymis azurea</i>	-	+	Re
	Muscicapidae				
	59. นกกระเบื้องผา	<i>Monticola solitarius</i>	+	-	W
	60. นกจับแมลงสีน้ำตาล	<i>Muscicapa dauurica</i>	+	+	W
	61. นกจับแมลงคอแดง	<i>Ficedula albicilla</i>	+	+	W
	62. นกจับแมลงอกสีฟ้า	<i>Cyornis haunanus</i>	-	+	Re
	63. นกยอดหญ้าหัวดำ	<i>Saxicola stejnegeri</i>	-	+	W
	64. นกยอดหญ้าสีดำ	<i>Saxicola caprata</i>	+	+	Re
	65. นกยอดหญ้าสีเทา	<i>Saxicola ferreus</i>	+	-	W
	Tephrodomithidae				
	66. นกเขียววงธรรมดา	<i>Tephrodomis pondicerianus</i>	+	+	Re
	Muscicapidae				
	67. นกกางเขนบ้าน	<i>Copsychus saularis</i>	+	+	Re
	Stenostiridae				
	68. นกจับแมลงหัวเทา	<i>Culicicapa ceylonensis</i>	-	+	W
	Sturnidae				
	69. นกกิ่งโครกกลับหัวเทา	<i>Sturnus malabaricus</i>	-	+	W
	70. นกกิ่งโครกคอดำ	<i>Gracupica nigricollis</i>	+	+	Re
	71. นกกิ่งโครกกลับปีกขาว	<i>Sturnia sinensis</i>	-	+	W
	72. นกเอี้ยงสาริกา	<i>Acridotheres tristis</i>	+	+	Re
	73. นกเอี้ยงหงอน	<i>Acridotheres grandis</i>	+	+	Re
	Artamidae				
	74. นกแอ่นพง	<i>Artamus fuscus</i>	+	+	Re
	Hirundinidae				
	75. นกนางแอ่นบ้าน	<i>Hirundo rustica</i>	+	+	W
	Pycnonotidae				
	76. นกปรอดหัวสีเข้ม	<i>Pycnonotus aurigaster</i>	+	-	Re
	77. นกปรอดสวน	<i>Pycnonotus blanfordi</i>	+	+	Re
	78. นกปรอดเล็กตาขาว	<i>Iole propinqua</i>	+	+	Re
	79. ปรอดเหลืองหัวจุก	<i>Pycnonotus flaviventris</i>	-	+	Re
	Cisticolidae				
	80. นกกระจับหญ้าสีเขียว	<i>Prinia inornata</i>	+	+	Re
	81. นกกระจับธรรมดา	<i>Orthotomus sutorius</i>	+	+	Re
	82. นกกระจับคอดำ	<i>Orthotomus atrogularis</i>	+	+	Re
	Zosteropidae				
	83. นกแว่นตาขาวหลังเขียว	<i>Zosterops simplex</i>	+	+	W

## ตารางภาคผนวกที่ 1 (ต่อ)

Order	Family/Common name	Species	Area		Seasonal Status
			ED	RK	
Passeriformes	Acrocephalidae				
	84. นกพงคิ้วดำ	<i>Acrocephalus bistrigiceps</i>	+	-	W
	85. นกพงใหญ่พันธุ์ญี่ปุ่น	<i>Acrocephalus orientalis</i>	+	+	W
	Phylloscopidae				
	86. นกกระจัดธรรมดา	<i>Phylloscopus inornatus</i>	+	+	W
	87. นกกระจัดสีคล้ำ	<i>Phylloscopus fuscatu</i>	+	-	W
	Alaudidae				
	88. นกจาบผ่นปีกแดง	<i>Mirafra erythrocephala</i>	+	+	Re
	Dicaeidae				
	89. นกสีชมพูสวน	<i>Dicaeum cruentatum</i>	+	+	Re
	Nectariniidae				
	90. นกกินปลีคอสีน้ำตาล	<i>Anthreptes malacensis</i>	+	-	Re
	91. นกกินปลีอกเหลือง	<i>Cinnyris jugularis</i>	+	+	Re
	92. นกกินปลีดำม่วง	<i>Cinnyris asiaticus</i>	+	+	Re
	Motacillidae				
	93. นกเด้าลมเหลือง	<i>Motacilla tschutschensis</i>	+	+	W
	94. นกเด้าลมหลังเทา	<i>Motacilla cinerea</i>	-	+	W
	95. นกอุ้มบาตร	<i>Motacilla alba</i>	-	+	W
	Estrildidae				
	96. นกกระต๊อขี้หมู	<i>Lonchura punctulata</i>	+	+	Re
	97. นกกระต๊อตะโพกขาว	<i>Lonchura striata</i>	+	-	Re
Passeridae					
98. นกกระจอกใหญ่	<i>Passer domesticus</i>	+	+	Re	
99. นกกระจอกตาล	<i>Passer flaveolus</i>	+	+	Re	
100. นกกระจอกบ้าน	<i>Passer montanus</i>	+	+	Re	
Ploceidae					
101. นกกระจาบบรรณดา	<i>Ploceus philippinus</i>	+	-	Re	

หมายเหตุ : ED = พื้นที่เขตการศึกษา

Re = นกประจำถิ่น

RK = พื้นที่ป่าอนุรักษ์ป่าต้นน้ำร่องก่อ

W = นกอพยพมาในฤดูหนาว

P = นกอพยพผ่าน

บทความวิจัย

## การพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยจากการปรับปรุงด้วยการคัดเลือก คุณลักษณะร่วมกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น

อนุวัฒน์ เปาพาทย์<sup>1</sup> วงกต ศรีอุไร<sup>2</sup> และณัฐ ดิษเจริญ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาลัทธิศาสตร์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

<sup>2</sup>ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี

\*Email: nadh.d@ubu.ac.th

รับบทความ: 1 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขบทความ: 19 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 21 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่เป็นปัจจัยในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์ และปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยการคัดเลือกคุณลักษณะร่วมกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากระบบงานทะเบียนนักศึกษาและประมวลผล กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่ (1) ข้อมูลพื้นฐาน จำนวน 1,029 รายการ (2) ข้อมูลรายภาคการศึกษา จำนวน 6,826 รายการ และ (3) ข้อมูลผลการเรียน จำนวน 29,790 รายการ หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลตามวิธีการคริปโตเอ็ม คงเหลือข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง จำนวน 882 รายการ และคุณลักษณะจำนวน 14 แอททริบิวต์ แบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาสร้างด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ นาอีฟเบย์ โครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น และซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน ร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธีอัตราส่วนเกน โคลสแควร์ และการคัดเลือกคุณลักษณะบนฐานสหสัมพันธ์ (ซีเอฟเอส) หาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการตรวจสอบไขว้สิบส่วน เพื่อเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง ค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ ค่าความถ่วงดุล และค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ผลการวิจัย พบว่า คุณลักษณะที่เป็นปัจจัยสำคัญในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามี 5 แอททริบิวต์ ได้แก่ (1) ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม (2) ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมกลุ่มวิชาในคณะ (3) ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมกลุ่มวิชานอกคณะ (4) การกู้ยืมหรือทุนการศึกษา และ (5) สถานภาพนักศึกษา (คลาสเป้าหมาย) แบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาที่มีค่าความถูกต้องสูงสุด สร้างด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธีซีเอฟเอส ที่ได้ค่าความถูกต้องหลังจากปรับค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองแล้ว เท่ากับ 90.26% จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เทคนิคการคัดเลือกคุณลักษณะปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อใช้ในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยได้แม่นยำมากขึ้นและสามารถนำแบบจำลองไปใช้พัฒนาระบบพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาต่อไปได้

**คำสำคัญ:** การออกกลางคัน การพยากรณ์ข้อมูล การคัดเลือกคุณลักษณะ การทำเหมืองข้อมูล

### อ้างอิงบทความนี้

อนุวัฒน์ เปาพาทย์, วงกต ศรีอุไร และณัฐ ดิษเจริญ. (2565). การพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยจากการปรับปรุงด้วยการคัดเลือกคุณลักษณะร่วมกับวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 39-48. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.4>



## University student dropout prediction improved by feature selection with Multilayer Perceptron Neural Network

Anuwat Paphat,<sup>1</sup> Wongkot Sriurai,<sup>2</sup> and Nadh Ditcharoen<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>*M.Sc. Student, Major of Information Technology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani*

<sup>2</sup>*Department of Mathematics, Statistics and Computer, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani*

*\*Email: nadh.d@ubu.ac.th*

Received <1 February 2022>; Revised <19 February 2022>; Accepted <21 February 2022>

---

### Abstract

The objectives of this research were to analyze the factors affected university student dropout prediction, to compare the efficiency of the prediction model, and to improve the model efficiency by using feature selection with multilayer perceptron neural network. Data used in this research were collected from the Office of Student Registrar and Evaluation, Division of Educational Service, Ubon Ratchathani University. They were consisted of 3 parts: (1) 1,029 records of basic data, (2) 6,826 records of semester data, and (3) 29,790 records of grade data. After data preparation process by CRISP-DM method, 882 records remained with 14 attributes. The models of university student dropout prediction were developed using decision tree, Naive Bayes, multilayer perceptron neural network, and support vector machine integrated with feature selection methods including gain ratio, Chi-square, and correlation-based feature selection (CFS). The efficiency of the generated models was measured by 10-folds cross validation to compare accuracy, precision, recall, f-measure, and mean absolute error. The experiment results revealed that the key factors to predict the university student dropout were 5 attributes including (1) grade point average (GPA), (2) GPA of courses in the student's faculty, (3) GPA of courses outside the student's faculty, (4) student loan or scholarship, and (5) student's graduation status (target class). The best model for predicting university student dropout was developed by multilayer perceptron neural network improved with CFS. The accuracy of the prediction model, after model development with parameter tuning, was 90.39%. The results indicated that the feature selection could improve the efficiency of the prediction model developed by neural network for predicting university student dropout accurately. The developed model can be further used to develop the system for predicting university student dropout.

**Keywords:** Student dropout, prediction, feature selection, data mining

---

#### Cite this article:

Paphat, A., Sriurai, W. and Ditcharoen, N. (2022). University student dropout prediction improved by feature selection with Multilayer Perceptron Neural Network (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 39-48. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.4>

## บทนำ

การออกกลางคันของนักศึกษาเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ผลการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ ไม่ชำระค่าลงทะเบียน (Ubon Ratchathani University, 2018) หรือการลาออกเองด้วยเหตุผลอื่นๆ เช่น ต้องการเปลี่ยนหลักสูตร เปลี่ยนสถาบันการศึกษา เป็นต้น ซึ่งปัญหาการออกกลางคันของนักศึกษาดังกล่าว อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษา งบประมาณ และการจัดการศึกษา ปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลทางการศึกษาอย่างเป็นระบบ ช่วยให้สามารถติดตามผลการเรียนของนักศึกษา รวมถึงมีระบบตรวจสอบทำนาย พยากรณ์โอกาสที่นักศึกษาอาจจะออกกลางคันเพื่อช่วยให้นักศึกษาได้เตรียมพร้อม หรือหาทางช่วยเหลือก่อนที่จะพ้นสภาพนักศึกษา ซึ่งจะเป็นการลดปัญหาและความเสี่ยงเหล่านั้นได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ทำนาย หรือสร้างแบบจำลอง เช่น การใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงการออกกลางคันของนักศึกษา หรือหาความสัมพันธ์ของรายวิชาที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางการศึกษาของนักศึกษา (Paruechanon and Sriurai, 2018; Pheunpha, 2020) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการใช้เทคนิคการจำแนกข้อมูลมาสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษา เช่น การใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) วิธีการเรียนรู้แบบง่ายหรือนาอ์เบย์ (Naïve Bayes) วิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (K-Nearest Neighbors) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) และการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติก (Logistic Regression) เป็นต้น (Iamprik and Sudadet, 2017) รวมถึงมีการประยุกต์ใช้การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) ร่วมกับวิธีการจำแนกข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แม่นยำมากขึ้น ดังปรากฏในงานวิจัยของ Rawengwan and Seresangtakul (2017) Sittichat (2017) และ Boonprasom and Sanrach (2018) ที่ประยุกต์ใช้วิธี Filter Ranker Method หรือ Correlation-based Feature Selection (CFS) ในการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญร่วมกับการจำแนกข้อมูล งานวิจัยดังกล่าวมาข้างต้น ได้มีการศึกษา รวบรวมปัจจัยหรือคุณลักษณะที่นำมาใช้วิเคราะห์ที่แตกต่างกันไปตามแต่ละบริบทและชุดข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งข้อมูลและกลุ่มตัวอย่างส่งผลกระทบต่อออกกลางคันค่อนข้างหลากหลาย บางปัจจัยอาจส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการพยากรณ์แตกต่างกันไป รวมทั้งเทคนิคในการจำแนกหรือทำนายในแต่ละบริบทก็ให้ประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงนำวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยร่วมกับเทคนิคจำแนกข้อมูลในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองให้มีความถูกต้องแม่นยำขึ้น

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์หาคุณลักษณะที่เป็นปัจจัยในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัย
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยจากการปรับปรุงด้วยวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะร่วมกับวิธีสร้างแบบจำลอง
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาด้วยการคัดเลือกคุณลักษณะร่วมกับการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น

## ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection)

การเลือกคุณลักษณะ เป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนคุณลักษณะหรือแอททริบิวต์ (Attribute) ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำของแบบจำลองในการจำแนกข้อมูล โดยการคัดเลือกคุณลักษณะแบ่งได้ 3 ประเภท ได้แก่ Filter Approach, Wrapper Approach และ Embedded Approach (Pavya and Srinivasan, 2017) วิธี Filter Approach เป็นการเลือกคุณลักษณะโดยไม่ขึ้นกับประเภทของแบบจำลอง ซึ่งจะใช้เป็นเกณฑ์จัดอันดับที่เหมาะสม และตัวแปรที่มีค่าน้ำหนักต่ำกว่าค่าเกณฑ์บางค่าจะถูกถอดออก การคำนวณหาค่าน้ำหนักซึ่งอาจจะเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละคุณลักษณะและคลาสเป้าหมาย ข้อดีของวิธีนี้คือมีความรวดเร็ว ไม่ซับซ้อนและไม่ขึ้นกับประเภทของแบบจำลองที่ใช้ แต่มีข้อควรระวังคือการไม่ขึ้นต่อกันของคุณลักษณะ แต่ละคุณลักษณะจะพิจารณาแยกกัน ส่วนในวิธี Wrapper Approach คุณลักษณะจะขึ้นกับแบบจำลองที่ใช้ โดยจะใช้ผลลัพธ์จากแบบจำลองในการพิจารณาความเหมาะสมของคุณลักษณะที่กำหนด และวิธี Embedded Approach จะค้นหาขอบเขตของคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดที่สร้างแบบจำลอง ซึ่งจะใช้การคำนวณที่น้อยกว่าวิธี Wrapper ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้อัลกอริทึมประเภท Filter Approach ในการคัดเลือกคุณลักษณะ คือ วิธีอัตราส่วนเกน (Gain Ratio) วิธีไคสแควร์ (Chi-Square) และวิธีคัดเลือกคุณลักษณะบนฐานสหสัมพันธ์ (Correlation-based Feature Selection: CFS)

### ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้ตัดสินใจ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ให้ผลลัพธ์และอธิบายความสัมพันธ์ได้ง่าย พัฒนาขึ้นมาโดย J. Ross Quinlan เทคนิคที่นิยมใช้ในการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ ได้แก่ อัลกอริทึม C4.5 (J48) ใช้หลักการของ Information Gain (IG) หรือ Entropy Reduction เพื่อจำแนกโหนด (Node) โดยคัดเลือกคุณลักษณะที่มีความสัมพันธ์กับคลาสมากที่สุดมาเป็นราก (Root Node) จากนั้นหาคุณลักษณะไป

เรื่อยๆ โหนดถัดไปจะมีค่า Gain ลดหลั่นกันไป ซึ่งแต่ละโหนดจะแสดงถึงการตัดสินใจบนข้อมูลของคุณสมบัติต่างๆ ของกิ่งไม้ โดยข้อมูลชั้นล่างสุดของต้นไม้ตัดสินใจจะแสดงถึงกลุ่มของข้อมูล (Class) (Pacharawongsakda, 2014; Habusaya and Ditcharoen, 2020) ในการหาความสัมพันธ์ของคุณลักษณะจะใช้ค่า IG ซึ่งคำนวณได้จาก

$$IG(\text{parent, child}) = \text{Entropy}(\text{parent}) - [p(c_1) \times \text{Entropy}(c_1) + p(c_2) \times \text{Entropy}(c_2) + \dots] \quad (1)$$

โดยที่

Entropy( $c_i$ ) คือ  $-p(c_i) \log p(c_i)$

$p(c_i)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของค่า  $c_i$

$c$  คือ คลาสเป้าหมาย (Class)

ค่า Entropy จะใช้ในการวัดความแตกต่างกันของข้อมูล ถ้าข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อย ค่า Entropy จะมีค่าต่ำ แต่ถ้าข้อมูลมีความแตกต่างกันมาก ค่า Entropy จะมีค่าสูง ดังนั้นถ้าข้อมูล Entropy ของโหนดลูก (child) สามารถแบ่งแยกข้อมูลได้ดี จะมีค่า Entropy ต่ำและจะทำให้ค่า IG มีค่าสูงเมื่อเทียบกับโหนดบน (parent)

### นาอิวเบย์ (Naive Bayes)

นาอิวเบย์ เป็นเทคนิคหนึ่งที่ได้รับนิยามเนื่องจากสร้างแบบจำลองได้ง่ายและไม่ซับซ้อน โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นเป็นหลัก (Pacharawongsakda, 2014; Techapanurak, 2021) ซึ่งหาคำนวณได้จาก

$$P(C|A) = \frac{P(A|C)P(C)}{P(A)} \quad (2)$$

โดยที่

A คือ คุณลักษณะ (Attributes)

C คือ คลาสเป้าหมาย (Class)

$P(C|A)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูลที่มีแอททริบิวต์เป็น A จะมีคลาส C

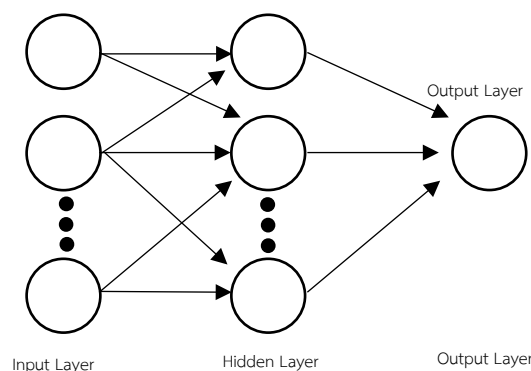
$P(A|C)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นที่ข้อมูลฝึกฝน (Training Data) ที่มีคลาส C และมีแอททริบิวต์ A

โดยที่  $A = a_1 \cap a_2 \dots \cap a_M$  และ M คือ จำนวนแอททริบิวต์ในชุดข้อมูลฝึกฝน

$P(C)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของคลาส C

### โครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น (Multilayer Perceptron Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้น เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feed Forward ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อย่างแพร่หลาย และได้รับความนิยมใจนำมาศึกษาวิจัยอย่างมากในหลากหลายสาขาวิชา พัฒนาขึ้นเพื่อจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเทียมหรือโหนดจำนวนมากเชื่อมต่อกัน ซึ่งการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย เรียกว่า ชั้น (Layer) ชั้นแรก เป็นชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (Input Layer) ส่วนชั้นสุดท้ายเรียกว่า ชั้นส่งข้อมูลออก (Output Layer) และชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นรับข้อมูลป้อนเข้าและชั้นส่งข้อมูลออกเรียกว่า ชั้นซ่อน (Hidden Layer) ซึ่งโดยทั่วไปชั้นซ่อนอาจมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ โครงสร้างแสดงดังภาพที่ 1 ด้วยเหตุนี้ จึงสามารถแบ่งประเภทของโครงข่ายประสาทเทียมตามจำนวนชั้นของโครงข่ายแบบกว้าง ๆ ได้ 2 แบบ ได้แก่ โครงข่ายแบบชั้นเดียว (Single Layer) และ โครงข่ายแบบหลายชั้น (Multilayer) (Pacharawongsakda, 2014)



ภาพที่ 1 โครงสร้างและการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

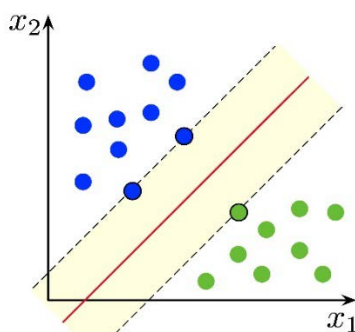
ที่มา : <https://th.wikipedia.org/wiki/โครงข่ายประสาทเทียม>

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ใช้สำหรับงานที่มีความซับซ้อนได้ผลเป็นอย่างดี โดยมีกระบวนการฝึกฝนเป็นแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) และใช้ขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Backpropagation) การฝึกฝนกระบวนการส่งค่าย้อนกลับ

ประกอบด้วย 2 ส่วนย่อยคือ การส่งผ่านไปข้างหน้า (Forward Pass) การส่งผ่านย้อนกลับ (Backward Pass) สำหรับการส่งผ่านไปข้างหน้า ข้อมูลจะผ่านเข้าโครงข่ายประสาทเทียมที่ชั้นข้อมูลเข้า และจะส่งผ่าน จากอีกชั้นหนึ่งไปสู่อีกชั้นหนึ่งจนกระทั่งถึงชั้นข้อมูลออก ส่วนการส่งผ่านย้อนกลับค่าน้ำหนักการเชื่อมต่อจะถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับกฎการแก้ข้อผิดพลาด (Error-Correction) คือผลต่างของผลตอบที่แท้จริง (Actual Response) กับผลตอบเป้าหมาย (Target Response) เกิดเป็นสัญญาณผิดพลาด (Error Signal) ซึ่งสัญญาณผิดพลาดนี้จะถูกส่งย้อนกลับเข้าสู่โครงข่ายประสาทเทียมในทิศทางตรงกันข้ามกับการเชื่อมต่อ และค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อจะถูกปรับจนกระทั่งผลตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ผลตอบเป้าหมาย (Prakobpol, 2009)

### ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine : SVM)

ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน เป็นอัลกอริทึมในกลุ่มวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) โดยการนำค่าของกลุ่มข้อมูลวางลงในฟีเจอร์สเปซ (Feature Space) จากนั้นจึงหาเส้นที่ใช้แบ่งข้อมูลทั้งสองออกจากกันโดยสร้างเส้นแบ่ง (Hyperplane) ที่เป็นเส้นตรงขึ้นมาเพื่อแบ่งกลุ่มข้อมูลสองกลุ่มออกจากกัน ดังภาพที่ 2 เดิมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนนำมาใช้กับข้อมูลเชิงเส้น มีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้น สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้หลักการหาเส้นตรงที่มีมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum Margin) ที่สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด (Boonprasom and Sanrach, 2018)



ภาพที่ 2 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน

ดัดแปลงจาก: [https://en.wikipedia.org/wiki/Support-vector\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Support-vector_machine)

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้กระบวนการคริปส์ดีเอ็ม (CRISP-DM: Cross-Industry Standard Process for Data Mining) (Pacharawongsakda, 2014) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

### การทำความเข้าใจปัญหา (Problem Understanding)

ผู้วิจัยวิเคราะห์ปัญหาการออกกลางคันของนักศึกษาจากข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษา การลงทะเบียนในแต่ละภาคเรียน และผลการเรียน โดยอ้างอิงจากระเบียบข้อบังคับของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี (Ubon Ratchathani University, 2018) โครงสร้างหลักสูตรของนักศึกษา เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกกลางคันของนักศึกษา จากชุดข้อมูลการลงทะเบียนเรียนของนักศึกษา

### การทำความเข้าใจข้อมูล (Data Understanding)

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยได้มาจากระบบงานทะเบียนนักศึกษาและประมวลผล กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ระหว่างปีการศึกษา 2553-2563 ในรูปแบบไฟล์ Excel ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ได้แก่

1. ข้อมูลพื้นฐาน จำนวน 1,029 รายการ ประกอบด้วย รหัสนักศึกษา ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม รหัสสถานภาพ สถานภาพนักศึกษา โรงเรียนเดิม ผลการเรียนเฉลี่ยแรกเข้า อาชีพบิดา รายได้บิดา อาชีพมารดา รายได้มารดา และจำนวนพี่น้อง
2. ข้อมูลรายภาคการศึกษา จำนวน 6,826 รายการ ประกอบด้วย รหัสนักศึกษา ปีการศึกษา ภาคเรียน รหัสสถานภาพ สถานภาพนักศึกษา ผลการเรียนเฉลี่ย และผลการเรียนเฉลี่ยสะสม
3. ข้อมูลผลการเรียน จำนวน 29,790 รายการ ประกอบด้วย รหัสนักศึกษา ปีการศึกษา ภาคเรียน รหัสวิชา ชื่อวิชา หน่วยกิต และระดับผลการเรียน

### การเตรียมข้อมูล (Data Preparation)

เป็นขั้นตอนการจัดการข้อมูลเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ข้อมูล ได้แก่

1. การคัดเลือกข้อมูล (Data Selection) โดยเลือกคุณลักษณะ (ปัจจัยหรือแอททริบิวต์) จากข้อมูลต้นฉบับ ซึ่งผู้วิจัยคัดเลือกข้อมูลจากทั้งสามส่วนโดยตัดข้อมูลส่วนซ้ำซ้อนออก คงเหลือข้อมูลดังนี้ รหัสนักศึกษา ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม สถานภาพนักศึกษา โรงเรียนเดิม ผลการเรียนเฉลี่ยแรกเข้า อาชีพบิดา รายได้บิดา อาชีพมารดา รายได้มารดา จำนวนพี่น้อง ปีการศึกษา ภาคเรียน รหัสวิชา ชื่อวิชา หน่วยกิต ระดับผลการเรียน

2. การกลั่นกรองข้อมูล (Data Cleaning) เป็นการตัดข้อมูลที่ผิดพลาดและไม่สมบูรณ์ออก คงเหลือข้อมูลพื้นฐานที่ใช้สำหรับนำไปประมวลผลต่อได้จำนวน 1,025 รายการ

3. การแปลงข้อมูล (Data Transformation) ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้ ดังนี้

3.1 รวมข้อมูลจากสามส่วนให้เป็นตารางเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานเป็นตารางหลัก

3.2 กำหนดแอททริบิวต์ระยะเวลาการศึกษาซึ่งคำนวณจากแอททริบิวต์ปีการศึกษา ภาคเรียน ตรวจสอบระยะเวลาว่าเป็นไปตามแผนการศึกษาหรือไม่ ทั้งนี้ใช้ข้อมูลจากแอททริบิวต์ประเภทของสถานศึกษาเดิมสำหรับพิจารณาระยะเวลาศึกษาตามแผน

3.3 รวมแอททริบิวต์ระดับผลการเรียนรายวิชา คำนวณผลการเรียนเฉลี่ยรายวิชา แล้วจัดเป็น 3 กลุ่ม คือ (1) กลุ่มรายวิชาในคณะ (2) กลุ่มรายวิชานอกคณะ (3) รายวิชากลุ่มภาษา และแยกเป็นแอททริบิวต์รายวิชาที่ได้รับผลการเรียน W

3.4 แทนค่าและแปลงข้อมูลทั้งหมดให้อยู่ในรูปแบบ Nominal ทั้งหมด

3.5 จัดกลุ่มสถานภาพนักศึกษาเป็น 2 กลุ่มคือ สำเร็จการศึกษา พันสภาพนักศึกษา และกำหนดเป็นคลาสเป้าหมาย

เมื่อผ่านการแปลงข้อมูลแล้ว คงเหลือรายการทั้งสิ้นจำนวน 882 รายการ (จาก 1,025 รายการ) และผลของการเตรียมข้อมูลทำให้คงเหลือคุณลักษณะ (แอททริบิวต์) ทั้งหมด 14 แอททริบิวต์ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการคุณลักษณะที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

คุณลักษณะ	คำอธิบาย	ค่าข้อมูลที่เป็นไปได้
GPA	ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม	low = 0.00-1.50, mid = 1.51-2.50, hi = 2.51-4.00
GPAin	ผลการเรียนเฉลี่ยแรกเข้า	low = 0.00-1.50, mid = 1.51-2.50, hi = 2.51-4.00
oldSchool	สถานศึกษาเดิม	school=โรงเรียน, collage = วิทยาลัย, nfe = กศน.
fathercareer	อาชีพบิดา	unknown = ไม่ระบุ noneincome = ไม่มีเงินได้ own_business = ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว agriculture = เกษตรกร/ประมง freelance = อาชีพอิสระ/รับจ้าง government = รับราชการ
mothercareer	อาชีพมารดา	employee = พนักงาน/ลูกจ้างหน่วยงานเอกชน emp_government = พนักงานราชการ/ลูกจ้างหน่วยงานราชการ state_enterprises = รัฐวิสาหกิจ etc = อื่นๆ
fatherincome	รายได้บิดา	unknown = ไม่ระบุ none = ไม่มีรายได้ low < 150,000 บาทต่อปี
motherincome	รายได้มารดา	medium = 150,000-300,000 บาทต่อปี high > 300,000 บาทต่อปี
sibling	จำนวนพี่น้อง	none = ไม่มีพี่น้อง, one = 1 คน, two = 2 คน, three = 3 คน, morethan.three = 3 คนขึ้นไป
loan	สถานะทุน/กู้ยืม	yes = ได้รับทุน/กู้ยืม, no = ไม่ได้รับทุน/กู้ยืม
havew	มีการถอนรายวิชา (ได้เกรด W)	yes = มีผลการเรียน W, no = ไม่มีผลการเรียน W
GPAinside	ผลการเรียนเฉลี่ยกลุ่มวิชาในคณะ	low = 0.00-1.50, mid = 1.51-2.50, hi = 2.51-4.00
GPAoutside	ผลการเรียนเฉลี่ยกลุ่มวิชานอกคณะ	low = 0.00-1.50, mid = 1.51-2.50, hi = 2.51-4.00
GPAlanguage	ผลการเรียนเฉลี่ยกลุ่มวิชาภาษาต่างประเทศ	low = 0.00-1.50, mid = 1.51-2.50, hi = 2.51-4.00
graduate	สถานภาพนักศึกษา	yes = สำเร็จการศึกษา, no = พันสภาพนักศึกษา

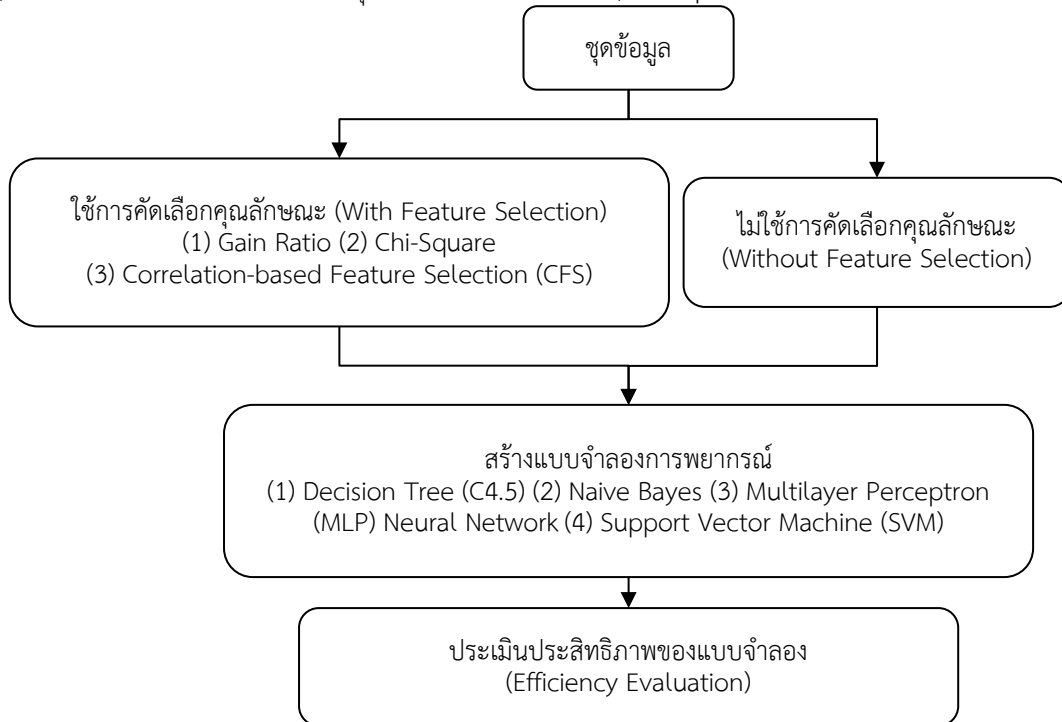
#### การสร้างแบบจำลอง (Modeling)

ผู้วิจัยใช้โปรแกรม Weka ในการสร้างแบบจำลอง และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักด้วยวิธีการ Gain Ratio, Chi-Square และ Correlation-based Feature Selection (CFS) ในการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญร่วมกับการสร้างแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพแบบจำลอง ได้แก่ (1) Decision Tree (C4.5) (2) Naive Bayes (3) Multilayer Perceptron (MLP) Neural Network (4) Support Vector Machine (SVM) ดังแสดงในภาพที่ 3

#### การหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Evaluation)

ผู้วิจัยหาประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธี K-Fold Cross Validation (10-Folds) โดยเปรียบเทียบค่า Accuracy, Precision, Recall, F-Measure และ Mean Absolute Error (MAE) จากการทดสอบแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี Decision Tree (C4.5), Naive Bayes, MLP และ SVM ร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วย Gain Ratio, Chi-Square และ CFS ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กระบวนการสร้างและประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษา

ผู้วิจัยออกแบบการทดลองที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

1. สร้างแบบจำลองด้วยวิธี Decision Tree (C4.5), Naive Bayes, MLP และ SVM จากคุณลักษณะทั้งหมด 14 แอททริบิวต์ (ดังตารางที่ 1) แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่า Accuracy, Precision, Recall, F-Measure และ MAE
2. คัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Gain Ratio, Chi-Square โดยใช้เกณฑ์การค้นหาและจัดอันดับ (Ranker) แบบ GreedyStepwise และวิธี CFS ซึ่งใช้ Filters AttributeSelection ของโปรแกรม Weka
3. สร้างแบบจำลองด้วยวิธี Decision Tree (C4.5), Naive Bayes, MLP และ SVM จากคุณลักษณะที่ได้จากการคัดเลือกคุณลักษณะซึ่งพิจารณาจำนวนแอททริบิวต์ที่ได้จากการจัดอันดับด้วยวิธี Gain Ratio และ Chi-Square ในสัดส่วน 50% ของแอททริบิวต์ทั้งหมด และจำนวนที่เท่ากับผลที่ได้จาก CFS ที่มีค่ามากกว่า 0% แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่า Accuracy, Precision, Recall, F-Measure และ MAE
4. ปรับค่าพารามิเตอร์ของวิธีสร้างแบบจำลองในข้อ 3 ที่มีค่า Accuracy สูงที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษา แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้วยค่า Accuracy, Precision, Recall, F-Measure และ MAE

#### การนำแบบจำลองไปใช้งาน (Deployment)

เมื่อได้แบบจำลองที่ถูกต้องแม่นยำแล้ว สามารถนำไปพัฒนาระบบพยากรณ์การออกกลางคัน ในรูปแบบแอปพลิเคชัน ให้นักศึกษาผู้บริหาร ผู้รับผิดชอบหลักสูตร ใช้ประกอบการตัดสินใจในการบริหารหลักสูตร จัดการเรียนการสอน รวมถึงบริหารงบประมาณต่อไป

#### ผลการวิจัย

ผลการวิจัย แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี Decision Tree (C4.5), Naive Bayes, MLP และ SVM จากคุณลักษณะทั้งหมด 14 แอททริบิวต์ (ไม่ได้ใช้การคัดเลือกคุณลักษณะ) ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (C4.5) ให้ผลความถูกต้องสูงที่สุด

ตารางที่ 2 ผลการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ไม่ได้ใช้การคัดเลือกคุณลักษณะ

Algorithm	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure	MAE
Naïve Bayes	87.59	86.90	93.80	87.40	0.1384
<b>Decision Tree (C4.5)</b>	<b>88.81</b>	<b>89.30</b>	<b>88.80</b>	<b>88.50</b>	<b>0.1597</b>
Multilayer Perceptron	86.86	86.80	86.90	86.80	0.1418
Support Vector Machine	88.44	89.90	88.40	88.00	0.1156

2. ผลการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Gain Ratio (GR) และ Chi-Square (CS) โดยการจัดอันดับ (Ranker) และวิธี Correlation-based Feature Selection (CFS) ซึ่งพบว่า GR และ CS ได้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกันโดยแอททริบิวต์ 6 อันดับแรก คือ GPA, GPAInside, GPAOutside, GPALanguage, loan และ sibling ส่วนวิธี CFS ที่มีค่าน้ำหนักมากกว่า 0% มีเพียง 4 แอททริบิวต์ ได้แก่ GPA, GPAInside, GPAOutside และ loan ดังตารางที่ 3 ทั้งนี้แอททริบิวต์ที่ 14 คือคลาสเป้าหมาย

ตารางที่ 3 ผลการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Gain Ratio (GR), Chi-Square (CS) และ CFS

Gain Ratio (GR)	Chi-Square (CS)	CFS
จัดลำดับ		ไม่จัดลำดับ
1. GPA	1. GPA	1. GPA (100%)
2. GPAInside	2. GPAInside	2. GPAInside (100%)
3. GPAOutside	3. GPAOutside	3. GPAOutside (90%)
4. GPALanguage	4. GPALanguage	4. loan (10%)
5. loan	5. sibling	5. sibling (0%)
6. sibling	6. loan	6. GPALanguage (0%)
7. oldschool	7. mothercareer	7. oldschool (0%)
8. havew	8. oldschool	8. havew (0%)
9. mothercareer	9. havew	9. mothercareer (0%)
10. GPAin	10. fathercareer	10. GPAin (0%)
11. fathercareer	11. fatherincome	11. fathercareer (0%)
12. fatherincome	12. GPAin	12. fatherincome (0%)
13. motherincome	13. motherincome	13. motherincome (0%)

3. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี Decision Tree (C4.5), Naive Bayes, MLP และ SVM จากแอททริบิวต์ที่ได้จากการคัดเลือกคุณลักษณะโดยพิจารณาจำนวน 7 แอททริบิวต์ และ 5 แอททริบิวต์ ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าวิธี MLP ที่ผ่านการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี CFS และลดจำนวนคุณลักษณะเหลือ 5 แอททริบิวต์ให้ผลความถูกต้องสูงที่สุด

4. จากผลการทดลองในข้อ 3 ผู้วิจัยจึงปรับค่าพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี MLP เพื่อสร้างและทดสอบหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนี้

- 4.1 ปรับค่า Learning Rate ให้มีค่าเท่ากับ 0.3, 0.5 และ 0.7 ตามลำดับ
- 4.2 ปรับจำนวนโหนดชั้นซ่อน (Hidden Layer) ของ MLP ให้มีค่าเท่ากับ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ
- 4.3 กำหนดค่า Momentum เท่ากับ 0.2
- 4.4 กำหนดค่าชั้นรับข้อมูลป้อนเข้า (Input Layer) เท่ากับ 5
- 4.5 กำหนดค่าชั้นส่งข้อมูลออก (Output Layer) เท่ากับ 2

ซึ่งผลการทดลอง พบว่า แบบจำลองที่มีผลความถูกต้องสูงที่สุด คือ แบบจำลองที่สร้างจาก Input Layer = 5, Hidden Layer = 1, Output Layer = 2, Learning Rate = 0.5 และ Momentum = 0.2 ดังตารางที่ 5



ตารางที่ 4 ผลการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะ

Algorithm	Feature Selection	#Attribute	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)	MAE
Naive Bayes	GR/CS	7	88.20	88.40	88.20	88.00	0.1366
		5	87.23	87.20	87.20	87.10	0.1419
	CFS	5	88.69	89.00	88.70	88.50	0.1338
Decision Tree (C4.5)	GR/CS	7	88.56	90.10	88.60	88.10	0.1611
		5	88.81	90.40	88.80	88.40	0.1602
	CFS	5	88.81	90.40	88.80	88.40	0.1602
Multilayer Perceptron	GR/CS	7	89.17	89.20	89.20	89.10	0.1389
		5	89.05	89.50	89.10	88.80	0.1397
	CFS	5	<b>89.90</b>	<b>90.90</b>	<b>89.90</b>	<b>89.60</b>	<b>0.1431</b>
Support Vector Machine	GR/CS	7	88.44	89.90	88.40	88.00	0.1156
		5	88.44	89.90	88.40	88.00	0.1156
	CFS	5	88.44	89.90	88.40	88.00	0.1156

ตารางที่ 5 ผลการหาประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สร้างด้วยวิธี MLP ร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี CFS

Model	Learning Rate	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)	MAE
5:1:2	0.3	90.15	91.00	90.10	89.90	0.1689
	<b>0.5</b>	<b>90.26</b>	<b>91.10</b>	<b>90.30</b>	<b>90.00</b>	<b>0.1675</b>
	0.7	89.90	90.50	89.90	89.70	0.1708
5:3:2	0.3	90.02	91.00	90.00	89.70	0.1450
	0.5	90.02	91.00	90.00	89.70	0.1405
	0.7	89.90	91.10	89.90	89.60	0.1391
5:5:2	0.3	90.02	91.00	90.00	89.70	0.1432
	0.5	90.02	91.00	90.00	89.70	0.1394
	0.7	89.90	90.80	89.99	89.60	0.1372

### สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกกลางคันของนักศึกษา มหาวิทยาลัย ผู้วิจัยศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษา ปรับปรุงแบบจำลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการคัดเลือกคุณลักษณะ และปรับค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้แบบจำลองที่พัฒนาด้วยโครงข่ายประสาทเทียมพอร์เซ็ปตรอนหลายชั้นมีความถูกต้องและแม่นยำในการพยากรณ์สูงสุด โดยการวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการตามขั้นตอน CRISP-DM ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การทำความเข้าใจปัญหา (2) การทำความเข้าใจข้อมูล (3) การเตรียมข้อมูล (4) การสร้างแบบจำลอง (5) การหาประสิทธิภาพของแบบจำลอง และ (6) การนำแบบจำลองไปใช้งาน ข้อมูลที่นำมาใช้พัฒนาแบบจำลองรวบรวมมาจากงานทะเบียนนักศึกษาและประมวลผล กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 1,029 รายการ หลังจากผ่านกระบวนการเตรียมข้อมูลลดลงเหลือ 882 รายการ ประกอบด้วย 14 แอททริบิวต์ ซึ่งจำแนกข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มสำเร็จการศึกษา และกลุ่มพ้นสถานภาพนักศึกษา วิธีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ (1) Naive Bayes (2) Decision Tree (C4.5) (3) Multilayer Perceptron (MLP) Neural Network และ (4) Support Vector Machine เมื่อใช้ร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี Gain Ratio, Chi-Square และ Correlation-based Feature Selection (CFS) พบว่า ความถูกต้อง (Accuracy) ของแบบจำลองเพิ่มขึ้นเมื่อแอททริบิวต์ลดลงเหลือ 5 แอททริบิวต์ และใช้ร่วมกับการคัดเลือกด้วยวิธี CFS มีความถูกต้องสูงสุด โดยเฉพาะเมื่อใช้ CFS ร่วมกับ MLP จะได้ค่าความถูกต้องในการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษาเท่ากับ 89.90% และถึงแม้ว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ของ MLP จะไม่ส่งผลต่อความถูกต้องมากนัก แต่ค่าที่ดีที่สุดที่ทำให้ความถูกต้องของแบบจำลองเพิ่มขึ้นเป็น 90.26% คือการปรับค่า

Learning Rate เท่ากับ 0.5 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sriurai (2014) ที่มีการเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ร่วมกับการคัดเลือกคุณลักษณะแบบต่างๆ ในการจำแนกผู้ป่วยโรคอ้วนลงพุง ซึ่งการคัดเลือกคุณลักษณะด้วยวิธี CFS ให้ค่าความถูกต้อง สูงที่สุด จากผลการวิจัย พบว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัย ได้แก่ ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม (GPA) ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมกลุ่มวิชาในคณะ (GPAInside) ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมกลุ่มวิชานอกคณะ (GPAOutside) นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมกลุ่มวิชาภาษา (GPALanguage) การกู้ยืมหรือทุนการศึกษา (loan) ก็เป็นปัจจัยรองที่มีผลต่อการออกกลางคัน ของนักศึกษาเช่นกัน และยังมีปัจจัยของจำนวนพี่น้อง (sibling) ที่ยังคงต้องศึกษาให้แน่ชัดต่อไป ทั้งนี้สามารถกล่าวโดยสรุป จาก ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เทคนิคการคัดเลือกคุณลักษณะเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองในการพยากรณ์การออก กลางคันของนักศึกษา และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่ง สามารถนำแบบจำลองไปใช้พัฒนาระบบการพยากรณ์การออกกลางคันของนักศึกษามหาวิทยาลัยได้

งานวิจัยนี้สามารถพัฒนาต่อยอดได้โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการออกกลางคันของนักศึกษาซึ่งอาจ ประยุกต์ใช้เทคนิคกฎความสัมพันธ์ของวิธีการทำเหมืองข้อมูล และยังสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์การ สำเร็จการศึกษาภายในระยะเวลาที่หลักสูตรกำหนดเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถติดตามสถานภาพการศึกษาของนักศึกษา ให้ความ ช่วยเหลือนักศึกษาให้สำเร็จการศึกษาตามแผนการศึกษาได้

### เอกสารอ้างอิง

- Boonprasom, C. and Sanrach, C. (2018). Predictive analytic for student dropout in undergraduate using data mining technique (in Thai). **Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok**, 9(1), 142-151.
- Habusaya, S. and Ditcharoen, N. (2020). Analysis of ICD-10 coding errors in 43 files database systems for medical record department using data mining techniques. **KKU Science Journal**, 48(1), 142 – 155.
- lamprik, C. and Sudadet, K. (2017). Predicting student's data for performance by data mining. **Proceedings of The Thirteenth National Conference on Computing and Information Technology NCCIT2017** (pp. 32-37).
- Pacharawongsakda, E. (2014). **An introduction to data mining techniques** (in Thai). Bangkok: Asia Digital Press Company Limited.
- Paruechanon, P. and Sriurai, W. (2018). Applying association rule to risk analysis for dropout students of Information Technology Department (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 1(2), 123-133.
- Pavya, K., and Srinivasan, D. B. (2017). Feature Selection Techniques in Data Mining: A Study. **International Journal of Scientific Development and Research (IJS DR)**, 2(6), 594-598.
- Pheunpha, P. (2020). Drop-out Factors of Students of Business Administration Faculty (in Thai). **Journal of Education, Mahasarakham University**. 14(2), 144-158.
- Prakobpol, T. (2009). Artificial Neural Networks. **HCU Journal**, 12(24). 73-87.
- Rawengwan, P. and Seresangtakul, P. (2017). A model for forecasting educational status of students (in Thai). **Proceedings of The National and International Graduate Research Conference 2017**. (pp 273 – 283). Khon Kaen University.
- Sittichat, S. (2017). Study of Educational Attributes Using Data Mining Technique (in Thai). **Information Technology Journal**, 13(2), 20–28.
- Sriurai, W. (2014). Patients Classification of Metabolic Syndrome Using Feature Selection and Artificial Neural Network (in Thai). **Srinakharinwirot Science Journal**, 30(1), 91-102.
- Techapanurak, E. (2021). Bayesian Neural Network (in Thai). Retrieved September 25, 2021, from medium.com : <https://medium.com/@dopplerz/bayesian-neural-network-ตอนที่-1-ทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบเบย์-99deeab8c206>
- Ubon Ratchathani University. (2018). **Rules and Regulations of Ubon Ratchathani University on Bachelor's Degree Education B.E. 2561 (2018)** (in Thai). Retrieved December 30, 2020, from [https://www.ubu.ac.th/web/files\\_up/46f2019042610283611.pdf](https://www.ubu.ac.th/web/files_up/46f2019042610283611.pdf).

บทความวิจัย

## การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ (*Hopea thorelii* Pierre) พืชที่มีความเสี่ยงขั้นวิกฤติต่อการสูญพันธุ์

กฤษฎา บุราไกร<sup>1</sup> ภาณุพงศ์ กาศา<sup>1</sup> กิตติญา ขวัญเมือง<sup>2</sup> สิริยาภรณ์ อ่อนโยน<sup>2</sup>  
ชาญณรงค์ ธนนาทณะชน<sup>2</sup> สุทธนา ปลอดสมบุรณ์<sup>1</sup> และ อรัญญา พิมพ์มงคล<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>2</sup>สวนสัตว์อุบลราชธานี

\*E-mail: arunya.p@ubu.ac.th

รับบทความ: 14 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 23 พฤศจิกายน 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 27 พฤศจิกายน 2564

### บทคัดย่อ

ตะเคียนใบใหญ่ (*Hopea thorelii* Pierre) เป็นไม้ต้นในวงศ์ Dipterocarpaceae ปัจจุบันพบเขตการกระจายพันธุ์แคบ และจัดเป็นพืชที่มีความเสี่ยงขั้นวิกฤติต่อการสูญพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยทั่วไปการขยายพันธุ์ได้จากการเพาะเมล็ดมีข้อจำกัดในด้านผลผลิตที่ต่ำ เทคนิคเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นทางเลือกที่สำคัญในการเพิ่มจำนวนพืชให้ได้ปริมาณมาก ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของ N6-benzyladenine (BA), naphthaleneacetic acid (NAA) และ indole-3-butyric acid (IBA) ต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ในหลอดทดลอง โดยนำส่วนแกนเอ็มบริโอจากผลอายุ 3 เดือน ที่เก็บจากสวนสัตว์อุบลราชธานี มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร Murashige and Skoog (MS) ที่เติม BA 0 1 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA หรือ NAA 0 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าสูตรอาหาร MS ที่เติม BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และ MS ที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้มีจำนวนยอดของแกนเอ็มบริโอมากที่สุดคือ 1.40 และ 1.20 ยอด ตามลำดับ ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่อาจเป็นประโยชน์ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตะเคียนใบใหญ่ในอนาคตได้

**คำสำคัญ:** การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ตะเคียนใบใหญ่ การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอ

### อ้างอิงบทความนี้

กฤษฎา บุราไกร, ภาณุพงศ์ กาศา, กิตติญา ขวัญเมือง, สิริยาภรณ์ อ่อนโยน, ชาญณรงค์ ธนนาทณะชน, สุทธนา ปลอดสมบุรณ์ และอรัญญา พิมพ์มงคล. (2565). การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ (*Hopea thorelii* Pierre) พืชที่มีความเสี่ยงขั้นวิกฤติต่อการสูญพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 49-57.

<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.5>

Research Article

## Embryo Axis Culture of *Hopea thorelii* Pierre, a Critically Endangered Species

Kritsada Burakri<sup>1</sup>, Phanupong Kasa<sup>1</sup>, Kittiya Khwanmueang<sup>2</sup>, Siriyaporn Onyone<sup>2</sup>,  
Channarong Thananatthanachon<sup>2</sup>, Sutthana Plodsomboon<sup>1</sup> and Aranya Pimmongkol<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Major in Biology, Department of Biological Science, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University

<sup>2</sup>Ubon Ratchathani Zoo

\*E-mail: arunya.p@ubu.ac.th

Received <14 September 2021>; Revised <23 November 2021>; Accepted <27 November 2021>

---

### Abstract

*Hopea thorelii* Pierre is a tree plant in the family Dipterocarpaceae. It is narrow distribution and is classified as a critically endangered species. It is usually propagated from seeds; however, this method is limited by low productivity. Plant tissue culture is an important technique to provide rapid plant propagation. Hence, this research aimed to study the effects of N<sup>6</sup>-benzyladenine (BA), naphthaleneacetic acid (NAA), and indole-3-butyric acid (IBA) on the growth of the embryo axis of *Hopea thorelii* Pierre *in vitro*. Embryo axis of three-month-old fruits collected from Ubon Ratchathani Zoo were cultured on Murashige and Skoog (MS) medium containing combinations of 0, 1, 2, 4, 6, and 8 mg/l BA with 0, 0.1, and 1 mg/l IBA or NAA for 8 weeks. The results showed that MS medium supplemented with 4 mg/l BA + 0.1 mg/l IBA and 1 mg/l BA led to the highest number of shoots (1.4 and 1.2 shoots/embryo, respectively). These results are essential information that might be useful for the subsequent research of *H. thorelii* Pierre tissue culture.

**Keywords:** Plant Tissue Culture, *Hopea thorelii* Pierre, Embryo Axis Culture

---

#### Cite this article:

Burakri, K., Kasa, P., Khwanmueang, K., Onyone, S., Thananatthanachon, C., Plodsomboon, S. and Pimmongkol, A. (2022). Embryo Axis Culture of *Hopea thorelii* Pierre, a Critically Endangered Species (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(1), 49-57. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.5>

## บทนำ

พรรณไม้วงศ์ยาง เป็นพืชวงศ์ใหญ่ของโลกประมาณ 500 ชนิด จาก 700 ชนิดทั่วโลก เป็นพรรณไม้เอกลักษณ์ของภูมิภาคเอเชียเนื่องจากมีมากที่สุดในเอเชีย ไม้วงศ์ยางเป็นไม้ต้น บางชนิดมีขนาดเล็กบางชนิดมีขนาดใหญ่สูงถึง 60 เมตร ผลัดใบหรือไม่ผลัดใบ เนื้อไม้มียางใสเหนียวหรือชั้น (resin) ที่มีกลิ่นหอมฉุนเฉพาะ (Bupbanphot *et al.*, 2013) ไม้วงศ์ยางตามธรรมชาติจะเจริญเติบโตในที่ที่มีร่มเงาและเติบโตภายใต้ความชื้นแสงต่ำ ไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันของสิ่งแวดล้อม ในการเพาะต้นกล้าจึงควรเพาะภายใต้ร่มเงาหรือในเรือนเพาะชำ ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงพันธุ์ไม้วงศ์ยางบางชนิดยังเป็นเรื่องที่ยากและมีความจำเพาะแตกต่างกันออกไปในแต่ละชนิด (Sasaki, 2006) ประเทศไทยพบไม้วงศ์ยางประมาณ 63 ชนิด และ 2 ชนิดย่อยใน 8 สกุล หนึ่งในนั้นคือพืชสกุลตะเคียน (*Hopea*) ไม้สกุลนี้มีมากกว่า 100 ชนิด กระจายพันธุ์จากประเทศศรีลังกา อินเดีย บังกลาเทศ พม่า จีนตอนใต้ทางมณฑลไต้หวัน อินโดจีน มาเลเซีย และไทย *Hopea* จัดอยู่ภายใต้เผ่า Shoreae ซึ่งในเผ่านี้นอกจากสกุล *Hopea* ยังมีสกุล *Dryobalanops*, *Neobalanocarpus*, *Parashorea* และ *Shorea* ประเทศไทยพบไม้สกุลตะเคียน 18 ชนิด (Poopath *et al.*, 2017)

ตะเคียนใบใหญ่ (*Hopea thorelii* Pierre) เป็นไม้ต้น สูง 10–15 เมตร พบเขตการกระจายพันธุ์ที่ ลาว กัมพูชา และไทย (Department of National Parks, 2016) ซึ่งกระจายพันธุ์ในป่าดิบแล้งและลานหินทรายทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุบลราชธานีและอำนาจเจริญ ที่ระดับความสูง 150-200 เมตร จากระดับน้ำทะเล (Department of National Parks, 2013) ตะเคียนใบใหญ่จัดเป็นชนิดพันธุ์พืชที่ถูกคุกคามระดับความเสี่ยงขั้นวิกฤตต่อการสูญพันธุ์ (critically endangered species) จากที่อาศัยตามธรรมชาติ (Newman and Pooma, 2017) และมีการกระจายพันธุ์แคบอาจเนื่องมาจากลักษณะทางสัณฐานของผลที่ไม่มีการพัฒนาของกลีบเลี้ยงไปเป็นปีก (samaroid) ซึ่งแตกต่างจากพืชชนิดอื่นที่อยู่ในวงศ์เดียวกัน ส่งผลต่อข้อจำกัดการแพร่กระจายพันธุ์ในธรรมชาติ (Department of National Parks, 2013)

ปัจจุบันเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีประโยชน์ต่อการผลิตพืชอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นในด้านการปรับปรุงพันธุ์พืช การผลิตพืชที่ปราศจากโรค และการรักษาพันธุ์พืช การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชยังมีบทบาทที่สำคัญอย่างมากต่อการเพิ่มจำนวนพืชปริมาณมากในระยะเวลาสั้น และได้ต้นพืชที่สมบูรณ์แข็งแรง (Phutalun, 2008; Kuamanee, 1995) อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ชนิดและความเข้มข้นของธาตุอาหาร สารประกอบอินทรีย์ในอาหาร และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช รวมถึงปัจจัยที่มาจากพืชเอง เช่น ชนิดของพืช อายุของพืช รวมไปถึงชิ้นส่วนเนื้อเยื่อพืชที่นำมาเพาะเลี้ยง (Kuamanee, 1995; Bunnag, 2013; Kaweeta, 1998) งานวิจัยด้านการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้วงศ์ยางที่มีการรายงานแล้ว เช่น การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอของจันทน์กะพ้อ (*Vatica diospyroides* Symington) (Srisawad, 2007) ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) และยางกราด (*D. intricatus*) (Linington, 1991) พะยอม (*Shorea roxburghii* G.Don) (Scott *et al.*, 1988; Nakamura, 2006) และยังมีกรเพาะเลี้ยงโดยใช้ชิ้นอื่น เช่น การเพาะเลี้ยงส่วนตาข้างตะเคียนทอง (*H. odorata* Robx.) (Scott *et al.*, 1995) ทั้งนี้ยังไม่พบรายงานการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อของตะเคียนใบใหญ่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาอิทธิพลของฮอร์โมนพืชชนิดออกซินและไซโทไคนินต่อการเจริญของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

## วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของ BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA ต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่

## วิธีดำเนินการวิจัย

พืชทดลองที่ใช้ในการศึกษาคือผลของตะเคียนใบใหญ่ (*H. thorelii* Pierre) อายุ 3 เดือน เก็บจากสวนสัตว์อุบลราชธานี ตำบลแจระแม อำเภอมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี (ภาพที่ 1)

## การฟอกฆ่าเชื้อผลตะเคียนใบใหญ่

ล้างทำความสะอาดผลตะเคียนใบใหญ่ด้วยน้ำยาล้างจาน 1% แล้วล้างด้วยน้ำสะอาดหรือน้ำไหล ฆ่าเชื้อด้วย 95% ethyl alcohol เป็นเวลา 1 นาที และ 20% Clorox 20 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกรองที่หนึ่งฆ่าเชื้อแล้วจำนวน 3 ครั้ง



ภาพที่ 1 ตัวอย่างพืชทดลองผลตะเคียนใบใหญ่ (*Hopea therelli* Pierre)

### อิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่

การศึกษาอิทธิพลของ BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA ต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ โดยนำส่วนแกนเอ็มบริโอจากผลตะเคียนใบใหญ่ที่ฆ่าเชื้อแล้ว มาเพาะเลี้ยงบนอาหารสูตร MS (Murashige and Skoog, 1962) ที่เติม BA ความเข้มข้น 0 1 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA หรือ NAA ความเข้มข้น 0 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์

ทุกสูตรอาหารเติมน้ำตาลซูโครส 30 กรัมต่อลิตร ผงวุ้น 7 กรัมต่อลิตร และปรับ pH อยู่ในช่วง 5.6-5.8 ด้วย 1N HCl หรือ 1N NaOH หนึ่งฆ่าเชื้ออาหารที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 20 นาที โดยเพาะเลี้ยง 2 ชั้นตัวอย่างต่อขวด ทำซ้ำจำนวน 5 ซ้ำต่อหนึ่งสูตรอาหาร

### สภาวะการเพาะเลี้ยง การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

เพาะเลี้ยงในห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ที่มีอุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส และให้แสงสว่างที่มีความเข้มแสงประมาณ 42 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที 16 ชั่วโมงต่อวัน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Completely Randomized Design, CRD) บันทึกผลการเจริญเติบโต จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนใบ ความยาวใบ ความกว้างใบ จำนวนราก และความยาวราก นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way-ANOVA) (ตารางที่ 1) และวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way-ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างข้อมูลด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $p < 0.05$ )

### ผลการศึกษา

อิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิด BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA ต่อแกนเอ็มบริโอของตะเคียนใบใหญ่ การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอจากผลตะเคียนใบใหญ่ อายุ 3 เดือน บนสูตรอาหาร MS และสูตรอาหาร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มไซโตไคนิน คือ 6-benzyladenine (BA) ที่ระดับความเข้มข้น 1 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชกลุ่มออกซิน ได้แก่ indole-butyric acid (IBA) หรือ naphthaleneacetic acid (NAA) ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (one-way-ANOVA) (ตารางที่ 1) พบว่าทุกสูตรอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ คือ จำนวนยอดเฉลี่ยต่อเอ็มบริโอ ความสูงยอด จำนวนใบต่อยอด ความยาวใบ ความกว้างใบ และความยาวราก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นจำนวนรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และการวิเคราะห์ผลวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way-ANOVA) พบว่าสูตรอาหารที่เติม BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ ส่วนของ จำนวนยอด จำนวนใบ และความยาวราก

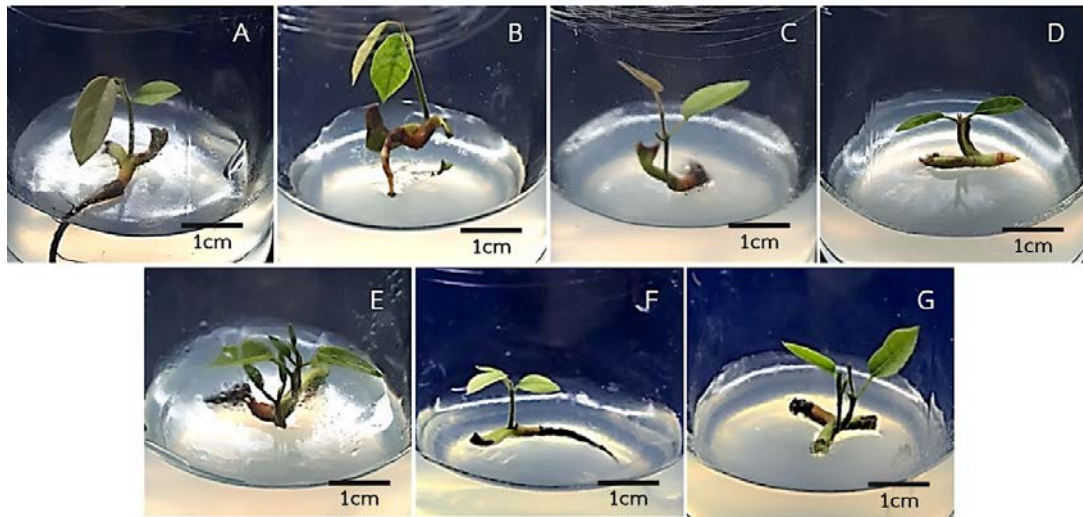
ตารางที่ 1 อิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิด BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อแกนเอ็มบริโอของตะเคียนใบใหญ่

คู่ที่	Treatments (มิลลิกรัมต่อลิตร)			จำนวนยอด/ เอ็มบริโอ	ความสูงยอด (เซนติเมตร)	จำนวนใบ/ ยอด	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	ความกว้าง ใบ (เซนติเมตร)	จำนวน ราก/ เอ็มบริโอ	ความยาว ราก (เซนติเมตร)
	BA	IBA	NAA							
1	0	0	0	0.80±0.20 <sup>bcd</sup>	1.10±0.06 <sup>a</sup>	2.00±0.55 <sup>b</sup>	0.95±0.10 <sup>ab</sup>	0.47±0.05 <sup>a</sup>	1.00±0.00	4.00±0.56 <sup>a</sup>
2	0	0.1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.94±0.13 <sup>ab</sup>	2.00±0.58 <sup>b</sup>	0.94±0.10 <sup>ab</sup>	0.48±0.05 <sup>a</sup>	1.00±0.00	3.00±0.31 <sup>b</sup>
3	0	1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.98±0.19 <sup>ab</sup>	1.20±0.20 <sup>bc</sup>	1.05±0.14 <sup>a</sup>	0.47±0.08 <sup>a</sup>	1.00±0.00	1.10±0.17 <sup>c</sup>
4	0	-	0.1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.50±0.25 <sup>c</sup>
5	0	-	1	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.26±0.08 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.72±0.25 <sup>c</sup>
6	1	-	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.70±0.12 <sup>bc</sup>	1.50±0.50 <sup>bc</sup>	0.95±0.17 <sup>ab</sup>	0.40±0.11 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	0.66±0.20 <sup>c</sup>
7	1	0.1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	1.04±0.11 <sup>ab</sup>	2.00±0.45 <sup>b</sup>	0.78±0.11 <sup>abc</sup>	0.36±0.06 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	3.60±0.32 <sup>ab</sup>
8	1	1	-	1.20±0.20 <sup>ab</sup>	0.88±0.13 <sup>ab</sup>	1.20±0.20 <sup>bc</sup>	0.70±0.08 <sup>abc</sup>	0.37±0.05 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	0.62±0.15 <sup>c</sup>
9	1	-	0.1	1.00±0.32 <sup>abc</sup>	1.08±0.25 <sup>a</sup>	1.50±0.49 <sup>bc</sup>	0.62±0.07 <sup>bc</sup>	0.28±0.01 <sup>abc</sup>	1.00±0.00	0.93±0.45 <sup>c</sup>
10	1	-	1	0.40±0.24 <sup>de</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	1.04±0.18 <sup>c</sup>
11	2	-	-	0.60±0.24 <sup>cd</sup>	0.30±0.10 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.72±0.18 <sup>c</sup>
12	2	0.1	-	0.80±0.20 <sup>bcd</sup>	0.30±0.00 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	1.02±0.14 <sup>c</sup>
13	2	1	-	0.80±0.20 <sup>abc</sup>	0.30±0.00 <sup>cd</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.72±0.14 <sup>c</sup>
14	2	-	0.1	0.40±0.24 <sup>de</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.96±0.31 <sup>c</sup>
15	2	-	1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.98±0.37 <sup>c</sup>
16	4	-	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.44±0.10 <sup>cd</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.54±0.14 <sup>c</sup>
17	4	0.1	-	1.40±0.40 <sup>a</sup>	0.52±0.08 <sup>cd</sup>	4.33±0.88 <sup>a</sup>	0.75±0.10 <sup>abc</sup>	0.37±0.03 <sup>ab</sup>	1.00±0.00	0.68±0.12 <sup>c</sup>
18	4	1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.48±0.11 <sup>cd</sup>	0.80±0.37 <sup>cd</sup>	0.43±0.15 <sup>c</sup>	0.26±0.12 <sup>bc</sup>	1.00±0.00	0.50±0.13 <sup>c</sup>
19	4	-	0.1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.94±0.13 <sup>c</sup>
20	4	-	1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.48±0.15 <sup>c</sup>
21	6	-	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.50±0.14 <sup>cd</sup>	0.50±0.28 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.90±0.12 <sup>c</sup>
22	6	0.1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.44±0.12 <sup>cd</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.76±0.16 <sup>c</sup>
23	6	1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.42±0.06 <sup>cd</sup>	1.75±0.62 <sup>b</sup>	0.43±0.07 <sup>c</sup>	0.20±0.03 <sup>c</sup>	1.00±0.00	0.30±0.08 <sup>c</sup>
24	6	-	0.1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.82±0.20 <sup>c</sup>
25	6	-	1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.30±0.10 <sup>c</sup>
26	8	-	-	0.80±0.20 <sup>bcd</sup>	0.30±0.04 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.74±0.15 <sup>c</sup>
27	8	0.1	-	1.00±0.00 <sup>abc</sup>	0.38±0.04 <sup>cd</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.58±0.12 <sup>c</sup>
28	8	1	-	0.40±0.24 <sup>de</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.30±0.05 <sup>c</sup>
29	8	-	0.1	0.00±0.00 <sup>e</sup>	-	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.84±0.15 <sup>c</sup>
30	8	-	1	0.80±0.20 <sup>bcd</sup>	0.25±0.09 <sup>d</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	-	-	1.00±0.00	0.30±0.11 <sup>c</sup>
F-test				*	*	*	*	*	ns	*

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT)

\* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ - = ไม่สามารถวัดได้

ผลการศึกษานี้พบว่าสารควบคุมการเจริญเติบโต BA ความเข้มข้น 1 4 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลต่อแกนเอ็มบริโอให้พัฒนาเป็นยอดเฉลี่ย 1 ยอดต่อเอ็มบริโอ (ภาพที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0 2 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนยอดต่อเอ็มบริโอไม่น้อยกว่า 1 ยอด การเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มออกซิน คือ IBA และ NAA พบว่าสูตรอาหารที่เติม IBA ส่งผลต่อแกนเอ็มบริโอพัฒนาเป็นยอดเฉลี่ยต่อเอ็มบริโอ 1 ยอด ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับสูตรอาหารที่เติม NAA โดยให้จำนวนยอดเฉลี่ยต่อเอ็มบริโอเท่ากับ 0 อย่างไรก็ตามสำหรับสูตรอาหารที่ให้จำนวนยอดเฉลี่ยต่อเอ็มบริโอมากที่สุดคือ สูตรอาหารที่เติม BA 1 และ BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้จำนวนยอด 1.2 และ 1.4 ยอด เห็นได้ว่าการใช้สารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มออกซินร่วมกับไซโตไคนินที่ระดับความเข้มข้นในอัตราส่วนที่เหมาะสมสามารถชักนำให้เกิดยอดมากขึ้น (ตารางที่ 1)



ภาพที่ 2 อิทธิพลสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อเอ็มบริโอของตะเคียนใบใหญ่: (A) ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต; (B) IBA 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร; (C) IBA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร; (D) และ (G) BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร; (E) BA:IBA 4:0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร; (F) BA: 1:0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

การวัดการเจริญเติบโตโดยวัดความสูงยอด พบว่าสูตรอาหารที่ส่งผลต่อความสูงยอดดีที่สุดคือ สูตรอาหาร MS และสูตรอาหาร MS ที่เติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งส่งผลให้ความสูงยอดเฉลี่ย 0.7-1.1 เซนติเมตร (ภาพที่ 2) โดยเมื่อเทียบกับสูตรอาหารที่ใช้ BA ที่ระดับความเข้มข้น 2 4 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่อาจมีความเข้มข้นที่สูงเกินไป ส่งผลต่อความสูงยอดเฉลี่ยลดลงหรือเอ็มบริโอไม่มีการพัฒนาเป็นยอด สำหรับการใส่สารกลุ่มออกซินคือ IBA และ NAA พบว่าสูตรอาหารที่เติม IBA ส่งผลให้ความสูงยอดมากกว่าสูตรอาหารที่เติม NAA โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามการใช้ BA หรือ BA ร่วมกับ IBA ไม่ส่งผลต่อความสูงยอดแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

สำหรับการวัดการเจริญเติบโตโดยนับจำนวนใบต่อยอด (ตารางที่ 1) พบว่าสูตรอาหาร MS และสูตรอาหาร MS ที่เติม BA 1 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 2) มีการเจริญเติบโตส่วนใบ เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่เติม BA 2 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีการเจริญเติบโตของใบที่น้อยมากหรือใบมีขนาดเล็กมาก การหลุดร่วง และไม่สามารถวัดค่าได้ ในการเพาะเลี้ยงบนอาหารที่เติม IBA หรือ NAA เห็นได้ว่า IBA มีการส่งเสริมการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนใบมากกว่าสูตรอาหารที่เติม NAA แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามสูตรอาหารที่ส่งผลให้จำนวนใบต่อยอดมากที่สุดคือการใช้ BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้จำนวนใบมากที่สุด 4.3 ใบต่อยอด

จากการวิเคราะห์ผลพบว่า BA มีอิทธิพลต่อความกว้างใบและความยาวใบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหาร MS และสูตรอาหาร MS ที่เติม BA 1 และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร มีการเจริญเติบโตส่วนใบและส่งผลต่อความกว้างหรือความยาวของใบ (ภาพที่ 2) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่เติม BA 2 6 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีการเจริญเติบโตของใบที่น้อยมาก ไม่สามารถวัดค่าได้ สำหรับสูตรอาหารที่เติม IBA หรือ NAA พบว่าสูตรอาหารที่มี IBA มีส่วนส่งเสริมความยาวและความกว้างของใบ ตรงกันข้ามสูตรอาหารที่มี NAA ส่งผลการยับยั้งส่วนความยาวและความกว้างใบ แต่อย่างไรก็ตามการใช้ BA หรือ BA ร่วมกับ IBA ให้ค่าเฉลี่ยความกว้างใบและความยาวใบไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ในการวัดการเจริญเติบโตของราก พบว่าทุกสูตรอาหารส่งผลให้มีจำนวนรากเฉลี่ย คือ 1 รากต่อเอ็มบริโอ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้ BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA มีอิทธิพลร่วมต่อความยาวรากแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่สูตรอาหาร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชให้ความยาวรากสูงที่สุด

ทั้งนี้การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ พบว่าเมื่อเริ่มทำการเพาะเลี้ยงในสัปดาห์แรกชิ้นส่วนแกนเอ็มบริโอมีการปล่อยสารบางอย่างออกมาทำให้สีของอาหารมีการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน (ภาพที่ 2) ในการเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอ แม้ว่าทุกชุดการทดลองจะอยู่ภายใต้สภาวะการให้แสงที่ควบคุมชุดเดียวกัน อย่างไรก็ตามจากการสังเกต พบว่าปริมาณแสงที่ได้รับที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยก็ส่งผลต่ออัตราการงอกหรือเจริญของแกนเอ็มบริโอในช่วงสัปดาห์แรกชัดเจน โดยชุดการทดลองที่อาจได้รับปริมาณแสงที่น้อยกว่าชุดการทดลองอื่น มีการเจริญเติบโตช่วงแรกเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองอื่น



## สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไปแล้วการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชมีปัจจัยหลายอย่างที่มิอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชที่เพาะเลี้ยง ซึ่งปัจจัยที่กล่าวถึงนั้น ได้แก่ ชนิด อายุ และชิ้นส่วนของพืชที่นำมาเพาะเลี้ยง อาหารที่ใช้ในการเพาะเลี้ยง ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (Kuamane, 1995) รวมถึงลักษณะทางพันธุกรรมของพืชด้วย ชิ้นส่วนและอายุพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงจะมีความสามารถที่จะนำมาสักนำไปให้เกิดการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเกิดจากการสร้างและการสะสมการควบคุมการเจริญเติบโตในตัวอย่างพืชเอง หรือจากการเติมสารควบคุมการเจริญเติบโตในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ นอกจากนี้ชนิดของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่ผสมถึงอัตราส่วนความเข้มข้นระหว่างสารกลุ่มออกซินกับไซโตไคนินที่ได้รับยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืชด้วย (Khamparat, 2005; Bunnag, 2013) ธาตุอาหารที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืชที่นำมาเพาะเลี้ยงด้วยเช่นกัน (Bunnag, 2013) ในการเพาะเลี้ยงแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่ บนสูตรอาหาร MS และสูตรอาหาร MS ที่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตพืชกลุ่มออกซินซึ่งเป็นสารที่มีบทบาทในการขยายขนาดของเซลล์พืช การเกิดราก และการเกิดแคลลัส (callus) (Thongampai, 1986) ได้แก่ indole-butyric acid (IBA) และ naphthaleneacetic acid (NAA) ควบคู่กับสารกลุ่มไซโตไคนินซึ่งที่มีผลต่อการกระตุ้นการแบ่งเซลล์พืช ควบคุมการสร้างอวัยวะ และกระตุ้นการแตกตาข้าง (Kaweeta, 1998) คือ 6-benzyladenine (BA) พบว่าทุกสูตรอาหารส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่ คือ จำนวนยอดเฉลี่ยต่อแกนมัมบริโอ ความสูงยอด จำนวนใบต่อยอด ความยาวใบ ความกว้างใบ และความยาวราก แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นจำนวนรากไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยสูตรอาหารที่เติม BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโตของแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่ ส่วนของ จำนวนยอด จำนวนใบ และความยาวราก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การเพาะเลี้ยงแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่เพื่อเพิ่มจำนวนยอด จะเห็นได้ว่าสูตรอาหาร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 1 4 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลต่อแกนมัมบริโอให้พัฒนาเป็นยอดดีที่สุดเฉลี่ย 1 ยอดต่อแกนมัมบริโอ ซึ่งมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกับงานวิจัยที่มีการเติม BA 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสูตรอาหาร MS สามารถชักนำให้เกิดยอดดีที่สุด ในการเพาะเลี้ยงสาละ (*S. robusta*) (Singh *et al.*, 2014) มะตังขาว (*Taminadia uliginosa* Retz.) (Puttharak and Yookong, 2011) และเพาะเลี้ยงซ้อ (*Gmelina arborea*) (Nakamura, 2006) ในขณะที่การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแกนมัมบริโอพะยอม (*S. roxburghii* G. Don) (Scott *et al.*, 1998) และซ้อของไม้สัก (*Tectona grandis*) (Chanprem *et al.*, 2018) โดยพบว่าสูตรอาหาร MS ที่เติม BA 5 และ 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สามารถชักนำให้เกิดยอดดีที่สุด อย่างไรก็ตามผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สูตรอาหารที่เติม BA ความเข้มข้น 0 2 และ 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนยอดต่อแกนมัมบริโอน้อยกว่า 1 ยอด ไม่สอดคล้องรายงานวิจัยบางรายงาน เช่น การเพาะเลี้ยงตายอดและตาข้างไม้กฤษณา (*Aquilaria crassna*) (Mongkhonsuk *et al.*, 2007) และผักหวานบ้าน (*Sauropus androgynus* L. Merr.) ที่ใช้ BA ช่วง 2-3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดได้ดีที่สุด (Puttharak and Yookong, 2011) อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม้ตะเคียนทอง (*H. odorata* Robx.) ซึ่งเป็นพืชสกุลเดียวกันกับตะเคียนใบใหญ่ (*H. therelli* Pierre) บนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ที่ความเข้มข้น 8.9 ไมโครโมลาร์ ส่งผลต่อการเกิดยอดดีที่สุด (Scott *et al.*, 1995)

จากผลการศึกษาอิทธิพลของ IBA และ NAA (ตารางที่ 1) และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way-ANOVA) พบว่าการใช้ BA ร่วมกับ IBA หรือ NAA มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเจริญเติบโตส่วนของ จำนวนยอด จำนวนใบ และความยาวราก มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหารที่เติม IBA มีอิทธิพลส่งเสริมการเจริญเติบโตของแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่ จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนใบ และความยาวรากดีกว่าสูตรอาหารที่เติม NAA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจากการพิจารณาจำนวนยอดเฉลี่ยต่อแกนมัมบริโอ สูตรอาหารที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงแกนมัมบริโอตะเคียนใบใหญ่ คือ สูตรอาหารที่เติม BA 1 และ BA 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ IBA 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (ภาพที่ 2) โดยให้จำนวนยอด 1.2 และ 1.4 ยอด ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการกระตุ้นการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อพืชจากสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชที่มีอัตราส่วนของไซโตไคนินสูงกว่าออกซินสามารถชักนำให้เกิดยอดได้จำนวนมาก (Bunnag, 2013; Kaweeta, 1998)

ธาตุอาหารในแต่ละสูตรอาหารในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ยังมีความจำเป็นในการชักนำให้พืชมีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลง อาจมีการชักนำให้เกิดแคลลัสหรือสามารถชักนำให้เกิดยอดหรือรากได้ (สุจารี ชัมภรัตน์, 2548) การวิจัยนี้ได้ใช้สูตรอาหาร MS เพียงอย่างเดียว ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าสูตรอาหาร MS มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแกนมัมบริโอที่เหมาะสมหรือไม่ ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าอาหารสูตร MS นั้นยังไม่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตะเคียนใบใหญ่ซึ่งเป็นไม้ต้น มีรายงานการวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกลุ่มไม้ต้นหลายชนิดได้มีการใช้อาหารสูตรที่มีความจำเพาะต่อไม้เนื้อแข็ง เช่น มีการใช้สูตรอาหาร woody plant medium (WPM) ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตะเคียนทอง (*H. odorata* Robx.) (Scott *et al.*, 1995) การ

เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อส่วนของตายอดและตาข้างของไม้กฤษณา (*Aquilaria crassna*) (Mongkhonsuk et al., 2007) การเพาะเลี้ยงส่วนข้อที่ติดใบเลี้ยงของยางนา (*D. alatus*) และยางกราด (*D. intricatus*) (Linnington, 1991) การเพาะเลี้ยงส่วนปีกของผลอ่อนและใบเลี้ยงของหมากจอบ (*S. macropodium* Beum) (Khamparat, 2005) ดังนั้นในการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตะเคียนใบใหญ่ครั้งต่อไปควรศึกษาโดยการปรับใช้สูตรอาหาร WPM หรือสูตรอาหารอื่นด้วย อย่างไรก็ตามมีรายงานว่าการใช้สูตรอาหาร WPM อาจส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโตส่วนรากได้ไม่ดีเท่าที่ควร (Scott et al., 1995) ปัจจุบันมีรายงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น การใช้กากกาแฟเป็นส่วนผสมในสูตรอาหารหรือปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกพืช เนื่องจากกากกาแฟมีธาตุอาหารบางชนิดที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ Maikami (2021) ได้รายงานผลการวิจัยการนำกากกาแฟผสมในดินปลูกผักบุงจิ้น พบว่าดินปลูกที่ผสมกากกาแฟ 5 10 และ 15% มีผลส่งเสริมระยะเวลาเฉลี่ยการงอกและดัชนีการงอกของเมล็ดผักบุงจิ้นได้ดี ฉะนั้นการใช้กากกาแฟหรือสารอินทรีย์ธรรมชาติอื่นอาจเป็นแนวทางในการศึกษาการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อตะเคียนใบใหญ่ครั้งต่อไปได้

เนื้อเยื่อพืชบางชนิดอาจมีการปล่อยสารประกอบบางชนิดออกมา สังเกตได้จากอาหารที่เพาะเลี้ยงจะมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาล สารเหล่านี้อาจเป็นสารกลุ่ม phenolics (Chirakiatkul et al., 2018) ซึ่งพืชที่ใช้ในการศึกษาคครั้งนี้เป็นพืชในวงศ์ Dipterocarpaceae ที่ลักษณะทั่วไปเนื้อไม้มีน้ำยางใสหรือขุ่น (resin) สารที่ปล่อยจากไม้สกุลตะเคียน (*Hopea*) คือ dammar resin (Bupbanphot et al., 2013; Ridley, 1900) อาจเป็นไปได้ว่าสารนี้มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อ โดยมีการรายงานวิจัยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น การขยายพันธุ์จันทน์กะพ้อ (*V. diospyroides* Symington) และการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อหมากจอบ (*S. macropodium* Beum) พบว่ามีการปล่อยสารสีเหลืองออกมา และได้มีการแก้ปัญหาโดยการเติมถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) หรือสาร polyvinylpyrrolidone (PVP) ในสูตรอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชสามารถช่วยเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเจริญเติบโตหรือการพัฒนาเป็นแคลลัสเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอาหารที่ไม่ได้เติมสารเหล่านี้ (Srisawad, 2007; Khamparat, 2005) ดังนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปควรเติมถ่านกัมมันต์หรือสาร PVP ในอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ทั้งนี้ยังพบว่ามีการใช้เทคนิค bridge culture โดยมีกระดาศรองดูดซับสารอาหารจากอาหารเหลวที่มีการเติมผงถ่านกัมมันต์เนื่องจากเนื้อเยื่อมีการปล่อยสารสีน้ำตาล (Linnington, 1991)

การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ครั้งนี้ทำการย้ายเนื้อเยื่อแล้วเพาะเลี้ยงในสภาวะที่ให้แสงสว่างที่มีความเข้มแสงประมาณ 42 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที 16 ชั่วโมงต่อวันทันที ดังนั้นการศึกษาคครั้งนี้ไม่สามารถบอกได้ชัดเจนว่าปัจจัยของแสงมีผลต่อการกระตุ้นการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอช่วงแรกได้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาข้อมูลเอกสาร พบว่าไม้วงศ์ยางแต่ละชนิดมีการเจริญเติบโตภายใต้สภาวะที่จำเพาะแตกต่างกันไป จึงอาจส่งผลกระทบต่อเทคนิคการเพาะเลี้ยงหรือการขยายพันธุ์ที่แตกต่างกันออกไป (Sasaki, 2006) สำหรับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชกลุ่มไม้ต้นบางชนิดต้องการความมืดในช่วงแรกของการเจริญระหว่างการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เช่น การเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอไม้พะยอม (*S. roxburghii* G. Don.) โดยเพาะเลี้ยงไว้ที่มืด ในช่วงเริ่มการเพาะเลี้ยง 1 สัปดาห์ ก่อนย้ายมาเพาะเลี้ยงในที่ที่มีแสง (Scott et al., 1995) ดังนั้นในการศึกษาคครั้งนี้จึงได้ไปควรศึกษาและปรับการให้แสงสว่างในการเพาะเลี้ยงแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ด้วย

ปัจจุบันรายงานการขยายพันธุ์พืชไม้ยืนต้นหรือไม้เนื้อแข็งด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อยังมีอยู่จำนวนไม่มากนัก เนื่องจากการตอบสนองของเนื้อเยื่อพืชต่อสภาวะการเพาะเลี้ยงยังไม่เหมาะสม ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเบื้องต้น โดยการศึกษาอิทธิพลของ BA ร่วมกับ NAA หรือ IBA ต่อการเจริญเติบโตของแกนเอ็มบริโอตะเคียนใบใหญ่ ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนอื่น ๆ ของตะเคียนใบใหญ่ เช่น ปลายยอด ข้อ ลำต้น และราก งานวิจัยเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อการขยายพันธุ์พืชกลุ่มไม้ต้นเพื่อการอนุรักษ์ของพืชใกล้สูญพันธุ์ต่อไป

## เอกสารอ้างอิง

- Bunnag, S. (2013). *Plant tissue culture and gene transfer* (in Thai). Khon Kaen: Khon Kaen University Printing House.
- Bupbanphot, J., Phueknang, J., Phuphat, M., Rattanapracha, S. and Danchutham, A. (2013). *Conservation and Utilization of Dipterocarpaceae* (in Thai). Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation.
- Chanprem, S., Sonthikun, Y., Onwimol, P. and Chanprem, S. (2018). Shoots induction from in vitro node of teak (in Thai). *King Mongkut's Agricultural Journal*, 36(2), 126-134.

- Chirakiatkul, Y., Uthaichamsriphon, J. and Ritthichai, P. (2018). Effect of Culture Periods on Antioxidant Contents of In Vitro *Smilax corbularia* Shoots (in Thai). **Thai Science and Technology Journal**, 27(6), 1067-1077.
- Department of National Parks. (2013). **Handbook of Plant Selection and Reforestation for Flood Prevention in the Northeastern Thailand** (in Thai). Bangkok: The National Buddhism Office Printing House.
- Department of National Parks. (2016). Takhian Bai Yai (in Thai). Retrieved 26 October 2020, from **dnp**; <http://www.dnp>.
- Kaweeta, R. (1998). **Plant tissue culture: principles and techniques** (2<sup>nd</sup> edition) (in Thai). Bangkok: Kasetsart University.
- Khamparat, S. (2005). Tissue culture and genetic diversity study of Makjong (*Scaphium macropodium* Beum) (in Thai). **Master's thesis**. Major in Biotechnology, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University.
- Kuamane, P. (1995). **Techniques in plant tissue culture** (2<sup>nd</sup> printing) (in Thai). Bangkok: Odeon Store Publishing House.
- Linington, I. M. (1991). *In vitro* propagation of *Dipterocarpus alatus* & *Dipterocarpus intricatus*. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, 27(1), 81-88.
- Maikami, M. (2021). Effect of soil containing coffee grounds on germination and growth of water convolvulus seedling (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 4(2), 155-163.
- Mongkhonsuk, Y., Sumkaew, D., Likitthumnit, P., Wongwaen, P. and Kaweekitthammakul, W. (2007). In vitro micropropagation of agarwood (*Aquilaria crassna*) (in Thai). In **Proceedings of 45<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference: Plants** (pp. 532-538). Bangkok: Kasetsart University.
- Murashige, T. and Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, 15(3), 473-497.
- Nakamura, K. (2006). Micropropagation of *Shorea roxburghii* and *Gmelina arborea* by Shoot-Apex Culture. **Plantation Technology in Tropical Forest Science**, 1(1), 137-150.
- Newman, M. F. and Pooma, R. (2017). *Hopea thorelii* Pierre. The IUCN Red List of Threatened Species 2017, Retrieved 18 April 2021, from **iucnredlist**; <https://www.iucnredlist.org/species>.
- Phutalun, W. (2008). **Medicinal plant tissue culture, guideline studies for pharmacologically secondary metabolite productions** (in Thai). Khon Kaen: Khon Kaen Print Pattana.
- Poopath, M., Sookchaloem, D., Duangjai, S. and Pooma, R. (2017). *Hopea macrocarpa* (Dipterocarpaceae), a new species from Peninsular Thailand. **Thai Forest Bulletin (Botany)**, 45(1), 94-98.
- Puttharak, P. and Yookong, W. (2011). Conservation and propagation *Taminadia uliginosa* Retz. and *Sauropus androgynus* (L.) Merr. by technique of in vitro culture (in Thai). **Naresuan University Journal**, 19(3), 1-7.
- Ridley, H. (1900). Dammar and Wood Oil. **Journal of the Straits Branch of the Royal Asiatic Society**, 34(1), 89-94.
- Sasaki, S. (2006). Ecology and physiology of Dipterocarpaceae. **Plantation Technology in Tropical Forest Science**, 1(1), 3-22.
- Scott, E. S., Rao, A. N. and Loh, C. S. (1988). Production of plantlets of *Shorea roxburghii* G. DON. from embryonic axes cultured in vitro. **Annals of Botany**, 61(2), 233-236.
- Scott, E. S., Rao, A. N. and Loh, C. S. (1995). Preliminary studies of micropropagation of *Hopea odorata*, a dipterocarp tree. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, 41(2), 193-196.
- Singh, M., Sonkusale, S., Niratker, Ch. & Shukla, P. (2014). Micropropagation of *Shorea robusta*: an economically important woody plant. **Journal of Forest Science**, 60(2), 70-74.
- Srisawad, T. (2007). In vitro propagation of Chan Ka pho (*Vatica diospyroides* Symington) (in Thai). **Research Project**. Prince of Songkla University, Surat Thani.
- Thongampai, P. (1986). **Plant hormones and synthetic substances** (in Thai). Bangkok: Dynamic Printing.



บทความวิจัย

## การตรวจสอบการกลายพันธุ์ของโปรตีนหนามในสายพันธุ์นากังวลของเชื้อโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่โดยวิธีการจำแนกโดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์บนระบบฟิสิกส์อาร์ที

กบิล กาญจนภรณ์กุล<sup>1</sup> ธัญญา รุ่งโรจน์มงคล<sup>2,3</sup> และสุพจน์ ทารหนองบัว<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเคมีเชิงคำนวณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

<sup>2</sup>ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านตัวเร่งชีวภาพและเทคโนโลยีชีวภาพยั่งยืน ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

<sup>3</sup>หลักสูตรชีวคอมพิวเตอร์และชีวโมเลกุลเชิงคำนวณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

Email:supot.h@chula.ac.th

รับบทความ: 28 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 21 มกราคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 14 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

การวัดเชิงปริมาณของสถานะควอนตัมในจีโนมใหม่ของกรดอะมิโนที่กลายพันธุ์ในโปรตีนหนามของสายพันธุ์นากังวลต่างๆของโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่ได้ถูกตรวจวัดโดยกระแสของเซอร์นโซม่อนส์ ในงานวิจัยนี้เราได้เสนอวิธีใหม่โดยใช้กระแสของเซอร์นโซม่อนส์ในตัวอักษรของรหัสพันธุกรรมในการวาดกราฟเพื่อใช้แสดงค่าความโค้งงอของการบิดตัวของโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีนหนามซึ่งวิธีนี้ตั้งอยู่บนทฤษฎีภาพสะท้อนของกระจกสมมาตรและเพิ่มคุณสมบัติพิเศษของความเชื่อหลักของชีววิทยาเข้าไป ในที่นี้สนามยังมีสปีในรหัสพันธุกรรมคือสนามที่เกิดจากการเหนี่ยวนำโดยใช้ตัวดำเนินการเคอร์เนลบนการขนส่งแบบขนานของพันธะไฮโดรเจนในชีวโมเลกุลทั้งสามแบบในระบบลากรางของบนระบบฟิสิกส์อาร์ทีในเทนเจอร์ของแมนนิโฟลด์ที่นิยามโดยพื้นผิวของสนามพฤติกรรมในการบิดตัวของรหัสที่ถูกสแกนด้วยเบสส์โดยเบสส์ตัวคือเอ ที ซีและจี โดยวิธีนี้ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลถูกแสดงผลในรูปแบบของฮิสโตแกรมของค่าตัวแปรของสถานะควอนตัมในจีโนมใหม่ของการกลายพันธุ์ของโปรตีนหนามโดยใช้ข้อมูลจากรหัสพันธุกรรมระหว่าง 17 มกราคม 2563 ถึง 30 มิถุนายน 2564 พบว่ากราฟเลื่อนตัวไปทางซ้าย การจำแนกกลุ่มและการทำนายผลของการกลายพันธุ์เพื่อใช้ตรวจสอบการกลายพันธุ์บนบริเวณรีเซพเตอร์โดเมนในโปรตีนหนามและทำนายผลในกรดอะมิโน 120 ตัวในบริเวณนี้ในสายพันธุ์นากังวลเก่าสายพันธุ์โดยการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยใช้อัลกอริทึมของการเรียนรู้ของเครื่องที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานการคำนวณแบบการจำแนกโดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์บนวิธีการพิคค่าตัวแปรของสถานะควอนตัมในจีโนมใหม่ในสารพันธุกรรมให้ผลลัพธ์ของค่าความหาค่าของตัวแปรสถานะทางควอนตัมในจีโนมใหม่ของกรดอะมิโนที่กลายพันธุ์ด้วยประสิทธิภาพที่ดี

คำสำคัญ: กระแสของเซอร์นโซม่อน จีโนมใหม่ โคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่ ซอฟต์แวร์วิเคราะห์แมชชีน

### อ้างอิงบทความนี้

กบิล กาญจนภรณ์กุล, ธัญญา รุ่งโรจน์มงคล และสุพจน์ ทารหนองบัว. (2565). การตรวจสอบการกลายพันธุ์ของโปรตีนหนามในสายพันธุ์นากังวลของเชื้อโคโรนาไวรัสสายพันธุ์ใหม่โดยวิธีการจำแนกโดยใช้ซอฟต์แวร์วิเคราะห์บนระบบฟิสิกส์อาร์ที. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 58-71. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.6>

## Detection of spike protein mutation in SARS-CoV-2 variants of concern with support vector classification over (d,r,p)-layer coordinate system

Kabin Kanjamapornkul<sup>1</sup>, Thanyada Rungrotmongkol<sup>2,3</sup> and Supot Hannongbua<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Center of Excellence in Computational Chemistry (CECC), Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2</sup>Center of Excellence in Biocatalyst and Sustainable Biotechnology, Department of Biochemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>3</sup>Program in Bioinformatics and Computational Biology, Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

\*Email:supot.h@chula.ac.th

Received <28 November 2021>; Revised <21 January 2022>; Accepted <14 February 2022>

### Abstract

Quantitative measurement of the quantum genotype of mutated amino acids in the S protein on different variants of SARS-CoV-2 was performed with Chern-Simons current. The Chern-Simons current in our proposed novel approach was used to plot the curvature of S protein folding based on mirror symmetry and add more extra properties of central dogma in biology. The Yang-Mills field in genetic code is an induced curl operator of parallel transport of unified field between hydrogen bonding between 3 types of biomolecules over the Lagrangian system in  $(d, r, p)$ -layer coordinate system on a tangent of the four-dimensional manifold defined by the surface of behavior field in twisted torus spanned by four nitrogen bases of A, T, C, and G. The empirical analysis of quantum genotype of S protein between 17 January 2020 and 30 June 2021 was reported in the histogram with left shift. The prediction of the genetic variation in S protein of various variants of interest and variants of concern in SARS-CoV-2 were computed by using a machine learning algorithm based on support vector classification over the fitting parameter of the quantum genotype with good performance.

**Keywords:** Chern-Simons Current, Genotype, SARS-CoV-2, Support Vector Machine

#### Cite this article:

Kanjamapornkul, K., Rungrotmongkol, T. and Hannongbua, S. (2022). Detection of spike protein mutation in SARS-CoV-2 variants of concern with support vector classification over (d,r,p)-layer coordinate system. *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 58-71. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.6>

## Introduction

The hidden relationship between the changing of curvature in the curve shape of Spike (S)-protein folding and mutations occurring in the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) genetic code was one of many open questions for scientists from different fields (Kanjapornkul, Rongrotmongkol, and Hannongbua, 2021). In the quantum biology approach, this issue can be explained in the context of theoretical investigation. In the reproduction process of SARS-CoV-2, the ability to change the frame of reference in the adaptive behavior of the virus for survival in nature with parasitism state induced the quantum transition states by deleting some genetic codes of S protein inside the circular tube of viral RNA and producing the new mutated quantum genotype in the excited state. Delta variant contains a double mutation in 4 amino acids in the receptor-binding domain (RBD) of S1 and two deletions of residue numbers 157 and 158. This is in contrast to B.1.1.7 or Alpha variant with a single mutation and three deletions of amino acids in the S protein. Prediction of future mutation with a new location and new deletion position of amino acid in the S protein of the new variant is concerned (Li, F., 2016). The adaptive Yang-Mills field was defined in Chern-Simons current in genetic code of all living organisms, including viruses. If the S-protein curvature is not in an equilibrium state with ACE2, the virus will be blocked out and tried to change its curvature with an adaptive Yang-Mills field in the genetic code.

The source of the adaptive genetic fields related to the natural selection process induces the mutation in the genetic materials. The new definitions of these behavior fields in genetic code involved curvature in protein folding in the cohomology theory of central dogma (Capozziello et al., 2018). In this work, we redefine them by borrowing the mathematical structure of Yang-Mills fields in physics (Capozziello, S., Pincak, R. and Kanjamapornkul, K., 2017) and adding more properties in parallel transport of behavior fields in the four genetic codes. The new definitions of a mathematical model on four-dimensional manifolds in quantum biology were used to explain the source of adaptive curvature in S protein upon binding with the host cells in various living organisms (Pincak, R., Kanjamapornkul, K., and Bartos, E., 2020a). At the time of research, N501Y.V2 VUI2020 B.1.1.7.2 (Alpha), B.1.617.2 (Delta), Gamma, Iota, Eta, Lambda, Beta, Kappa, and Mu are SARS-CoV-2 variants of interest and concern. More mutations such as Delta plus and Alpha plus are under monitoring with an expected impact on business and society with lockdown phenomena (Mlcochova et al., 2021). The typical way to detect the mutation in the S protein of the SARS-CoV-2 variant is through an alignment method over the alphabet code of the genome (Ali et al., 2021). Many problems with this method exist, such as the time computation being too slow (Sathipati et al., 2022). Moreover, the sorting algorithm over the string alphabet gives all statistical parameters limited for quantitative measurement (Kumar et al., 2021). Therefore, the new approach of Chern-Simons current in quantum biology was introduced for measuring the curvature in mutated S proteins. Using this approach, all statistical parameters can be computed and input to support vector classification to predict the new possible mutations in S protein (Kanjapornkul et al., 2017). The detection of the source of genetic variation in new types of nine variants of SARS-CoV-2 was an indirect application of algebraic topology and cryptography (Anshel et al., 1999). Another point of view is that the curvature in hydrogen bonding of [A]-[T] and [C]-[G] can be visualized with a two-form differential, which can be extended to three forms by using a Chern-Simons current (Capozziello et al., 2018). The curvature in three alphabet codes in codon was defined by the smallest subunit of amino acids in protein folding. On the other hand, the new coordinate system for plotting the curvature in the genetic code had a source from 20 amino acids with transitions in the  $(d, r, p)$  - layer (Figure 1). One question arises from the new theory of cell biology. What is the relationship between the smallest subunit used to represent the living organism and the curvature of the protein docking system? The answer to this question allows the new definition of the  $(d, r, p)$  - coordinate system used to construct the new algorithm to be applied. The Information in genetic code produces the curvature by rotating a biological clock like a Caesar key used to authenticate the correct folding in the protein-protein interaction system. In quantum cryptography for biology, this encrypting state is the analogy to the smallest subunit of ciphertext for encoding in the genetic code and transmission through the cell signal channel. The peptide bond in protein

folding can use the Minkowski cone with an embedded parabola equation for regression to define and detect the mutation in the configuration space of this undivided smallest subunit in the genetic code (Pincak, Kanjamapornkul and Bartos, 2020b). The transitions between DNA, RNA, and protein were used to redefine the old algorithm from public and private key pair in a qubit state in protein folding to the new definition of Hopf fibration in the Kolmogorov space of biological time-series data. (Kanjamapornkul, and Pincak, 2016).

The mutations on the SARS-CoV-2 S protein were highly considered (Andersen et al., 2020), because its composition is used for binding with receptor proteins. The S protein has a high degree of genetic variation (Schoeman and Fielding, 2019). To detect the genetic variation part of S protein means detecting the change in adaptive behavior field in the genetic code of SARS-CoV-2. When this component is replicated to the next generation through viral replication, some contaminated noises exist within the natural source of quantum genotype that gets mixed with the origin of the S clade into many SARS-CoV-2 variants. In this research, the nine variants of concern were selected as the mutated S proteins for quantitative measurement of the quantum genotype of SARS-CoV-2. The prediction of the new possible mutation was conducted by using the classification between mutated and non-mutated amino acids 401-520 that covers the area of the RBD domain (Kumar et al., 2021). The genetic variation detection of S protein can reveal the source and origin of changing curvature in different SARS-CoV-2 variants.

## Theory and Methodology

In quantum chemistry, the S protein folding state is visualized by using a coordinate of atoms in each amino acid and the electrostatic potential of the electrons in each atom that forms their molecule in the Euclidean space. For this reason, the computation is costly and takes a lot of time. To solve this problem, the new concept of quantum biology allows us to define the new coordinate system (d,r,p)-layer of three types of behavior fields in biomolecules, DNA, RNA, and protein (Pincak, Kanjamapornkul and Bartos, 2019). These new quantities of canonical spinor states are the foundation of unified hydrogen bonding in nitrogen bases [A]-[T] and [C]-[G] for the three undivided components of three types of biomolecules into behavior field in the twisted torus surface based on the central dogma (Kanjamapornkul, Rongrotmongkol, and Hannongbua, 2021). Moreover, the coordinate of hydrogen bonding in viral RNA,  $r_i$  has 1-1 maps to coordinate of S protein,  $p_i$ , and coordinate of host cell receptor protein  $p_i^* = d_i$  in the chain sequence in the extended central dogma  $r_i \rightarrow p_i \rightarrow d_i$ .

### Definition of (d,r,p)-Layer Coordinate System

Let  $([A], [U], [C], [G]) := (x, y, z, t) \in X \subset \mathbb{R}_1^4 = H = C \times C$  be a coordinate of viral RNA in the open set  $X$  in the manifold of the genetic code of S protein. A chain sequence of transition state along with the central dogma from viral RNA state to S protein state in the replication process,

$$0 \rightarrow X \rightarrow C_0(X) \xrightarrow{d} C_1(X) \xrightarrow{d} C_2(X) \xrightarrow{d} C_3(X) \rightarrow 0. \quad (1)$$

The expression above is equivalent with differential form in De Rham cohomology in differential calculus,

$$0 \rightarrow X \rightarrow \Omega^0(X) \xrightarrow{d} \Omega^1(X) \xrightarrow{d} \Omega^2(X) \xrightarrow{d} \Omega^3(X) \xrightarrow{d} \Omega^4(X) = 0, \quad (2)$$

$$0 \xrightarrow{\cong} x \xrightarrow{d} dx \xrightarrow{d} d^2x \xrightarrow{d} d^3x \xrightarrow{d} d^4x = 0. \quad (3)$$

In quantum biology, the new definitions of the coordinate system for four alphabet codes in SARS-CoV-2 are obtained using the chain sequence above with adding some extra properties of Lie transport of support vector of behavior field along the unit circle of the predefined plane wave function in Frechet-Serret formulas for moving frame (Kanjamapornkul, Rongrotmongkol and Hannongbua, 2021).

## Wave function of S protein in Quantum Biology

In this section, the plane wave function of four alphabet codes is defined with a Hamiltonian operator for the eigenvalue of their behavior field in fiber space of moving frame of  $(\mathbf{d}, \mathbf{r}, \mathbf{p})$ -layer.

### Definition 1

Let  $\varepsilon$  be the evolutionary field in genetic code, and  $\theta(\mathbf{t})$  be the evolutionary path along the biological clock  $\mathbf{t}$ . The  $\mathbf{x}_t = (\varepsilon \cos \theta(\mathbf{t}), \varepsilon \sin \theta(\mathbf{t}), \mathbf{t})$  is biological time-series data of genetic code. The  $(\mathbf{d}, \mathbf{r}, \mathbf{p})$ -coordinate of genetic code in three-dimensional coordinates of cylindrical coordinate over transformation from four alphabet codes in four-dimensional manifold to  $(\mathbf{d}, \mathbf{r}, \mathbf{p})$ , and to  $(\varepsilon, \theta, \mathbf{t})$ . The evolutionary field is defined by varying the distance in radius. For simplicity of the study, we normalized to the constant radius in the unit circle  $\varepsilon=1$ . The eigenvectors of the transition state in four alphabet codes are defined by,

$$\mathbf{x}_{[A]}(\mathbf{t}) = (\cos 0, \sin 0, \mathbf{t}), \mathbf{x}_{[C]}(\mathbf{t}) = \left( \cos \frac{\pi}{2}, \sin \frac{\pi}{2}, \mathbf{t} \right), \mathbf{x}_{[U]}(\mathbf{t}) = \left( \cos \frac{2\pi}{2}, \sin \frac{2\pi}{2}, \mathbf{t} \right), \quad (4)$$

and

$$\mathbf{x}_{[G]}(\mathbf{t}) = \left( \cos \frac{3\pi}{2}, \sin \frac{3\pi}{2}, \mathbf{t} \right). \quad (5)$$

The spinor fields in genetic code are the projection from the quaternionic field into two complex planes with predefined wave functions in the first d-layer mirror of the left chiral plane in quantum biology.

### Definition 2

The plane wave function of behavior fields in four alphabet codes of S protein is defined in general form over the unit circle by,

$$\Psi = e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta = (\cos \theta, \sin \theta) \varepsilon S^1 \subset \mathbb{C}, \quad (6)$$

with Hamiltonian operator for eigenvector of [A],[U],[C], and [G], in d-layer of fiber space,

$$H_{d=[C]} \Psi = \frac{d\Psi(\theta)}{d\theta} = i e^{i\theta} = e^{i\frac{\pi}{2}} e^{i\theta} = e^{i(\theta+\frac{\pi}{2})}, \frac{d\Psi(\theta)}{d\theta} \Big|_{\theta=0} = \cos \frac{\pi}{2} + i \sin \frac{\pi}{2} = \mathbf{x}_{[C]}(\mathbf{t}), \quad (7)$$

$$H_{d=[U]} \Psi = \frac{d^2\Psi(\theta)}{d\theta^2} = (i)(i) e^{i\theta} = e^{i\pi} e^{i\theta} = e^{i(\theta+\pi)}, \frac{d^2\Psi(\theta)}{d\theta^2} \Big|_{\theta=0} = \cos \pi + i \sin \pi = \mathbf{x}_{[U]}(\mathbf{t}), \quad (8)$$

$$H_{d=[G]} \Psi = \frac{d^3\Psi(\theta)}{d\theta^3} = (i)(i)(i) e^{i\theta} = e^{i\frac{3\pi}{2}} e^{i\theta} = e^{i(\theta+\frac{3\pi}{2})}, \frac{d^3\Psi(\theta)}{d\theta^3} \Big|_{\theta=0} = \cos \frac{3\pi}{2} + i \sin \frac{3\pi}{2} = \mathbf{x}_{[G]}(\mathbf{t}), \quad (9)$$

$$\Psi = \frac{d^4\Psi(\theta)}{d\theta^4} = -(i)(i) e^{i\theta} = e^{i2\pi} e^{i\theta} = e^{i(\theta+2\pi)}, \frac{d^4\Psi(\theta)}{d\theta^4} \Big|_{\theta=0} = \cos 2\pi + i \sin 2\pi = \mathbf{x}_{[A]}(\mathbf{t}). \quad (10)$$

The eigenvalue of the behavior field in genetic code is a projection from the quaternionic field to one side of the left chiral mirror complex plane of their hidden spinor field. It is a hidden eigenstate because these quantities are not actual values.

### Definition 3

The  $(\mathbf{d}, \mathbf{r}, \mathbf{p})$ -layer coordinate system is the cyclic cylindrical coordinate with fiber space in the plane of cyclic polar coordinate in the projection of viral RNA state discontinuous transcript into S protein state. We have  $((x, y), z) = ((r, p), d)$  with

$$\mathbf{x}(\mathbf{t}) = (\cos \theta(\mathbf{t}), \sin \theta(\mathbf{t}), \mathbf{t}), \quad (11)$$

$$\mathbf{r}(\mathbf{t}) = \frac{d}{dt} (\cos \theta(\mathbf{t}), \sin \theta(\mathbf{t}), \mathbf{t}) = (-\sin \theta(\mathbf{t}), \cos \theta(\mathbf{t}), 1). \quad (12)$$

The normal vector is  $\mathbf{p}(\mathbf{t})$  state with

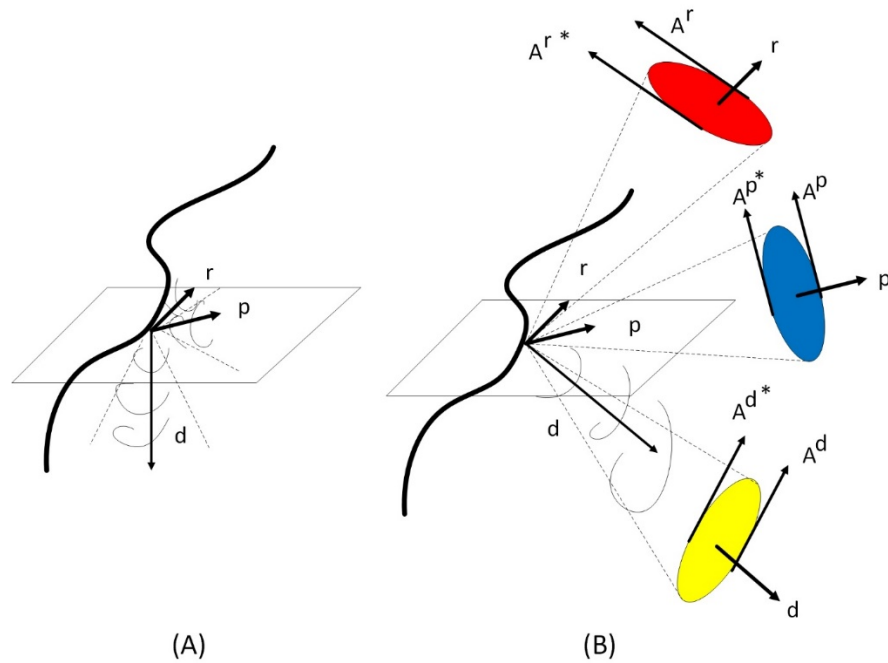
$$\mathbf{p}(\mathbf{t}) = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = (-\cos \theta(\mathbf{t}), -\sin \theta(\mathbf{t}), 0), \mathbf{d} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}, \quad (13)$$

$$\frac{d\mathbf{d}(\mathbf{t})}{dt} = -\beta \mathbf{p}(\mathbf{t}), \quad (14)$$

$$\frac{d\mathbf{r}(\mathbf{t})}{dt} = \kappa \mathbf{p}(\mathbf{t}), \quad (15)$$

$$\frac{d\mathbf{p}(\mathbf{t})}{dt} = -\kappa \mathbf{r}(\mathbf{t}) + \beta \mathbf{d}(\mathbf{t}). \quad (16)$$





**Figure 1.** (A) The moving frame of  $(d, r, p)$ - coordinate system in the curve shape of protein folding with tangent and normal vector. (B) The induced behavior field in genetic code from moving frame in fiber space of tangent of the manifold of curve shape in protein folding with Minkowski cone in the ray of  $(d, r, p)$ -layer.

### Relationship between Yang-Mills behavior field and the curvature in S protein folding

We define  $\beta$  with  $A_{\mu=\beta}$ , an inertial behavior in genetic code analogy with mass in quantum biology. It is an inertial behavior in the frame of reference in the Jacobian transform of  $(d, r, p)$ -coordinate system defined by quantum genotype  $g_{ij}$ . The curvature in viral RNA folding is as a source of Yang-Mills behavior field in SARS-CoV-2's viral RNA. In this research, we choose  $-\Gamma_{ij}^k(g) = -A_{\mu} = f(\beta)$  for function  $f$ , implying that the quantum genotype is a source of curvature in the docking system in S protein binding to ACE2. This curvature change is the source of Chern-Simons current in the evolutionary path of parasitism state between virus and host cell. The curvature in S proteins of SARS-CoV-2 can directly be computed from their genetic code of amino acid sequence appeared by using coordinate transform over the behavior field in genetic code  $A^r(g_{ij}^r) = A_{\mu} = \Gamma_{ij}^{\mu}$ . In general,  $A_{\mu=k}(g)$  is an inertial behavior in the adaptive evolutionary field in quantum genotype analogy with parallel transport of  $(d, r, p)$ -moving frame in fiber space of tangent of the manifold. It is an inertial behavior in the frame of reference with the left translation of hydrogen bonding between [A]-[U] and [C]-[G] in viral quantum genotype  $g_{ij}^r$  of S protein. In this case,  $\Gamma_{ij}^k(g) = A_{\mu} = V^{ext}(r)$  for van Der Waals force field  $V^{ext}(r) = \frac{1}{r^6}$  was used. By the fact that the inversed expression contains six roots, the quantum genotype is a source of localized Lennard Jones potential (Jones, 1924) along the curvature of protein folding in the docking system of protein-protein interaction with six hidden transition states.

Let the coordinate transform  $g_{ij}$  be a cocycle of quantum genotype. The coordinate system is on the surface of twistor in a four-dimensional manifold represented the behavior field in genetic code as a source of evolution to exchange the hydrogen bonding between configuration spaces of the viral RNA state  $r_i, r_j \in \{[A], [T], [C], [G]\}$  in two charts of open set in the tangent of the manifold of the co-living organism. The connection  $\Gamma_{ij}^k(g)$ ,

$$\Gamma_{ij}^{\mu}(g) = \frac{1}{2} g^{\mu\lambda} (\partial_j g_{il} + \partial_i g_{lj} - \partial_l g_{ji}). \quad (17)$$

The connection localized between three types of changing fields in each cocycle along with the fiber space of gauge group action  $g_{ij} \in G$  in the tangent of the manifold as a source of Lie transport of support vector in Poisson bracket for parasitism state between SARS-CoV-2's (+) mRNA and host cell synthesis of (-) mRNA prior

to the transition to (+) mRNA again as the next generation of new synthesis of viral mRNA, and S protein from host cell tRNA.

We use Lagrangian,  $L_{Virus}^{Type-II}(r, r')$  for the system of viral (+)-mRNA- host cell (-) mRNA interaction with underlying genotype written in terms of cocycle  $g_{ij}$  of Jacobian transform of the coordinate-system in viral plus strand-RNA of SARS-CoV-2,  $\langle r \rangle$ , with quantum genotype  $g^r$  and host cell minus strand of discontinuous transcription,  $|r' \rangle$  for this internal reproduction process between SAS-CoV-2 and host cell. It is a change of coordinate system underlying plus and minus-RNA sequence of quantum genotype  $g^r$  between  $\langle r|r' \rangle := g^r \langle r, r' \rangle$ . Let  $X = S^3$  be a manifold of a living organism with the localized coordinate system of the spinor field in genetic code along the fiber space of protein state  $x = (r, p(r), d(r)) \in X, L_{Virus}^{Type-II}: T_x X \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ .

The viral replication process in the host cell is the analogy with the flow of coordinate system by the transformation of alphabet code in four-dimensional space to Minkowski space with the extra dimension of the biological clock in each  $(d, r, p)$ -layer. The changing frame of inertial behavior field in genetic code of living organisms generate all behavior fields by six differential two forms in  $\Omega^2(X)$ . We denoted these six components by  $(A^d, A^r, A^p, A^{d*}, A^{r*}, A^{p*})$ . These connections induce adjoint cofunctors of the interaction between six types of behavior field which formed an open set of sheave cocycles in Groethendieck cohomology in biology for a source of the canonical coordinate of quantum genotypes in all living organisms,  $M = \{\mathcal{O}_{A^d}, \mathcal{O}_{A^r}, \mathcal{O}_{A^p}, \mathcal{O}_{A^{d*}}, \mathcal{O}_{A^{r*}}, \mathcal{O}_{A^{p*}}\}$ . The Groethendieck topology for measuring the distance in the six coordinates system along the parallel transport in biomolecule is a discrete topology in Kolmogorov space with power set  $P(M), n(P(M)) = 2^6$ , as a source of 64 transition states in the codon. The elements of  $M$  are pairs of localized hydrogen bonding between two biomolecules with left and right chiral supersymmetry. According to mirror symmetry in the extra dimension, the observation can occur only in one direction. Therefore, we observe only by using the Hodge star operator between three differential forms over six-dimensional manifold  $M, *: \Omega^3(M) \rightarrow \Omega^{6-3}(M)$ . This star product is an origin of anti self-dual, AdS form in the 20 amino acids of protein state since the total number of differential three form over six-dimensional manifold is equal to  $6C_3 = 20$ , the number of 20 amino acids in nature by biogenesis of 64 codons. The least action of the geodesic path over 64 genetic codes is a new definition of Chern-Simons current over behavior field,

$$A := A_{\mu=k}, F = dA = \text{curl}(A), *F = -F, S_{CS} = \frac{k}{4\pi} \int \text{tr}(A \wedge dA + \frac{2}{3} A \wedge A \wedge A), \quad (18)$$

where  $k = 1, 2, \dots, 64$ . Let the least action defines the curvature of L-amino acids  $S_{CS}$  over the momentum space of protein state  $p = \partial A_{\mu}$  and spatial space of RNA  $r = A_{\mu}$ , where  $A_{\mu}$  is a behavior field in genetic code with inertial behavior  $\beta_{i,i=1,\dots,20}$ , for 20 L-amino acids.

#### Definition 4

The Yang-Mills field in genetic code is an induced field by using curl operator over a connection,

$$F_{\mu\nu} = \partial_{\mu} A_{\nu} - \partial_{\nu} A_{\mu}. \quad (19)$$

The dual behavior field in AdS is  $*F_{\mu\nu} = -F^{\mu\nu}$ , and  $\langle F * F \rangle = -F^2$ , where  $A_{\mu}$  is a connection or intrinsic gravitational field from the spacetime curvature effect in the protein-protein interacting system.

#### Algorithm to plot the curvature in (d,r,p)-Layer Coordinate System

The Chern-Simons current in genetic code is different from Chern-Simons current in physics due to the underlying manifold of a living organism  $X_t = S^3 = \mathbb{R}_1^4 = H = C \times C$ .

#### Definition 5

The Chern-Simons current in genetic code  $J^{\mu}$  is defined by a change of the curvature of the interaction Yang-Mills fields between the SARS-CoV-2 S protein and host cell receptor protein or antibody,

$$J^{\mu} = -\frac{1}{4} \langle F_{\mu\nu} * F^{\mu\nu} \rangle = \frac{\partial S_{CS}}{\partial A} = \frac{\partial}{\partial A} \frac{k}{4\pi} \int \text{tr}(A \wedge dA + \frac{2}{3} A \wedge A \wedge A), \quad (20)$$

where  $F_{\mu\nu}$  is the Yang-Mills behavior field curvature in proteins of the SARS-CoV-2 under the cocycle of quantum genotype  $g_{ij}$  of the viral RNA state. The quantity of  $F^{\mu\nu}$  measures the curvature change between

the group action of the cocycle of the quantum genotype  $g^{ij}$  of the behavior field in the underlying DNA sequence of the host cell receptor protein.

The explicit form with transition state  $k$  is written by

$$J^{\mu=k} = \sqrt{\frac{2}{k+2}} \sin\left(\frac{\pi}{k+2}\right), \quad k = 1, \dots, 64. \quad (21)$$

The resulting computation of all propagators in 64 transitions in the codon table for plotting the curvature directly from the average of those values into 20 amino acids is shown in Table 1 (Capozziello et al., 2018).

### Dataset

All samples downloaded from GISAID were used to study the genetic variation between unmutated S protein in S clade of SARS-CoV-2 and mutated S protein in nine variants of concerns. In this research, the empirical analysis was employed on the two data groups with 774 selected samples. The first group was the biological time series of chosen genetic code randomly with only one sample of sequence of about 1273 amino acids in S protein per one submission day from 17 January 2021 to 30 June 2021 within 504 samples. The second group of samples was selected 30 samples per a variant of concerns. The list of nine variants is Delta, Gamma, Beta, Alpha, Mu, Iota, Lambda, Kappa, and Eta within 270 samples of selected S protein randomly. We have 774 samples of S protein from two different groups of the study.

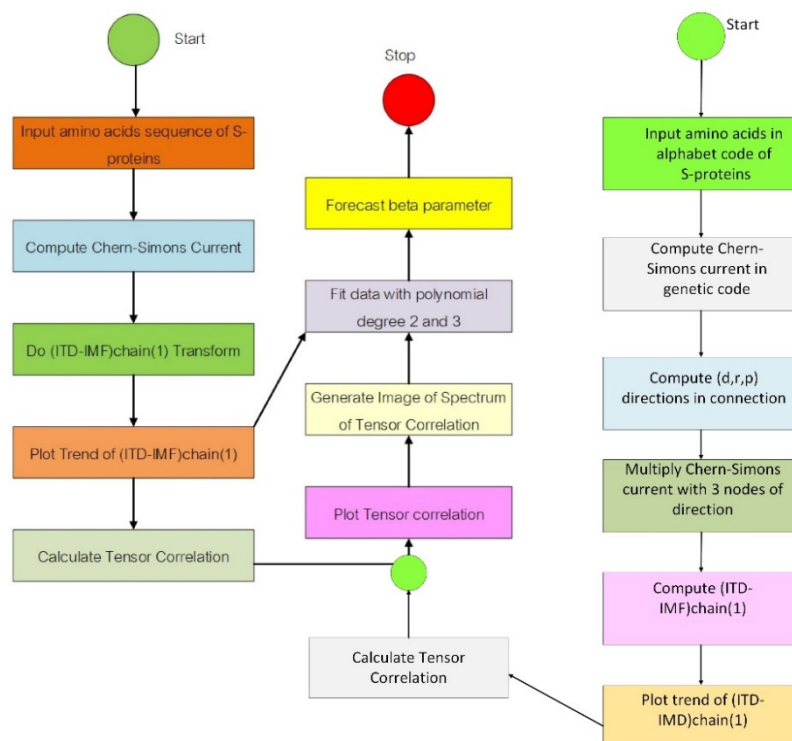
### Results

The new algorithm of the Chern-Simons current was performed over all the samples in the dataset yielded two main results. The resulted running with the first type of algorithm of Chern-Simons current for computing the time series of quantum genotype for detecting the mutations within the two-year samples. The second algorithm was Chen-Simons current in the physiology of time series in which performed over the second group of S protein with nine variants concerned for the classification of mutated amino acids. This result was used to forecast the mutation of variants in S-protein with a support vector machine between nine variants and S clade. The details of both two algorithms are shown in Figure 2. The new method of plotting the genetic code using the Chern-Simons current was applied to classify the similarity of the shape of the wave function of the S protein of samples. The similar wave function shapes imply that the quantum biological states in the genetic code have similar transition states. The Chern-Simons current in the genetic code of the SARS-CoV-2 S-protein was computed to measure quantum genotype by fitting the parameters in the parabola curve. The quantum genotype in the Chern-Simons current of 30 samples in nine variants of concern was calculated. After that, we evaluated the fitting regression parameter of the plot in the trend of the Chern-Simons current with quadratic and cubic polynomials and measured the difference between the regression coefficients to allow a quantitative measurement of the transition state from the mutated and non-mutated amino acids in different variants. It was a complementary approach to the qualitative sequence alignment method with input parameters for the machine learning algorithm. The computed regression coefficients  $\beta_1, \beta_2$  and  $\beta_3$  from the equation  $y_t = \beta_1 x_t^2 + \beta_2 x_t + \beta_3$  of  $\beta$  in the genetic code of the S proteins from 504 samples shown in the histogram of Figure 3. The fitting parameters are summarized in Tables S1-S6 in Supporting Information. The spectrum image in the mutation of amino acids 480-520 in January 2021 shows that amino acids 484, 485, and 486 are more yellow than others (Figure 4). These locations in RBD offer more evolution than other amino acids in periods of 1-31 January 2021. Moreover, we observed from the image pattern in each amino acid in RBD that Mu is similar to Lambda as seen from the pattern of blue color (Figure 5).

### The performance of prediction of mutated amino acids in S protein

The calculations of the quantum genotype in mutated S protein of nine variants were performed by using the second algorithm of Chern-Simons current in physiology for 270 samples and fitting with parameters in quadratic equation  $y_t = \beta_1 x_t^2 + \beta_2 x_t + \beta_3$ .

After that, the classification between mutated and non-mutated amino acids was considered using support vector classification with a radial-based kernel and the input of two classes with two factors. These two factors are the coefficient  $\beta_1$  and  $\beta_3$ . The first class was assigned the value of 1 for the mutated amino acid. The second class was given -1 for non-mutated amino acid in S clade. The results of the classification of the whole sample of mutated S protein between Delta variants and other variants with 30 selected samples are the coefficients  $\beta_2$  and  $\beta_3$  in Figure S1 in supporting information. The forecast of mutated and non-mutated amino acids in between nine variants and S clade is shown in the scattering plot with support vector, and the separated plane is illustrated in Figure S2 in supporting information. The machine learning algorithm in this research supports vector classification with radial base function as the chosen kernel for training with 80% of random amino acids 401-520 in S clade and variants of concern. Training the known samples is a support vector with the separated plane (Figure S2 in supporting information) for classifying the unknown sample. The performance of forecasting of unknown test sample for 120 amino acids in residue numbers 401-520 are given in Tables S7-S9 in supporting Information with percentage of correction counting from 120 amino acids in unknown test samples. The results are as follows: 75% for S (non-mutated amino acids) 80% for Delta variant, 91.66% for Alpha variant, 79.16% for Beta, 79.16% for Gamma variant, 81.67% for Mu variant, 83.33% for Eta variant, 86.67% for Kappa variant, 80.83% for Iota variant, and 86.67% for Lambda variant. The quantitative measurement of quantum genotype in each mutated amino acid in nine variants is focused. In our 270 samples, 39 mutated amino acids are detected in the nine variants. The computation result was comparative with non-mutated amino acids in S clade (Table 1). This procedure was successfully applied to detect and classify the mutation between unknown and known variants. The difference between these two quantities implies the changing of curvature in S protein folding in each amino acid in quantum biology.



**Figure 2.** The flowchart of an algorithm for the plot in (d,r,p) coordinate system. (Left) The first type of algorithm of Chern-simons current in genetic code, and (right) the new algorithm of physiology in biological time series data for the measurement of quantum genotype

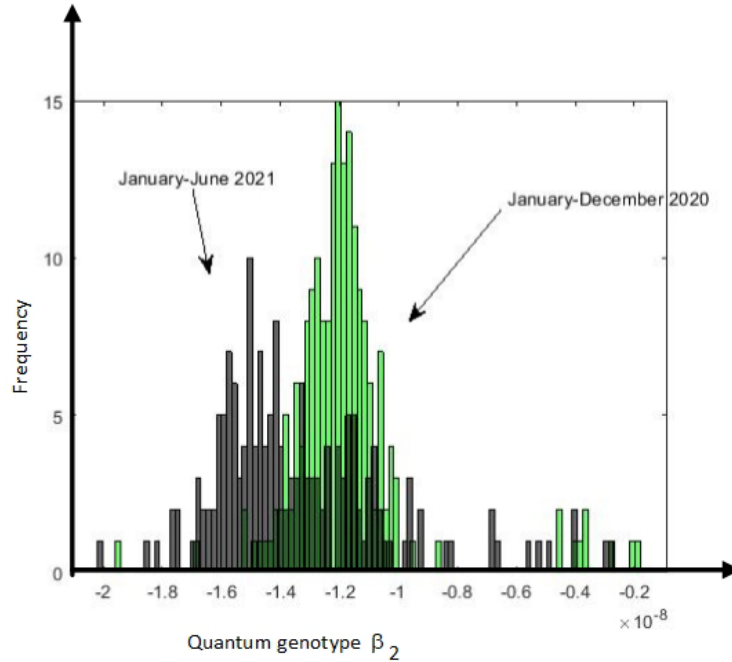


Figure 3. The histogram of quantum genotypes of S protein in 2020-2021. There is a value shift between January-June 2021 and January-December 2020 in the direction of decreased value.

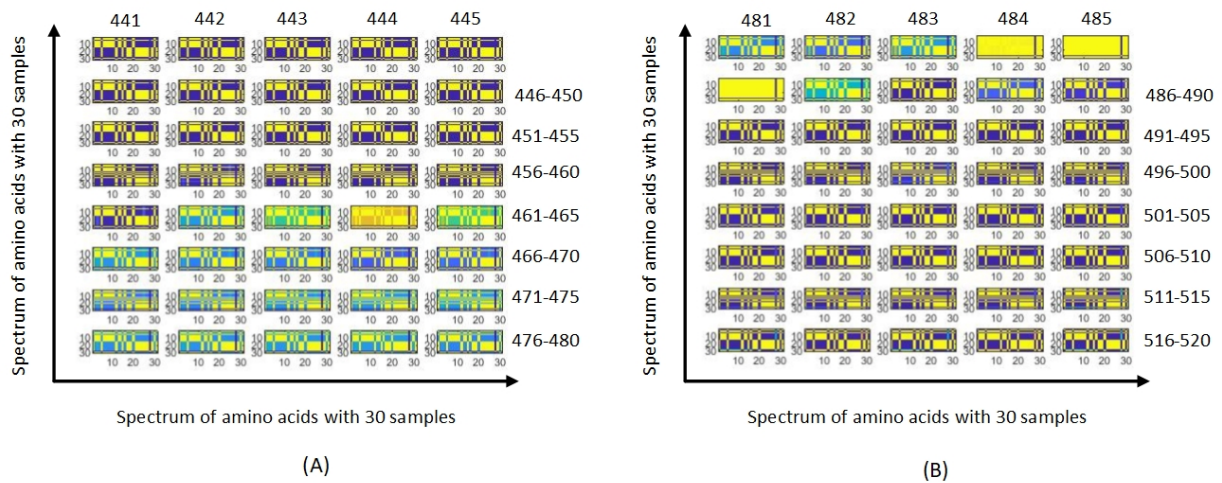
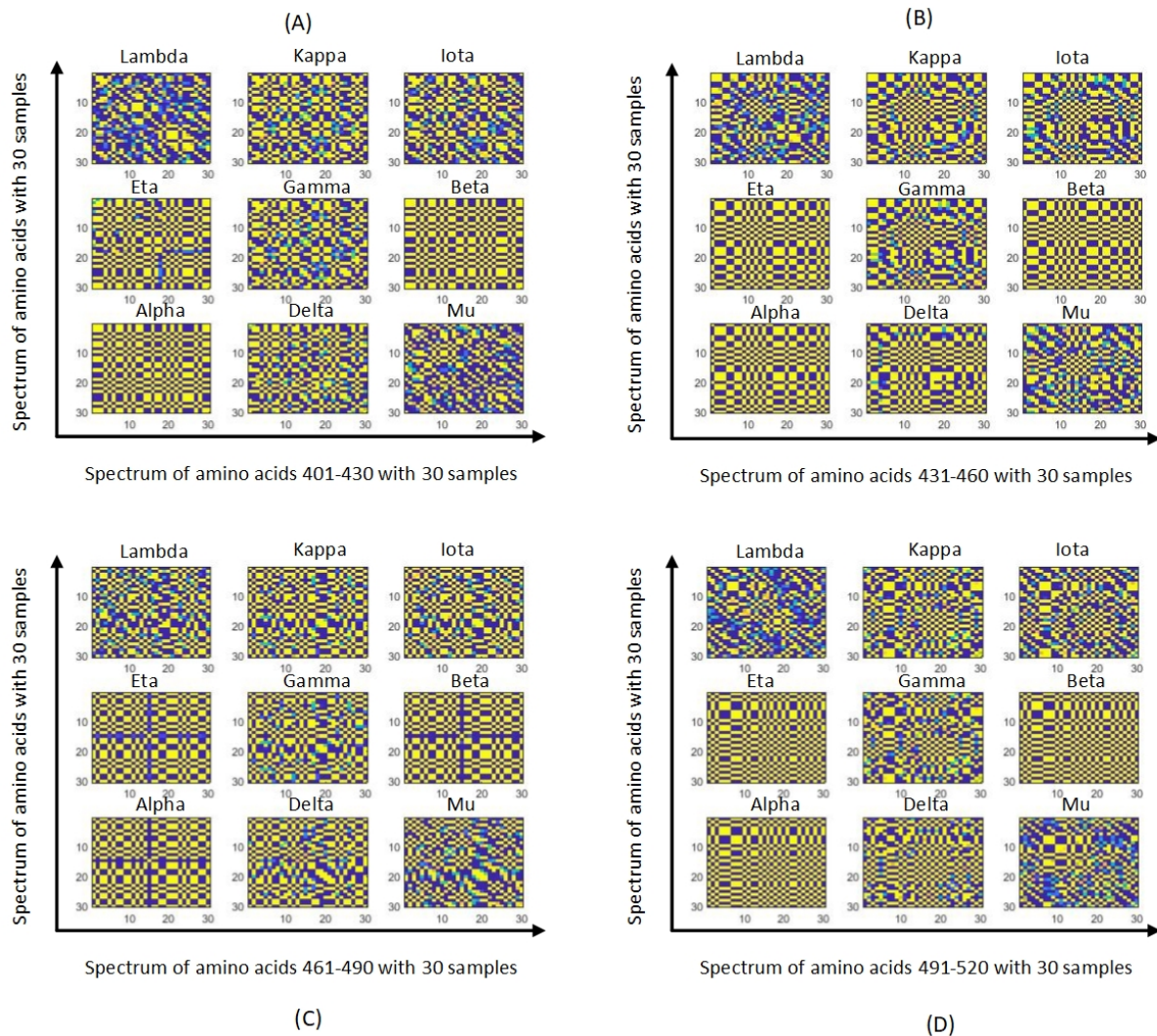


Figure 4. The image of the spectrum of tensor correlation of  $(ITD - IMF)chain(1)$  of S protein in 31 samples of 1-31 January 2021. The image of each amino acid from left to right and up to down for amino acids 441-480 (A) and 481-520 (B)

**Table 1.** All mutated amino acids in S proteins from different variants of concern. The measurement of quantum genotype between mutated and non-mutated residue is also shown.

No	Amino Acids	Variant	$\beta_s$	$\beta_{\text{variant}}$	$\beta_{\text{diff}}$
1	L5F	Iota	-4.2572	4.2359	8.4931
2	L18F	Gamma	0.5784	3.6582	3.0798
3	T19R	Delta	0.0616	0.0568	0.0048
4	T20N	Delta	0.4536	0.0172	0.4382
5	P26S	Gamma	-0.1726	0.1193	0.2919
6	Q52R	Eta	-0.0112	0.0743	0.0855
7	Q75S, G75V	Iota, Lambda	0.0385	1.3523	1.3143
8	T76I	Lambda	0.2344	0.5273	0.2929
9	D80A	Beta	-0.1781	0.2618	0.4399
10	T95I	Iota, Mu	-3.8385	0.1659	4.0044
11	D138Y	Gamma	0.1707	0.0489	0.1218
12	Y144T	Mu	-0.2014	0.0587	0.2601
13	E154K	Kappa	0.1172	-0.0223	0.0949
14	E156G	Delta	0.0293	0.0309	0.0016
15	R190S	Gamma	0.4232	0.0502	0.3730
16	D215G	Beta	-0.0217	-0.0223	0.0006
17	D253N, D253G	Lambda, Iota	0.7827	-0.0195	0.8022
18	R346K	Mu	0.1344	0.2434	0.1090
19	K417T, K417N	Gamma, Beta	-2.4618	0.0567	2.5185
20	L452Q, L452R	Lambda, Delta, Kappa	-0.0412	0.1154	0.1566
21	T478K	Delta	0.2191	0.0015	0.2176
22	E484K, E484Q	Kappa, Eta, Beta, Iota, Mu	0.0948	0.1294	0.0346
23	F490S	Lambda	-0.0365	0.1161	0.1526
24	N501Y	Alpha, Gamma, Mu, Eta	-2.6878	0.0859	2.7737
25	A570D	Alpha	0.1553	0.0705	0.0848
26	D614G	All variants	-0.0400	0.0903	0.1303
27	H655Y	Gamma	0.1729	0.3125	0.1396
28	Q675H	Lambda	-0.1431	0.1101	0.2532
29	Q677H	Eta	-0.2581	-0.0584	0.1997
30	P681R	Mu, Kappa, Gamma, Alpha, Delta	0.9368	0.0658	0.8710
31	A701V	Iota, Beta	0.2154	1.1109	0.8955
32	T859N	Lambda	0.0224	-0.0509	0.0733
33	F888L	Eta	-0.2248	0.0049	0.2297
34	D950N	Mu, Delta	0.7321	-0.0727	0.8048
35	S982A	Alpha	0.3482	0.0296	0.3186
36	T1027I	Kappa	0.1537	0.0298	0.1239
37	H1101D	Delta	0.6623	0.0076	0.6547
38	V1176F	Gamma	1.8372	4.0715	2.2343
39	D1118H	Alpha	0.3570	-0.0625	0.4195





**Figure 5.** The image of the spectrum of tensor correlation of (ITD-IMF)chain(1) of S protein in nine variants with amino acids between 401 and 520 in panel (A)-(D). The nine spectrum images in each panel from left to right and up to down are Lambda, Kappa, Iota, Eta, Gamma, Beta, Alpha, Delta, and Mu. The blue color of the spectrum means few mutations, and the yellow color represents more mutations. The size of the image is 30 means 30 selected samples. The more irregular pattern in the image means more mutation exists among the 30 samples in each variant.

## Discussion

First, we notice from the shape of the histogram of quantum genotype in Figure 3; there is a shift of mean value of the highest peak of the frequency to the more left side of the histogram within one year from 2020 to 2021. The evolutionary path implies that the coming new variant of concern in the year 2022 will locate the left shift of the frequency of quantum genotype more than the location of the highest peak of the year 2021. Secondly, in Figure S1 in supporting information, we notice from the shape of scattering points that the evolution of Eta, Iota, and Lambda are closed to each other. Secondly, Mu is more closed to Kappa and Gamma. Finally, in the performance measurement of the prediction of unknown amino acids in nine variants, the average performance is about 80% which is less than the previous study with the alignment method (Ali et al., 2021). On the other hand, the prediction performances were calculated from unknown 120 amino acids in the S protein of nine variants that cover all mutated amino acids in the RBD domain. The shade areas with pink color in panel(A)-(I) on Figure S2 in supporting information indicate the boundary of unmutated amino acids with S-clade. Therefore, we use the result of the separated plane of these boundaries to classify the support vectors for predicting the unknown samples with the assigned value to 1 in the pink area and -1 for

outside. The -1 means the behavior field spin down with the adaptive behavior of mutated amino acids. The other work (Kumar et al., 2021) did not show the separated plane of support vector machine within the area of quantum genotype. Their performance was calculated from the classification of mutation from whole-genome in about 1273 amino acids in S protein between each variant counted from principle component of dimension reduction from 1273 dimensional vector space span by alphabets in 1273 amino acids. For this reason, the result of their prediction will be higher than our result, but no meaning is involved with quantum genotype like in our work.

## Conclusion

This paper proposes a novel approach in quantitative measurement of quantum genotype in biology to plot the genetic code of various selected samples of S protein from SARS-CoV-2 variants of concern in new quantities, referred to as the (d, r, p)-layer coordinate system. The result of the quantum genotype computation in this work was performed in comparison with non-mutated S protein and mutated S-protein and observed the evolutionary behavior field according to demonstrate the new theoretical investigation approach with empirical for quantitative result measurement of detecting the changing curvature in S protein folding in each amino acid in the new quantum biology approach based on support vector classification. The performance of forecasting of unknown test samples for 120 amino acids between amino acid numbers 401 and 520 was presented in this work with good results. The result of the computation was performed in comparison with non-mutated amino acids in the S clade. This result can be applied to detect and classify mutations between unknown and known variants. The application of this research work can be used to detect the new incoming novel variant of SARS-CoV-2 in the future. If we update the input data, we can expand the size of samples and input the new incoming future variants of concern into account more S protein.

## Supporting Information

Lists of the following Tables and Figures are in the supporting Information:

-Tables S1-S6 show the result of the quantum genotype of Alpha and Delta variants.

-Tables S7-S9 show the result of forecasting.

-Figures S1-S2 show the results of scattering plot between 9 variants and results of support vector with hyperplane in support vector classification.

For more information on accession number of time series of genetic code in S protein in this research is available for download at <http://sproteins.info>

## Acknowledgments

Kabin Kanjamapornkul (K.K.) thanks to Chulalongkorn University Graduate Scholarship to Commemorate the 72<sup>nd</sup> Anniversary of his majesty King Bhumibol Adulyadej, and the 90th Anniversary of Chulalongkorn University Fund (Ratchadaphiseksomphot). K.K., Thanyada Rungrotmongkol (T.R.), and Supot Hannongbua (S.H.) are grateful for computational resources supported by NSTDA Supercomputer Center (ThaiSC) for this work.

## References

- Ali, S., Sahoo, B., Ullah, N., Zelikovskiy A. and Patterson, M. (2021). A *k*-mer based approach for SARS-CoV-2 variant identification. *Bioinformatics Research and Applications. Lecture Notes in Computer Science*, 13064, 153-16.
- Andersen, K.G. Rambaut, A., Lipkin W. I., Holmes E.C. and Garry R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26(4), 450-452.
- Anshel, Anshel, M. and Goldfeld, D. (1999). An algebraic method for public-key cryptography. *Mathematical Research Letters*, 6(3), 287-291.



- Capozziello, S., Pincak, R., Kanjamapornkul, K. and Saridakis, E.N. (2018). Chern-Simons current in systems of DNA-RNA transcriptions. **Annalen der Physik**, 530(4), 1700271.
- Capozziello, S., Pincak, R. and Kanjamapornkul, K. (2017). Anomaly on superspace of time series data. **Zeitschrift fuer Naturforschung A**, 72(12), 1077-1091.
- Jones J. E. (1924). On the determination of molecular fields. -II. From the equation of state of a gas. **Proceedings of the Royal Society A**, 106(738), 463-477.
- Kanjamapornkul, K., Rongrotmongkol, T. and Hannongbua, S. (2021). Frenet-Serret formulas for moving frame with (d,r,p)-layer in protein folding. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 38-50.
- Kanjamapornkul, K. , Pincak R., Chunithpaisan, S. and Bartos, E. (2017). Support spinor machine. **Digital Signal Processing**, 70, 59-72.
- Kanjamapornkul, K. and Pincak, R. (2016). Kolmogorov space in time series data. **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 39(15), 4463-4483.
- Kumar, S., Thambiraja, TS., Karuppanan, K. and Subramaniam, G. (2021). Omicron and Delta variant of SARS-CoV-2: A comparative computational study of spike protein. **Journal of Medical Virology**, 94(4),1641-1649.
- Li, F. (2016). Structure, Function, and Evolution of Coronavirus Spike Proteins. **Annual Review of Virology**, 3, 237-261.
- Mlcochova, S., Kemp, S.A., Dhar, M.S.et al. (2021). SARS-CoV-2 B.1.6.17.2 Delta variant replication and immune evasion. **Nature**, 599, 114-119.
- Pincak, R., Kanjamapornkul, K. and Bartos, E. (2020a). Cohomology theory for biological time series **Mathematical Methods in the Applied Sciences**, 43(2), 552-579.
- Pincak, R., Kanjamapornkul, K. and Bartos, E. (2020b). A theoretical investigation on the predictability of genetic patterns. **Chemical Physics**, 535, 110764.
- Pincak, R., Kanjamapornkul, K. and Bartos, E (2019). Forecasting Laurent Polynomial in the Chern-Simons Current of V3 Loop Time Series. **Annalen der Physik**, 531(7),1800375.
- Sathipati, S.Y. Shukla, S.K. and Ho, S.Y. (2022). Tracking the amino acid changes of spike proteins across diverse host species of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2. **iScience**, 25, 103560.
- Schoeman, D. and Fielding, B.C. (2019). Coronavirus envelope protein: Current knowledge. **Virology Journal**, 16(1), 69.

บทความวิจัย

## การปรับเปลี่ยนสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์ไอโวลอย $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$ ด้วยการคำนวณไทด์บายติงในระดับอะตอม

วริศรา ทาจิตร<sup>1</sup> และ วรศักดิ์ สุขบท<sup>1\*</sup><sup>1</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*Email: w.sukkabot@gmail.com

รับบทความ: 2 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 18 ธันวาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 29 มกราคม 2565

### บทคัดย่อ

สมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์และแสงของผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์ไอโวลอย  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  ที่มีพารามิเตอร์ที่สอดคล้องกับการทดลองได้รับการศึกษาด้วยการประมาณค่าผลึกเสมือน (Virtual crystal approximation) ทฤษฎีไทด์บายติง (Tight-binding theory) และวิธีอันตรกิริยากำหนดค่า (Configuration interaction approach) เมื่อค่า  $x$  และ  $y$  ลดลง ช่องว่างพลังงานลดลง เนื่องจากช่องว่างพลังงานของ HgS ที่มีค่าน้อยมีอิทธิพลเพิ่มขึ้นในผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์ไอโวลอย  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  เมื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณและผลการทดลองของช่องว่างพลังงาน พบว่า มีความสอดคล้องกัน ประสิทธิภาพทางแสงเพิ่มขึ้นเมื่อค่า  $x$  และ  $y$  ลดลง และเส้นผ่าศูนย์กลางของผลึกนาโนเพิ่มขึ้น การแบ่งแยกของอิเล็กตรอนแปรผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางแต่แปรผันตรงกับปริมาณการเจือเนื่องจากอันตรกิริยาแบบเอ็กเชิเจอร์ระหว่างอิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole exchange interaction) เมื่อพิจารณากรณีสัดส่วนโดยโมลของ Hg และ S จำนวนมาก การแยกโครงสร้างที่ดีของเอ็กชิตอนจะลดลง ส่งผลให้เป็นตัวแทนที่ดีในการผลิตสถานะพัวพันทางแสง (Entangled photon pair) การเลื่อนไปของความยาวคลื่นแบบสโตกส์ (Stokes shift) เพิ่มขึ้นในกรณีสัดส่วนโดยโมลของ Hg และ S จำนวนมาก ซึ่งสามารถนำไปประดิษฐ์อุปกรณ์กรองทางแสง งานวิจัยนี้ยืนยันว่า ผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์ไอโวลอย  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  เป็นสารที่น่าสนใจในการศึกษาสมบัติพื้นฐานและการประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีทางควอนตัม

**คำสำคัญ:** ทฤษฎีไทด์บายติง  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  การแยกโครงสร้างที่ดี ช่องว่างพลังงาน ผลึกนาโน

### อ้างอิงบทความนี้

วริศรา ทาจิตร และวรศักดิ์ สุขบท. (2565). การปรับเปลี่ยนสมบัติเชิงโครงสร้างและสมบัติเชิงแสงของผลึกนาโนชนิดคอปเปอร์ไอโวลอย  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  ด้วยการคำนวณไทด์บายติงในระดับอะตอม. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 72-84. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.7>

Research Article

## Structural and optical manipulation of quaternary-alloyed $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$ nanocrystals based on atomistic tight-binding theory

Waritsara Thajitr and Worasak Sukkabot\*

Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand, 34190

\*Email: w.sukkabot@gmail.com

Received <2 November 2021>; Revised <18 December 2021>; Accepted <29 January 2022>

### Abstract

The fundamental electronic and optical properties of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals with structural parameters from experimental results are investigated by a virtual crystal approximation (VCA), an atomistic tight-binding description (TB) and configuration interaction approach (CI). With the reducing  $x$  and  $y$  contents, the optical band gaps are decreased because of the low HgS band gap promoted in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals. Numerical and experimental optical band gaps appear to agree quantitatively and qualitatively. The optical efficiency is pronounced with the declining elemental compositions ( $x$  and  $y$ ) and increasing diameters. The splittings of excitons are inversely comparative to the diameters, whereas those are directly relational to the alloy compositions as explained by the results of the exchange interaction between electron and hole. On the Hg- and S-rich side, the exciton fine structure splitting is reduced, thus being a good candidate for efficient generation of entangled photon pair. The Stokes shift is enhanced in the Zn- and Se-rich side, introducing the excellent pathway for the optical filters. This work confirms that  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals are very interesting systems, not only for fundamental studies but also for future applications of quantum technology.

**Keywords:** Tight-binding theory,  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$ , fine structure splitting, band gap, nanocrystals

#### Cite this article:

Thajitr, W. and Sukkabot, W. (2022). Structural and optical manipulation of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals based on atomistic tight-binding theory. *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 72-84. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.7>

## 1. Introduction

Chemical semiconductor nanocrystals have outstanding optoelectronic properties that have been readily tuned through the manipulation of nanocrystal size, shape and surface passivation. Semiconductor nanocrystals smaller than Bohr exciton radius, termed quantum dots (QDs), display size-dependent absorption and emission. The potential applications of nanocrystals have been established in various ways including the utilization as bioimaging, biosensing, light-emitting diodes, photovoltaic devices, lasers and quantum computing devices. (Qi and Gao, 2008; Smith and Nie, 2009; Zrazhevskiy and Gao, 2009; Klimov, et al., 2000; Sun et al., 2007) On top of size and shape control with corresponding spectral tuning, device applications of nanocrystals require accurate control over the electronic alloy. II-VI ternary-alloyed nanocrystals ( $A_xB_{1-x}C$ ) such as CdSeTe, ZnCdSe ZnCdS and CdSSe have been synthesized with the aim to manipulate the structural and optical properties of semiconductors by means of alloy contents  $x$ . To overcome the limitation and extend the sensitivity of the alloy tuning, II-VI quaternary-alloyed nanocrystals ( $A_xB_{1-x}C_yD_{1-y}$ ) with  $x$  and  $y$  tunable compositions are introduced. Mercury chalcogenide ( $HgX$ ,  $X = S, Se, Te$ ) nanocrystals are a rich system for the exploration of electronic alloy. These nanostructures have been utilized to create intra-band photodetectors with narrow spectral response in the mid- infrared region (Deng and Guyot-Sionnest, 2016; Shen, et al., 2017; Shen and Guyot-Sionnest, 2016), thus leading to be the scope of interest. For instance, K. Hara et al. (Hara, et al., 1995) synthesized the epitaxial layers of wide-band-gap  $Zn_{1-x}Hg_xSe$  ( $x=0.0-0.14$ ) grown on GaAs substrates. The visible spectral region from blue to red was controlled by changing Hg contents between 0 and 0.06. Using the molecular beam epitaxy, the synthesis of quaternary  $Zn_{1-x}Hg_xS_ySe_{1-y}$  ( $x= 0-0.03$ ,  $y = 0-0.4$ ) alloy layers coated on GaAs substrates was reported by K. Hara et al. (Hara, et al., 1996; Hara, et al., 1998) These alloy layers might be utilized for practical blue-green laser applications. The synthesis of CdS,  $Zn_yCd_{1-y}S$ , and  $Hg_yCd_{1-y}S$  nanoparticles with size- and composition-dependent optical features was carried out by Brian A. Korgel (Korgel and Monbouquette, 2000) These nanostructures showed the well-defined optical spectra. The short-range principle of the charge carrier scattering processes on the various lattice defects in the ZnCdTe, ZnHgSe and ZnHgTe solid solutions was informed by Orest P. Malyk (Malyk, 2009). A good agreement between theory and experimental data in the investigated temperature range was presented. Guo-Yu Lan et al. (Lan, et al., 2010) described the synthesis of highly water-soluble  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals in aqueous solution.  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quantum dots emitted wavelengths ranging from the UV to the near-IR region (405-760 nm). According to the previous literatures, there were widespread experimental studies, whereas there is no theoretical work. Here,  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals are used as the simulation candidates.

The key principle behind this new work is to understand the structural and optical properties of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals and then provide the detailed information for the potential applications. In addition, we focus my attention on the stokes shift and excitonic fine structure splitting of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals. According to the previous investigations, there has been neither theoretical nor experimental research studied in this field. Computations of natural properties of innovative nanostructures must offer atomistic accuracy with an available computational complication. In this work a numerical answer to this problem with the essentials of the atomistic modelling is presented. The atomistic tight-binding method with the inclusion of five orbitals  $sp^3s^*$  per atom, the first nearest neighbouring interaction and spin-orbit coupling (Vogl, et al., 1983) is used as the numerical model. Under the alloyed concentrations ( $x$  and  $y$ ) in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals, the revised version of the virtual crystal approximation (VCA) (Garcia, et al., 2000) in the presence of the empirical bowing parameters is considered. This technique has been used to successfully study the structural and optical properties of alloy nanostructures (Mourad and Czycholl, 2010; Nestoklon, et al., 2016; Boykin, 2009; Boykin, et al., 2007). Here, the numerical results of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals with the experimentally synthesized compositions ( $x$  and  $y$ ) and diameters are used as a demonstration.

By means of an atomistic tight-binding and configuration interaction technique, the paper provides the investigations on the single particle spectra and excitonic splitting of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals. The aim is to identify and to analyze size and composition dependence on the electronic structures, optical properties and excitonic splitting in such alloy nanoclusters. The paper is organized as follows. In section 2, the computational methods are described by the step-by-step solution to this problem. In section 3, the computational results for the electronic structures of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals computed with this model are compared with the experimental values. The tight-binding band gaps are in a qualitative agreement with synthesized data. In the same section, we also show the excitonic splittings of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals under several structural parameters. These splittings are of fundamental importance for potential applications in optoelectronics and quantum technology. Finally in section 4, we finish with the conclusions.

## 2. Theory and Methodology

To achieve this objective, atomistic tight-binding method is implemented and utilized. This approach origins from the Slater-Koster scheme (Slater and Koster, 1954). Tight-binding matrix elements are described by several empirical parameters that can fit and provide the good bulk properties for instance effective masses and band gaps in the comparison with density functional theory and experiments. The tight-binding method applied to a nanocluster problem generates a Hamiltonian matrix with dimensions extending to  $10^3$ . Due to the advantage in the nearest-neighbouring approximation, the sparse matrix is obtained. For selected single particle spectra closed to energy band gap, the eigenvalue problem is solved efficiently using PReconditioned Iterative MultiMethod Eigensolver (PRIMME) (Stathopoulos and McCombs, 2010; Wu, et al., 2017). Using the experimental parameters (Lan, et al., 2010), we consider the  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals with zinc-blende structure. For instance,  $Zn_{0.98}Hg_{0.02}Se_{0.64}S_{0.36}$ ,  $Zn_{0.96}Hg_{0.04}Se_{0.60}S_{0.40}$ ,  $Zn_{0.90}Hg_{0.10}Se_{0.56}S_{0.44}$  and  $Zn_{0.88}Hg_{0.12}Se_{0.44}S_{0.56}$  nanocrystals are used as the computational candidates labelled as Sample 1 - Sample 4, respectively. For the surface passivation, the energy shift is terminated at the surface as described by S. Lee et al. (Lee, et al., 2004) Once the atomic positions are obtained, we utilize them to calculate single particle spectra by the empirical tight-binding model accounting for spin-orbit coupling and nearest-neighbouring interactions. In the next step of calculation, the single particle states relate to the quantities treated as empirical parameters. An atomic orbitals are in the linear combination forming the tight-binding wave functions given by:

$$Y = \sum_{\mathbf{R}\alpha} C_{\mathbf{R}\alpha}^{\nu} |^{\nu}\mathbf{R}\alpha\rangle$$

All atomic positions  $\mathbf{R}$  are termed by the summation,  $\alpha$  is the (spin) orbital index and  $C_{\mathbf{R}\alpha}^{\nu}$  is the eigenfunction in the  $|^{\nu}\mathbf{R}\alpha\rangle$  basis. Using the language of the second quantization, the tight binding Hamiltonian for a nanocrystal consisting of  $N$  atoms is given as:

$$H_{TB} = \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^{10} \varepsilon_{i\alpha} c_{i\alpha}^{\dagger} c_{i\alpha} + \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^{10} \sum_{\alpha'=1}^{10} \lambda_{i\alpha\alpha'} c_{i\alpha}^{\dagger} c_{i\alpha'} + \sum_{i=1}^N \sum_{i'=1}^N \sum_{\alpha=1}^{10} \sum_{\alpha'=1}^{10} t_{i\alpha,i'\alpha'} c_{i\alpha}^{\dagger} c_{i'\alpha'}$$

For the demonstration,  $c_{i\alpha}^{\dagger}$  ( $c_{i\alpha}$ ) is the creation (annihilation) of electron on (spin) orbital  $\alpha$  centered on  $i^{\text{th}}$  atom.  $\varepsilon_{i\alpha}$  and  $t_{i\alpha,i'\alpha'}$  are correspondingly onsite (atomic) energies and offsite (hopping) parameters.  $\lambda_{i\alpha\alpha'}$  is the spin-orbit effect. In practical calculations, the parameter set ( $\varepsilon_{i\alpha}$ ,  $t_{i\alpha,i'\alpha'}$  and  $\lambda_{i\alpha\alpha'}$ ) was taken from Olguin et al. (Olguin, et al., 2001) In the presence of  $x$  and  $y$  alloy compositions in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed semiconductor, the virtual crystal approximation (VCA) is used to produce the tight-binding parameters (P) as given by:

$$P_{Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}} = xyP_{ZnSe} + x(1-y)P_{ZnS} + (1-x)yP_{HgSe} + (1-x)(1-y)P_{HgS}$$

In the alloy semiconductors, the band gaps are non-linear dependent on the compositions. Therefore, the empirical bowing parameters are considered by modifying the s orbital one-site terms (Garcia et al., 2000).

The electronic structures of single particles states are obtained by the tight-binding calculations. Finally, we follow the single-particle calculation with a many-body calculation to obtain the excitonic splitting and in particular excitonic fine structure. The Hamiltonian for the single exciton (electron-hole pair) is equated in second quantization as:

$$H = \sum_i E_i e_i^\dagger e_i + \sum_j E_j h_j^\dagger h_j - \sum_{ijkl} V_{ijkl}^{eh,coul} h_i^\dagger e_j^\dagger e_k h_l + \sum_{ijkl} V_{ijkl}^{eh,exch} h_i^\dagger e_j^\dagger e_k h_l$$

The energies related to electron and hole are described in the first-two terms, respectively. The atomistic coulomb and exchange interaction of electron-hole pair are symbolized in the third and fourth term. The single exciton Hamiltonian is expanded in a basis of electron-hole configurations constructed from several lowest electron and highest hole states. This approach is widely acknowledged as the configuration interaction technique (CI) or the exact diagonalization approach (Korkusinski and Hawrylak, 2013; M. Zielinski, 2013; Reboledo, et al., 2000; De Oliveira, et al., 2012; Sukkabot, 2016; Sukkabot, 2016; Sukkabot 2016).

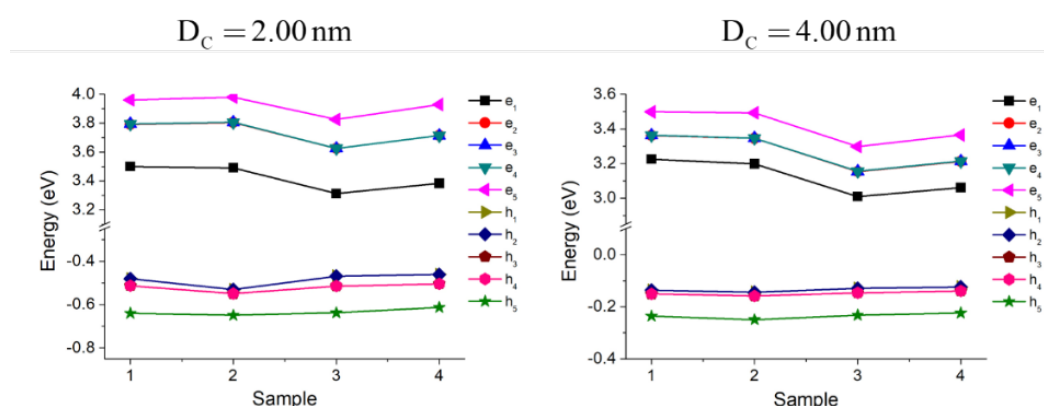
### 3. Results and discussions

Now we proceed to analyze and describe the influence of the diameters and alloying contents (x and y) on electronic structures, optical behavior, atomistic electron-hole interactions and excitonic splitting in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  experimentally synthesized nanocrystals. Two anion atoms (Se with content y and S with content 1-y) and two cation atoms (Zn with concentration x and Hg with concentration 1-x) with the diameters  $D_c$  are combined to be the quaternary-alloyed nanocrystals. Using the structural parameters synthesized by Lan et al. (Lan, et al., 2010),  $Zn_{0.98}Hg_{0.02}Se_{0.64}S_{0.36}$ ,  $Zn_{0.96}Hg_{0.04}Se_{0.60}S_{0.40}$ ,  $Zn_{0.90}Hg_{0.10}Se_{0.56}S_{0.44}$  and  $Zn_{0.88}Hg_{0.12}Se_{0.44}S_{0.56}$  nanocrystals with zinc-blende structure are used as the simulated candidates with Sample 1 - Sample 4, respectively. Table 1 demonstrates the number of atoms in all Samples under different diameters. The number of atoms mainly depends on the sizes of quaternary-alloyed nanocrystals, while there is no alloying effect on the number of atoms. The empirical tight-binding (TB), modified virtual crystal approximation (VCA) and configuration interaction (CI) scheme are utilized as the atomistic modeling. Let us start with the single-particle spectra under various alloying compositions and diameters. For the demonstration, Figure 1 displays the electron and hole energies of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals as a function of contents (x and y) and diameters. The energies of  $e_2$  states are slightly different with those of  $e_3$  and  $e_4$  states. In addition,  $e_3$  and  $e_4$  states are degenerate. This is due to the fact that these states are mainly from p orbitals. With the decreasing compositions (x and y), the energies of electron states tend to reduce but those of hole states are mostly increased. In term of increasing diameters, the energies of electron levels are decreased, while those of hole levels are enhanced. To provide a very good description of the optoelectronics properties, Figure 2 exemplifies the optical band gaps of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals under various elemental concentrations (x and y) and diameters. These calculations show that it is probable to modify the band gaps by control of diameters and contents. With the reduction of x and y contents, the optical band gaps tend to decrease. This can be attributed to the low HgS band gap promoted in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals. In tight-binding model, the band gaps of ZnSe and HgS semiconductor are 2.82 eV and 0.20 eV, respectively. The non-monotonic reduction of the optical band gaps as the decreasing x and y compositions may be arisen from the non-linear tight-binding parameters obtained by the virtual crystal approximation (VCA). The decrease of optical band gaps is displayed with the growing diameters, as can be understood by the quantum confinement. In addition, we compare the band gaps of our calculation results for the 4.00 nm nanocrystals with those obtained experimentally. Numerical and experimental data appear to agree well for  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals. The

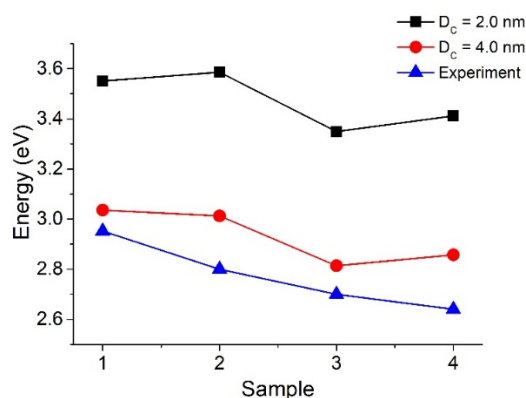
inconsistency may be occurred from the size dispersion in the experiment (Lan, et al., 2010). We reveal that a visible spectral region can be achieved in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals by controlling diameters and alloying concentrations (x and y), which is auspicious for photovoltaics and photosensor applications. Besides, 2D charge densities of ground-state electron and hole in xy plane under different samples and diameters are displayed in Figure 3 and 4, respectively. The charge densities of electron and hole are localized in the center of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals. The electron and hole charge densities of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals with diameter of 4.00 nm expansively more spread outward to the surface than those with diameter of 2.00 nm. On the other hand, there is no dependence of elemental contents on the electron and hole charge densities. Therefore, alloy compositions and diameters have been established as the key factors affecting qualitatively the electronic structures of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals.

**Table 1** The number of atoms in each Sample

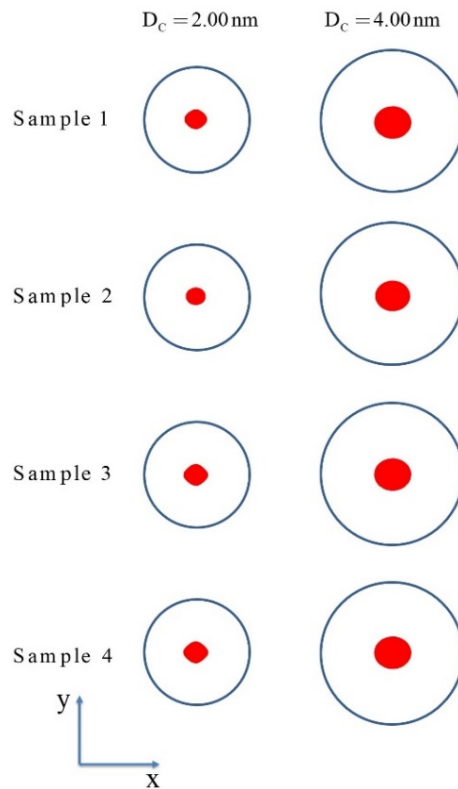
Sample ( $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$ )	Number of atoms	
	$D_c = 2.0$ nm	$D_c = 4.0$ nm
1 ( $Zn_{0.98}Hg_{0.02}Se_{0.64}S_{0.36}$ )	191	1551
2 ( $Zn_{0.96}Hg_{0.04}Se_{0.60}S_{0.40}$ )	191	1551
3 ( $Zn_{0.90}Hg_{0.10}Se_{0.56}S_{0.44}$ )	191	1551
4 ( $Zn_{0.88}Hg_{0.12}Se_{0.44}S_{0.56}$ )	191	1551



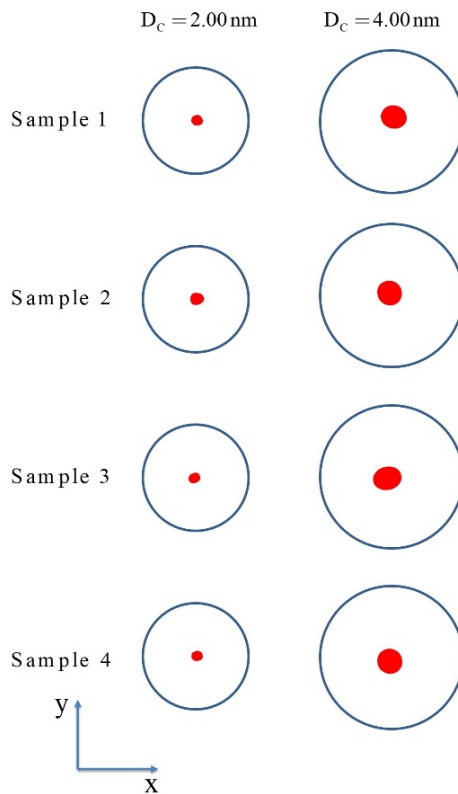
**Figure 1** Single-particle spectra of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.



**Figure 2** Optical band gaps of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters. The experiment was carried out by Lan et al. (Lan, et al., 2010)



**Figure 3** Electron charge densities of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters in xy plane. Circles represent the nanocrystals. The charge density levels are chosen as 0.70 of the maximum probability density.



**Figure 4** Hole charge densities of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters in xy plane. Circles represent the nanocrystals. The charge density levels are chosen as 0.70 of the maximum probability density.



Likewise, the first electron-hole wave function overlap is performed to detect changes in the excitonic splitting in quaternary-alloyed  $\text{Zn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y\text{S}_{1-y}$  nanocrystals (Efros, et al., 1996). The overlaps of the ground-state electron-hole wave functions directly depend on the splitting of the excitonic states. The overlaps of the ground-state electron-hole wave functions equate to  $\langle \Psi^{h=1} | \Psi^{e=1} \rangle$  where  $\Psi^{e=1}$  and  $\Psi^{h=1}$  are the ground electron and hole wave function. Taking the elemental contents (x and y) and diameters into account, the ground electron and hole wave function overlaps are showed in Figure 5. The overlaps of ground electron and hole wave functions are gradually reduced with the decreasing alloy contents (x and y), while those are increased greatly with the decreasing diameters. These behaviours can be clarified by 2D charge densities of ground-state electron and hole in Figure 3 and 4. This tendency will describe the behaviours of the excitonic splitting in the succeeding. The next goal is an attempt to answer the key question related to optical properties in the existence of the alloy contents and sizes. Figure 6 displays the ground-state oscillator strengths of quaternary-alloyed  $\text{Zn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y\text{S}_{1-y}$  nanocrystals with different compositions (x and y) and diameters. The ground-state oscillator strength is computed via  $\frac{2m_0}{\hbar^2} |\hat{e} \cdot \vec{D}_{eh}|^2 \times (E_e - E_h)$ .  $m_0$  is the free-electron mass.  $E_e$  and  $E_h$  are the ground electron and hole energies, respectively. The vector of the polarization ( $\hat{e}$ ) in the xy plane [110] is used.  $\vec{D}_{ij}$  are the dipole moments between ground-state transition. There is a drastic increase in the oscillator strengths with the decreasing elemental compositions (x and y) and increasing diameters. Therefore, the optical effectiveness is promoted in Zn-rich and Se-rich  $\text{Zn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y\text{S}_{1-y}$  nanocrystals with a large diameter, hence deserving for the optoelectronic devices.

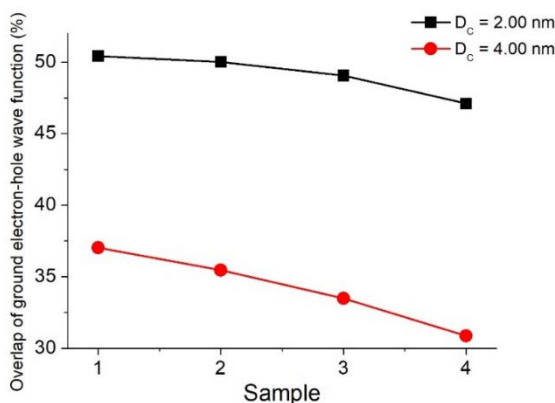


Figure 5 Ground electron-hole wave function overlaps of quaternary-alloyed  $\text{Zn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y\text{S}_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.

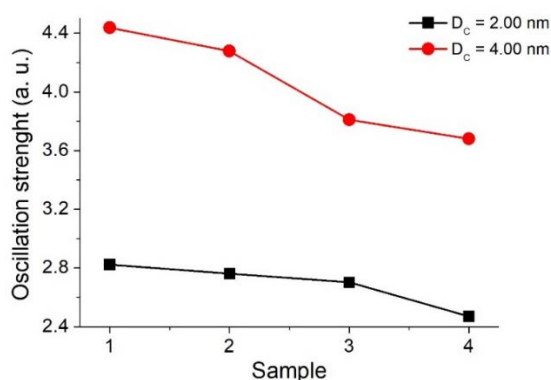
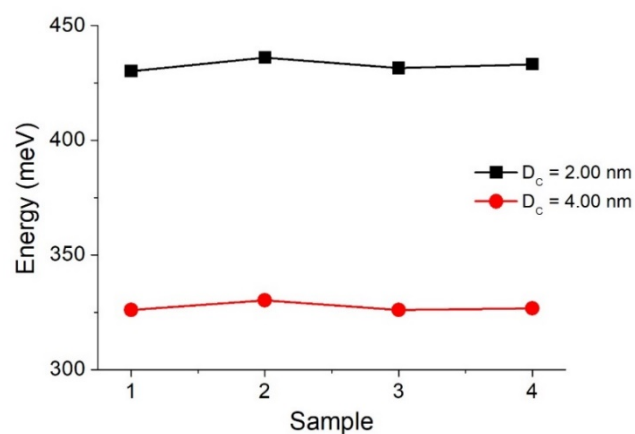
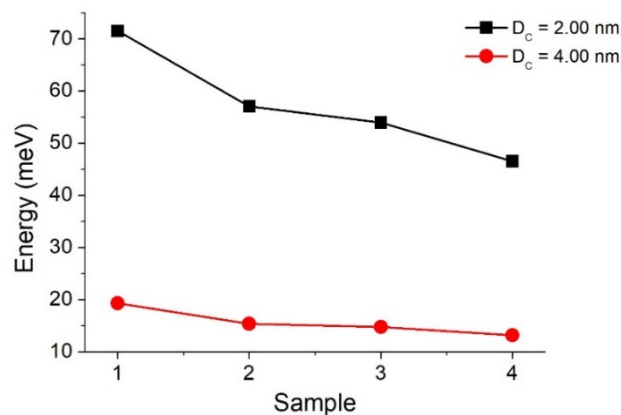


Figure 6 Ground-state oscillator strengths of quaternary-alloyed  $\text{Zn}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Se}_y\text{S}_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.

It is also enlightening to look at the influence of diameters and compositions ( $x$  and  $y$ ) on the atomistic electron-hole interactions. The description of coulomb and exchange integrals calculated from the tight-binding wave functions is described in more detail in these papers (Sheng, et al., 2005; Schulz, et al., 2006; Zielinski, et al., 2010). The energies of ground-state coulomb and exchange interaction under different diameters and alloy contents ( $x$  and  $y$ ) are schemed in Figure 7 and 8, respectively. With the increasing diameters, the energies of electron-hole coulomb interaction are decreased. This means that the weak confinement of electron-hole pair is realized in the large nanocluster. There is no perturbation of electron-hole coulomb interaction by the alloy contents. To analyze the electron-hole exchange interaction under structural parameters, let us first move back to the intersection of the electron-hole wave function and utilize them to describe this tendency. The exchange interaction between electron-hole pair is decreased with the growing diameters owing to the pattern of the electron-hole wave function overlaps. Additionally, the energies of this interactions are gradually decreased with the reduction of alloy contents because of the configuration of the electron-hole wave function overlaps. The behaviours of the excitonic splitting is explained by the exchange interaction between electron-hole pair subsequently. These computations illuminate that these structural constraints are the key factors to qualitatively analyze the atomistic electron-hole interactions.

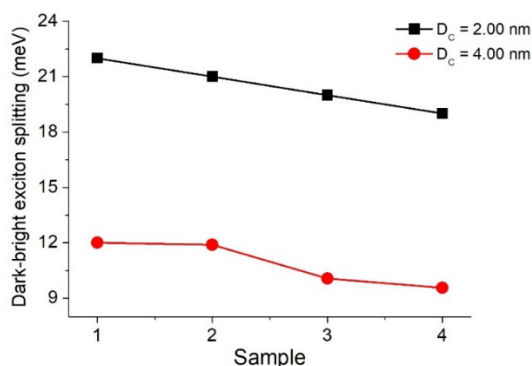


**Figure 7** Electron-hole coulomb energies of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.

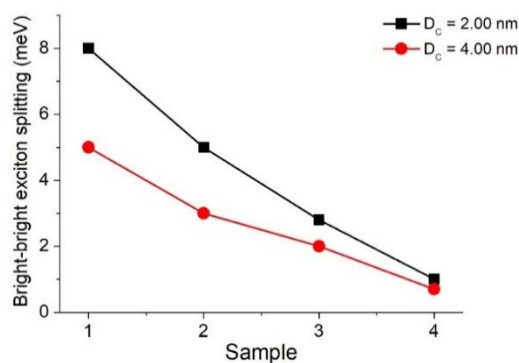


**Figure 8** Electron-hole exchange energies of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.

As mentioned in the introduction, the applications of the quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals are also presented. The polarization-entangled photon pairs were initially proposed by Benson et al. (Benson, et al., 2000) using the biexciton ( $XX$ )  $\rightarrow$  exciton ( $X$ )  $\rightarrow$  ground state ( $0$ ) cascade process. In the presence of the anisotropic electron-hole exchange interaction, the splitting of the exciton states ( $X$ ) is presented. The splitting between the dark and bright excitonic energies, namely stokes shift, is instigated for the optical filters (Butler, 2011). The splitting between these bright excitonic states, called fine structure splitting, terminates the entangled photon generation. These splittings of excitons are directly proportional to the electron-hole exchange interaction. Understanding the physical mechanisms of the bright excitonic splitting is thus indispensable for quantum technology. According to the literature, there has been neither theoretical nor experimental work done in the quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals. Solving by the configuration interaction method (CI), the two-body Hamiltonian is extended in a product of electron-hole configurations from 12 lowest single particle electron and hole levels with spin-up and -down components. The dark-bright (stokes shift) and bright-bright (fine structure splitting) excitonic splitting of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals are displayed as a function of diameters and alloy content ( $x$  and  $y$ ) in Figure 9 and 10, respectively. The splittings of excitons are inversely relational to the diameters due to the exchange interaction between electron-hole pair. The excitonic splittings are reduced when the alloy contents are decreased, described by the outcomes of the electron-hole exchange interaction. On the Hg- and S-rich side, the reduced fine structure splitting is realized as a key prerequisite for efficient entangled photon pair generation. On contrary, the pronounced stokes shift is presented in the Zn- and Se-rich side, introducing the pathway for the excellent optical filters. Under the optimized structural parameters, vanishing bright exciton fine structure in  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quaternary-alloyed nanocrystals may have the applications in entangled photon generation, whereas the enlargement of stokes shift may allow for efficient utilization of optical filter.



**Figure 9** Dark-bright exciton splitting of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.



**Figure 10** Bright-bright exciton splitting of quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals under different samples and diameters.

#### 4. Conclusion

Inspired by such techniques, the atomistic tight-binding calculations of the electronic structures and optical properties in the quaternary-alloyed  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals with synthesized parameters are demonstrated. These calculations point out that it is in principle possible to tailor the natural properties of these alloy nanocrystals by the control of diameters and elemental compositions. The optical band gaps corresponding to the visible wave lengths are manipulated by changing the diameters and alloy contents ( $x$  and  $y$ ), which is promising for photovoltaics and photosensor implementations. The good consistency of optical band gaps between the atomistic tight-binding approach and experiment is successfully realized. Theoretical modeling underlines that the energies of ground-state electron-hole coulomb and exchange interaction depend on the diameters and elemental compositions. The splittings of excitonic states are inversely proportionate to the diameters, whereas those are directly proportional to the alloy compositions. The excitonic fine structure splitting on the Hg- and S-rich side of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals is reduced, thus introducing to a good candidate for generation of quantum entanglement. The Stokes shift is enhanced on the Zn- and Se-rich side of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  nanocrystals, implementing for the optical filters. Finally, these insights will be crucial in supporting the design of optoelectronic nanodevices and enabling the capability to accurately forecast the generation of polarized photon entanglement in the active pitch of quantum technology.

#### Acknowledgment

The author would like to acknowledge the support from Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Thailand.

#### References

- Bawendi, M. G. (2000). Optical gain and stimulated emission in nanocrystal quantum dots. **Science**, 290(5490), 314–317.
- Benson, O., Santori, C., Pelton, M. and Yamamoto, Y. (2000). Regulated and entangled photons from a single quantum dot. **Physical Review Letters**, 84(11), 2513–2516.
- Boykin, T. B. (2009). Recent developments in tight-binding approaches for nanowires. *Journal of Computational Electronics*, 8(2), 142–152.
- Boykin, T. B., Luisier, M., Schenk, A., Kharche, N. and Klimeck, G. (2007). The electronic structure and transmission characteristics of disordered AlGaAs nanowires. **IEEE Transactions on Nanotechnology**, 6(1), 43–47.
- Olguin, D., Baquero, R. and de Coss, R. (2001). The band gap of II-VI ternary alloys in a tight-binding description. **Revista Mexicana de Física**, 47(1), 43-49
- De Oliveira, E. L., Albuquerque, E. L., de Sousa, J. S., Farias, G. A., and Peeters, F. M. (2012). Configuration-interaction excitonic absorption in small Si/Ge and Ge/Si Core/Shell nanocrystals. **The Journal of Physical Chemistry C**, 116(7), 4399–4407.
- Deng, Z. and Guyot-Sionnest, P. (2016). Intraband luminescence from HgSe/CdS core/shell quantum dots. **ACS Nano**, 10(2), 2121–2127.
- Efros, A. L., Rosen, M., Kuno, M., Nirmal, M., Norris, D. J. and Bawendi, M. (1996). Band-edge exciton in quantum dots of semiconductors with a degenerate valence band: Dark and Bright Exciton States. **Physical Review B**, 54(7), 4843–4856.
- Garcia, A. E. Camacho A., Navarro H., Olguin D. and Baquero, R. (2000). Electronic band structure of II-VI quaternary alloys in a tight-binding approach. **Revista Mexicana de Física**, 46(3), 249-252

- Hara, K., Machimura, H., Usui, M., Munekata, H., Kukimoto, H. and Yoshino, J. (1995). Gas-source molecular beam epitaxy of wide-band-gap  $Zn_{1-x}Hg_xSe$  ( $x=0-0.14$ ). **Applied Physics Letters**, 66(24), 3337–3339.
- Hara, K., Yamamoto, K., Eguchi, Y., Usui, M., Munekata, H. and Kukimoto, H. (1996). Optical properties of wide bandgap ZnHgSSe layers grown by molecular beam epitaxy. **Journal of Crystal Growth**, 159(1-4), 45–49.
- Hara, K., S. Haneda, Y. Eguchi and H. Munekata. (1998). Wide band-gap ZnHgSSe for visible lasers. **Journal of Crystal Growth**, 184-185, 610-613.
- Butler, J.M. (2011). *Advanced topics in forensic DNA typing: Methodology*. California: Academic Press.
- Klimov, V. I., Mikhailovsky, A. A., Xu, S., Malko, A., Hollingsworth, J. A., Leatherdale, C. A., Eisler, H.-J. and Korgel, B. A. and Monbouquette, H. G. (2000). Controlled synthesis of mixed core and layered (Zn,Cd)S and (Hg,Cd)S nanocrystals within phosphatidylcholine vesicles. **Langmuir**, 16(8), 3588–3594.
- Korkusinski, M. and Hawrylak, P. (2013). Atomistic theory of emission from dark excitons in self-assembled Quantum Dots. **Physical Review B**, 87(11), 115310-115320.
- Lan, G.-Y., Lin, Y.-W., Lin, Z.-H. and Chang, H.-T. (2010). Synthesis and characterization of  $Zn_xHg_{1-x}Se_yS_{1-y}$  quantum dots. **Journal of Nanoparticle Research**, 12(4), 1377–1388.
- Lee, S., Oyafuso, F., von Allmen, P. and Klimeck, G. (2004). Boundary conditions for the electronic structure of finite-extent embedded semiconductor nanostructures. **Physical Review B**, 69(4), 045316-045323.
- Malyk, O. P. (2009). Charge carrier scattering on the short-range potential of the crystal lattice defects in ZnCdTe, ZnHgSe and ZnHgTe. **Physica B: Condensed Matter**, 404(23-24), 5022–5024.
- Mourad, D. and Czycholl, G. (2010). Multiband tight-binding theory of disordered  $A_xB_{1-x}C$  Semiconductor Quantum Dots. **The European Physical Journal B**, 78(4), 497–507.
- Nestoklon, M. O., Benchamekh, R. and Voisin, P. (2016). Virtual crystal description of III–V semiconductor alloys in the tight binding approach. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 28(30), 305801.
- Qi, L. and Gao, X. (2008). Quantum dot–amphipol nanocomplex for intracellular delivery and real-time imaging of siRNA. **ACS Nano**, 2(7), 1403–1410.
- Reboredo, F. A., Franceschetti, A. and Zunger, A. (2000). Dark excitons due to direct coulomb interactions in silicon quantum dots. **Physical Review B**, 61(19), 13073–13087.
- Schulz, S., Schumacher, S. and Czycholl, G. (2006). Tight-binding model for semiconductor quantum dots with a wurtzite crystal structure: From one-particle properties to coulomb correlations and optical spectra. **Physical Review B**, 73(24), 245327- 245341.
- Shen, G. and Guyot-Sionnest, P. (2016). HgS and HgS/CdS colloidal quantum dots with infrared intraband transitions and emergence of a surface plasmon. **The Journal of Physical Chemistry C**, 120(21), 11744–11753.
- Shen, G., Chen, M. and Guyot-Sionnest, P. (2017). Synthesis of nonaggregating HgTe colloidal quantum dots and the emergence of air-stable N-doping. **The Journal of Physical Chemistry Letters**, 8(10), 2224–2228.
- Sheng, W., Cheng, S.-J. and Hawrylak, P. (2005). Multiband theory of multi-exciton complexes in self-assembled Quantum Dots. **Physical Review B**, 71(3), 035316- 035324.
- Slater, J. C. and Koster, G. F. (1954). Simplified LCAO method for the periodic potential problem. **Physical Review**, 94(6), 1498–1524.
- Smith, A. and Nie, S. (2009). Next-generation Quantum Dots. **Nature Biotechnology**, 27(8), 732–733.
- Stathopoulos, A. and McCombs, J. R. (2010). PRIMME: preconditioned iterative multimethod eigensolver—methods and software description. **ACM Transactions on Mathematical Software**, 37(2), 1–30.
- Sukkabot, W. (2016). Atomistic tight-binding computations in structural and optical properties of Cdse/ZnSe/ZnS core/multi-shell Nanocrystals. **Superlattices and Microstructures**, 95, 71–77.

- Sukkabot, W. (2016). Atomistic tight-binding computations of excitonic fine structure splitting in CdSe/ZnSe type-I and ZnSe/CdSe invert type-I core/Shell Nanocrystals. **Materials Science in Semiconductor Processing**, 47, 57–61.
- Sukkabot, W. (2016). Excitonic fine structure splitting in ZnTe/ZnX (x = S and SE) core/shell nanocrystals: Atomistic tight-binding theory. **Superlattices and Microstructures**, 91, 208–215.
- Sun, Q., Wang, Y. A., Li, L. S., Wang, D., Zhu, T., Xu, J., Yang, C. and Li, Y. (2007). Bright, multicoloured light-emitting diodes based on quantum dots. **Nature Photonics**, 1(12), 717–722.
- Vogl, P., Hjalmarson, H. P. and Dow, J. D. (1983). A semi-empirical tight-binding theory of the electronic structure of semiconductorst. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, 44(5), 365–378.
- Wu, L., Romero, E. and Stathopoulos, A. (2017). PRIMME\_SVDS: A high-performance preconditioned SVD solver for accurate large-scale computations. **SIAM Journal on Scientific Computing**, 39(5), S248–S271.
- Zielinski, M. (2013). Valence band offset, strain and shape effects on confined states in self-assembled InAs/InP and InAs/GaAs Quantum Dots. **Journal of Physics: Condensed Matter**, 25(46), 465301-465316.
- Zielinski, M., Korkusinski, M. and Hawrylak, P. (2010). Atomistic tight-binding theory of multiexciton complexes in a self-assembled InAs quantum dot. **Physical Review B**, 81(8), 085301-085312.
- Zrazhevskiy, P. and Gao, X. (2009). Multifunctional Quantum Dots for personalized medicine. **Nano Today**, 4(5), 414–428.



บทความวิจัย

## การพัฒนาและการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบในการวิเคราะห์สาร Demethylwedelolactone และสาร Wedelolactone (in *Eclipta prostrata*) ด้วยเทคนิค

HPLC – PDA

ประดัด มีสวัสดิ์<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กทม. 10400

\*Email: pradup.mes@mahidol.ac.th

รับบทความ: 23 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ: 20 มีนาคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 27 เมษายน 2565

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์สำหรับสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน และสารวีดีโลแลคโตน ด้วยเทคนิค HPLC – PDA ของสารสกัดจากต้นกะเม็งด้วยวิธีการสกัดที่ต่างกัน ผลการทดลองเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน และสารวีดีโลแลคโตน คือ เฟสเคลื่อนที่มีส่วนผสมของเมทานอลและสารละลายกรดฟอร์มิก 0.05% (โดยปริมาตร) อัตราส่วน 95:5 (โดยปริมาตร) กำหนดอัตราการไหลเท่ากับ 0.6 มิลลิลิตรต่อนาที ใช้การชะแบบแกรเดียนท์ จากการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบในการวิเคราะห์สารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน และสารวีดีโลแลคโตน พบว่ามีค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด เท่ากับ  $0.41 \mu\text{g L}^{-1}$  และ  $0.004 \mu\text{g L}^{-1}$  ตามลำดับ ขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ เท่ากับ  $1.37 \mu\text{g L}^{-1}$  และ  $0.013 \mu\text{g L}^{-1}$  ตามลำดับ ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน พบว่ามีช่วงความเข้มข้น  $5.0 - 25 \mu\text{g L}^{-1}$  มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.998 และสารวีดีโลแลคโตน มีช่วงความเข้มข้น  $1.0 - 25 \mu\text{g L}^{-1}$  มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.999 ตรวจสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ จากผลการทดลองซ้ำในวันเดียวกันโดยศึกษาร้อยละส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ สารดีเมทิลวีดีโลแลคโตนมีค่าอยู่ในช่วง 0.38 – 1.61 และสารวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 1.18 – 1.46 และผลการทดลองซ้ำในแต่ละวันของสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 0.34 – 0.47 และสารวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 0.59 – 1.20 ตรวจสอบความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ โดยวิธี spiked placebo recovery method พบว่า ร้อยละการกลับคืนของสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 89.21 – 97.00% และสารวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 100.52 – 100.81 และโดยวิธี standard addition method พบว่า ร้อยละการกลับคืนของสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 103.01 – 104.93 และสารวีดีโลแลคโตนอยู่ในช่วง 89.69 – 105.94 อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้ทั้ง 2 วิธี ผลการศึกษาวิธีการสกัดสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน และสารวีดีโลแลคโตน จากต้นกะเม็งด้วยวิธีแช่หมัก วิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยและวิธีการต้ม พบสารดีเมทิลวีดีโลแลคโตน มีปริมาณที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 3 วิธี ส่วนสารวีดีโลแลคโตน พบเฉพาะในวิธีแช่หมักและวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วย

คำสำคัญ: ดีเมทิลวีดีโลแลคโตน วีดีโลแลคโตน เอชพีแอลซี – พีดีเอ

### อ้างอิงบทความนี้

ประดัด มีสวัสดิ์. (2565). การพัฒนาและการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบในการวิเคราะห์สาร Demethylwedelolactone และสาร Wedelolactone (in *Eclipta prostrata*) ด้วยเทคนิค HPLC – PDA. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 85-96. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.8>

## Development of demethylwedelolactone and wedelolactone (in *Eclipta prostrata*) analysis by HPLC – PDA and method validation

Pradup Mesawat<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Central Instrument Facility, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, 10400 Thailand

\*Email: pradup.mes@mahidol.ac.th

Received <23 December 2021>; Revised <20 March 2022>; Accepted <27 April 2022>

---

### Abstract

This research aimed to develop and validate the method for the analysis of demethylwedelolactone and wedelolactone in extracted Kameng samples by HPLC – PDA. Various types of Kameng extractions were examined. The optimum condition for separation of demethylwedelolactone and wedelolactone was 99.9% (v/v) methanol and 0.05% (v/v) formic acid at the ratio 95:5 (v/v) as mobile phase. The mode of operation was gradient elution. The results of method validation to analyze demethylwedelolactone and wedelolactone were found as follows: the limit of detection (LOD) 0.41 µg L<sup>-1</sup> and 0.004 µg L<sup>-1</sup>, respectively, and the limit of quantification (LOQ) 1.37 µg L<sup>-1</sup> and 0.013 µg L<sup>-1</sup> respectively. The linearity of demethylwedelolactone in the working range was 5.0 – 25 µg L<sup>-1</sup> (r<sup>2</sup>=0.998), and wedelolactone in the working range was 1.0 – 25 µg L<sup>-1</sup> (r<sup>2</sup>=0.999). The method validation of precision for intraday precision of demethylwedelolactone and wedelolactone were found as 0.38 – 1.61 and 1.18 – 1.46, respectively. The intraday precision of demethylwedelolactone and wedelolactone were found as 0.34 – 0.47 and 0.59 – 1.20 respectively. The percentage of relative standard deviation (%RSD) and accuracy was performed by the spiked standard method. The recovery of demethylwedelolactone and wedelolactone were found as 89.21 – 97.00% and 100.52 – 100.81% respectively. For standard addition method, the recovery of demethylwedelolactone and wedelolactone were found as 103.01 – 104.93% and 89.69 – 105.94% respectively. The recovery of demethylwedelolactone and wedelolactone from both methods was acceptable. Optimum extraction condition of demethylwedelolactone and wedelolactone from Kameng were investigated using maceration, ultrasound-assisted extraction and decoction. The results show that contents of demethylwedelolactone obtained from the three extraction methods were not significantly different, whereas wedelolactone was found only in maceration and ultrasound-assisted methods.

**Keywords:** Demethylwedelolactone, Wedelolactone, High performance liquid chromatography – PDA

---

#### Cite this article:

Mesawat, P. (2022 ). Development of demethylwedelolactone and wedelolactone (in *Eclipta prostrata*) analysis by HPLC–PDA and method validation (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 85-96. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.8>

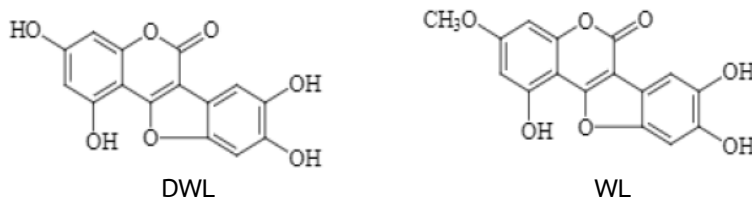


## บทนำ

การหาปริมาณวิเคราะห์ควรมีการควบคุมคุณภาพและการประเมินความเหมาะสมของวิธีวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำมีความจำเพาะต่อสารที่ต้องการวิเคราะห์เกิดความเชื่อมั่นจึงจำเป็นต้องทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (method validation) ด้วยเทคนิค HPLC – PDA เพื่อยืนยันคุณลักษณะเฉพาะของวิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยการหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น การวิเคราะห์ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (limit of detection, LOD) ขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (limit of quantification, LOQ) ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (accuracy) ความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (precision) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) (Chansuvarn, 2021)

สารดีเมทิลเวดีโลแลคโตน (demethylwedelolactone) และสารเวดีโลแลคโตน (wedelolactone) เป็นสารในกลุ่ม coumestans ที่พบในต้นกะเม็ง (*Eclipta prostrata*) มีโครงสร้างทางเคมีดังภาพที่ 1 มีฤทธิ์ต้านไวรัส ต้านอักเสบ ลดระดับไขมันในเลือด ปกป้องตับ ต้านมะเร็งและมีฤทธิ์ปกป้องระบบประสาทกระตุ้นการสร้างรากผม (Jaisin, 2016; Sasidharan *et al.*, 2011) มีรายงานว่าวิธีการสกัดทั้งแบบดั้งเดิม เช่น วิธีแช่หมัก (maceration) การแช่ (percolation) การต้ม (decoction) การตุ๋น (digestion) หรือใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วย เช่น สกัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ (microwave extraction) สกัดสารโดยวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วย ultrasound-assisted extraction หรือ sonication extraction และชนิดของตัวทำละลายมีผลต่อชนิดและปริมาณของสารสำคัญ จากการศึกษาของ Aderogba *et al.* (2007) พบว่าสารสกัดจากสมุนไพรวัดทำละลายที่มีขี้ผึ้งมากมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสารสกัดสมุนไพรวัดทำละลายที่มีขี้ผึ้งน้อย การศึกษาของ Kumar and Dhanani (2013) พบว่าตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งมาก เช่น เอ็น – บิวทานอล (n-butanol) เอทิลอะซิเตต (ethylacetate) และ เมทานอล (methanol) พบปริมาณสาร wedelolactone สูงกว่าตัวทำละลายที่มีขี้ผึ้งน้อย เช่น เฮกเซน (hexane) คลอโรฟอร์ม (chloroform) ส่วนการศึกษาปริมาณของสารทั้งสองชนิดโดยเทคนิค HPLC ที่มีความแม่นยำสูง ดังแสดงใน ตารางที่ 4

สารสกัดจากสมุนไพรมีแนวโน้มเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีความปลอดภัยตามมาตรฐานองค์การอาหารและยา กำหนด ดังนั้นตัวทำละลายจึงมีส่วนสำคัญในการนำมาใช้ในการสกัดสารสำคัญจากพืช ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาและการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบในการวิเคราะห์สาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ด้วยเทคนิค HPLC – PDA ของสารสกัดจากต้นกะเม็งด้วยวิธีการสกัดและชนิดของตัวทำละลายที่มีความปลอดภัยสูงในสัดส่วนความเข้มข้นที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นแนวทางให้ได้สารสำคัญทั้งสองชนิดที่ปลอดภัยสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของสาร demethylwedelolactone (DWL) และสาร wedelolactone (WL) (Mendes *et al.*, 2014)

## วิธีดำเนินการวิจัย

### สารเคมีและสารมาตรฐาน

สารเคมี : Ethanol AR grade  $\geq 95\%$ , Methanol HPLC grade  $\geq 99\%$ , Acetonitrile HPLC grade  $\geq 98\%$ , Formic acid LC-MS grade  $\geq 98\%$ , Acetic acid HPLC grade  $\geq 98\%$ , Demethylwedelolactone AR grade (CAS No; 6458-55-9)  $\geq 98\%$ , wedelolactone AR grade (CAS No; 524-12-9)  $\geq 98\%$

## อุปกรณ์และเครื่องมือ

**อุปกรณ์และเครื่องมือ** : เครื่อง HPLC ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters 717 คอลัมน์ ยี่ห้อ Waters รุ่น Reliant™ C18, pump ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters 600 pump/controller, ส่วนตรวจวัด ยี่ห้อ Waters รุ่น Waters™ PDA 996 เครื่อง ultrasonic ยี่ห้อ Elma Schmidbauer GmbH รุ่น Elmasonic P 180 H เครื่อง rotary evaporator ยี่ห้อ Buchi รุ่น R205 เครื่อง freeze dryer ยี่ห้อ Christ รุ่น Alpha1-2LD

### การสกัดสารจากต้นกะเม็ง

วิธีที่ 1 วิธีการแช่หมัก ชั่งผงกะเม็งแห้ง 50 g เติมน้ำในเอทานอลเข้มข้น 95% (v/v) ปริมาตร 500 mL ในขวดสีชา ปิดฝาขวดให้สนิท เขย่าให้เข้ากัน วางไว้บนเครื่อง shaker เปิดเขย่าเบา ๆ เป็นเวลา 3 วัน ที่อุณหภูมิห้อง นำน้ำหมักเอทานอลมารองผ่านกระดาษกรอง Whatman no.1 แล้วนำกากตัวอย่างที่ผ่านการหมักรอบแรกมาเติมเอทานอลเพื่อหมักต่อไป อีก 2 ครั้ง นำน้ำหมักเอทานอลที่กรองได้ไปรวมกับที่กรองได้ครั้งแรก นำไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง rotary evaporator (Sasidharan *et al.*, 2011)

วิธีที่ 2 วิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วย ชั่งผงกะเม็งแห้ง 50 g เติมน้ำในเอทานอลเข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 500 mL นำไปสกัดด้วยเครื่อง ultrasonic กำหนดคลื่นความถี่ 120 kHz อุณหภูมิ 80 °C เวลา 8 ชั่วโมง ตั้งไว้ให้เย็น กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no.1 นำไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่อง rotary evaporator จากนั้นนำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง freeze dryer (Lee, 2017)

วิธีที่ 3 การสกัดด้วยวิธีการต้ม นำผงกะเม็งแห้งปริมาณ 50 g เติมน้ำในน้ำเดือด ปริมาตร 500 mL ต้มต่อไป 5 นาที ตั้งไว้ให้เย็นแล้วนำมากรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no.1 นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่อง freeze dryer เก็บตัวอย่างที่แห้งในถุงสีขาในตู้เย็นเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป (Chumark *et al.*, 2008)

ซึ่งสารสกัดจากทั้ง 3 วิธี ขนาด 20 มิลลิกรัม ละลายในเมทานอล 20 mL มีความเข้มข้น  $1 \text{ mg mL}^{-1}$  จากนั้นทำการกรองด้วย filter membrane ชนิด nylon ขนาด 0.45 ไมครอน ปีเปตสารสกัดปริมาตร 1,000  $\mu\text{L}$  เจือจางด้วยสารละลายเมทานอลปริมาตร 10 mL จะได้ความเข้มข้น  $100 \text{ mg L}^{-1}$

### การเตรียมสารละลายมาตรฐาน demethylwedelolactone และ wedelolactone

เตรียมสารละลายเมทานอลลงในขวดบรรจุสารมาตรฐาน demethylwedelolactone ขนาด 20 mg และสารละลายมาตรฐาน wedelolactone ขนาด 20 mg ขวดละ 1,000  $\mu\text{L}$  ได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น  $20 \text{ mg mL}^{-1}$  กรองด้วย filter membrane ชนิด nylon ขนาด 0.45 ไมครอน เก็บในตู้เย็น  $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เป็น stock standard solution

เตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับช่วงการวิเคราะห์ (working range) โดยปีเปตสารละลายมาตรฐานจาก stock standard solution ปริมาตร 250  $\mu\text{L}$  ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 50 mL จะได้ความเข้มข้น  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$  จากนั้นปีเปตสารมาตรฐานความเข้มข้น  $100 \mu\text{g mL}^{-1}$  ปริมาตร 125  $\mu\text{L}$  ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 50 mL จะได้ความเข้มข้น  $250 \mu\text{g L}^{-1}$  จากนั้นปีเปตสารมาตรฐานความเข้มข้น  $250 \mu\text{g L}^{-1}$  ปริมาตร 0.1, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 mL ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลเป็น 25 mL จะได้ความเข้มข้น 0, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ  $25.0 \mu\text{g L}^{-1}$  ตามลำดับ

### การวิเคราะห์สาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ด้วยเทคนิค HPLC – PDA

เทคนิค HPLC – PDA ปรับปรุงจากวิธีของ Mendes *et al.* (2014) โดยวิเคราะห์หาปริมาณ สาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) บริษัท Waters (USA) รุ่น Waters 717, Waters 600 pump/controller ตรวจวัดสัญญาณด้วย photo diode array (PDA) detector กำหนดความยาวคลื่นที่ 352 นาโนเมตร ใช้คอลัมน์ Reliant™ C18 reverse phase ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.6 mm ความยาว 250 mm ขนาดอนุภาค 5  $\mu\text{m}$  อัตราการไหล  $0.6 \text{ mL min}^{-1}$  ปริมาตรของสารที่ฉีด 10  $\mu\text{L}$  ระยะเวลาที่ใช้วิเคราะห์ (run time) 15 min โดยศึกษาความแตกต่างของเฟสเคลื่อนที่ทั้งหมด 6 สภาวะ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ออกจากกัน ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การศึกษาสภาวะสำหรับ HPLC ในการตรวจวิเคราะห์ demethylwedelolactone และ wedelolactone

Conditions	Mobile phase formula	Ratio (v/v)
Gradient	1 A: Methanol, B: 0.05% Acetic acid	0 min, (5%) B
	2 A: Methanol, B: 0.05% Formic acid	3 min, (50%) B
	3 A: Methanol, B: Acetonitrile	8 min, (20%) B 9 - 15 min, (5%) B
Isocratic	4 A: Methanol, B: 0.05% Acetic acid	5% B
	5 A: Methanol, B: 0.05% Formic acid	5% B
	6 A: Methanol, B: Acetonitrile	30% B

**การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (Method validation)**

การกำหนดขอบเขตในการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบได้ตรวจสอบตามวิธีของ Chansavarn (2021) โดยการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (ตอนที่ 2) คุณลักษณะเฉพาะที่แสดงคุณสมบัติของวิธีโดยศึกษาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (LOQ) โดยวิธี based on signal to noise โดยการฉีดสารละลายเมทานอล (blank) จำนวน 10 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์สัญญาณวัดได้จาก blank เปรียบเทียบกับสัญญาณของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone โดย LOD กำหนดจากค่าความเข้มข้นของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ที่เครื่องมือวิเคราะห์สามารถตรวจวัดสัญญาณได้ ค่าที่ยอมรับคือ 3 ต่อ 1 ส่วน LOQ กำหนดจากปริมาณต่ำสุดของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ที่เครื่องมือวิเคราะห์สามารถตรวจวัดสัญญาณได้ ค่าที่ยอมรับคือ 10 ต่อ 1

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) เตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ 25.0  $\mu\text{g L}^{-1}$  วิเคราะห์ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสัญญาณกับความเข้มข้นสารมาตรฐานโดยวิเคราะห์พิสัยของเส้นตรง (linear range) โดยการเติมสารมาตรฐานความเข้มข้น 0.00, 0.75, 1.50 และ 7.50  $\mu\text{g L}^{-1}$  ในตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธีแช่หมัก โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นละ 7 ซ้ำ คำนวณหาค่าเฉลี่ย และ %recovery ที่แต่ละความเข้มข้น เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับความเข้มข้น (ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้น)

- ความเที่ยงของวิเคราะห์ (precision) โดยการ spiked samples ด้วยสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 7.50  $\mu\text{g L}^{-1}$  ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาคำนวณหา %RSD จากสูตร

$$\text{The percent relative standard deviation (\%RSD)} = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100$$

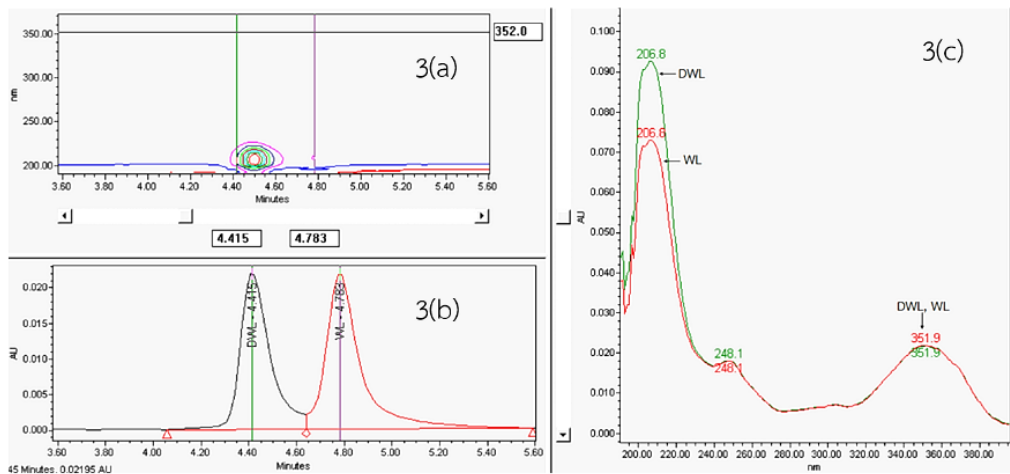
- ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (accuracy) ) โดยการ spiked samples ด้วยสารมาตรฐานที่มีความเข้มข้น 7.50  $\mu\text{g L}^{-1}$  ทำการวิเคราะห์ 9 ซ้ำ นำค่าที่ได้มาคำนวณหา %Recovery จากสูตร

$$\text{The percent recovery} = \frac{C_1 - C_2}{C_3} \times 100$$

กำหนดให้  $C_1$  = ปริมาณสาร DWL และ WL ในตัวอย่างสารสกัด ที่เติมด้วยสารมาตรฐาน DWL และ WL  
 $C_2$  = ปริมาณสาร DWL และ WL ในตัวอย่างสารสกัด  
 $C_3$  = ปริมาณสารมาตรฐาน DWL และ WL ที่เติมลงในตัวอย่างสารสกัด

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

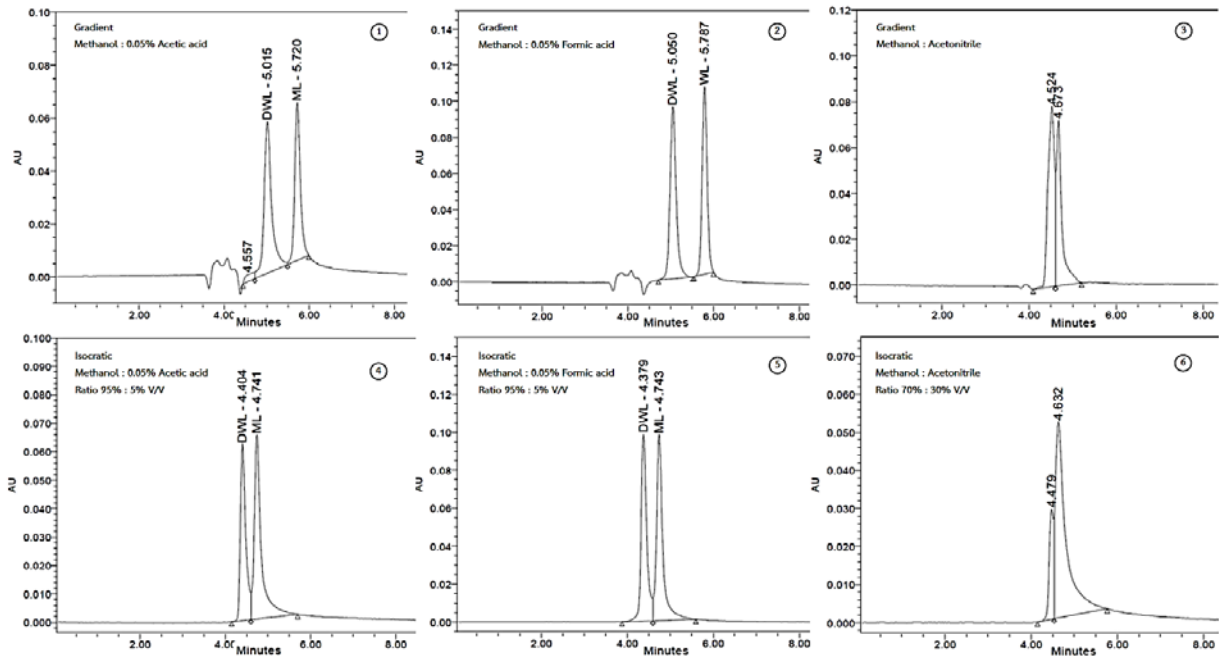
การตรวจสอบช่วงคลื่นแสงที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ demethylwedelolactone และ wedelolactone โดยพิจารณาจากช่วงคลื่นแสงที่สามารถดูดกลืนแสงได้อยู่ระหว่าง 190 นาโนเมตร ถึง 400 นาโนเมตร สเปกตรัมที่แสดงค่าการดูดกลืนสูงสุด ( $\lambda_{max}$ ) ที่ความยาวคลื่น 206.8 นาโนเมตร และ 351.9 นาโนเมตร (ภาพที่ 3c) เมื่อพิจารณาความยาวคลื่นต่ำสุดที่ดูดกลืนรังสี (UV cut off) ของตัวทำละลายต้องมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นสูงสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์พบว่าความยาวคลื่นต่ำสุดที่ดูดกลืนรังสีของเมทานอลเท่ากับ 205 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นของสารที่ต้องการวิเคราะห์ คือ 206 นาโนเมตร อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์ ประกอบกับผล PDA contour plot spectrum (3a) เมื่อ extract โครมาโทแกรมที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตร พบว่า ลักษณะของ contour plot ของสารทั้ง 2 ชนิดสามารถแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์มีค่า retention time มากกว่า 0.3 min แสดงว่าสเปกตรัมที่ได้มีความบริสุทธิ์ โดยยืนยันค่าการดูดกลืนแสงและ peak purity จาก Chromatogram Plot (3b) ที่ช่วงคลื่น 352 นาโนเมตร มีความจำเพาะของสารทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นช่วงคลื่นที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ที่ทำละลายด้วยเมทานอลคือช่วงคลื่น 352 นาโนเมตร (Snyder et al, 1997)



ภาพที่ 2 การตรวจวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ demethylwedelolactone และ wedelolactone ด้วย HPLC-PDA (a) Contour Plot Spectrum โดย extract โครมาโทแกรม (b) peak purity จาก Chromatogram Plot และ (c) การสแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 352 นาโนเมตรของ demethylwedelolactone และสาร wedelolactone

จากการศึกษาการแยกสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone โดยกำหนดการไหลของเฟสเคลื่อนที่และสัดส่วนที่เหมาะสมต่อการแยกของสารทั้งสองชนิดจากทั้ง 2 ระบบ คือ ระบบ gradient ในสภาวะที่ 1 ถึง 3 และระบบ isocratic ในสภาวะที่ 4 ถึง 6 ที่ปรากฏให้เห็นในโครมาโทแกรม (ภาพที่ 4) พบว่าระบบ isocratic ทั้ง 3 สภาวะ peak ของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ไม่สามารถแยกออกจากกัน จึงเปลี่ยนมาใช้ระบบ gradient ตามการศึกษา Morel et al. (2017) พบว่า ในระบบ gradient สภาวะที่ 3 เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายกลุ่มไม่มีขั้ว peak ของสารทั้งสองชนิดไม่สามารถออกจากกันได้ ส่วนในสภาวะที่ 1 peak ของสารทั้งสองชนิดแยกออกจากกันได้ แต่ปรากฏเส้นฐานยกขึ้น (base line drift) ในขณะที่ ระบบ gradient สภาวะที่ 2 ซึ่งเฟสเคลื่อนที่ประกอบด้วยเมทานอลเข้มข้น 99.9% (v/v) และกรดฟอร์มิกเข้มข้น 0.05% (v/v) กำหนดการไหลของเฟสเคลื่อนที่แบบ gradient (ตารางที่ 1) พิจารณาโครมาโทแกรมพบว่า peak ของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone แยกออกจากกันอย่างชัดเจน อาจเกิดจากโครงสร้างของสารทั้งสองชนิดคล้ายกัน แตกต่างกันตรงหมู่ Methyl group ของสาร wedelolactone และหมู่ Hydroxyl group ของสาร demethylwedelolactone การใช้เฟสคงที่เป็น reversed phase ซึ่งเป็นเฟสที่ไม่มีขั้ว (nonpolar) จะสามารถหน่วงสารที่ไม่มีขั้วไว้และชะสารที่มีขั้วออกมาก่อน จากผลการศึกษาพบว่าสาร

demethylwedelolactone จะถูกชะออกมาก่อน แสดงว่าสาร demethylwedelolactone มีขั้วมากกว่าสาร wedelolactone การลดสัดส่วนสารละลาย B (กรด) เป็นการลดความมีขั้วในเฟสเคลื่อนที่ที่เหมาะสมที่จะทำให้สาร wedelolactone ที่มีขั้วน้อยกว่าถูกชะออกมาในที่สุด มีรายงานการวิจัยว่าการเติมกรดฟอร์มิกในเฟสเคลื่อนที่ทำให้โครมาโทแกรมมี resolution สูงขึ้น และมีพีค sharp ขึ้น (Phale *et al.*, 2010) ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ในระบบ gradient ในสภาวะที่ 2



ภาพที่ 3 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ความเข้มข้น  $250 \mu\text{g L}^{-1}$  จากความแตกต่างของสภาวะเฟสเคลื่อนที่

ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone (ตารางที่ 2) พบว่ามีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ  $0.41 \mu\text{g L}^{-1}$  และ  $0.004 \mu\text{g L}^{-1}$  ตามลำดับ ขีดจำกัดต่ำสุดของการหาปริมาณ (LOQ) เท่ากับ  $1.37 \mu\text{g L}^{-1}$  และ  $0.013 \mu\text{g L}^{-1}$  ตามลำดับ

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) ระหว่างพื้นที่ใต้กราฟกับความเข้มข้นของสาร demethylwedelolactone ในช่วงความเข้มข้น  $5.0 - 25 \mu\text{g L}^{-1}$  ค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.998 และสาร wedelolactone ในช่วงความเข้มข้น  $1.0 - 25 \mu\text{g L}^{-1}$  มีค่า  $r^2$  เท่ากับ 0.999 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้คือ  $\geq 0.995$

การตรวจสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (precision) โดยคำนวณจากร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (%RSD) พบว่า ผลการทดลองซ้ำในวันเดียวกัน (intraday precision) ค่า %RSD ของสาร demethylwedelolactone อยู่ในช่วง 0.38 – 1.61 และสาร wedelolactone อยู่ในช่วง 1.18 – 1.46 ส่วน %RSD ของผลการทดลองซ้ำในแต่ละวัน (interday precision) ของสาร demethylwedelolactone อยู่ในช่วง 0.34 – 0.47 และสาร wedelolactone อยู่ในช่วง 0.59 – 1.20 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานที่กำหนดคือค่า %RSD  $\leq 2$  โดยทำการทดลองซ้ำในแต่ละวันจำนวน 2 วัน

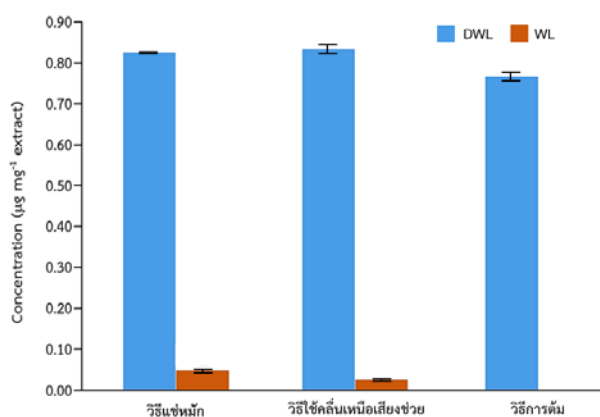
ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (accuracy) พิจารณาจากร้อยละของการกลับคืน (%Recovery) ของสารมาตรฐานที่เติมลงในตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธีการแช่หมักโดยวิธี spiked placebo recovery method พบว่า %recovery ของสาร demethylwedelolactone อยู่ในช่วง 89.21 – 97.00% และสาร wedelolactone อยู่ในช่วง 100.52 – 100.81% และโดยวิธี standard addition method จำนวน 3 ความเข้มข้นคือ 0.75, 1.50 และ  $7.50 \mu\text{g L}^{-1}$  พบว่า %recovery ของสาร

demethylwedelolactone อยู่ในช่วง 103.01 – 104.93% และสาร wedelolactone อยู่ในช่วง 89.69 – 105.94% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือระหว่าง 80 - 110% ตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

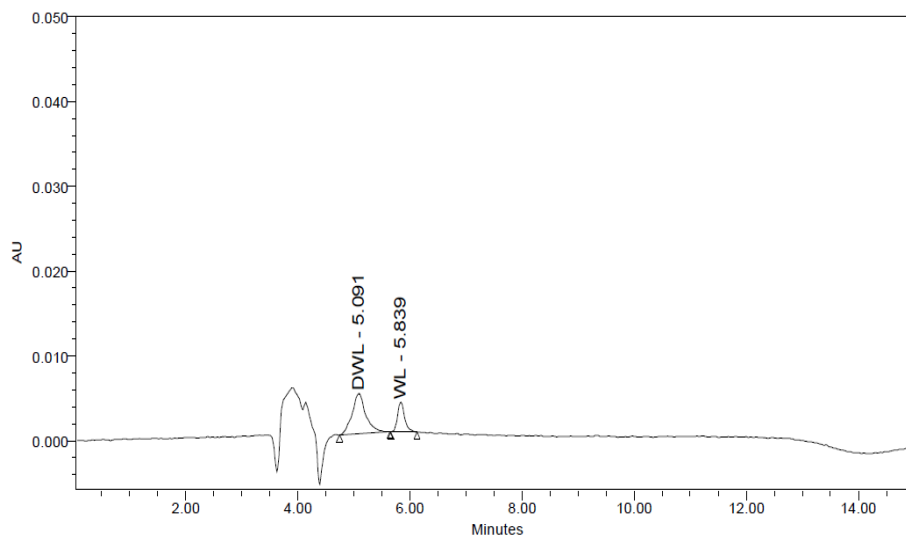
ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของคุณลักษณะเฉพาะ

Parameters	Information	Demethylwedelolactone	Wedelolactone
LOD	(3:1)	0.41 $\mu\text{g L}^{-1}$	0.004 $\mu\text{g L}^{-1}$
LOQ	(10:1)	1.37 $\mu\text{g L}^{-1}$	0.013 $\mu\text{g L}^{-1}$
Linearity	Range	5 – 25 $\mu\text{g L}^{-1}$	1 – 25 $\mu\text{g L}^{-1}$
	$r^2$	0.998	0.999
	Equation	$Y = 4216.8x + 47184$	$Y = 3860.8x + 3520.8$
Precision (%RSD)	Intraday precision (n = 7)	0.38 – 1.61	1.18 – 1.46
	Interday precision (n $\geq$ 10)	0.34 – 0.47	0.59 – 1.20
Accuracy (%Recovery)	Spiked placebo recovery method	89.21 – 97.00%	100.52 – 100.81%
	Standard addition method	103.01 – 104.93%	89.69 – 105.94%

การวิเคราะห์ปริมาณสาร demethylwedelolactone และ สาร wedelolactone ด้วยเครื่อง HPLC-PDA ตัวอย่างโครมาโทแกรมดังแสดงในภาพที่ 6 ของสารสกัดจากต้นกะเม็งจากวิธีการสกัด 3 วิธี ประกอบด้วย วิธีแช่หมัก วิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยและวิธีการต้ม พบปริมาณสาร demethylwedelolactone เท่ากับ 0.79, 0.78 และ 0.73  $\mu\text{g mg}^{-1}$  ของสารสกัดตามลำดับ ซึ่งปริมาณสาร demethylwedelolactone จากวิธีการสกัดทั้ง 3 วิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่สาร wedelolactone พบในการสกัดด้วยวิธีแช่หมักและการใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยมีปริมาณเท่ากับ 0.04 และ 0.02  $\mu\text{g mg}^{-1}$  ของสารสกัดตามลำดับ แต่ไม่พบในวิธีการต้ม (ภาพที่ 5) ซึ่งน่าจะเกิดจากคุณสมบัติการมีขี้ของตัวทำละลายที่ส่งผลต่อปริมาณสารทั้งสองชนิด โดยพิจารณาคุณสมบัติการมีขี้จากลำดับการถูกชะผ่านเฟสคงที่ชนิด reversed phase พบว่าสาร demethylwedelolactone มีขี้มากกว่า ทำให้พบในวิธีการสกัดที่ใช้ตัวทำละลายที่มีขี้่น้อยจนถึงมีขี้มาก ในขณะที่สาร wedelolactone ซึ่งมีขี้่น้อยกว่าจะพบในตัวทำละลายที่มีขี้่น้อยเช่น เอทานอล แต่ไม่พบในตัวทำละลายชนิดน้ำซึ่งมีขี้มาก (Nawaz *et al.*, 2020; Siramon and Weanukul, 2020; Akeyothinwong *et al.*, 2020)



ภาพที่ 4 ปริมาณสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ในสารสกัดจากต้นกะเม็ง ด้วยวิธีแช่หมัก วิธีการใช้คลื่นเหนือเสียงช่วย และวิธีการต้ม



ภาพที่ 5 โครมาโทแกรมของสาร demethylwedelolactone และ wedelolactone ในการสกัดจากต้นกะเม็งด้วยวิธีใช้คลื่นเหนือแสงช่วย

จากการตรวจสอบความแม่นยำและความเที่ยงของการวิเคราะห์ปริมาณสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ในสารสกัดทั้ง 3 วิธี พบว่า %RSD และ %Recovery (ตารางที่ 3) อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

ตารางที่ 3 ความแม่นยำและความเที่ยงของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone จากต้นกะเม็งที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

Spiking of the extracts	Demethylwedelolactone				Wedelolactone			
	Conc. Ext ( $\mu\text{g mg}^{-1}$ )	Conc. Spike ( $\mu\text{g mg}^{-1}$ )	%RSD	%Recovery	Conc. Ext ( $\mu\text{g mg}^{-1}$ )	Conc. Spike ( $\mu\text{g mg}^{-1}$ )	%RSD	%Recovery
วิธีแช่หมัก	$0.79 \pm 0.00$	$1.28 \pm 0.02$	1.85	97.00	$0.04 \pm 0.01$	$0.50 \pm 0.01$	2.11	91.22
วิธีใช้คลื่นเหนือแสงช่วย	$0.78 \pm 0.02$	$1.23 \pm 0.02$	1.53	89.21	$0.02 \pm 0.00$	$0.54 \pm 0.01$	2.02	101.25
วิธีการต้ม	$0.73 \pm 0.02$	$1.19 \pm 0.01$	1.10	91.80	$0.00 \pm 0.00$	$0.44 \pm 0.01$	1.38	87.72

หมายเหตุ สารสกัดทั้ง 3 วิธี เติมสารมาตรฐาน demethylwedelolactone และ wedelolactone ความเข้มข้น  $7.5 \mu\text{g L}^{-1}$

\*Conc. Ext ความเข้มข้นที่วัดได้ของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ก่อนทำการ spike

\*\*Conc. Spike ความเข้มข้นที่วัดได้ของสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone หลังทำการ spiked

**ตารางที่ 4** งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์หาสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone ในสารสกัดจากต้นกะเม็ง (*Eclipta prostrata*)

Plant Parts	Extraction/Solvent	HPLC Conditions	Method validation	Ref.
Roots Stems leaves	Maceration/ 30% Ethanol <b>Soxhlet</b> extraction/ Methanol Ethylacetate	Column; C18 <b>Mobile phase:</b> gradient A; ACN with 1% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> B; DW with 1% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> <b>Wavelength;</b> 351 nm	<b>Demethylwedelolactone:</b> LOD; 0.048 µg mL <sup>-1</sup> LOQ; 0.16 µg mL <sup>-1</sup> Range; 0.07 – 0.7 mg mL <sup>-1</sup> R <sup>2</sup> ; 0.9999 Equation; Y=0.000152X–0.001 <b>Wedelolactone:</b> LOD; 0.15 µg mL <sup>-1</sup> LOQ; 0.51 µg mL <sup>-1</sup> Range; 0.14 – 1.4 mg mL <sup>-1</sup> R <sup>2</sup> ; 0.9999 Equation; Y=0.000152X –0.003	Mendes et al., 2014
Whole plants	Maceration/ Methanol	Column; C8 <b>Mobile phase:</b> isocratic ACN with 0.1% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> <b>Wavelength;</b> 254 nm	- - -	Murali et al., 2002
Whole plants	Maceration/ Methanol	Column; C18 <b>Mobile phase;</b> gradient A; 0.1% C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> NO <sub>2</sub> B; ACN <b>Wavelength;</b> 355 nm	<b>Demethylwedelolactone:</b> Range; 0.1 – 1.0 mg mL <sup>-1</sup> R <sup>2</sup> ; 0.9908 Equation; Y=0.001372X+250215 <b>Wedelolactone:</b> Range; 0.05 – 0.5 mg mL <sup>-1</sup> R <sup>2</sup> ; 0.9804 Equation; Y=3E–84497X+0.6	Morel et al., 2017
Whole plants	Maceration/ Methanol	Column; C18 <b>Mobile phase;</b> isocratic MeOH with 0.04% C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> <b>Wavelength;</b> 352 nm	<b>Wedelolactone:</b> LOD; 2 µg mL <sup>-1</sup> LOQ; 5 µg mL <sup>-1</sup> Range; 5 - 100 µg mL <sup>-1</sup> R <sup>2</sup> ; 0.998 Equation; Y=86558X– 125096	Kumar, 2013
Whole plants	<b>Ultrasound</b> Extraction/ 70% Ethanol	Column; C18 <b>Mobile phase;</b> isocratic MeOH with 0.5% C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub> <b>Wavelength;</b> 352 nm	- - -	Lee, 2017



## สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณสาร demethylwedelolactone และสาร wedelolactone จากต้นกะเม็ง มีความแม่นยำและความเที่ยงสูง ทำการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ (precision) โดยการวิเคราะห์ intraday precision และ interday precision ผลการวิเคราะห์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับตามมาตรฐานมีค่า %RSD  $\leq 2$  ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ (accuracy) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ช่วง 80 - 110% ตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และจากผลการศึกษาวิธีการสกัดที่แตกต่างกัน 3 วิธี ประกอบด้วยวิธีแช่หมัก วิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยและวิธีการต้ม พบปริมาณสาร wedelolactone ที่สกัดด้วยวิธีแช่หมักและวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วยแต่ไม่พบในวิธีการต้ม ในขณะที่ปริมาณสาร demethylwedelolactone พบในสารสกัดจากทั้ง 3 วิธี ซึ่งน่าจะเกิดจากคุณสมบัติการมีขี้ของสาร demethylwedelolactone ที่สูงกว่าและสาร wedelolactone ส่งผลให้ละลายได้ในตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด แต่เมื่อพิจารณาด้านปริมาณสารที่พบและเวลาที่ใช้ในการสกัด วิธีใช้คลื่นเหนือเสียงช่วย น่าจะเป็นวิธีที่ดีที่สุดเนื่องจากพบทั้งปริมาณ สาร wedelolactone และสาร demethylwedelolactone และใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยามารัตน์ จัยสิน อาจารย์ประจำภาควิชาเภสัชวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อนุเคราะห์สารมาตรฐาน คุณชลธิชา นิवासประภคติ สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ที่อนุเคราะห์พืชสมุนไพร คุณปิยานี รัตนชานอง นักวิทยาศาสตร์ (ผู้ชำนาญการพิเศษ) ภาควิชาเภสัชวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ปรึกษาการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- Aderogba, M.A., McGaw, L.J., Ogundaini, A.O. and Eloff, J.N. (2007). Antioxidant activity and cytotoxicity study of the flavonol glycosides from *Bauhinia galpinii*. **Natural Product Research**, 21, 591-599.
- Akeyothinwong, K., Sakkayawong, N., Damriant, S. and Nakbanpote, W. (2020). Antioxidant activity and bioactive compounds of Kameng (*Eclipta prostrata* Linn.) extracts (in Thai). **Thai Journal of Science and Technology**, 9(1), 45-57.
- Chansuvarn, W. (2021). Method validation. Retrieved 15 February 2022 from [https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page\\_id=8366](https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=8366)
- Chumark, P., Khunawat, P., Sanvarinda, Y., Phornchirasitp, S., Morales, N.P., Phivthong-ngam, L., Ratanachamnon, P., Srisawat, S. and Pongrapeeporn, Ku.S. (2008). The in vitro and ex vivo antioxidant properties, hypolipidaemic and antiatherosclerotic activities of water extract of *Moringa oleifera* Lam. leaves. **Journal of Ethnopharmacology**, 116(3), 439-446.
- Jaisin, Y. (2016). Ka-meng (in Thai). **Thai Journal of Pharmacology**, 38(2), 40-47.
- Kumar, S. and Dhanani, T. (2013). Development and validation of a rapid high performance liquid chromatography – photodiode array detection method for estimation of a bioactive compound wedelolactone in extracts of *Eclipta alba*. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. 49(1), 57-63.
- Lee, H. Y. (2017). Enhancement of skin anti – inflammatory activities of *Eclipta prostrata* l. from the ultrasonic extraction process. **Applied Sciences**, 7, 1227.

- Mendes, F.N.P., Morais, S.M.D., Silva, M.G.V., Vieira, I.R., Rodrigues, P.A.S., Belizáriodiniz, D. and Vieira. Í.G.P. (2014). Determination of wedelolactone and demethylwedelolactone in *Eclipta alba* (L) hassk by hplc. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**, 6(10), 403-406.
- Morel, L.J.F., Azevedo, B.C., Carmona, F., Contini, S.H.T., Teles, A.M., Ramalho, F.S., Bertoni, B.W., Franca, S.C., Borges, M.C. and Pereira, A.M.S. (2017). A standardized methanol extract of *Eclipta prostrata* (L.) L. (Asteraceae) reduces bronchial hyperresponsiveness and production of Th2 cytokines in a murine model of asthma. **Journal of Ethnopharmacology**, 198, 226-234.
- Murali, B., Amit, A., Anand, M. S. and Samiulla, D. S. (2002). Estimation of wedelolactone and demethylwedelolactone in *Eclipta alba* Hassk. By improved chromatographic analysis. **Journal of Natural Remedies**, 2(1), 99-101.
- Nawaz, H., Shad, M.A., Rehman, N., Andaleeb, H. and Ullah, N. (2020). Effect of solvent polarity on extraction yield and antioxidant properties of phytochemicals from bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, 56, e17129.
- Phale, M.D., Hamrapurkar, P.D., Chachad, M.A., Patil, P.S. and Pawar, S.B. (2010). Precise and sensitive HPTLC method for quantitative estimation of wedelolactone in *Eclipta alba* hassk. **Pharmacophore**, 1(2), 103-111.
- Sasidharan, S., Chen, Y., Saravanan, D., Sundram, K.M. and Latha, L.Y. (2011). Extraction, isolation and characterization of bioactive compounds from plant's extracts. **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, 8(1), 1-10.
- Siramon, P. and Weanukul, R. (2020). Using ultrasound-assisted solvent extraction of phenolic compounds from *Curcuma aromatica* Salisb Rhizomes (in Thai). **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**, 22(1), 40-44.
- Snyder, L.R., Kirkland J.J. and Glajch J.L. (1997). Appendix II: Properties of Solvents Used in HPLC. In book: *Practical HPLC Method Development*, Second Edition.





บทความวิจัย

## โมเดลอย่างง่ายจากหนังยางเพื่อสืบเสาะกฎของสเนลล์

อิสสระ พิมวัน<sup>1</sup> และสุระ วุฒิพรหม<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

<sup>2</sup>ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*Email: sura.w@ubu.ac.th

รับบทความ: 23 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ: 11 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 14 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

การทดลองเป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาความรู้ ทดสอบสมมติฐาน หรือศึกษาปรากฏการณ์ การทดลอง การหักเหของคลื่นแสงจำเป็นต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ที่แสดงให้เห็นปรากฏการณ์ได้อย่างชัดเจน เพื่อไม่ให้ผู้เรียนเกิดแนวคิดคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยจึงพัฒนาแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่ายจากหนังยาง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องการหักเหของคลื่นแสงของนักเรียน ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 จำนวนนักเรียน 36 คนได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยแผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ จำนวน 2 แผน และ แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง วิเคราะห์ข้อมูลโดยการทดสอบที (t-test) และค่าความก้าวหน้าทางการเรียนตามวิธีของ Hake ผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนมีคะแนนจากแบบทดสอบเรื่องการหักเหของคลื่นแสงหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ในระดับสูง และยังพบอีกว่าหลังเรียนนักเรียนให้เหตุผลถูกต้องเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายสามารถพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเรื่องการหักเหของคลื่นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การหักเหของคลื่นแสง แบบจำลองการหักเหอย่างง่าย กฎของสเนลล์ หนังยาง

### อ้างอิงบทความนี้

อิสสระ พิมวัน และสุระ วุฒิพรหม. (2565). โมเดลอย่างง่ายจากหนังยางเพื่อสืบเสาะกฎของสเนลล์. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 97-106. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.9>

Research Article

## A simple model from rubber to investigate Snell's law

Itsara Phimwan<sup>1</sup> and Sura Wuttirom<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>*Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

<sup>2</sup>*Department of Physics, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University*

\*Email: [sura.w@ubu.ac.th](mailto:sura.w@ubu.ac.th)

Received <23 December 2021>; Revised <11 February 2022>; Accepted <14 February 2022>

---

### Abstract

An experiment is a scientific procedure used to discover knowledge, test hypotheses, or demonstrate phenomena. To avoid concepts being misunderstood, refraction of light wave experiments necessitates materials that clearly demonstrate the phenomenon. As a result, researchers created a simple model of light wave refraction by rubber bands. The goal of this study is to improve students' conceptual understanding of light wave refraction before and after teaching an inquiry-based learning approach with a simple model of light wave refraction. A purposive sample of 36 students in grade 11 in the second semester of the academic year 2020 was used to establish the sample. The research tools include two inquiry-based learning approach learning plans, a simple model of light wave refraction and a light wave refraction conceptual test. The t-test statistic and Hake's method for learning gain were used to analyse the data. At a confidence level of .05, the results indicate that students' post-test scores on the refraction of light waves conceptual test were significantly higher than their pre-test scores. The Hake's method for learning gain value is 0.71, which is a high gain. It was also discovered that after studying, students provided more accurate reasoning. An inquiry-based learning approach combined with a simple model of light wave refraction has been shown to effectively improve understanding of the concept of light wave refraction.

**Keywords:** Light wave refraction, Simple model of light wave refraction, Snell's law, Rubber band

---

**Cite this article:**

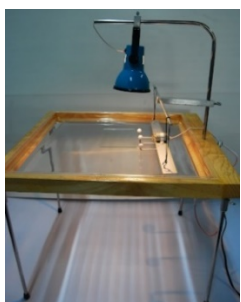
Phimwan, I. and Wuttirom, S. (2022). A simple model from rubber to investigate Snell's law (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 97-106. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.9>

## บทนำ

ฟิสิกส์เป็นวิทยาศาสตร์กายภาพที่ศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ธรรมชาติ ความรู้ทางฟิสิกส์ที่ถูกค้นพบเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ รวมถึงอุตสาหกรรม วิชาฟิสิกส์จึงปรากฏในหลักสูตรทุกระดับ ตั้งแต่ประถมศึกษาถึงมหาวิทยาลัย (Prongsamrong, 2006) อย่างไรก็ตาม วิชาฟิสิกส์เป็นวิชาหนึ่งที่ผู้เรียนมีปัญหาในการเรียน และมีทัศนคติเชิงลบ ในประเทศไทยรูปแบบการจัดการเรียนรู้ฟิสิกส์ส่วนใหญ่เน้นการบรรยาย (lecture based-teaching หรือ traditional teaching) จากงานวิจัยทางฟิสิกส์ศึกษาตลอดระยะเวลากว่า 50 ปี ชี้ให้เห็นว่ารูปแบบการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวไม่ช่วยให้ผู้เรียนพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเชิงนามธรรม (conceptual understanding) ฟิสิกส์อย่างแท้จริง ต่างจากรูปแบบการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (active learning) ที่ทำให้ผู้เรียนเข้าใจทั้งแนวคิดและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อน (misconception) ไปพร้อมกัน (Bunloet *et al.*, 2019; Feemuasam *et al.*, 2017)

การประยุกต์ใช้สื่อ เช่น วัสดุ อุปกรณ์ นวัตกรรม ในจัดกิจกรรมการเรียนรู้มีความจำเป็น เนื่องจากสื่อเป็นตัวกลางของการสื่อสารระหว่างผู้สอนและผู้เรียน ทำให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหาได้ลึกซึ้ง เพิ่มการมีส่วนร่วมในกิจกรรมการเรียนรู้ ทำเรื่องยากให้เป็นเรื่องง่าย เปลี่ยนความรู้จากนามธรรมเป็นรูปธรรม เป็นต้น วิชาฟิสิกส์จำเป็นต้องอาศัยสื่อประกอบการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพื่อใช้ในการศึกษาและอธิบายปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ เช่น การพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสงของ Sokolowski (2013) ใช้สื่อการวาดรูปแสดงเส้นรังสี เส้นแนวฉาก และมุมระหว่างเส้นรังสีกับเส้นปกติ (Maneechan 2010) ใช้สื่อวัสดุ อุปกรณ์ เรื่อง ลึกลับลึกปรากฏ และ Deephad and Jongsala (2008) ใช้สื่อวัสดุ อุปกรณ์ หาค่าดัชนีหักเห

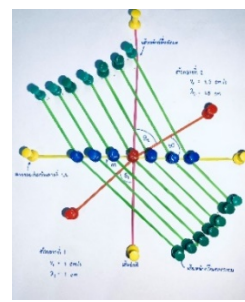
นอกจากสื่อประกอบการจัดการเรียนรู้ การจัดการเรียนรู้เชิงรุก ก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และบรรลุวัตถุประสงค์การเรียนรู้ได้ เช่น การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (Inquiry based learning) ที่เน้นให้นักเรียนได้รับประสบการณ์ตรงในการสร้างองค์ความรู้ของตนเองผ่านการลงมือปฏิบัติ ดังนั้นจึงมีนักวิจัยทางการศึกษาได้นำเอาการจัดการเรียนรู้เชิงรุกนี้ไปผนวกกับการใช้สื่อ (Kamluamee and Duangkumnoi, 2019; Parneesong, 2017) ผลวิจัยชี้ให้เห็นว่า ช่วยให้นักเรียนบรรลุวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้ได้ง่าย กระตุ้นการเข้าร่วมกิจกรรมและมีความร่วมมือในการทำกิจกรรมมากขึ้น พัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดี รวมทั้งพัฒนาความรู้ความเข้าใจแนวคิดวิทยาศาสตร์และสามารถลดแนวคิดคลาดเคลื่อนได้เป็นอย่างดี



(a) การทดลองการหักเหจากภาดคลีน



(b) การทดลองการหักเหจากแหล่งกำเนิดแสง



(c) แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่าย

รูปที่ 1 เปรียบเทียบการทดลองเรื่องการหักเหตามกฎของสเนลล์

การสะท้อนและการหักเหของแสง เป็นอีกหนึ่งหัวข้อที่พบแนวคิดคลาดเคลื่อนตรงกันของผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาและมหาวิทยาลัยของผู้เรียนได้ และสอดคล้องกับผู้เรียนในต่างประเทศ (Kaewkhong *et al.*, 2010; Dido *et al.*, 2020; John, Molepo and Chirwa, 2015) จากประสบการณ์สอนของผู้วิจัยพบแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการสะท้อนและการหักเหของแสงกับผู้เรียนเช่นเดียวกัน โดยผู้วิจัยได้สันนิษฐานสาเหตุเบื้องต้นของแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1) ผู้วิจัยใช้สื่อวิดีโอการทดลองแทนการทดลองจริง เนื่องจากที่โรงเรียนไม่มีห้องปฏิบัติการทางแสง (ห้องมืด) (2) ข้อจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง เช่น การใช้ภาดคลีน (รูปที่ 1a) มีข้อจำกัดคือ ไม่ปรากฏเส้นรังสี การใช้ปริซึม (รูปที่ 1b) มีข้อจำกัด คือ ต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มแสงสูง และต้องการห้องปฏิบัติการทางแสง เพื่อให้สามารถสังเกตการเกิดการหักเหของแสงได้อย่างชัดเจน อีกทั้งการหักเหของแสงก็ไม่ได้ปรากฏเส้นหน้าคลื่นหักเห และเส้นหน้าคลื่นตกกระทบ ส่งผลให้นักเรียนเข้าใจหลักการหักเหจากการทดลองได้ยาก

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาความเข้าใจและแก้ไขแนวคิดคลาดเคลื่อนของผู้เรียนในเรื่องการหักเหของคลื่นแสงโดยได้นำการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับการใช้สื่อ วัสดุ อุปกรณ์ สร้างแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่าย รูปที่ 1c) แบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย มีจุดเด่นคือ นักเรียนสามารถสร้างแบบจำลองการหักเหตามเงื่อนไขที่กำหนด และคำนวณปริมาณที่เกี่ยวข้องกับการหักเหของแสงตามกฎของสเนลล์ (Snell's law) จนสามารถสรุปเป็นกฎของสเนลล์ได้ด้วยตนเอง แบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่ายนี้มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายอุปกรณ์เครื่องเขียนทั่วไป และถือเป็นนวัตกรรมทางการศึกษา วัสดุ อุปกรณ์ ประกอบด้วย แผ่นพลาสติกหรือแผ่นโฟมแข็ง กระดาษสีขาว

ขนาด A4 หนึ่งยางคละสี เข็มหมุด ไม้บรรทัด ชุดไม้โปรแทรกเตอร์และดินสอ วัสดุ อุปกรณ์ทั้งหมดสามารถบรรจุในกล่อง (portable) สามารถสร้างแบบจำลองนี้ได้เองที่บ้านในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

### วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความเข้าใจแนวคิดเชิงโมด (conceptual understanding) เรื่องการหักเหของคลื่นแสง ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ก่อนและหลังการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย

### วิธีดำเนินการวิจัย

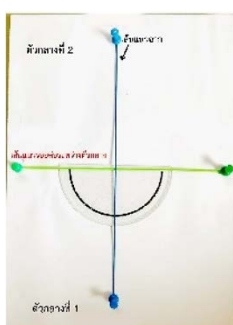
- 1) รูปแบบการวิจัย ผู้วิจัยได้ใช้แผนการวิจัยแบบ ใช้กลุ่มตัวอย่างเพียงกลุ่มเดียวทดสอบก่อนและหลังเรียน
- 2) กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2563 โรงเรียนพณิชยการวิเทศอาชีวศึกษา อำเภอยักษ์ภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวนนักเรียน 36 คนได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)
- 3) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะ และ แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง

แผนการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ จำนวน 2 แผน ซึ่งประกอบแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องลักษณะการหักเหของแสงจำนวน 2 ชั่วโมง แผนการจัดการเรียนรู้ที่ 2 เรื่อง ดรรชนีหักเหและการหักเหของแสง จำนวน 2 ชั่วโมง สำหรับกิจกรรมการเรียนรู้ในแต่ละแผนมีความคล้ายกันผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างแผนการจัดการเรียนรู้ที่ 1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

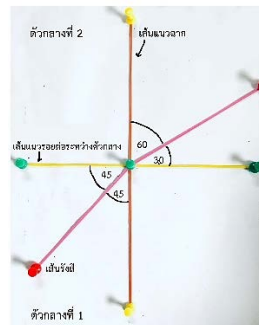
ขั้นที่ 1 การสร้างความสนใจ (15 นาที) ครูใช้ 2 สถานการณ์ นำเข้าสู่บทเรียนดังนี้ สถานการณ์ที่ 1 ครูใช้โปรแกรม PhET สร้างสถานการณ์จำลอง การหักเหของแสงผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน (ลำแสงจะไม่หักเห) ให้นักเรียนสังเกต พร้อมทั้งตั้งคำถามว่า “ถ้าเปลี่ยนตัวกลางที่ 2 ลำแสงจะเปลี่ยนหรือไม่อย่างไร” สถานการณ์ที่ 2 ครูเพิ่มคำถามว่า “ถ้าเปลี่ยนตัวกลางที่ 2 เส้นที่แสดงความยาวคลื่น ความเร็วคลื่นและทิศทางของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่อย่างไร”

ขั้นที่ 2 สำรวจและค้นหา (40 นาที) นักเรียนจัดเป็น 5 กลุ่ม คณะความสามารถในการเรียนรู้ เก่ง ปานกลาง อ่อน และทำกิจกรรมจากใบกิจกรรมที่ 1 เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง โดยใช้ชุดแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เพื่อศึกษาการหักเหของแสง ดังนี้

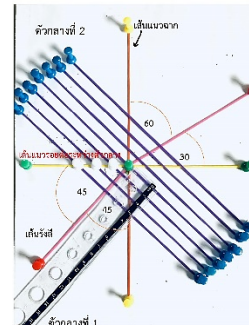
- 1) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางที่ 1 และ 2 พร้อมกับเส้นแนวฉาก ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (a) สร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางและเส้นแนวฉาก
- 2) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นรังสีตกกระทบและเส้นรังสีหักเห พร้อมทั้งระบุมุมตกกระทบและมุมหักเห ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (b) สร้างเส้นรังสีตกกระทบและรังสีหักเห
- 3) ใช้หนึ่งยางสร้างเส้นหน้าคลื่นตกกระทบ และเส้นหน้าคลื่นหักเห ในขั้นตอนนี้เพื่อง่ายต่อการวัดระยะห่างของหน้าคลื่น ควรยังไม่ให้เกิดเส้นหน้าคลื่นหักเหดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (c) สร้างเส้นหน้าคลื่น
- 4) สร้างเส้นหน้าคลื่นหักเห โดยการเอียงหนึ่งยางหน้าคลื่นหักเหให้ทำมุมตั้งฉากกับเส้นรังสีหักเห ดังรูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง (d) แบบจำลองลักษณะการหักเหของคลื่นแสง สังเกต วัดค่าต่างๆ บันทึกผล และตอบคำถาม (ครูทำหน้าที่เป็นผู้อำนวยความสะดวกระหว่างนักเรียนทำกิจกรรม)



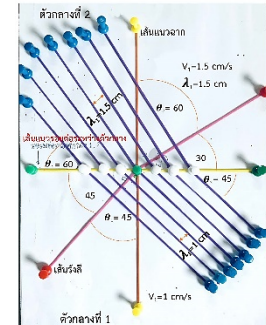
(a) สร้างเส้นแนวรอยต่อระหว่างตัวกลางและเส้นแนวฉาก



(b) สร้างเส้นรังสีตกกระทบและรังสีหักเห



(c) สร้างเส้นหน้าคลื่น



(d) แบบจำลองลักษณะการหักเหของคลื่นแสง

รูปที่ 2 ลำดับการสร้างแบบจำลอง

ขั้นที่ 3 อธิบายและลงข้อสรุป (30 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันอภิปรายผลในประเด็นดังต่อไปนี้ จากการทดลองใน 2 สถานการณ์แรก เส้นที่แสดงความยาวคลื่น ความเร็วคลื่นและทิศทางของคลื่น มีความเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ครูอธิบายและนักเรียนร่วมกันอภิปรายเพิ่มเติมว่า “ถ้าเราให้แสงเคลื่อนที่จากน้ำไปสู่อากาศ ความยาวคลื่น อัตราเร็วคลื่น การหักเหของแสงจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร” และได้เชื่อมโยงการหักเหจากโปรแกรมทดลอง PhET กับแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายที่นักเรียนสร้างขึ้น โดยอธิบายให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของมุมตกกระทบ มุมหักเห ความเร็วคลื่น และความยาวคลื่น เมื่อตัวกลางเปลี่ยนไป

ขั้นที่ 4 ขยายความรู้ (20 นาที) ครูและนักเรียนร่วมกันสรุปผลการทำกิจกรรมอีกครั้ง เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง ในประเด็นที่ว่า “แสงเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย (อากาศ) ไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก (แท่งแก้วพลาสติก) จะส่งผลต่อความเร็วคลื่น ความยาวคลื่น ความถี่ มุมตกกระทบและมุมหักเห หรือไม่อย่างไร

ขั้นที่ 5 การประเมินผล (15 นาที) ครูประเมินจากใบกิจกรรมที่ เรื่อง ลักษณะการหักเหของแสง และสัมภาษณ์นักเรียนที่ยังคงมีประเด็นคำตอบที่ไม่ชัดเจน

**แบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง** เป็นข้อสอบ 2 ลำดับชั้น เป็นแบบปรนัย 4 ตัวเลือก และอธิบายเหตุผลประกอบ จำนวน 10 ข้อ โดยผู้วิจัยเลือกมาจากงานวิจัยของ Deephad (2010) ค่าความยากง่ายอยู่ในช่วง 0.20 - 0.80 ค่าอำนาจจำแนกตั้งแต่ 0.20 ขึ้นไป มีความเหมาะสมและครอบคลุมจุดประสงค์การเรียนรู้ เกณฑ์การให้คะแนนแบ่งเป็น 1 และ 0 คะแนน ได้ 1 คะแนน เมื่อตอบถูกทั้ง 2 ลำดับชั้น (เลือกตัวเลือกถูกและอธิบายเหตุผลประกอบถูก) ได้ 0 คะแนน เมื่อตอบผิดทั้ง 2 ลำดับชั้น (เลือกตัวเลือกผิดและอธิบายเหตุผลประกอบผิด) หรือ ตอบถูกเฉพาะลำดับชั้นที่ 1 (เลือกตัวเลือกถูก แต่อธิบายเหตุผลประกอบผิด)

4) การเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยให้นักเรียนทำแบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง จำนวน 10 ข้อ ภายในเวลา 30 นาที ก่อนและหลังการจัดกิจกรรมการเรียนรู้

#### 5) การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์คะแนนด้วยการทดสอบค่าที่แบบตัวอย่างไม่อิสระต่อกัน (dependent samples t-test)

2) วิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียน normalized gain <g> ตามแนวทางของ Hake (1998) โดยหาได้จากสัดส่วนระหว่างผลการเรียนรู้ที่เพิ่มขึ้นจริง (actual gain) ทหารด้วยผลการเรียนรู้สูงสุดที่มีโอกาสเพิ่มขึ้นไปได้ (maximum possible gain) ดังสมการ Normalized gain <g> = (%post-test - %pre-test) ÷ (100% - %pre-test) ความก้าวหน้าทางการเรียน มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ Low gain (ค่า <g> น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.3) Medium gain (ค่า <g> มากกว่า 0.30 แต่น้อยกว่า 0.70) และ High gain (<g> มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.70)

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากคะแนนแบบทดสอบความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ ดังนี้

#### 1) ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและความก้าวหน้าทางการเรียน

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า t และค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย Normalized gain <g>

คะแนนทดสอบ	$\bar{x}$	S.D.	t	Normalized gain <g>	แปลผล
ก่อนเรียน	3.44	0.73	36.44*	0.71	High gain
หลังเรียน	8.14	0.42			

\*แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

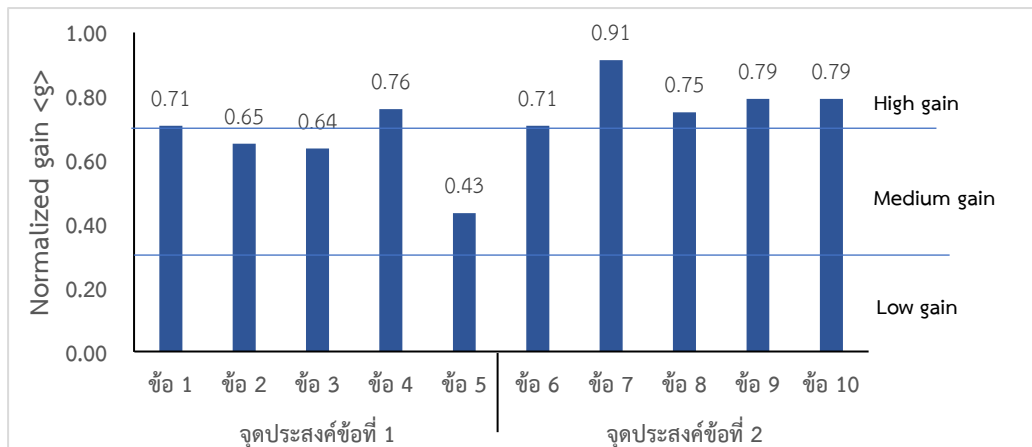
จากตารางที่ 1 นักเรียนมีคะแนนทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน เท่ากับ 3.44 คะแนน และ 8.14 คะแนนตามลำดับ เมื่อทดสอบค่า t พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง การหักเหของคลื่นแสง หลังจากนักเรียนผ่านการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายเพิ่มขึ้น เนื่องจากเรียนได้สร้างแบบจำลองและได้สืบเสาะหาความรู้ของสเนลล์ด้วยตนเอง ตามทฤษฎีการเรียนรู้ constructivism ผลวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deephad (2010) ที่สามารถพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของแสง ของนักเรียนให้อยู่ในระดับ Medium gain โดยใช้ชุดการเรียนรู้ร่วมกับการสอบแบบสืบเสาะ และ



สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supatchaiyawong (2020) ที่สามารถพัฒนานักเรียนส่วนใหญ่ให้มีแบบจำลองทางความคิดที่ถูกต้องตรงตามแบบจำลองทางวิทยาศาสตร์ โดยใช้การจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้แบบจำลองเป็นฐาน

**2) ความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียน**

จากตารางที่ 1 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ในระดับ High gain แสดงให้เห็นว่านักเรียนมีความเข้าใจแนวคิด (conceptual understanding) เรื่องการหักเหของคลื่นแสง และเมื่อวิเคราะห์ความก้าวหน้าทางการเรียนรายจุดประสงค์การเรียนรู้ (Conceptual dimensional normalized gain) พบว่า ในจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 1 (วัดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับแนวทางการเดินทางของคลื่นแสง ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นหน้าคลื่น เส้นแนวฉาก แนวรอยต่อระหว่างตัวกลาง) มีความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ย อยู่ในระดับ Medium gain และ ในจุดประสงค์การเรียนรู้ข้อที่ 2 (วัดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีหักเห มุมตกกระทบและมุมหักเหตามกฎของสเนลล์) อยู่ในระดับ High gain



รูปที่ 2 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียนของนักเรียนรายข้อและจุดประสงค์

เมื่อพิจารณาความก้าวหน้าทางการเรียนเฉลี่ยรายข้อพบว่าในข้อที่ 2, 3 และ 5 ค่า <g> อยู่ระดับ Medium gain และ ในข้อที่ 1, 4, 6, 7, 8, 9 และ 10 ค่า <g> อยู่ระดับ High gain

<p>ข้อที่ 7. จากภาพแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของแสงจากตัวกลางที่ 1 ไปยังตัวกลางที่ 2 และตัวกลางที่ 3 ซึ่งมีค่าดัชนีหักเหของแสงเป็น <math>n_1</math>, <math>n_2</math> และ <math>n_3</math> ตามลำดับ ข้อใดคือเงื่อนไขที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่มีลักษณะดังภาพ</p> <p>ก. <math>n_1 &lt; n_2 &lt; n_3</math> ข. <math>n_1 &gt; n_2 &gt; n_3</math> ค. <math>n_1 &lt; n_2 = n_3</math> ง. <math>n_1 = n_2 = n_3</math></p> <p>อธิบาย</p>	<p>ข้อที่ 5. ภาพการเคลื่อนที่ของแสงจากตัวกลางที่ 1 ไปยังตัวกลางที่ 2 หากต้องกำหนดว่าตัวกลางใดควรเป็นแก้วและตัวกลางใดควรเป็นน้ำ ข้อใดวิเคราะห์ได้ถูกต้อง</p> <p>ก. ตัวกลางที่ 1 เป็นน้ำ ตัวกลางที่ 2 เป็นแก้ว ข. ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว ตัวกลางที่ 2 เป็นน้ำ ค. ตัวกลางที่ 1 และ ตัวกลางที่ 2 เป็นแก้วเหมือนกัน ง. ข้อมูลไม่เพียงพอ</p> <p>อธิบาย</p>
(a) ข้อสอบข้อที่ 7	(b) ข้อสอบข้อที่ 5

รูปที่ 3 ตัวอย่างข้อสอบข้อที่ 7 และข้อสอบข้อที่ 5

**3) กลุ่มคำตอบของนักเรียน**

ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มเหตุผลประกอบการเลือกตอบของนักเรียนโดยละเอียด โดยเลือกมา 2 ข้อ คือแบบทดสอบข้อที่ 7 (รูปที่ 3) ความก้าวหน้าสูงที่สุด เท่ากับ 0.91 (High gain) และแบบทดสอบข้อที่ 5 (รูปที่ 3) มีความก้าวหน้าทางการเรียนต่ำสุด เท่ากับ 0.43 (Medium gain) ดังตารางที่ 2

แบบทดสอบข้อที่ 7 วัดการคิดวิเคราะห์ “แสงเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหจากน้อยไปยังตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหมาก เส้นรังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ” จากตารางที่ 2 พบว่าก่อนและหลังเรียนนักเรียนเกือบทุกคนได้ให้เหตุผลสนับสนุนคำตอบคิดเป็น ร้อยละ 80.55 และ 94.44 ตามลำดับ โดยเหตุผลประกอบที่ถูกต้องก่อนเรียนคิดเป็นร้อยละ 36.10 และหลังเรียนร้อยละ 91.66 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 55.56 จากกลุ่มเหตุผลประกอบ ทำให้ผู้วิจัยพบแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1)

เมื่อตรรกะนี้หักเหมีค่ามากเส้นรังสีจะเบนห่างจากเส้นปกติมาก (2) ตรรกะนี้หักเหไม่มีผลต่อการหักเหของแสง หลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนดังกล่าวลดลง เป็นไปได้ว่าการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะร่วมกับการใช้แบบจำลองช่วยให้นักเรียนเข้าใจถึงหลักของความสัมพันธ์ของตรรกะนี้หักเหและการหักเหเส้นรังสี สามารถประยุกต์ใช้กฎของสเนลล์อธิบายมุมตกกระทบที่มีความสัมพันธ์กับตรรกะนี้หักเหได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามหลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงลำดับตรรกะนี้หักเหจากน้อยไปมากเส้นรังสีจะเบนห่างจากเส้นปกตินั้นหายไปและยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการเรียงลำดับตรรกะนี้หักเหจากน้อยไปมากส่งผลให้เส้นรังสีหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติในทุกตัวกลางยังคงอยู่

ตารางที่ 2 กลุ่มคำตอบแบ่งตามตัวเลือกและเหตุผลประกอบก่อนเรียนและหลังเรียนสำหรับแบบทดสอบข้อที่ 7

ก่อนเรียน				หลังเรียน			
ตัวเลือก	เหตุผลประกอบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ตัวเลือก	เหตุผลประกอบ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ก	ตรรกะนี้หักเหมีค่ามากเส้นรังสีจะเบนมาก	8	22.22	ก	ตรรกะนี้หักเหเรียงลำดับน้อยไปมาก ทำให้เส้นรังสีหักเหเบนเข้าหาเส้นปกติในทุกตัวกลาง	1	2.78
	ตรรกะนี้หักเหจะทำให้เส้นเบนลงล่างตามลำดับตัวกลาง	5	13.89		ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78
	ไม่อธิบายเหตุผล	4	11.11				
ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	พิจารณามุมโดยถ้า $n$ มาก มุมตกกระทบจะน้อย $n$ น้อยมุมจะมาก ถ้า $n$ เท่ากันมุมจะเท่าเดิม	13	36.10	ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	แสงเคลื่อนที่จากตรรกะนี้หักเหเข้าไปมาก รังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ และเส้นรังสีไม่เบนเมื่อค่าตรรกะนี้หักเหมีค่าเท่ากัน	18	50.00
					$n_1$ น้อยกว่า $n_2$ เพราะมุมตกกระทบมากกว่ามุมหักเห และเส้นรังสีไม่หักเหแสดงว่า $n_2$ เท่ากับ $n_3$	15	41.66
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78
ค	ตรรกะนี้หักเหมีค่าลดลงเส้นลึกลงจะขึ้นลงตามลำดับ	1	2.78				
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				
ง	ตรรกะนี้หักเหเท่ากันเพราะแสงผ่านได้เท่ากันทั้ง 3	1	2.78				
	ค่า $n$ ทั้ง 3 ชนิดเท่ากันเพราะเส้นรังสีหักเหได้ทั้ง 3 เส้น	1	2.78				
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				

แบบทดสอบข้อที่ 5 วัดการคิดวิเคราะห์เนื้อหาที่ว่า “ตัวกลางที่มีความยาวคลื่นมาก ความหนาแน่นจะน้อย และคลื่นเคลื่อนที่จากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปน้อยเส้นรังสีหักเหจะเบนเข้าหาเส้นปกติ” ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งจะพบว่านักเรียนได้ให้เหตุผลประกอบก่อนเรียนเท่ากับหลังเรียน คือ ร้อยละ 83.33 เมื่อพิจารณาเฉพาะเหตุผลประกอบที่ถูกต้องพบว่าหลังเรียนสูงกว่า (ร้อยละ 47.22) ก่อนเรียน (ร้อยละ 36.11) จากกลุ่มเหตุผลประกอบ ทำให้ผู้วิจัยพบแนวคิดคลาดเคลื่อน ดังนี้ (1) น้ำมีความหนาแน่นของเส้นหน้าคลื่นมากกว่าแก้ว (2) เส้นหน้าคลื่นที่มีความถี่มากเป็นค่าที่บ่งบอกความหนาแน่นของตัวกลางได้ นอกจากนี้ยังมีข้อค้นพบแนวคิดที่ความคลาดเคลื่อนอีกอย่างคือน้ำมีความโปร่งแสงเหมือนกันกับแก้วจึงไม่เกิดการหักเหเมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางทั้งสอง ซึ่งแนวคิดที่คลาดเคลื่อนนี้จะมาจากการที่นักเรียนพบเจอในชีวิตประจำวัน อีกทั้งในกิจกรรมที่ 2 เรื่อง แบบจำลองตรรกะนี้หักเหของแสงผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน นักเรียนได้เห็นลักษณะการเบนของเส้นรังสีหักเหจากตัวกลางที่มีตรรกะนี้หักเหต่างกันเท่านั้น แต่ยังไม่ทราบถึงสาเหตุที่เกี่ยวกับตรรกะนี้หักเหที่มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของตัวกลาง จึงส่งผลให้นักเรียนยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนในเรื่องนี้อยู่ อย่างไรก็ตามหลังเรียนพบว่าแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับตัวกลางทั้งสองถ้ามีเส้นหน้าคลื่นปรากฏเหมือนกันจะเป็นตัวกลางเดียวกันหายไป และยังมีแนวคิดคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับเส้นหน้าคลื่นในน้ำมากกว่าเส้นหน้าคลื่นในแก้วยังคงอยู่

ตารางที่ 3 กลุ่มคำตอบแบ่งตามตัวเลือกและเหตุผลประกอบก่อนเรียนและหลังเรียนสำหรับแบบทดสอบข้อที่ 5

ตัวเลือก	ก่อนเรียน			หลังเรียน			
	อธิบายเหตุผล	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ตัวเลือก	อธิบายเหตุผล	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ก	น้ำเป็นตัวกลางที่ 1 เพราะ จำนวน เส้นหน้าคลื่นในน้ำมากกว่าเส้น หน้าคลื่นในแก้ว	8	22.22	ก	ตัวกลางที่ 1 เป็นน้ำ เพราะ ความเร็ว หน้าคลื่นมากกว่าตัวกลางที่ 2	3	8.33
	น้ำเป็นตัวกลางที่ 1 เพราะ ความหนาแน่นของเส้นหน้าคลื่นในน้ำ มากกว่าเส้นหน้าคลื่นในแก้ว	4	11.11		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56
	ไม่อธิบายเหตุผล	3	8.33				
ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสดงว่าตัวกลางมีความหนาแน่นมาก	8	22.22	ข (คำตอบที่ถูกต้อง)	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสดงว่าตัวกลางมีความหนาแน่นมาก	9	25.00
	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะความยาวคลื่นในแก้วมีค่าน้อยกว่าน้ำ	5	13.89		ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว 1 เพราะค่ามุมตกกระทบน้อย ความเร็วในตัวกลางที่ 1 ก็น้อย เมื่อเทียบกับตัวกลางที่ 2 ซึ่งเป็นน้ำ	8	22.22
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78				
ค	เพราะทั้งสองตัวกลางมีเส้นหน้าคลื่นเหมือนกันคลื่นผ่านได้เหมือนกัน	2	5.56	ค	ตัวกลางที่ 1 เป็นแก้ว เพราะ ความยาวคลื่นน้อยและมีความเร็วในแก้วน้อยกว่าในตัวกลางที่ 2	6	16.67
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56
ง	ไม่ควรเกิดการหักเห เพราะ แก้วกับน้ำมีความโปร่งแสงเหมือนกัน	3	8.33	ง	เพราะไม่ระบุข้อมูลความหนาแน่นของตัวกลางมาให้	4	11.11
	ไม่อธิบายเหตุผล	1	2.78		ไม่อธิบายเหตุผล	2	5.56

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

การจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เรื่อง การหักเหของคลื่นแสงตามกฎของสเนลล์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 พบว่า นักเรียนมีคะแนนสอบหลังเรียนเฉลี่ยสูง (8.14 คะแนน) กว่าก่อนเรียนเฉลี่ย (3.44 คะแนน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ค่าความก้าวหน้าทางการเรียน เท่ากับ 0.71 จัดอยู่ในระดับ High gain แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้ร่วมกับแบบจำลองการหักเหของคลื่นแสงอย่างง่าย เป็นเครื่องมือในการจัดการเรียนการสอนที่ช่วยในการพัฒนาความเข้าใจเรื่องการหักเหของคลื่นแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้นักเรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ได้ด้วยตนเองจากการลงมือปฏิบัติ นักเรียนได้เรียนรู้จากรูปธรรมมากกว่านามธรรม ส่งผลให้นักเรียนมีการเปลี่ยนแปลงองค์ความรู้ที่ได้รับจากประสบการณ์ใหม่ ทั้งนี้เป็นเพราะการจัดการเรียนการสอนแบบสืบเสาะหาความรู้เป็นวิธีการสอนที่ครูใช้คำถามให้เกิดข้อสงสัยและกระตุ้นการเรียนรู้ (ขั้นการสร้างความสนใจ) นักเรียนได้แสวงหาความรู้ด้วยตนเอง (ขั้นสำรวจและค้นหา) สรุปเป็นข้อค้นพบจากกิจกรรมและผนวกเข้ากับองค์ความรู้เดิมเกิดเป็นองค์ความรู้ใหม่ (ขั้นอธิบายและสรุป) นำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้และแก้ปัญหาในสถานการณ์ที่ต่างกัน (ขั้นอธิบายและสรุป) และประเมินผลการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นหลังได้รับความรู้ใหม่ (การประเมินผล) อีกทั้งแบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายเป็นกิจกรรมที่ผู้เรียนได้สร้างแบบจำลองขึ้นเองช่วยให้ผู้เรียนเห็นภาพการลักษณะหักเหของคลื่นแสงสามารถจับต้องได้ นักเรียนได้ฝึกทักษะสังเกต การตั้งคำถามและสรุปความรู้การหักเหของแสงและค้นพบการหักเหตามกฎของสเนลล์ด้วยตนเอง ส่งผลให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้อย่างแท้จริง สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม

ผู้วิจัยมีข้อเสนอในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้ 1) แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในเรื่องปรากฏการณ์จริงอีกปรากฏ ได้ 2) ในการใช้แบบจำลองการหักเหของแสงอย่างง่ายควรระวังหนึ่งข้างขาดขณะปักหมุดลงบนกระดานและไม่ควรให้หนึ่งข้างตั้งจนเกินไป 3) การใช้งานแบบจำลองต้องสร้างระยะห่างระหว่างหนึ่งข้าง (เส้นหน้าคลื่น) ต้องเท่ากันและต้องตั้งฉากกับเส้นรังสีเสมอเพราะจะส่งผลให้เกิดค่ามุมตกกระทบ มุมหักเหของเส้นหน้าคลื่นและความยาวคลื่นคลาดเคลื่อนได้ 4) แบบจำลองนี้ควรนำไปประยุกต์ใช้ได้กับตัวกลางมากกว่า 2 ตัวกลางและควรระบุตัวกลางเช่น น้ำ แก้ว หรืออากาศ เพื่อลดแนวความคิดคลาดเคลื่อนและเพิ่มความเข้าใจในเรื่องการหักเหของแสงผ่านตัวกลางมากกว่า 2 ตัวกลาง

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณา และความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำแก้ไขและติดตามการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและคณะครูโรงเรียนพยุหะภูมิวิทยาคารทุกท่านที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดี ตลอดการทำการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษาทุกท่านที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจร่วมทุกข์ ร่วมสุข และให้ความช่วยเหลือเกื้อกูลตลอดมา

## เอกสารอ้างอิง

- Bunloet, T., Promma, S., Fakcharoenphol, W. and Wannagatesiri, T. (2019). Development of active learning to fix the misconceptions in basic circuit topic for K-9 students (in Thai). **Journal of Education and Human Development Sciences**, 3(1), 1-14
- Deephad, S. (2010). Development of understanding of light refraction for Mathayomsuksa 5 by using a set of learning model with 5Es inquiry cycles (in Thai). **Master's thesis**. Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Dido, F., Mongan, S., Mandang, T., Palilingan, R., Mondolang, A. and Poluakan, C. (2021, July). Analysis of student difficulties in learning refraction of light. **Journal of Physics: Conference Series**, 1968(1), 012033.
- Feemuasarn, T., Limpanont Phommarata, P., Hengpanya, V. (2017). Effects of four-step constructivist-based teaching strategy on physics concepts and attitudes toward physics learning of eleventh grade students (in Thai). **Online Journal of Education**, 12(1), 384-401.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. **American Journal of Physics**. 61(1), 64-74.
- John, M., Molepo, J. M. and Chirwa, M. (2015). Exploring grade 11 learners' conceptual understanding of refraction: A South African case study. **International Journal of Educational Sciences**, 10(3), 391-398.
- Jongsala, S. and Seebut, S. (2008). Using Geometric Optics Kit (GO-Kit) to promote student's learning in lenses and optical instrument (in Thai). **Parichart Journal, Thaksin University**, 21(1), 8-18
- Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N. and Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. **Physics Education**, 45(1), 97.
- Kamluamee, P. and Duangkumnoi, S. (2019). Developing Grade 11 students' learning achievement in the mathematics topics of sequence and series through the 5E learning cycle model (in Thai). **Rajabhat Rambhai Barni Research Journal**, 13(2), 181-190.
- Maneechan, N. (2010). The development of experimental set on real depth and apparent depth in refraction of light for developing experimental skill and learning achievement (in Thai). **Master's thesis**. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University.
- Parneesong, U., Naunkaew, J. and Liamtong, S. (2017). Learning management using inquiry method (5E) with concept mapping technique on life and environment towards analytical thinking ability and achievement for grade 10 students (in Thai). **Humanities and Social Sciences Journal of Pibulsongkram Rajabhat University**, 11(1), 134-147.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C. and LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. **The physics teacher**, 44(1), 18-23.

- Prongsamrong, P. (2006). Effects of using the 7E instructional model in physics on learning achievement and problem solving ability of upper secondary school students (in Thai) **Master's thesis**. Bangkok: Chulalongkorn University.
- Sokolowski, A. (2013). Conceptualization of light refraction. **The Physics Teacher**, 51(2), 110-111.
- Supatchaiyawong, P. (2020). Pre-service chemistry teachers understanding of the nature of chemistry (in Thai). **Journal of Education, Prince of Songkla University, Pattani Campus**, 31(3), 29-44.

บทความวิจัย

## การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเรื่องสวนสัตว์ ของคุณหนู เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา

พงศธร บุญชู<sup>1</sup> ศิริรัตน์ เพชรประภัสสร<sup>2</sup> และบรรณรักษ์ คุ่มรักษา<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

<sup>2</sup>โรงเรียนวัดกาญจนาราม อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี

\*Email: bannarak.khu@sru.ac.th

รับบทความ: 22 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 2 มกราคม 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 21 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองขั้นต้น โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และศึกษาผลการเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์และความพึงพอใจของนักเรียนหลังจากได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ กลุ่มตัวอย่างของการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ถูกเลือกมาโดยการสุ่ม ประกอบด้วยกลุ่มทดลอง 30 คนและกลุ่มควบคุม 28 คน เครื่องมือของการวิจัยคือแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเรื่อง “สวนสัตว์ของคุณหนู” ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ 6 ขั้นตอนพัฒนาขึ้นมาจากการผสมแนวคิดกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมร่วมกับแนวคิดการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและออกแบบ กิจกรรมนี้ใช้ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรมทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง (3 สัปดาห์) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์และแบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียน ผลจากการวิจัยพบว่าผลการประเมินกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ผลการทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้พบว่านักเรียนกลุ่มทดลองมีคะแนนเฉลี่ยของทักษะการคิดสร้างสรรค์สูงกว่ากลุ่มควบคุมทุกด้าน สัดส่วนของจำนวนนักเรียนกลุ่มทดลองมีทักษะการคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับดีมากอยู่ร้อยละ 60 ในขณะที่นักเรียนกลุ่มควบคุมส่วนใหญ่ (ร้อยละ 53) อยู่ในระดับพอใช้และไม่พบนักเรียนที่มีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับดีมาก และนักเรียนกลุ่มทดลองมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานี้อยู่ในระดับมากที่สุด

**คำสำคัญ:** สะเต็มศึกษา ทักษะการคิดสร้างสรรค์ วิชาวิทยาศาสตร์ นักเรียนระดับชั้นประถมศึกษา

### อ้างอิงบทความนี้

พงศธร บุญชู, ศิริรัตน์ เพชรประภัสสร และบรรณรักษ์ คุ่มรักษา. (2565). การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สวนสัตว์ของคุณหนู เพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษา. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 107-123. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.10>

Research Article

## Developing of science learning activities via STEAM education approach in the topic of “Let’s Design Your Zoo” to enhance creative thinking skills of primary school students

Pongsathorn Boonchu<sup>1</sup>, Sirirat Phetprapatsorn<sup>2</sup> and Bannarak Khumraksa<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>General Science Program, Faculty of Education, Suratthani Rajabhat University, Surat Thani

<sup>2</sup>Wat Kanjanaram School, Surat Thani

\*Email: bannarak.khu@sru.ac.th

Received <22 November 2021>; Revised <2 January 2022>; Accepted <21 February 2022>

---

### Abstract

This study is quasi-experimental research design. The aims of this research were to develop science learning activities in accordance with the STEAM education approach, and to study the effect of promoting creative thinking skills and student satisfaction after they were intervened with this developed STEAM activity. The sample was a cohort of 5<sup>th</sup> primary school students which was selected by random sampling. The experimental group consisted of 30 students, whereas the control group consisted of 28 students. A science lesson plan according to the STEAM education approach in the topic of “Let’s Design Your Zoo”, which consists of a 6-step learning activity developed by combining concepts of engineering design process with the signature pedagogies of art and design for a total duration of 6 hours (3 weeks). The creative thinking skills assessment form and the student's satisfaction questionnaire were used as research instruments. The results showed that the designed STEAM lesson plan was evaluated as very good level. The results of the intervention of this learning activity revealed that the students in the experimental cohort had higher average scores on creative thinking skills than the control group in all aspects. Sixty percent of the experimental group have very good creative thinking skills. While the majority of the control group (53%) achieved only a fair level and no one reached a very good level. The students of the experimental group also expressed their very satisfaction with this learning activity.

**Keywords:** STEAM education, creative thinking skills, science, primary school students

---

#### Cite this article:

Boonchu, P., Phetprapatsorn, S. and Khumraksa, B. (2022). Developing of science learning activities via STEAM education approach in the topic of “Let’s Design Your Zoo” to enhance creative thinking skills of primary school students (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 107-123. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.10>

## บทนำ

โลกในปัจจุบัน มีได้วัดคุณภาพการศึกษาของประชากรด้วย “ความสามารถในการรู้จำ” เพียงอย่างเดียวเหมือนเช่นในอดีต แต่วัดกันด้วย “ทักษะความสามารถในการทำงานเพื่อสร้างนวัตกรรม” (Innovative Skill) ที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นสำคัญ (Carbonell-Carrera et al., 2019; Kang, 2019; Rochman, Nasudin, and Rokayah, 2019) ความรู้ความเข้าใจและความสามารถที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ตลอดจนวิทยาการด้านเทคโนโลยี และแนวปฏิบัติทางวิศวกรรม (Engineering Practices) ได้กลายมาเป็นสิ่งสำคัญสำหรับหลักสูตรการศึกษาแห่งชาติของประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก (Kang, 2019; National Research Council [NRC], 2012) ด้วยเหตุนี้การจัดการศึกษาที่มีการบูรณาการด้านวิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) หรือสะเต็มศึกษา (STEM Education) จึงเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นในการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐานตั้งแต่ระดับประถมศึกษา (Rochman, Nasudin, and Rokayah, 2019) และมีรายงานการปฏิรูปการศึกษาระดับนานาชาติล่าสุดที่ต่างให้การสนับสนุนว่าควรมีการปรับเปลี่ยนวิธีการสอนวิชาเหล่านี้ด้วยการเน้นให้มีการบูรณาการระหว่างศาสตร์สาขาวิชาของ S-T-E-M มากขึ้น (Carbonell-Carrera et al., 2019; Rochman, Nasudin, and Rokayah, 2019) ทั้งนี้เพื่อเตรียมกำลังพลของชาติให้มีทักษะเชิงบูรณาการและพร้อมกับการประกอบอาชีพที่เกี่ยวข้องกับสะเต็ม ซึ่งคาดว่าจะมีความต้องการเพิ่มขึ้นในอนาคต (Vennix, den Brok and Taconis, 2018)

แนวคิดสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นให้ผู้เรียนเกิดทักษะที่จำเป็นสำหรับการใช้ชีวิตและการประกอบอาชีพในศตวรรษที่ 21 ทักษะที่จำเป็นเหล่านี้มักถูกนิยามด้วยตัวย่อสัญลักษณ์ “3R & 4C” ซึ่ง 3R หมายถึง ทักษะการอ่าน (Reading) ทักษะการเขียน (wRiting) และ ทักษะการใช้ตัวเลขและการคิดคำนวณทางคณิตศาสตร์ (aRithmetic) ในขณะที่ทักษะ 4C หมายถึง ทักษะการคิดอย่างมีวิจารณญาณ (Critical Thinking) ทักษะการสื่อสาร (Communication) ทักษะการทำงานแบบร่วมมือ (Collaboration) ทักษะการคิดสร้างสรรค์ (Creative Thinking) (The Partnership for 21<sup>st</sup> Century Skills, 2009) อย่างไรก็ตามหนึ่งในทักษะเหล่านี้ ซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาแนวคิดใหม่หรือนวัตกรรมก็คือทักษะการคิดสร้างสรรค์ (Carbonell-Carrera et al., 2019; Conradty and Bogner, 2020; Phitaksa et al., 2019)

ทักษะการคิดสร้างสรรค์ คือ ความคิดที่เกิดจากกระบวนการทางปัญญาภายในของปัจเจกบุคคล (Guilford, 1967) โดยแต่ละคนมีความคิดสร้างสรรค์ที่ไม่เหมือนกัน เพราะฉะนั้นการที่บุคคลมีความคิดสร้างสรรค์จึงนำไปสู่การสร้างสรรค์สิ่งใหม่ ๆ ให้เกิดขึ้นได้อย่างไม่รู้จบสืบ Guilford (1967) แบ่งแยกองค์ประกอบของทักษะการคิดสร้างสรรค์ออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) การคิดริเริ่ม (Originality) คือ การคิดในสิ่งแปลกใหม่หรือคิดในเรื่องที่ไม่เคยมีใครคิดมาก่อนไม่ซ้ำใครและแตกต่างจากความคิดของคนธรรมดาทั่วไป 2) การคิดยืดหยุ่น (Flexibility) คือ ความสามารถในการคิดหาคำตอบได้หลายทิศทาง หลายแง่มุม หรือมองสถานการณ์ทุกอย่างได้หลายมิติ 3) การคิดคล่องแคล่ว (Fluency) คือ ความสามารถในการผลิตความคิดที่แตกต่างและหลากหลายภายใต้กรอบจำกัดของเวลา เป็นความสามารถเบื้องต้นซึ่งนำไปสู่การคิดอย่างมีคุณภาพ และ 4) การคิดละเอียดลออ (Elaboration) คือ ความสามารถคิดในรายละเอียดที่เป็นปฏิกิริยาได้ดี เพื่อขยายหรือตกแต่งความคิดหลักให้ได้ความหมายที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นและยังหมายรวมถึงความสามารถในการจำแนกแยกแยะอย่างฉับไวและเฉียบคมด้วย การจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่สร้างสรรค์นั้น หลายครั้งมักเกิดขึ้นพร้อมกับการคิดเชิงบูรณาการด้วย เนื่องจากการสร้างสรรค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์จำเป็นต้องอาศัยความรู้จากศาสตร์วิชาหลากหลายแขนง (Rolling, 2016) การคิดเชิงบูรณาการ (Integrative thinking) หมายถึงความสามารถทางความคิดในการมองรอบด้าน การมองเป็นภาพรวม สามารถเชื่อมโยงในด้านต่าง ๆ เชื่อมโยงความสัมพันธ์องค์ประกอบย่อยเข้ากับเรื่องหลักได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้เรื่องที่มองเป็นแกนหลักนั้นมีความสมบูรณ์และเป็นเอกภาพ (Riel and Martin, 2017)

ทักษะการคิดสร้างสรรค์และงานทางด้านวิทยาศาสตร์เป็นกิจกรรมที่อยู่ควบคู่กันมาช้านานในการสร้างสรรค์และพัฒนาอารยธรรมของมนุษย์ (Rolling, 2016) อีกทั้งงานทางด้านศิลปะกับงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ก็ต่างต้องอาศัยความคิดสร้างสรรค์ (Kim and Chae, 2016) นักวิทยาศาสตร์ศึกษาเชื่อว่าความคิดสร้างสรรค์เป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ที่จะทำให้สามารถแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์ที่สลับซับซ้อนได้ (DeHaan, 2009) ส่งผลให้กิจกรรมทางสะเต็มศึกษาจึงมักจะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการออกแบบ การวาดภาพ การคิดแม่แบบ การประดิษฐ์ และการสร้างชิ้นงาน ซึ่งกิจกรรมต่าง ๆ ที่แฝงในกระบวนการเรียนรู้เหล่านี้ล้วนมีความเชื่อมโยงกับการใช้ทักษะทางศิลปะทั้งสิ้น



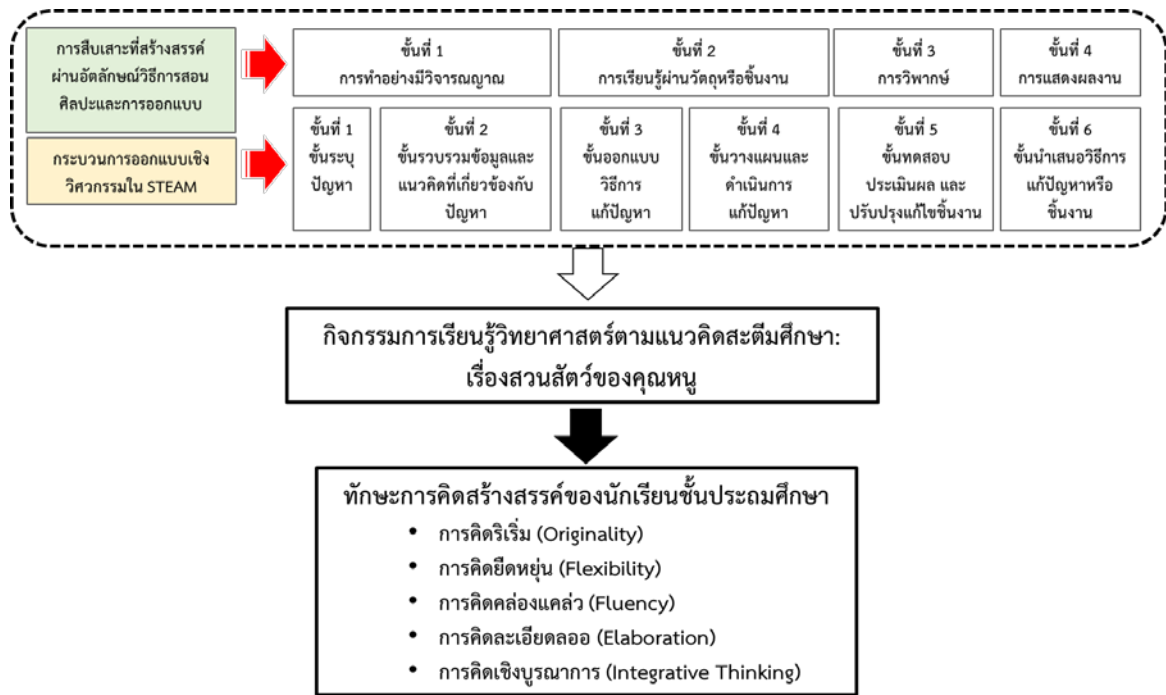
ฉะนั้นเมื่อไม่นานมานี้จึงเกิดนวัตกรรมทางการศึกษาใหม่ที่หลอมรวมเอาสะเต็มศึกษามาผนวกเข้าไว้ด้วยกันกับการสร้างสรรค์ทางศิลปะ (Art: A) ซึ่งรวมกันเรียกว่า “สะเต็มศึกษา” (STEAM Education) (Yakman, 2008) ดังนั้นกิจกรรมการเรียนรู้แบบ “สะเต็ม” (STEAM) จึงกลายเป็นคำใหม่ที่เป็นกระแสนิยมในวงการการศึกษาในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา (Belbase et al., 2021; Conradty and Bogner, 2020; Costantino, 2018; Kang, 2019) และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการสอนแบบบูรณาการเพื่อเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ (Belbase, et al., 2021) Gross and Gross (2016) ได้สนับสนุนว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการเรียนการสอนแบบสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเอง (Constructivism) ที่เน้นให้นักเรียนเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ กิจกรรมสะเต็มทำให้นักเรียนได้รับการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์จากการทำงานด้านศิลปะ ในขณะที่ Kim and Kim (2018) ได้พัฒนาโปรแกรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ส่งเสริมการทำกิจกรรมทางศิลปะสำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษาที่จะช่วยให้นักเรียนได้รับการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และความละเอียดอ่อนทางศิลปะโดยใช้หุ่นยนต์เพื่อการศึกษา และกิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนระดับชั้นประถมศึกษาชื่อว่า “Hands-On Land Forms” ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Rolling (2016) เป็นอีกหนึ่งตัวอย่างที่บ่งชี้ให้เห็นว่ากิจกรรมสะเต็มที่เปิดโอกาสให้นักเรียนได้เรียนรู้ร่วมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ จะช่วยให้นักเรียนแต่ละคนได้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้งขึ้นในเนื้อหาวิชา หัวข้อ หรือแนวคิดเฉพาะของเรื่องที่เรียนในหลักสูตรอีกด้วย นอกจากนี้ Phengnoi and Boonsom (2021) ยังได้รายงานผลการวิจัยที่พบว่ากิจกรรมการเรียนรู้สะเต็มศึกษาช่วยเสริมสร้างให้นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ได้รับการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาอย่างสร้างสรรค์ให้ดีขึ้นได้ และนักเรียนมีความพึงพอใจในการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมนี้ในระดับมากที่สุด

จากการที่ผู้วิจัยเป็นครูผู้สอนรายวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวัดกาญจนาราม พบว่าหลักสูตรและสาระการเรียนรู้ในรายวิชาต่าง ๆ ยังไม่มีการจัดการเรียนการสอนแบบบูรณาการสาระรายวิชา แต่สอนแบบแยกสาระวิชาออกจากกัน โดยแต่ละรายวิชาที่มุ่งให้ความรู้กับนักเรียนตามเนื้อหาเฉพาะในศาสตร์ของตนเอง นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่าการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ระดับชั้นต่าง ๆ ในโรงเรียนส่วนใหญ่จะมีรูปแบบการเรียนการสอนที่เน้นการบอกหรือบรรยายความรู้ นักเรียนจึงมีหน้าที่เพียงแคฟังสิ่งที่ครูบอกในห้องเรียนแล้วท่องจำมากกว่าการเรียนรู้จากการลงมือปฏิบัติจริง ส่งผลให้นักเรียนไม่ได้รับการฝึกทักษะการเรียนรู้เพื่อแสวงหาความรู้ด้วยตนเองและทักษะที่จำเป็นสำหรับผู้เรียนในศตวรรษที่ 21 เช่น ทักษะการคิด ทักษะการแก้ปัญหา ทักษะการรู้สารสนเทศ ทักษะการทำงานร่วมกันเป็นทีม เป็นต้น สภาพการจัดการเรียนการสอนดังกล่าวนี้สะท้อนให้เห็นถึงความขัดแย้งกับสถานการณ์ในชีวิตจริงของนักเรียนที่ต้องเผชิญกับปัญหาที่มีความซับซ้อน อันจำเป็นต้องใช้ศาสตร์ความรู้แบบบูรณาการในการคิดแก้ปัญหาและต้องใช้ความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพการศึกษาของนักเรียนในอนาคต

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยอาศัยการผสมผสานแนวคิดสะเต็มศึกษาที่มีการมอบหมายงานซึ่งต้องอาศัยกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน (NRC, 2012, p.49) ได้แก่ 1) ระบุปัญหา (Problem Identification) 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related Information Searching) 3) ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design) 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development) 5) ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement) และ 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) มาผนวกเข้ากับรูปแบบการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและออกแบบ (The Signature Pedagogies of Art and Design) (Costantino, 2018) ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ 1) การทำอย่างมีวิจารณญาณ (Critical Making) 2) การเรียนรู้ผ่านวัตถุหรือชิ้นงาน (Object-based Learning) 3) การวิพากษ์ (Critique) และ 4) การแสดงผลงาน (Exhibition) โดยแสดงเป็นกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในภาพที่ 1

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสวนสัตว์ของคุณหนู
2. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบปกติ
3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

## วิธีดำเนินการวิจัย

### แบบแผนการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเบื้องต้นที่ผู้วิจัยใช้แบบแผนการวิจัยแบบการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-Experimental Research) ประเภท Static-Group Comparison Design (Leedy and Ormrod, 2015) ซึ่งแสดงดังนี้

กลุ่ม	การทดลอง	การทดสอบหลังเรียน
ทดลอง (E)	X	O <sub>1</sub>
ควบคุม (C)	-	O <sub>2</sub>

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรของการวิจัยครั้งนี้คือนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนวัดกาญจนาราม อำเภอกาญจนดิษฐ์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จำนวน 89 คน ประกอบด้วย 3 ห้องเรียน ห้องเรียนละ 27-30 คน กลุ่มตัวอย่างถูกเลือกมาแบบสุ่มโดยวิธีการจับฉลากเลือกมา 2 ห้องเรียน ประกอบด้วยกลุ่มทดลอง 1 ห้อง (30 คน) และกลุ่มควบคุม 1 ห้อง (28 คน) โดยนักเรียนทั้งสองกลุ่มนี้เป็นนักเรียนที่มีความสามารถแบบคลေးและมีพื้นฐานความรู้ความสามารถที่คล้ายคลึงกัน โดยพิจารณาจากระดับผลการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์ในภาคศึกษาที่ผ่านมา

### บริบทของการวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตเนื้อหาการเรียนรู้ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ในหน่วยการเรียนรู้ที่ 1 เรื่องความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งไม่มีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต ตัวชี้วัด ว 1.1 ป.5/1 บรรยายโครงสร้างและลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่เหมาะสมกับการดำรงชีวิตซึ่งเป็นผลมาจากการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตในแต่ละแหล่งที่อยู่ โดยนักเรียนที่เป็นกลุ่มทดลองจะได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ใช้เวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้สัปดาห์ละ 2 ชั่วโมง รวมทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง นักเรียนแต่ละกลุ่มจะถูกมอบหมายงานให้ทำกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา โดยกำหนดสถานการณ์ปัญหา ดังนี้

“มีสัตว์ป่าจำนวนหนึ่งที่ถูกกักขังไว้ในสวนสัตว์ที่ผิดกฎหมาย ซึ่งมีลักษณะคืบแคบและแออัด เสี่ยงต่อการป่วยและตายของสัตว์ป่าเหล่านั้น ทางตำรวจผู้รับผิดชอบคดีจึงประสานงานให้สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่าช่วยจัดหาที่อยู่และสร้าง

สวนสัตว์ใหม่ให้แก่สัตว์ป่าเหล่านี้ หากนักเรียนเป็นวิศวกรของสำนักอนุรักษ์สัตว์ป่าหน่วยงานดังกล่าว นักเรียนจะช่วย ออกแบบสวนสัตว์อย่างไรให้เหมาะสมกับการดำรงชีวิตของสัตว์แต่ละชนิด โดยต้องใช้งบประมาณให้น้อยที่สุดและสวน สัตว์ต้องสวยงามดึงดูดประชาชนให้มาเที่ยวชม”

ในขณะที่นักเรียนกลุ่มควบคุมจะได้รับการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานทั้งการเรียนแบบบรรยายและการอภิปรายโดยกระบวนการทำงานแบบกลุ่ม มีการใช้ใบความรู้ ใบงาน ใบกิจกรรม สื่อประกอบการสอนหลากหลายรูปแบบ ทั้งสื่อภาพ และคลิปวิดีโอ ใช้ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมสัปดาห์ละ 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 สัปดาห์เหมือนกันกับกลุ่ม ทดลอง

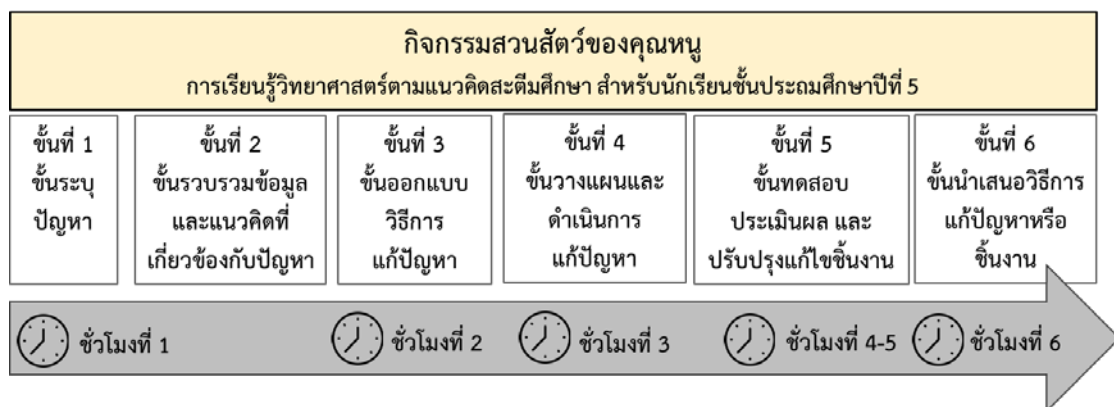
**เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

- 1) เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนานักเรียนคือ แผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่องสวน สัตว์ของคุณหนู จำนวน 1 แผน ใช้ระยะเวลาในการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง (3 สัปดาห์)
- 2) เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัย คือ แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่ผู้วิจัยเป็นผู้ ประเมินนักเรียน ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ได้แก่ การคิดริเริ่ม การคิดคล่องแคล่ว การคิดยืดหยุ่น การคิด ละเอียดลออ และการคิดเชิงบูรณาการ แบบประเมินดังกล่าวเป็นแบบมาตราประมาณค่า 4 ระดับ ที่มีคะแนนเต็ม 3 คะแนน (ดีมาก = 3 คะแนน, ดี = 2 คะแนน, พอใช้ = 1 คะแนน และ ต้องปรับปรุง = 0 คะแนน) ผลการตรวจสอบ ค่าความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าแบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์แต่ละรายการมีค่าความ สอดคล้องอยู่ในช่วง 0.7 -1.00 ซึ่งหมายความว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประเมินได้
- 3) แบบประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา เรื่อง สวนสัตว์ของคุณหนู ซึ่งเป็นแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ (5 = มากที่สุด 4 = มาก 3 = ปานกลาง 2 = น้อย และ 1= น้อยที่สุด) ผลการตรวจสอบค่าความสอดคล้อง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน พบว่าแบบประเมินความพึงพอใจแต่ละ รายการมีค่าความสอดคล้องอยู่ในช่วง 0.7 -1.00 ซึ่งหมายความว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประเมินได้

**การเก็บและรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามขั้นตอนในแผนการจัดการเรียนรู้ที่สร้างขึ้น (ภาพที่ 2) ข้อมูลการวิจัยหลักจะถูก เก็บรวบรวมจากคะแนนการประเมินผลงาน/ชิ้นงานในขั้นสุดท้ายของนักเรียนโดยใช้แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ นอกจากนี้จะมีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยผู้วิจัยคนแรกทำหน้าที่เป็นทั้งผู้สอนและผู้สังเกตการณ์การปฏิบัติกิจกรรม การเรียนรู้ของนักเรียนเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการวิจัยจากพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้และการแสดงออกทางความคิดสร้างสรรค์ ของนักเรียน โดยมีทีมนักวิจัยที่เหลือเป็นผู้ช่วยบันทึกภาพและบันทึกเหตุการณ์ภาคสนาม (Field Note) และเมื่อเสร็จสิ้น กิจกรรมการเรียนรู้ครบทุกขั้นตอนแล้วผู้วิจัยได้ขอให้นักเรียนทุกคนตอบแบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อกิจกรรมสวน สัตว์ของคุณหนู โดยใช้เวลาในการทำแบบประเมินความพึงพอใจท้ายคาบเรียนเป็นเวลา 15 นาที



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

## การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

1) การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบคุณภาพของแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาและความพึงพอใจในการเรียนรู้ของนักเรียน โดยใช้แบบประเมินแบบมาตราประมาณค่า 5 ระดับ ที่มีค่าตั้งแต่ 1-5 ค่าที่ได้จะนำมาหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นจะตัดสินคุณภาพโดยใช้เกณฑ์ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย 4.21 – 5.00 แปลความหมายว่า เหมาะสมมากที่สุด/พึงพอใจมากที่สุด

คะแนนเฉลี่ย 3.41 – 4.20 แปลความหมายว่า เหมาะสมมาก/พึงพอใจมาก

คะแนนเฉลี่ย 2.61 – 3.40 แปลความหมายว่า เหมาะสมปานกลาง/พึงพอใจปานกลาง

คะแนนเฉลี่ย 1.81 – 2.60 แปลความหมายว่า เหมาะสมน้อย/พึงพอใจน้อย

คะแนนเฉลี่ย 1.00 – 1.80 แปลความหมายว่า เหมาะสมน้อยที่สุด/พึงพอใจน้อยที่สุด

2) การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนจะใช้แบบประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น (ตารางที่ 1) ซึ่งเป็นแบบมาตราประมาณค่า 4 ระดับ ที่มีระดับคะแนนสูงสุดคือ 3 คะแนน (ดีมาก) และต่ำสุดคือ 0 คะแนน (ควรปรับปรุง) องค์ประกอบของรายการประเมินประกอบด้วย 5 หมวดย่อยคือ การคิดริเริ่ม การคิดคล่องแคล่ว การคิดยืดหยุ่น การคิดละเอียดลออ และการคิดเชิงบูรณาการ คะแนนเต็มรวมทั้งสิ้น 15 คะแนน คะแนนของนักเรียนจะถูกนำมารวบรวมและวิเคราะห์โดยใช้สถิติอย่างง่าย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าความแตกต่าง และค่าร้อยละ โดยการตัดสินระดับความสามารถของทักษะการคิดสร้างสรรค์จะใช้เกณฑ์ดังนี้

คะแนนรวมระหว่าง 12 – 15 คะแนน แปลความหมายว่า ระดับดีมาก

คะแนนรวมระหว่าง 9 – 11 คะแนน แปลความหมายว่า ระดับดี

คะแนนรวมระหว่าง 6 – 8 คะแนน แปลความหมายว่า ระดับพอใช้

คะแนนรวมระหว่าง 0 – 5 คะแนน แปลความหมายว่า ระดับที่ควรปรับปรุง

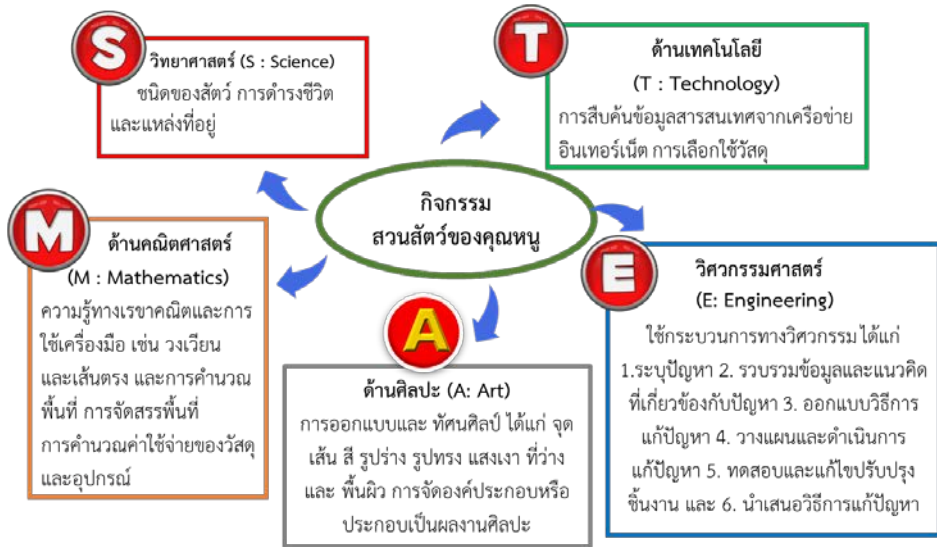
## ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์

รายการประเมิน	3 คะแนน	2 คะแนน	1 คะแนน	0 คะแนน
1.การคิดริเริ่ม	พัฒนาขึ้นงานหรือวิธีการเพื่อแก้ปัญหาด้วยความคิดที่แปลกใหม่ แตกต่างจากตัวอย่างต้นแบบโดยสิ้นเชิง และแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน	พัฒนาขึ้นงานหรือวิธีการเพื่อแก้ปัญหาด้วยความคิดที่ค่อนข้างแปลกใหม่ มีความแตกต่างจากตัวอย่างต้นแบบ	พัฒนาขึ้นงานหรือวิธีการเพื่อแก้ปัญหาด้วยการผสมผสานและดัดแปลงจากความคิดเดิมจากตัวอย่างต้นแบบ	ไม่มีความคิดแปลกใหม่
2. การคิดคล่องแคล่ว	สามารถวิเคราะห์และหาวิธีแก้ปัญหาได้มากกว่า 2 วิธี ในเวลาที่กำหนด	สามารถวิเคราะห์และหาวิธีแก้ปัญหาได้เพียง 2 วิธี ในเวลาที่กำหนด	สามารถวิเคราะห์และหาวิธีแก้ปัญหาได้ 1 วิธีในเวลาที่กำหนด	ไม่สามารถวิเคราะห์และหาวิธีแก้ปัญหาได้
3.การคิดยืดหยุ่น	มีการคิดหาวิธีการแก้ปัญหาโดยดัดแปลงสิ่งที่มีอยู่ หรือนำสิ่งอื่นมาทดแทนสิ่งที่ขาดได้อย่างหลากหลายแบบ/วิธีการ	มีการคิดหาวิธีการแก้ปัญหาโดยดัดแปลงสิ่งที่มีอยู่หรือนำสิ่งอื่นมาทดแทนสิ่งที่ขาดได้	มีการคิดหาวิธีการแก้ปัญหาโดยดัดแปลงสิ่งที่มีอยู่หรือนำสิ่งอื่นมาทดแทนสิ่งที่ขาดได้ แต่ยังไม่เหมาะสมกับงาน	ไม่มีการดัดแปลงหรือนำสิ่งอื่นมาทดแทนสิ่งที่ขาดหายไป
4.การคิดละเอียดลออ	มีการแจกแจงรายละเอียดของความคิด วิธีการแก้ปัญหาได้ครบถ้วนมีรายละเอียดที่สมบูรณ์	มีการคิดแจกแจงรายละเอียดของวิธีการแก้ปัญหาหรือขยายความคิด	มีการคิดแจกแจงรายละเอียดของวิธีการแก้ปัญหาหรือขยายความคิดแต่ขาดความชัดเจน	ไม่มีการคิดแจกแจงรายละเอียดของวิธีการแก้ปัญหาหรือขยายความคิด
5. การคิดเชิงบูรณาการ	สามารถอธิบายความสัมพันธ์ เชื่อมโยงความรู้ของ S-T-E-A-M ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างสมเหตุสมผลได้ครบถ้วนสมบูรณ์ทุกศาสตร์วิชา	สามารถอธิบายความสัมพันธ์ เชื่อมโยงความรู้ของ S-T-E-A-M ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 3 ศาสตร์วิชา	สามารถอธิบายความสัมพันธ์ เชื่อมโยงความรู้ของ S-T-E-A-M ที่ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างน้อย 2 ศาสตร์วิชา	ไม่สามารถอธิบายหรือบอกความสัมพันธ์เชื่อมโยงความรู้ S-T-E-A-M ได้

**ผลการวิจัยและอภิปรายผล**

**การพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา**

ผลการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้และสร้างแผนการจัดการจัดการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 เรื่องสวนสัตว์ของคุณหนู โดยกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวมีจุดมุ่งหมายเพื่อต้องการเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนซึ่งเป็นทักษะที่สำคัญสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 (Carbonell-Carrera et al., 2019; Conradt and Bogner, 2020) ในการพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ ผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการสอนโดยอาศัยการผสานแนวคิดสะเต็มศึกษาที่เชื่อมโยงการใช้ความรู้ในศาสตร์สาขาวิชาต่าง ๆ ได้แก่ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ ศิลปะ และคณิตศาสตร์ (แสดงดังภาพที่ 3) ผสมเข้ากับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมที่มี 6 ขั้นตอน (NRC, 2012, p.49) ได้แก่ 1) ระบุปัญหา 2) รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน และ 6) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน มาผสมกับกรอบการเรียนรู้ตามรูปแบบการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและการออกแบบ (Costantino, 2018) ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ 1) การทำอย่างมีวิจารณญาณ 2) การเรียนรู้ผ่านวัตถุหรือชิ้นงาน 3) การวิพากษ์ และ 4) การแสดงผลงาน



ภาพที่ 3 การบูรณาการระหว่างศาสตร์วิชาต่าง ๆ ในกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา

ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน พบว่าแผนการจัดการเรียนรู้ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ( $\bar{X}$  = 4.51, S.D. = 0.41) โดยรายละเอียดของการประเมินในด้านต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

กระบวนการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ทั้งหมด 6 ขั้นตอน อธิบายรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

**ขั้นที่ 1 การระบุปัญหา** ในขั้นนี้ผู้สอนจะมีการเตรียมบริบทสถานการณ์สำหรับการเรียนรู้ที่เป็นสถานการณ์ในชีวิตประจำวันหรือสถานการณ์ที่อยู่ในความสนใจของนักเรียนเพื่อกระตุ้นให้นักเรียนเกิดความสนใจ และเพื่อให้นักเรียนเกิดความรู้สึกร่วม เข้าใจและตระหนักถึงปัญหาของสถานการณ์นั้น ในขั้นนี้ผู้วิจัยได้ใช้ “สวนสัตว์” มาเป็นสถานการณ์หลักในการดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ กำหนดสถานการณ์ภายใต้เงื่อนไขอันจำกัดและซับซ้อน เช่น ชนิดของสัตว์ที่มีความหลากหลาย ระยะเวลาที่จำกัด งบประมาณที่จำกัด เป็นต้น นักเรียนจำเป็นจะต้องใช้วิจารณญาณในการคิดใคร่ครวญถึงปัญหา ผ่านการร่วมคิดร่วมทำโดยใช้กระบวนการเรียนรู้แบบกลุ่ม ในขณะที่ทำกิจกรรม นักเรียนบางกลุ่มสะท้อนความสามารถในการระบุปัญหา เช่น นักเรียนกลุ่มหนึ่งมีการชี้ประเด็นถึงปัญหาของสถานการณ์ที่ต้องจัดสรรพื้นที่ในสวนสัตว์สำหรับสัตว์บกและสัตว์น้ำที่มีความต้องการสภาพที่อยู่ต่างกัน นักเรียนอีกกลุ่มหนึ่งได้อภิปรายถึงปัญหาการกำหนดพื้นที่ของสัตว์บกขนาดใหญ่ เป็นต้น

**ขั้นที่ 2 รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา** เมื่อนักเรียนตระหนักทราบถึงปัญหาจากขั้นที่ 1 แล้ว ในขั้นนี้ครูผู้สอนเตรียมแหล่งข้อมูลการเรียนรู้หรือข้อมูลเพื่อสืบค้นแนวคิดที่เกี่ยวข้องสำหรับการนำไปสู่วิธีการแก้ไขปัญหา โดยอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (S) ที่บูรณาการอยู่ในกิจกรรมนี้ก็คือความรู้เรื่องลักษณะของสิ่งมีชีวิตและแหล่งที่อยู่ ครู จะเปิดโอกาสให้นักเรียนได้สืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเพื่อเป็นการให้นักเรียนได้ฝึกการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication Technologies: ICT) และเป็นการบูรณาการทักษะทางเทคโนโลยี (T) ไป ด้วยในเวลาเดียวกัน ในขั้นนี้นักเรียนแต่ละกลุ่มใช้คอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในการสืบค้นข้อมูล นักเรียนบางกลุ่มเริ่มใช้คำสืบค้นข้อมูลหลากหลายคำ เช่น สวนสัตว์ สัตว์บก สัตว์น้ำ อาหารของช้าง ที่อยู่ของเพนกวิน เป็นต้น ในขณะที่บางกลุ่มก็แบ่งงานกันโดยให้ส่วนหนึ่งช่วยกันสืบค้นข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ขณะที่อีกส่วนหนึ่งสืบค้นข้อมูลจากหนังสือที่ครูเตรียมไว้ในห้องเรียนและสืบค้นจากแบบเรียน เป็นต้น เมื่อสืบค้นข้อมูลเสร็จแล้วนักเรียนแต่ละกลุ่มจะบันทึกผลการสืบค้น ที่ได้ลงในสมุดบันทึกของตนเอง

**ตารางที่ 2** ผลการประเมินความเหมาะสมของแผนการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
<b>1. สารสำคัญ</b>			
1.1 สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้	4.7	0.58	มากที่สุด
1.2 บูรณาการแนวคิดการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาอย่างเหมาะสม	4.3	1.15	มากที่สุด
<b>2. จุดประสงค์การเรียนรู้</b>			
2.1 สอดคล้องกับมาตรฐานการเรียนรู้และตัวชี้วัดของหลักสูตร	4.7	0.58	มากที่สุด
2.2 ครอบคลุมทั้งด้านพุทธิพิสัย ทักษะพิสัย และจิตพิสัย	4.3	0.58	มากที่สุด
<b>3. สารการเรียนรู้</b>			
3.1 มีความยาก-ง่ายเหมาะสมกับวัยของนักเรียน	4.0	1.00	มาก
3.2 กำหนดเนื้อหาสาระเหมาะสมกับช่วงเวลาของการจัดกิจกรรม	4.3	1.15	มากที่สุด
<b>4. กระบวนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้</b>			
4.1 กิจกรรมการเรียนรู้สอดคล้องกับจุดประสงค์และเนื้อหาสาระ	5.0	0.00	มากที่สุด
4.2 กิจกรรมมีความหลากหลายและสามารถปฏิบัติได้จริง	4.7	0.58	มากที่สุด
4.3 กิจกรรมการเรียนรู้เสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน	4.7	0.58	มากที่สุด
4.4 กิจกรรมเน้นให้นักเรียนเรียนรู้จากการปฏิบัติผ่านการใช้ทักษะเชิงบูรณาการ	5.0	0.00	มากที่สุด
<b>5. สื่อและแหล่งเรียนรู้</b>			
5.1 วัสดุอุปกรณ์ สื่อและแหล่งเรียนรู้มีความหลากหลาย	4.67	0.58	มากที่สุด
5.2 วัสดุ อุปกรณ์และสื่อเหมาะสมกับเนื้อหาสาระและกิจกรรม	4.33	1.15	มากที่สุด
5.3 นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการใช้สื่อและแหล่งเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.33	1.15	มากที่สุด
<b>6. กระบวนการวัดและประเมินผล</b>			
6.1 วิธีวัดและเครื่องมือวัดสอดคล้องกับจุดประสงค์	4.33	1.15	มากที่สุด
6.2 วิธีการวัดและประเมินผลสอดคล้องกับทักษะการคิดสร้างสรรค์	4.33	1.15	มากที่สุด
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>4.51</b>	<b>0.41</b>	<b>มากที่สุด</b>

**ขั้นที่ 3 การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา** เป็นขั้นหลังจากการรวบรวมข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหา นักเรียนจะต้องนำความรู้ที่รวบรวมได้มาประยุกต์เพื่อออกแบบวิธีการหรือผลผลิต สร้างภาพร่างหรือกำหนดเค้าโครงของวิธีการแก้ปัญหการเรียนรู้ ซึ่งการเรียนรู้ในขั้นนี้จะเริ่มเข้าสู่ขั้นการเรียนรู้ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (E) และทักษะทางศิลปะ (A) ผ่านการสร้างวัตถุหรือชิ้นงานตามแนวคิดการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและการออกแบบที่ผู้วิจัยได้สอดแทรกเข้าไป ชิ้นงานของกิจกรรมในขั้นนี้คือการวาดแบบร่างองค์ประกอบของสวนสัตว์ที่เหมาะสมสำหรับการอยู่อาศัยของสัตว์แต่ละชนิด รวมถึงต้องระบุรายการสิ่งก่อสร้างหรืออุปกรณ์ที่ต้องการสร้างเพิ่มเติมใน



สวนสัตว์ลงในใบงาน ภายใต้เกณฑ์ราคาวัสดุและอุปกรณ์ที่เป็นต้นทุนในการผลิตตามที่ครูกำหนดไว้ เช่น ให้ระบุชื่อสัตว์ที่จัดแสดงในสวนสัตว์อย่างน้อย 10 ชนิด และระบุสิ่งก่อสร้างหรืออุปกรณ์ในสวนสัตว์ ภายใต้เงื่อนไขหรือเกณฑ์ราคาวัสดุ อุปกรณ์ที่เป็นต้นทุนในการผลิตที่ครูกำหนดไว้ เช่น น้ำพุ กำแพง ม้านั่ง ร้านค้า ห้องน้ำ สนามเด็กเล่น อควาเรียม เป็นต้น ซึ่งในขั้นนี้ ครูจะช่วยกระตุ้นให้นักเรียนได้ใช้ทักษะทางคณิตศาสตร์ (M) ในการคำนวณราคา และคำนวณพื้นที่ของส่วนต่างๆ ในสวนสัตว์ รวมถึงรู้จักเลือกใช้รูปร่างทางเรขาคณิตที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบสวนสัตว์ในแต่ละส่วนอีกด้วย นักเรียนบางกลุ่มเริ่มต้นจากการวัดสัดส่วนของกระดาษและบันทึกลงในสมุด บางกลุ่มช่วยกันร่างแบบคร่าว ๆ ของสวนสัตว์ โดยใช้รูปร่างเรขาคณิตที่วงกลม วงรี สี่เหลี่ยมแบบต่าง ๆ ในขณะที่นักเรียนบางกลุ่มแบ่งหน้าที่กันเพื่อคำนวณราคาของวัสดุที่ต้องใช้ในการก่อสร้างสวนสัตว์โดยใช้ทักษะการบวกเลขจำนวนหลักร้อยและหลักพัน นักเรียนบางกลุ่มช่วยกันออกแบบภาพร่างสวนสัตว์คนละหนึ่งแบบ จากนั้นจะนำมาหารือร่วมกันเพื่อเลือกแบบที่ดีที่สุดของกลุ่ม เป็นต้น

**ขั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา** หลังจากที่ได้ออกแบบวิธีการและกำหนดแบบร่างของสวนสัตว์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการพัฒนาสวนสัตว์ต้นแบบ (Prototype) โดยในขั้นตอนนี้ นักเรียนจะต้องนำแบบร่างสวนสัตว์มาสร้างชิ้นงานให้เป็นสวนสัตว์ต้นแบบจากอุปกรณ์ที่ครูกำหนดให้ ตัวอย่างดังภาพที่ 4 และในขั้นนี้เป็นนักเรียนจะได้รับการส่งเสริมให้ใช้การสร้างสรรค์ผลงานผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและการออกแบบอย่างเต็มที่โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ ความประณีตและความละเอียดถี่ถ้วน ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนเลือกใช้สีในการระบายแต่งแต้มได้ตามจินตนาการ ขณะเดียวกันครูก็จะคอยกระตุ้นให้นักเรียนตระหนักถึงสภาพของสีที่ใกล้เคียงตามธรรมชาติมากที่สุด เช่น บ่อน้ำอาจจะต้องระบายด้วยสีฟ้า ดินอาจจะต้องระบายด้วยสีน้ำตาลหรือเทา เป็นต้น



ภาพที่ 4 วัสดุและอุปกรณ์ที่ครูเตรียมไว้สำหรับให้นักเรียนใช้สร้างต้นแบบสวนสัตว์

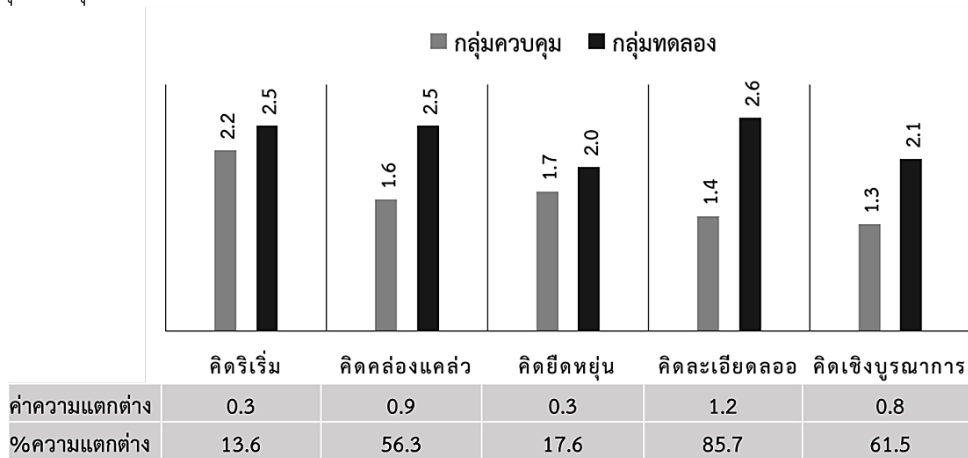
**ขั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผลและปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน** เป็นขั้นตอนทดสอบประสิทธิภาพและประเมินการใช้งานต้นแบบเพื่อแก้ปัญหา ผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินอาจถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาผลงานให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากขึ้น โดยในการวิจัยครั้งนี้ครูได้ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มออกมานำเสนอต้นแบบสวนสัตว์ของกลุ่มตนเองพร้อมทั้งอธิบายถึงหลักการในการจัดสรรบริเวณที่อยู่ให้แก่สัตว์แต่ละชนิด ครูจะเป็นผู้นำในการชักชวนให้เพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ร่วมวิพากษ์ถึงความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการจัดที่อยู่อาศัยให้แก่สัตว์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งในขั้นนี้จะสอดคล้องกับขั้นตอนการวิพากษ์ตามแนวคิดการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและออกแบบ เมื่อนักเรียนแต่ละกลุ่มได้รับฟังการวิพากษ์แล้วต้องคิดใคร่ครวญทบทวนผลงานของตนเอง ถ้าหากยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายหรือไม่สมบูรณ์ ครูก็จะเปิดโอกาสให้นักเรียนกลับไปปรับปรุงชิ้นงาน โดยที่ครูจะเข้าร่วมสังเกตการแก้ไขชิ้นงาน หากพบปัญหาครูจะช่วยเพิ่มเติมข้อมูลและให้คำชี้แนะ การปรับปรุงชิ้นงานของนักเรียนมีทั้งการปรับปรุงเล็กน้อยไปจนถึงปรับปรุงมาก กลุ่มที่มีการปรับปรุงแก้ไขชิ้นงานเล็กน้อย เช่น มีการเพิ่มรายละเอียดของบริเวณจัดแสดงสัตว์ในโรงเลี้ยงช้างโดยการวาดภาพต้นกล้วยเพิ่มเติมเพื่อแสดงถึงอาหารของช้าง ในขณะที่นักเรียนกลุ่มที่มีการปรับปรุงมาก ได้แก่ การระบายสีพื้นเน้นการแสดงรายละเอียดของผืนดินทรายที่เป็นที่อยู่ของอูฐเพื่อแสดงถึงสภาพแหล่งที่อยู่ของอูฐที่ชัดเจน หรือบางกลุ่มอาจจะมีการเปลี่ยนย้ายที่อยู่ของสัตว์ใหม่ เช่น เดิมจัดให้จิ้งจอกแสดงกลางแจ้งไม่มีสิ่งกีดกั้นหรือกรง ก็ปรับมาจัดแสดงในสถานที่มืดขิดมีกรงที่ป้องกันการหลุดหนีออกไปของจิ้งจอก เป็นต้น

**ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา/ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน** ขั้นนี้เป็นขั้นหลังจากการพัฒนาปรับปรุงทดสอบและประเมินวิธีการแก้ปัญหาหรือผลงานจนมีประสิทธิภาพตามที่ต้องการแล้ว นักเรียนแต่ละกลุ่มจะต้องออกมานำเสนอผลงานหน้าชั้นเรียน นักเรียนนำสวนสัตว์ต้นแบบที่เสร็จสมบูรณ์ของกลุ่มตนเองออกมาแสดงหน้าชั้นเรียนทีละกลุ่มโดยครูให้เวลานำเสนอกลุ่มละ 7-9 นาที นักเรียนอธิบายถึงการจัดแสดงสัตว์แต่ละชนิดและบอกลักษณะที่อยู่อาศัย

ของสัตว์ชนิดนั้น ๆ (เป็นการอธิบายความรู้วิทยาศาสตร์ที่สอดคล้องกับตัวชี้วัดการเรียนรู้เรื่องลักษณะของสิ่งมีชีวิตและแหล่งที่อยู่ของสิ่งมีชีวิต) พร้อมทั้งบอกราคาของวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการออกแบบเพื่อก่อสร้างสวนสัตว์ที่ได้ออกแบบขึ้น เพื่อให้ครูประเมินความคุ้มค่าและความถูกต้องของการคำนวณ

### ผลการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนในกลุ่มควบคุมทุกประเด็น (ภาพที่ 5) และเมื่อพิจารณาความแตกต่างของค่าคะแนนเฉลี่ยทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนกลุ่มทดลองเทียบกับนักเรียนกลุ่มควบคุมและคำนวณออกมาเป็นค่าร้อยละจะพบว่าทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่นักเรียนกลุ่มทดลองได้รับการพัฒนามากที่สุดคือด้านการคิดละเอียดลออ โดยมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมถึงร้อยละ 85.7 ในขณะที่ทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่มีความแตกต่างจากนักเรียนกลุ่มควบคุมน้อยที่สุดคือทักษะการคิดริเริ่ม โดยมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมเพียงร้อยละ 13.6 (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

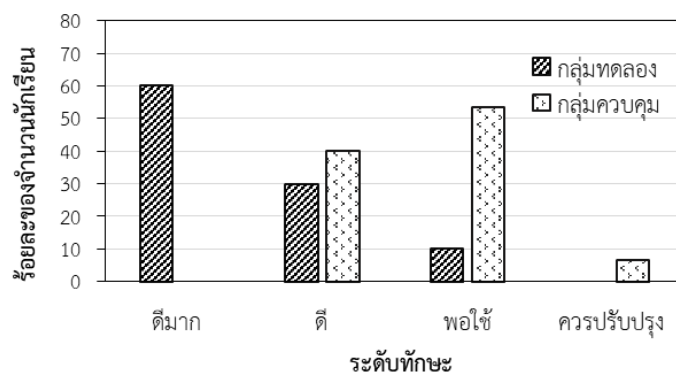
การประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ในรายการประเมินย่อยในแต่ละด้าน ตัวอย่างเช่น ในด้านการคิดริเริ่ม ผู้วิจัยจะประเมินจากชิ้นงานของนักเรียนที่มีความแปลกใหม่ แตกต่างจากตัวอย่างต้นแบบโดยสิ้นเชิง และแตกต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน โดยผู้วิจัยจะนำผลงานของนักเรียนแต่ละกลุ่มมาเปรียบเทียบกันแล้วพิจารณาว่าผลงานของนักเรียนกลุ่มใดที่ปรากฏความแตกต่าง มีความคิดแปลกใหม่ต่างไปจากของเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ อย่างชัดเจน อาทิเช่น นักเรียนกลุ่มหนึ่งออกแบบชิ้นงานโดยวาดส่วนจัดแสดงแมวน้ำ ให้มีเวทีสำหรับการแสดงแมวน้ำ และแสดงภาพเจ้าหน้าที่สวนสัตว์กำลังใช้ห่วงอุปกรณ์เพื่อประกอบการแสดงแมวน้ำด้วย ในขณะที่นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ไม่มีรายละเอียดของส่วนนี้ มีเพียงเฉพาะพื้นที่ที่อาศัยของสัตว์เท่านั้น นักเรียนกลุ่มนี้จึงได้คะแนนเต็ม 3 คะแนน เป็นต้น ในประเด็นการคิดคัดเลือก ผู้วิจัยประเมินโดยพิจารณาจากจำนวนแบบร่างของสวนสัตว์ที่นักเรียนนำเสนอในชิ้นออกแบบวิธีการแก้ปัญหา นักเรียนบางกลุ่มสร้างแบบร่างไว้มากถึง 4 แบบ แต่สำหรับบางกลุ่มสร้างแบบร่างไว้เพียงแค่แบบเดียวเท่านั้น ฉะนั้นกลุ่มที่สร้างแบบร่างไว้มากกว่า 2 แบบขึ้นไปก็จะได้คะแนนเต็ม 3 คะแนนตามเกณฑ์ประเมิน สำหรับด้านการคิดละเอียดลออ ผู้วิจัยพิจารณาจากผลงานของนักเรียนที่แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ในผลงานสวนสัตว์ไว้อย่างละเอียด แสดงถึงความใส่ใจการทำงานอย่างพิถีพิถัน เช่น นักเรียนกลุ่มหนึ่งมีการแสดงส่วนประกอบของส่วนจัดแสดงสัตว์ ซึ่งไม่เพียงแต่ใช้รูปร่างในการสร้างขอบเขตอาณาบริเวณที่อยู่อาศัยของสัตว์เท่านั้น แต่นักเรียนกลุ่มนี้ยังแสดงให้เห็นถึงพิชชพรรณที่เกี่ยวข้องกับความ เป็นอยู่ของสัตว์ชนิดนั้น ๆ ด้วย เช่น แสดงภาพดอกไม้ในบริเวณที่จัดแสดงหมีแพนด้าหรือวาดหมีแพนด้าในอิริยาบถที่กำลังกินไผ่ หรือมีการแสดงถึงพืชจำพวกกระบองเพชร และพืชพุ่มเตี้ยในส่วนจัดแสดงอูฐ และยังมีภาพต้นกล้วยในส่วนจัดแสดงช้าง เป็นต้น สำหรับการประเมินทักษะการคิดสร้างสรรค์ในรายการประเมินย่อยก็ใช้การพิจารณาตามเกณฑ์ โดยเปรียบเทียบผลงานของนักเรียนกับผลงานของกลุ่มอื่น ๆ ในลักษณะทำนองเดียวกันนี้

แม้ว่าผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวิจัยครั้งนี้จะไม่ได้ทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (เช่น การทดสอบค่าที) แต่ข้อมูลการวิจัยก็เป็นที่ประจักษ์ชัดว่ากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นส่งผลต่อการพัฒนา



ทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนได้เป็นอย่างดี แสดงให้เห็นจากค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างคะแนนของนักเรียนกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งทักษะการคิดสร้างสรรค์ในด้านการคิดละเอียดลออที่พบว่านักเรียนกลุ่มทดลองที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษามีพัฒนาการที่ก้าวกระโดดกว่านักเรียนในกลุ่มควบคุมสูงถึงร้อยละ 85.7 และในขณะที่ด้านการคิดคล่องแคล่ว และการคิดเชิงบูรณาการนักเรียนกลุ่มทดลองมีพัฒนาการสูงกว่านักเรียนกลุ่มควบคุมอยู่ที่ร้อยละ 56.3 และ 61.5 ตามลำดับ

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์เพื่อจำแนกระดับความสามารถการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนโดยใช้เกณฑ์ที่กำหนดขึ้นและคำนวณออกมาเป็นค่าร้อยละของจำนวนนักเรียนที่มีความสามารถของการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในแต่ละระดับ ผลการวิจัยพบว่านักเรียนส่วนใหญ่ในกลุ่มทดลองซึ่งได้รับการจัดการเรียนรู้ด้วยกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาส่วนใหญ่มีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับดีมาก (ร้อยละ 60) ในขณะที่นักเรียนส่วนใหญ่ในกลุ่มควบคุมมีทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับพอใช้ (ร้อยละ 53) (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ร้อยละของจำนวนนักเรียนกลุ่มทดลองที่จำแนกตามระดับความสามารถการมีทักษะการคิดสร้างสรรค์

กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษานี้ทำให้นักเรียนได้ใช้ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ (S) เรื่องลักษณะของสิ่งมีชีวิตและลักษณะแหล่งที่อยู่ ความรู้ทางเทคโนโลยี (T) เกี่ยวกับวัสดุศาสตร์และมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการสืบค้นเพื่อหาข้อมูลสำหรับนำไปใช้แก้ปัญหา สำหรับด้านวิศวกรรมศาสตร์ นักเรียนได้ทำกิจกรรมผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมทั้งการระบุปัญหา การรวบรวมข้อมูล การออกแบบวิธีแก้ปัญหา การวางแผนดำเนินการแก้ปัญหา การทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน และการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา พร้อมทั้งมีการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์ (M) เรื่องเรขาคณิตและการคิดคำนวณ รวมไปถึงมีการใช้ทักษะทางศิลปะ (A) ในการออกแบบและจัดองค์ประกอบของชิ้นงาน การวาดภาพ การเลือกใช้สีและการระบายสี ครอบคลุมสอดคล้องตามแนวคิดการบูรณาการทั้ง 5 ศาสตร์สาขาวิชาของสะเต็มศึกษา

ตัวอย่างผลงานของนักเรียนกลุ่มหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 7 นักเรียนอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์ในการกำหนดอัตลักษณ์ของสัตว์แต่ละชนิดพร้อมทั้งระบุสภาพความต้องการของแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์แต่ละชนิด แบบร่างสวนสัตว์ของนักเรียนเผยให้เห็นว่าส่วนจัดแสดงช้างมีการวาดต้นกล้วยประกอบด้วย บ่งชี้ว่านักเรียนเกิดความตระหนักรู้เกี่ยวกับลักษณะอาหารที่ช้างต้องการ (ภาพที่ 7ก) ในภาพร่างเดียวกัน นักเรียนวาดกรงขังที่แข็งแรงสำหรับสิงโต แสดงให้เห็นว่านักเรียนเกิดความตระหนักรู้เกี่ยวกับลักษณะการดำรงชีวิตของสัตว์ที่เป็นสัตว์ร้ายและล่าสัตว์อื่นเป็นอาหาร หรือในส่วนจัดแสดงอูฐ นักเรียนวาดภาพกระบองเพชร สื่อถึงสภาพทะเลทรายและสภาพอากาศที่แห้งแล้ง ชี้ให้เห็นว่านักเรียนเข้าใจสภาพความต้องการของแหล่งที่อยู่อาศัยของอูฐ ในภาพร่างนี้นักเรียนยังได้แสดงถึงทักษะการใช้รูปร่างเรขาคณิตแบบต่าง ๆ ทั้งวงกลม วงรี สี่เหลี่ยม ในการกำหนดขอบเขตของส่วนจัดแสดงสัตว์ แม้ว่านักเรียนกลุ่มนี้จะได้ไม่แสดงการคำนวณพื้นที่ไว้ในภาพร่าง แต่มีการจดและบันทึกผลการคำนวณพื้นที่ไว้ในสมุดบันทึก และเมื่อพิจารณาชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์ (ภาพที่ 7ข) ก็จะเห็นว่านักเรียนแสดงจินตนาการและทักษะทางศิลปะอย่างเต็มที่ มีการจัดระบบและจัดระเบียบการวางสัดส่วนของพื้นที่ในสัตว์อย่างรอบคอบ มีการให้รายละเอียดและระบุบริเวณที่อยู่อย่างของสัตว์แต่ละชนิดอย่างถูกต้องและครบถ้วน ทั้งยังแสดงถึงรายละเอียดของบริเวณอื่น ๆ เกี่ยวข้องกับสวนสัตว์ในบริบทจริง เช่น การจัดเส้นทางเดินถนน เส้นทางเดินชมสัตว์ ลานจอดรถ ห้องสุขา และร้านอาหาร เป็นต้น ในขณะที่ผลงานการออกแบบสวนสัตว์ของนักเรียนกลุ่มควบคุมจะแสดงรายละเอียดที่น้อยกว่า มีการใช้ศิลปะเพื่อแสดงออกถึงความคิดสร้างสรรค์ผลงานน้อยกว่า แม้ว่าจะใช้ระยะเวลาการทำกิจกรรมเท่ากันก็ตาม



(ก) ภาพร่างของชิ้นงาน

(ข) ชิ้นงานที่สำเร็จสมบูรณ์

ภาพที่ 7 ตัวอย่างผลงานการออกแบบสวนสัตว์ของนักเรียน

การเปิดโอกาสให้นักเรียนได้ใช้ความคิดอย่างอิสระมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการคิดและการสร้างสรรค์ชิ้นงานของนักเรียน (Kim and Kim, 2018) เนื่องจากนักเรียนได้ใช้สมองทั้งสองซีกในการทำงาน โดยเฉพาะสมองซีกขวามีส่วนสำคัญที่เสริมสร้างความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน (Rolling, 2016) อีกทั้งกิจกรรมนี้มีส่วนทำให้นักเรียนได้รับการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์เนื่องมาจากกิจกรรมการเรียนรู้ดังกล่าวมีองค์ประกอบที่ช่วยเสริมสร้างทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่สอดคล้องกับแนวคิดของ Rhodes (1987) ที่ระบุว่าความพยายามในการจัดการเรียนรู้เพื่อจัดเตรียมกรอบความคิดสร้างสรรค์ที่สมบูรณ์ให้แก่ผู้เรียนนั้น ควรจัดบริบทหรือสภาพการเรียนรู้โดยจัดให้มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ (a) บุคคลผู้สร้างสรรค์ชิ้นงาน (b) กระบวนการทางปัญญาที่เกี่ยวข้องกับการสร้างความคิด (c) สภาพแวดล้อมเอื้อต่อการเกิดความคิดสร้างสรรค์ และ (ง) ผลลัพธ์ของกิจกรรมสร้างสรรค์ (Rhodes, 1987) และกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังส่งเสริมความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนผ่านการมีปฏิสัมพันธ์ภายในห้องเรียนตามแนวคิดการส่งเสริมการแสดงงานสร้างสรรค์ของนักเรียนเป็นกลุ่มของ Lucchiari และคณะ (Lucchiari, Sala and Vanutelli, 2019)

ผลการวิจัยครั้งนี้ยังสนับสนุนข้อค้นพบจากงานวิจัยอื่น ๆ ก่อนหน้านี้ที่พบว่าการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาสามารถเสริมสร้างให้ผู้เรียนเกิดการทั้งด้านสติปัญญาและด้านอารมณ์ (Allina, 2018; Costantino, 2018) ทั้งยังส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดทักษะที่จำเป็นสำหรับศตวรรษที่ 21 (Kang, 2019; Phitaksa et al., 2019) และสอดคล้องกับแนวคิดการจัดการเรียนรู้ของ Rhode Island School of Design ในประเทศสหรัฐอเมริกาที่สนับสนุนอย่างหนักแน่นว่าการนำแนวคิดการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามาใช้ในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานจะทำให้ผู้เรียนเกิดการพัฒนาความคิดสร้างสรรค์ได้ดีกว่าหลักสูตรสะเต็มศึกษาที่มีได้ให้ความสำคัญกับจินตนาการ สนุกหรือศาสตร์และความงามทางศิลปะ ทั้งนี้ต้องยึดหลักการว่า “การสร้างสรรคผลงานที่ไร้ต้นทุนหรือมีต้นทุนต่ำจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ก่อให้เกิดความคิดสร้างสรรค์” นั่นก็คือครูจำเป็นต้องสร้างบริบทหรือการกำหนดสถานการณ์ปัญหาของการเรียนรู้ที่มีเงื่อนไขอันจำกัด จึงทำให้ผู้เรียนปฏิบัติงานอย่างมีความหมายโดยใช้ทักษะการปฏิบัติทางศิลปะหรือประยุกต์ใช้ความรู้ที่มีอยู่ให้สามารถทำงานที่ไม่คุ้นเคยได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Allina, 2018) กิจกรรมสวนสัตว์คุณหนูได้ใช้กระบวนการออกแบบตามแนวคิดการสืบเสาะที่สร้างสรรค์ผ่านอัตลักษณ์วิธีการสอนศิลปะและการออกแบบในการเรียนรู้ ซึ่งทำให้ผู้เรียนสามารถสร้างองค์ความรู้ด้วยตนเองผ่านการมีส่วนร่วมในการสร้างวัตถุหรือชิ้นงาน การคิดอย่างมีวิจารณญาณ และการวิพากษ์ผลงานระหว่างสมาชิกภายในกลุ่มและในชั้นเรียน (Costantino, 2018; Gross and Gross, 2016) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการสอดแทรกกิจกรรมทางศิลปะและการออกแบบในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานถือเป็นการสร้างโอกาสทางการศึกษาที่เปิดกว้างแก่ผู้เรียน และถือเป็นการเตรียมความพร้อมให้นักเรียนสามารถใช้ทักษะความรู้และความคิดสร้างสรรค์ในการทำงานภายใต้บริบทของโลกที่ซับซ้อนและเป็นจริง (Costantino, 2018; Gross and Gross, 2016; Phitaksa et al., 2019)

**การประเมินความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อกิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามคิดทางสะเต็มศึกษา**

ผลการวิจัยที่แสดงในตารางที่ 3 พบว่านักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ของโรงเรียนวัดกาญจนารามที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาเรื่องสวนสัตว์ของคุณหนูมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.81$ ,

S.D. = 0.10) และเมื่อพิจารณาในแต่ละรายการย่อยก็พบว่านักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุดในทุกรายการ ประเมินเช่นเดียวกัน

### ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	การแปลผล
1. กิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เรื่องสวนสัตว์ของคุณหนู ทำให้นักเรียนมีความสนใจในการเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น	4.93	0.26	มากที่สุด
2. กิจกรรมการเรียนรู้ไม่ยากจนเกินไป และนักเรียนสามารถปฏิบัติได้ทุกคน	4.86	0.35	มากที่สุด
3. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนได้ใช้จินตนาการและความคิดสร้างสรรค์	4.68	0.54	มากที่สุด
4. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนสามารถเรียนรู้ด้วยตนเอง	4.68	0.47	มากที่สุด
5. นักเรียนชอบการทำงานศิลปะในกิจกรรมการเรียนรู้	4.86	0.35	มากที่สุด
6. กิจกรรมการเรียนรู้ทำให้นักเรียนได้เรียนรู้การทำงานร่วมกับผู้อื่น	4.75	0.51	มากที่สุด
7. นักเรียนรู้สึกสนุกสนานในระหว่างที่ทำกิจกรรม	4.86	0.26	มากที่สุด
8. บรรยากาศในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ไม่ตึงเครียด และกดดันจนเกินไป	4.71	0.45	มากที่สุด
9. คุณครูคอยช่วยเหลือ และให้คำแนะนำตลอดการเรียนรู้เป็นอย่างดี	4.79	0.49	มากที่สุด
10. นักเรียนอยากให้งดกิจกรรมการเรียนรู้ในลักษณะเช่นนี้ในเรื่องหรือวิชาอื่นอีก	4.93	0.26	มากที่สุด
รวม	4.81	0.10	มากที่สุด

ผลการประเมินความพึงพอใจในประเด็นสำคัญบ่งชี้ว่ากิจกรรมนี้ทำให้นักเรียนมีความสนใจในการเรียนวิทยาศาสตร์เพิ่มมากขึ้น ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 0.26) กิจกรรมนี้เป็นกิจกรรมการเรียนรู้ที่ไม่ยากจนเกินไป และนักเรียนสามารถปฏิบัติได้ทุกคน ( $\bar{X} = 4.86$ , S.D. = 0.35) นักเรียนชอบการทำงานศิลปะที่ได้ปฏิบัติในการเรียนรู้ครั้งนี้ ( $\bar{X} = 4.86$ , S.D. = 0.35) นักเรียนรู้สึกสนุกสนานในระหว่างที่ทำกิจกรรมนี้ ( $\bar{X} = 4.86$ , S.D. = 0.26) และนักเรียนอยากให้มีการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในลักษณะเช่นนี้ในเรื่องอื่น ๆ หรือวิชาอื่น ๆ อีก ( $\bar{X} = 4.93$ , S.D. = 0.26)

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา สอดคล้องกับความต้องการและความสนใจของนักเรียน การที่นักเรียนได้เรียนรู้เชิงรุก ได้ลงมือปฏิบัติสร้างสรรค์ชิ้นงานที่แสดงออกถึงทักษะศิลปะและการออกแบบสามารถดึงดูดนักเรียนให้เข้ามาเป็นศูนย์กลางของการเรียนรู้ได้ และนักเรียนก็รู้สึกสนุกสนานกับการทำกิจกรรมนี้ ในระหว่างที่นักเรียนปฏิบัติกิจกรรมโดยการระดมความคิดเห็น พูดคุยกันภายในกลุ่มสมาชิกของตนเอง ผู้วิจัยสังเกตเห็นรอยยิ้ม ความตื่นตัวจากสีหน้าและแววตาของนักเรียน ทำทางที่ดูสนุกสนานและกระตือรือร้นเป็นอย่างมากในการปฏิบัติกิจกรรม ซึ่งต่างจากพฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนในกลุ่มควบคุมที่ค่อนข้างนิ่งขรัม และขาดชีวิตชีวา ซึ่งอาจจะมาจากสาเหตุที่กิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนกลุ่มควบคุมเป็นกิจกรรมแบบเดิม ๆ ที่มีความซ้ำซากจำเจ เน้นการบรรยายเนื้อหาความรู้วิทยาศาสตร์ที่อาจจะทำให้นักเรียนเกิดความเบื่อหน่าย แม้จะมีการใช้สื่อใบงาน และคลิปวิดีโอการสอนประกอบ แต่ก็มิได้ช่วยกระตุ้นความสนใจหรือเร้าใจนักเรียนเท่าที่ควร เนื่องจากสภาพการสอนเช่นนี้เป็นสภาพการสอนที่นักเรียนพบเจอเป็นประจำในชั้นเรียน สำหรับพฤติกรรมของนักเรียนที่พบในนักเรียนกลุ่มทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Khumraksa and Ruksakit (2019) ที่รายงานว่ากิจกรรมการเรียนรู้ที่ให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติอย่างอิสระจะทำให้นักเรียนมีเจตคติที่ดีต่อการเรียนวิทยาศาสตร์ พวกเขาจะรู้สึกสนุกสนานและมีความสุขที่ได้เรียนรู้ร่วมกับเพื่อน ๆ ภายในกลุ่ม และยังสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Phengnoi and Boonsom (2021) ซึ่งทดลองใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษากับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 เช่นเดียวกันและพบว่านักเรียนมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในระดับมากที่สุด นอกจากนี้การที่นักเรียนได้เรียนรู้ผ่านวัตถุหรือชิ้นงานยังทำให้นักเรียนเกิดความภาคภูมิใจในผลงานของตนเองอีกด้วย ซึ่งสังเกตเห็นได้จากการที่นักเรียนมีการเชิญชวนให้เพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ให้มาแวะเยี่ยมชมสวนสัตว์ของกลุ่มตนเอง

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

1. กิจกรรมการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา ชื่อว่ากิจกรรมสวนสัตว์ของคุณหนู ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ชั้นระบุปัญหา 2) ชั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา 3) ชั้น

ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา 4) ขึ้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา 5) ขึ้นทดสอบ ประเมินผล และแก้ไขปรับปรุงชิ้นงาน และ 6) ขึ้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน ผลการประเมินพบว่ากิจกรรมมีความเหมาะสมที่จะใช้จัดการเรียนการสอน ในโรงเรียนของผู้วิจัยในระดับมากที่สุด ( $\bar{X} = 4.51$ , S.D. = 0.41)

2. นักเรียนที่ได้รับการจัดกิจกรรมสวนสัตว์ของคุณหนูซึ่งเป็นการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ตามแนวคิดสะเต็มศึกษามีคะแนนเฉลี่ยของทักษะการคิดสร้างสรรค์สูงกว่านักเรียนในกลุ่มควบคุมทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ การคิดริเริ่ม การคิดคล่องแคล่ว การคิดยืดหยุ่น การคิดละเอียดลออ และการคิดเชิงบูรณาการ และในจำนวนนี้มีนักเรียนที่ทักษะการคิดสร้างสรรค์ในระดับดีมากร้อยละ 60 ต่างจากนักเรียนกลุ่มควบคุมซึ่งส่วนใหญ่ (ร้อยละ 53) มีทักษะการคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับพอใช้เท่านั้น

3. นักเรียนที่ได้รับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาในกิจกรรมสวนสัตว์ของคุณหนูมีความพึงพอใจต่อกิจกรรมในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

#### ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทำวิจัย

1. จากผลการวิจัยครั้งนี้ชี้ชัดว่าการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์จำเป็นต้องอาศัยสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่เป็นอิสระและเปิดกว้าง ดังนั้นสิ่งสำคัญที่สุดต่อการส่งเสริมทักษะการคิดสร้างสรรค์ คือบทบาทของครู โดยครูควรสร้างประเด็นหรือสถานการณ์ที่น่าสนใจ กำหนดภาระงานที่เพียงพอสำหรับพัฒนาองค์ประกอบความคิดสร้างสรรค์ทุกองค์ประกอบและให้เวลานักเรียนอย่างเพียงพอในการสร้างสรรค์ผลงานหรือชิ้นงาน ครูผู้สอนจะต้องให้ความสำคัญกับการให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำแก่นักเรียน และครูผู้สอนควรลดบทบาทในการช่วยเหลือด้วยการบอกความรู้แก่นักเรียนโดยตรงหรือการมอบหมายงานให้นักเรียนปฏิบัติตามคำสั่งที่นักเรียนไม่ได้มีส่วนร่วมในการกำหนดภาระงานหรือขั้นตอนการทำงานด้วยตนเอง แต่ควรเปิดโอกาสให้นักเรียนสามารถดำเนินกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยตนเองมากขึ้น เพื่อให้นักเรียนเกิดการพัฒนาทักษะการคิดสร้างสรรค์มากที่สุด

2. กิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาหรือแม้ว่าจะเป็นสะเต็มศึกษาก็ตามมักจะต้องเกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อสร้างชิ้นงาน ดังนั้นครูผู้สอนจะต้องมีการเตรียมตัวล่วงหน้าเป็นอย่างดี ทั้งการเตรียมสถานการณ์ที่เหมาะสมและปัญหาที่ซับซ้อนเพื่อสร้างความท้าทายแก่ผู้เรียน การจัดหัวข้อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ของนักเรียน และยังต้องหาแนวปฏิบัติสำรองในกรณีที่กิจกรรมการเรียนรู้ไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่นักเรียนไม่สามารถสร้างชิ้นงานได้เสร็จทันตามเวลาที่กำหนด เป็นต้น

#### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. แม้ว่าผลการวิจัยครั้งนี้จะแสดงผลเชิงประจักษ์ที่แสดงให้เห็นถึงทักษะการคิดสร้างสรรค์ที่มีความแตกต่างกันระหว่างนักเรียนกลุ่มทดลองกับนักเรียนกลุ่มควบคุม แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยปฏิบัติการในชั้นเรียนที่เป็น การวิจัยกึ่งทดลองเบื้องต้นเท่านั้น และการวิเคราะห์ผลการวิจัยยังเป็นเพียงระดับการใช้สถิติเชิงบรรยายพื้นฐาน ฉะนั้นในการทำวิจัยลักษณะนี้ต่อไปในอนาคตควรมีการวางแผนระเบียบวิธีวิจัยให้มีความรัดกุมเข้มงวดมากขึ้นโดยจะใช้แผนการวิจัยแบบการวิจัยเชิงทดลองที่แท้จริง (True Experimental Research Design) มีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างทางสถิติ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ผลการวิจัยโดยใช้สถิติอ้างอิง (Inferential Statistics) และวิเคราะห์ขนาดอิทธิพลของตัวแปร (Effect Size) และเพื่อให้สามารถนำผลการวิจัยไปใช้อ้างอิงวงกว้างได้

2. ในปัจจุบันการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มและสะเต็มศึกษาในประเทศไทยได้มีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่อย่างไรก็ตามกิจกรรมส่วนใหญ่มักเกี่ยวข้องกับหน่วยการเรียนรู้ที่ในสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ ได้แก่ ฟิสิกส์ และเคมีเป็นส่วนใหญ่ (Chonkaew, Sukhummek and Faikhamta, 2019; English and King, 2015; Smyrniou, Georgakopoulou and Sotiriou, 2020) ทำให้การวิจัยและพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มและสะเต็มศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ชีวภาพนั้นมีอยู่น้อย การวิจัยครั้งนี้จึงแสดงให้เห็นถึงความจำเป็นไปได้สำหรับการทำวิจัยในอนาคตที่จะมีการพัฒนาการเรียนรู้นิวแนวทางสะเต็มและสะเต็มศึกษาที่เกี่ยวข้องกับสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ชีวภาพให้มากขึ้น

3. กิจกรรมสวนสัตว์ของคุณหนูที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมา สร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่เป็นไปตามบริบทของนักเรียนและโรงเรียนที่ผู้วิจัยสอน โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยให้แต่ละกลุ่มออกแบบสวนสัตว์ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วยสัตว์หลากหลายชนิดจึงจะเรียกว่า “สวนสัตว์” การดำเนินกิจกรรมภายใต้แผนการจัดการเรียนรู้ดังกล่าว นักเรียนได้มีการสืบค้นข้อมูลของสัตว์แต่ละชนิด ซึ่งเป็นการสืบค้นข้อมูลทั่วไปแบบกว้าง ๆ ทั้งชนิดของสัตว์ การดำรงชีวิต และแหล่งที่อยู่ แต่ไม่ได้ลงรายละเอียดที่ลึกซึ้งในเนื้อหาความรู้ทางชีววิทยามากนัก ฉะนั้นหากมีการทำงานวิจัยนี้ซ้ำหรือมีการปรับปรุงเพื่อนำไป

ทดลองกับกลุ่มประชากรขนาดใหญ่ ควรให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกชนิดของสัตว์ที่สนใจมาเพียง 1 ชนิด และศึกษาให้ลึกซึ้งเกี่ยวกับสัตว์ชนิดนั้น จากนั้นจึงค่อยนำข้อมูลของสัตว์แต่ละชนิดมารวมกัน และร่วมกันออกแบบสวนสัตว์ขึ้นมา

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนจากเครือข่ายความร่วมมือระหว่างศูนย์ฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานีกับโรงเรียนเครือข่ายฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูของคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

### เอกสารอ้างอิง

- Allina, B. (2018). The development of STEAM educational policy to promote student creativity and social empowerment. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 77-87.  
<https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1296392>
- Belbase, S., Mainali, B. R., Kasemsukpipat, W., Tairab, H., Gochoo, M. and Jarrah, A. (2021). At the dawn of science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) education: prospects, priorities, processes, and problems. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1-37. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1922943>
- Carbonell-Carrera, C., Saorin, J. L., Melian-Diaz, D. and de la Torre-Cantero, J. (2019). Enhancing creative thinking in STEM with 3D CAD modelling. *Sustainability*, 11(21), 6036.  
<https://doi.org/10.3390/su11216036>
- Chonkaew, P., Sukhummek, B. and Faikhamta, C. (2019). STEM activities in determining stoichiometric mole ratios for secondary-school chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 96(6), 1182-1186. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00985>.
- Conradty, C. and Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching professional development works: effects on students' creativity and motivation. *Smart Learning Environments*, 7(26), 1-20.  
<https://doi.org/10.1186/s40561-020-00132-9>
- Costantino, T. (2018). STEAM by another name: Transdisciplinary practice in art and design education. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 100-106. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1292973>
- DeHaan, R. L. (2009). Teaching creativity and inventive problem solving in science. *CBE—Life Sciences Education*, 8(3), 172-181. <https://doi.org/10.1187/cbe.08-12-0081>
- English, L. D. and King, D. T. (2015). STEM learning through engineering design: fourth-grade students' investigations in aerospace. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1-18.  
<https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>.
- Gross, K. and Gross, S. (2016). TRANSFORMATION: Constructivism, design thinking, and elementary STEAM. *Art Education*, 69(6), 36-43. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1224869>.
- Guilford, J.P. (1967). *The Nature of Human Intelligence*. McGraw-Hill: New York, USA.
- Kang, N.-H. (2019). A review of the effect of integrated STEM or STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) education in South Korea. *Asia-Pacific Science Education*, 5(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s41029-019-0034-y>.
- Khumraksa, B. and Ruksakit, P. (2019). Improvement of science process skills by using research-based instruction on soil properties for the second grade students in a municipal school, Surat Thani (in Thai). *Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning*, 10(1), 14-29.

- Kim, H. and Chae, D.-H. (2016). The development and application of a STEAM program based on traditional Korean culture. **Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education**, 12(7), 1925-1936. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1539a>.
- Kim, J.-O. and Kim, J.-S. (2018). Development and application of art based steam education program using educational robot. **International Journal of Mobile and Blended Learning**, 10, 46-57. <https://doi.org/10.4018/IJMBL.2018070105>.
- Leedy, P. D. and Ormrod, J. E. (2015). **Practical research: Planning and design**. Harlow: Pearson Education.
- Lucchiari, C., Sala, P. M. and Vanutelli, M. E. (2019). The effects of a cognitive pathway to promote class creative thinking. An experimental study on Italian primary school students. **Thinking Skills and Creativity**, 31, 156-166. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.12.002>
- National Research Council. (2012). **A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas**. Washington, DC: National Academies Press.
- Phengnoi, D. and Boonsom, N. (2021). Development of scientific work creation and creative problem-solving abilities for fifth grade students by STEAM education-based learning activities management (in Thai). **Silpakorn Educational Research Journal**, 13(1), 238-257.
- Phitaksa, T., Phitaksa, P., Rungrot, N., Phonchaiya, S. and Wuttisela, K. (2019). Effects of STEM education approach on food racing car for grade-6 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 2(1), 57-70.
- Rhodes, M. (1987). An analysis of creativity. In S. G. Isaksen (Ed.), **Frontiers of creativity research** (pp. 216-222). Buffalo, NY: Bearly Ltd.
- Riel, J. and Martin, R. L. (2017). **Creating great choices: A leader's guide to integrative thinking**. Boston: Harvard Business School Press.
- Rochman, C., Nasudin, D. and Rokayah, R. (2019). Science literacy on science technology engineering and math (STEM) learning in elementary schools. **Journal of Physics: Conference Series**, 1318, 012050. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1318/1/012050>.
- Rolling, J. H. (2016). Reinventing the STEAM engine for art + design education. **Art Education**, 69(4), 4-7. <https://doi.org/10.1080/00043125.2016.1176848>.
- Smyrnaiou, Z., Georgakopoulou, E. and Sotiriou, S. (2020). Promoting a mixed-design model of scientific creativity through digital storytelling—the CCQ model for creativity. **International Journal of STEM Education**, 7(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00223-6>.
- The Partnership for 21<sup>st</sup> Century Skills. (2009). **Framework for 21<sup>st</sup> Century learning**. Retrieved from [http://www.p21.org/storage/documents/docs/P21\\_Framework\\_Definitions\\_New\\_Logo\\_2015.pdf](http://www.p21.org/storage/documents/docs/P21_Framework_Definitions_New_Logo_2015.pdf).
- Vennix, J., den Brok, P. and Taconis, R. (2018). Do outreach activities in secondary STEM education motivate students and improve their attitudes towards STEM? **International Journal of Science Education**, 40(11), 1263-1283. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1473659>.
- Yakman, G. (2008). STΣ@M education: An overview of creating a model of integrative education. **Proceedings of the Pupils Attitudes Towards Technology**, Netherlands.



บทความวิจัย

## การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของ ของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)

สถาพร เรืองรุ่ง<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โรงเรียนบ้านกุ่ม กลุ่มเครือข่ายสถานศึกษาที่ 14 (ผาแต้ม)

สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3

\*Email: win.physics.1996@gmail.com

รับบทความ: 14 กันยายน 2564 แก้ไขบทความ: 23 ตุลาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 15 พฤศจิกายน 2564

### บทคัดย่อ

เนื่องจากสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ส่งผลให้นักเรียนไม่สามารถมาโรงเรียน และเรียนตามปกติได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะ 1) สร้างและพัฒนาคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา ภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70 2) ประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา กลุ่มเป้าหมายเป็นนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนบ้านกุ่ม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 จำนวน 18 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และแบบสอบถามความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 1 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา มีประสิทธิภาพ 70.62/72.06 โดยที่นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาในขั้นตอนที่ 4 - 6 สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 70% อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 (ขั้นตอนที่ 4 การดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา ขั้นตอนที่ 5 การทดสอบประเมินผลและปรับปรุง และขั้นตอนที่ 6 การนำเสนอชิ้นงาน) และนักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 4 การใช้ตัวเลขในการศึกษามากที่สุด (mean = 3.70, S.D. = 1.01) นอกจากนี้ นักเรียนยังมีความพึงพอใจต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาในระดับมาก (mean = 4.19, S.D. = 0.64)

**คำสำคัญ:** ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น โครงการงานสะเต็มศึกษา การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)

### อ้างอิงบทความนี้

สถาพร เรืองรุ่ง. (2565). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19). วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 124-140. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.11>



Research Article

## The development of the scientific process skills using the manual of artifacts from local materials by STEM Education approaches under the outbreak of the Coronavirus 2019 (COVID-19)

Sathaphorn Ruengrung<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Science and Technology, Ban Kum School, School Network Group No. 14 (Pha Taem),  
Ubon Ratchathani Primary Educational Service Area Office 3*

*\*Email: win.physics.1996@gmail.com*

Received <14 September 2021>; Revised <23 October 2021>; Accepted <15 November 2021>

---

### Abstract

The outbreak of the Coronavirus 2019 (COVID-19), has caused the students to stop going to school and were unable to study normally. Therefore, the researcher has come up with the ideas; 1) to create and develop the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches under the outbreak of the pandemic, Coronavirus 2019 (COVID-19) with an efficiency of 70/70; 2) to evaluate the scientific process skills after using the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches and; 3) to study students' satisfaction towards the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches. The target audience used in the study were 18 students in Prathomsuksa 5 of academic year 2021, Ban Kum School, Ubon Ratchathani Primary Educational Service Area Office 3. The instruments used were 1) the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches, 2) a learning achievement test; 3) the evaluation form for the scientific process skills and, 4) the students' satisfaction evaluation form. The data were analyzed using percentage, mean, standard deviation, and one-Samples T-Test analysis. The findings indicated that the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches had the efficiency of 70.62/72.06. The students' average score on the assessment of the scientific process skills by STEM education approaches in the step 4-6 were higher than the standard 70% but not statically significant at the .01 level (step 4: Implementation on problem-solving and developing, step 5: Testing, evaluating and improving, and step 6: Presentation). The students also had an average score in the list of assessment no. 4, mathematics, rated in the highest level (mean = 3.70, S.D. = 1.01). In addition, the overall students' satisfaction towards the manual of artifacts from local materials by STEM education approaches had rated in high levels (mean = 4.19, S.D. = 0.64).

**Keywords:** Scientific process skills, artifacts from local materials, STEM Education project, outbreak of Coronavirus 2019 (COVID-19)

---

#### Cite this article:

Ruengrung, S. (2022). The development of the scientific process skills using the manual of artifacts from local materials by STEM Education approaches under the outbreak of the Coronavirus 2019 (COVID-19) (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 124-140. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.11>



## บทนำ

วิกฤตการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด 19 ได้แพร่กระจายไปเกือบทุกประเทศทั่วโลก มนุษยชาติกำลังเผชิญกับโรคติดเชื้ออุบัติใหม่ที่สามารติดต่อกันได้ง่าย และแพร่กระจายการติดเชื้อได้อย่างรวดเร็ว (Thangkratok *et al.*, 2021) การจัดการเรียนการสอนจึงจำเป็นต้องปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ดังนั้นสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานได้กำหนดรูปแบบการเรียนการสอนไว้ 5 รูปแบบ ตามบริบทและความเหมาะสมของแต่ละโรงเรียน คือ 1) ON-AIR 2) ONLINE 3) ON-DEMAND 4) ON-HAND และ 5) ON-SITE (Office of the Basic Education Commission, 2021) รูปแบบการเรียนการสอนทั้ง 5 รูปแบบจึงถูกนำมาปรับใช้ทดแทนการจัดการเรียนการสอนแบบเดิม โรงเรียนบ้านกุ่ม กลุ่มเครือข่ายสถานศึกษาที่ 14 (ผาแต้ม) อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ อยู่ในบริบทที่มีความเหมาะสมที่จะจัดการเรียนการสอนแบบที่ 4 ON-HAND (ออนแฮนด์) ซึ่งทำการจัดการเรียนการสอนแบบ ON-HAND ตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายนจนถึงปลายเดือนสิงหาคม 2564 ที่ผ่านมาเนื่องจากนักเรียนไม่สามารถเรียนออนไลน์ได้ และช่วงเวลาดังกล่าวพบผู้ป่วยในพื้นที่จึงไม่สามารถสอนแบบที่ 5 ON-SITE (ออนไซต์) ได้เช่นกัน และจากการศึกษาปัญหาและความพร้อมของนักเรียนในการเรียนรู้รายวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากการสัมภาษณ์ผู้อำนวยการโรงเรียน และคณะครู พบว่า นักเรียนในระดับประถมศึกษา โดยเฉพาะนักเรียนในช่วงชั้นที่ 2 (ป.4 - ป.6) ยังขาดทักษะกระบวนการที่สำคัญในการนำเอาความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้เรียนรู้มาใช้ในชีวิตประจำวัน และที่สำคัญจากการสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับรูปแบบการเรียนการสอน โดยใช้กิจกรรมปฐมนิเทศก่อนเรียน พบว่า นักเรียนร้อยละ 75 ต้องการให้ครูสอนแบบได้ลงมือปฏิบัติจริง เช่น มีการทดลอง มีการประดิษฐ์ เป็นต้น

การจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้โครงงานเป็นฐาน STEM-Project based learning เป็นการนำขั้นตอนมาบูรณาการร่วมกันทั้งโครงงานเป็นฐาน (PBL) และสะเต็มศึกษา ซึ่งเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติ ยังมุ่งแก้ไขปัญหาที่พบเห็นในชีวิตจริง เพื่อสร้างเสริมประสบการณ์ทักษะชีวิต และเป็นการเตรียมความพร้อมให้กับนักเรียนในอนาคต การจัดการกระบวนการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษาเป็นการเรียนรู้ที่นักเรียนคิดและลงมือทำแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันเพื่อให้ได้ใช้เทคโนโลยีซึ่งเป็นผลผลิตจากกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม จะช่วยให้นักเรียนได้พัฒนาทักษะการคิด ทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ทักษะการแก้ปัญหา และทักษะการสื่อสาร ครูผู้สอนสามารถจัดการเรียนรู้โดยใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ตามสภาพจริง นักเรียนได้เผชิญปัญหาและแก้ปัญหาโดยคำนึงถึงบริบทแวดล้อมที่สัมพันธ์กับความเป็นจริง ซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่มีความหมายต่อนักเรียนกระตุ้นให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้จนนำไปสู่การสร้างองค์ความรู้จากบริบทที่เป็นจริง (Polyiem, 2018) ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มศึกษา คือ การจัดการเรียนรู้แบบโครงงานที่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด 2) ขึ้นรวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง 3) ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา 4) ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา 5) ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง 6) นำเสนอผลงาน (Visetsuvarnabhumi, 2019) สอดคล้องกับกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมของศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ (National STEM Education Center, 2015) สอดคล้องกับวิธีสอนแบบสืบเสาะที่เน้นกระบวนการแก้ปัญหา (Chanunan, 2017) และสอดคล้องกับการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษาโดยใช้โครงงานเป็นฐาน STEM-Project based learning (Klomim, 2016) ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ขั้นตอนของการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มศึกษา มาใช้เป็นขั้นตอนในการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ พบว่า มีการสอนโดยใช้คู่มือมีความใกล้เคียงกับการสอนที่แจกใบงานสำหรับการสอนแบบ ON-HAND นอกจากนี้คู่มือที่ใช้มีลำดับขั้นตอน และรายรายละเอียดที่นักเรียนสามารถอ่าน และทำตามได้อย่างสะดวกซึ่งต่างจากใบงานที่ไม่จำเป็นต้องมีลำดับขั้นตอน และการสอนที่บูรณาการ STEM สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ เช่น การศึกษาของ Ruengrung *et al.* (2020) ที่ศึกษาการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการสร้างชุดทดลองตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา เรื่อง ลูกตุ้มอย่างง่าย พบว่า คู่มือการสร้างชุดทดลองเป็นนวัตกรรมที่สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดีในทักษะการจัดประเภทสิ่งของ (Classifying) คือ การออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา ทักษะการวัด (Measuring) คือ การดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา และทักษะการคำนวณและการใช้จำนวน (Using Numbers) คือ การทดสอบประเมินผล ปรับปรุง และส่งเสริมให้นักเรียนใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ได้อย่างถูกต้อง เหมาะสมและเกิดประโยชน์ เนื่องจากรูปแบบกิจกรรมตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษาข้างต้นมีกระบวนการที่สามารถส่งเสริมหรือพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และการศึกษาของ Ruengrung *et al.* (in press) ที่ได้จัดการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มศึกษา ในการออกแบบพัฒนาชุดทดลองของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความสามารถในการแก้ปัญหาหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เนื่องจากการบูรณาการสะเต็มศึกษากับการเรียนรู้โดยใช้โครงงานเป็นฐานมีกระบวนการการเรียนรู้ที่เริ่มจากการที่ครูทำให้นักเรียนสามารถ

กำหนดปัญหา และกระตุ้นให้นักเรียนเริ่มต้นตรวจสอบที่มาของปัญหา ครูนำกระบวนการการเรียนรู้แบบโครงงานสะเต็มศึกษา มาใช้เพื่อให้นักเรียนรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน และต่อมานักเรียนได้ใช้กระบวนการเรียนรู้ ตรวจสอบ สิ่งที่ยังไม่รู้ จนสามารถแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง และนำเสนอรูปแบบและวิธีแก้ปัญหาให้กับเพื่อนร่วมชั้นได้

จากแนวคิดข้างต้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการจัดการเรียนรู้ที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ ค้นพบความรู้ ลงมือปฏิบัติด้วยตนเอง เพื่อให้นักเรียนเห็นความสำคัญของวิทยาศาสตร์ที่สามารถนำความรู้มาใช้ แก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น เป็นกิจกรรมที่เหมาะสมกับนักเรียนชั้นประถมศึกษา ตอนปลายสามารถหาสิ่งของ วัสดุต่าง ๆ ที่มีอยู่รอบตัวมาสร้างเป็นของใช้ในบ้านและในโรงเรียนได้ และที่สำคัญครูสามารถใช้ ขั้นตอนในการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นมาส่งเสริมให้นักเรียนเกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ การสร้าง สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นจะช่วยให้นักเรียนเกิดความคิดรวบยอด ได้รับประสบการณ์ทั้งทางตรงและทางอ้อม และเป็นสื่อ ช่วยเชื่อมโยงความเป็นรูปธรรมกับนามธรรม ทำให้เกิดความเข้าใจเรื่องราวที่ศึกษาได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการสร้างสิ่งประดิษฐ์จาก วัสดุในท้องถิ่นจึงมีบทบาทอย่างมาก ในการส่งเสริมทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทำให้นักเรียนมีความพร้อมในการเรียน เพิ่มมากขึ้น สามารถถ่ายทอดความรู้ และสามารถประยุกต์หลักการต่าง ๆ ในการต่อยอดในเรื่องอื่น ๆ ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจัดการเรียนการสอนแบบ ON-HAND ที่สามารถส่งเสริมทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนระดับประถมศึกษาตอนปลาย จึงมีความสนใจในการจัดทำคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุใน ท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา ภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) โดยนำ ขั้นตอนการทำโครงงานสะเต็มศึกษา มาใช้เป็นขั้นตอนในการการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น สำหรับนักเรียนชั้น ประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม กลุ่มเครือข่ายสถานศึกษาที่ 14 (ผาแต้ม) อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษา ประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 โดยการจัดการเรียนรู้ดังกล่าวสามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาทักษะกระบวนการทาง วิทยาศาสตร์ พัฒนาการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์ระดับประถมศึกษาตอนปลายในปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องกับการพัฒนา นักเรียนในศตวรรษที่ 21 และการพัฒนานักเรียนด้านสมรรถนะและคุณลักษณะอันพึงประสงค์ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐานพุทธศักราช 2551 ที่กำหนดไว้

## วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อสร้างและพัฒนาคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียน ชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 ให้มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70
- 2) เพื่อประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่ การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3
- 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

**กลุ่มเป้าหมาย** คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564 โรงเรียนบ้านกุ่ม กลุ่มเครือข่าย สถานศึกษาที่ 14 (ผาแต้ม) อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 ที่เรียนในรายวิชา ว15101 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน 19 คน (พิจารณาสอนโดยใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตาม ขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา ทั้งหมด 18 คน เนื่องจากนักเรียนจำนวน 1 คน มีความบกพร่องทางการเรียนเรียนรู้ผู้วิจัยจึงใช้ การจัดการเรียนการสอนเฉพาะบุคคล)

### การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ

1. การสร้างคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้น ประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอโขงเจียม สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3

1.1 วิเคราะห์หลักสูตรและศึกษาจุดประสงค์รายวิชา ว15101 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ รอบตัว เรื่อง ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้ในการจัดทำคู่มือการสร้าง สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น

1.2 ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับหลักการและวิธีการสร้างคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตาม ขั้นตอนโครงงานสะเต็มศึกษา จากเอกสารตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำเนื้อหา

1.3 สร้างคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา จำนวน 1 ฉบับ ประกอบด้วย บทที่ 1 สารสำคัญ ได้แก่ ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ บทที่ 2 วัสดุในท้องถิ่น บทที่ 3 การสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นของนักเรียนตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา ได้แก่ ใบกิจกรรมที่ 1 ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด ใบกิจกรรมที่ 2 รวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ใบกิจกรรมที่ 3 ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา ใบกิจกรรมที่ 4 ดำเนินการแก้ไข ปัญหา/พัฒนา ใบกิจกรรมที่ 5 ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง ใบกิจกรรมที่ 6 นำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4

#### ตัวอย่างใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 6 ดังนี้

1. ให้นักเรียนนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ที่ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้ย่อ
  - 1.1 ชื่อชิ้นงาน (บอกชื่อสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น)
  - 1.2 ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด (เกิดปัญหาอะไรทำไมเราจึงสร้างสิ่งประดิษฐ์นี้ขึ้นมา)
  - 1.3 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (แนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ วัสดุในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ คุณสมบัติของวัสดุ วิธีการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีอะไรบ้าง)
  - 1.4 ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา (วาดภาพร่างสิ่งประดิษฐ์ และการเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การออกแบบ และการวางแผน ระบุวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์)
  - 1.5 ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา (ลงมือสร้างสิ่งประดิษฐ์ และทดลองใช้กับคนในครอบครัว พร้อมทำการประเมินชิ้นงานตามแบบประเมินชิ้นงาน)
  - 1.6 ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง (สรุปผลการทดลองใช้ชิ้นงาน ระบุข้อดี ข้อเสียของสิ่งประดิษฐ์ ข้อเสนอแนะในการดูแลรักษาสิ่งประดิษฐ์ และการพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ให้ดีกว่าเดิม)
2. ให้นักเรียนส่งชิ้นงานจริง ซึ่งประกอบไปด้วยสิ่งประดิษฐ์ พร้อมคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์

#### ภาพที่ 1 ตัวอย่างใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 6

1.4 นำคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา ที่สร้างขึ้นเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ประเมินคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ซึ่งแบ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา จำนวน 1 ท่าน ด้านภาษาที่ใช้การจัดรูปเล่มและการพิมพ์จำนวน 1 ท่าน และด้านการวิจัยและประเมินผล จำนวน 1 ท่าน เป็นผู้ตรวจสอบคุณภาพความเหมาะสมในด้านเนื้อหา ภาษาที่ใช้การจัดรูปเล่ม และการพิมพ์ ตรวจสอบความถูกต้อง และประเมินคุณภาพก่อนนำมาปรับปรุงแก้ไข

1.5 นำผลการประเมินคุณภาพคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน มาหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เกณฑ์ของ Srisa-Ard (2013) ค่าเฉลี่ยคะแนนประเมินของผู้เชี่ยวชาญมีค่าตั้งแต่ 3.67 ขึ้นไป และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 1.00 แสดงว่าองค์ประกอบของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นมีความเหมาะสมสอดคล้องกัน มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.59 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.18 เมื่อเทียบกับเกณฑ์แล้วอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

1.6 นำคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาที่ปรับปรุงแก้ไขเป็นฉบับสมบูรณ์แล้วไปใช้จริงกับกลุ่มเป้าหมาย คือ นักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอลำทะเมนชัย สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 จำนวน 18 คน ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2564

2. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรายวิชา ว15101 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 การเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ รอบตัว เรื่อง ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ เป็นแบบทดสอบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตามจุดประสงค์ เนื้อหาวิชา เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ 4 ตัวเลือก จำนวน 20 ข้อ โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและประเมินผลการศึกษา รวมจำนวน 3 ท่าน ประเมินความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อสอบกับจุดประสงค์การเรียนรู้ โดยค่าดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence Index: IOC) อยู่ระหว่าง 0.67 - 1.00

3. แบบประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา และการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 เป็นแบบประเมินตามรูปแบบการประเมินคุณภาพของบทความวิจัย โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและประเมินผลการศึกษา รวมจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบของแบบประเมิน (Index of Consistency: IC) ประกอบด้วย

**ตอนที่ 1 การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา**

การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา (ขั้นตอนละ 5 คะแนน คะแนนเต็ม 30 คะแนน) โดยให้คะแนนในแต่ละขั้นตอน ตามทักษะที่ระบุดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1 การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา**

ขั้นตอน	ทักษะที่ประเมิน
1. ระบุปัญหาประเด็นที่	ทักษะการสังเกต (3 คะแนน) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (2 คะแนน)
2. รวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	ทักษะการสังเกต (3 คะแนน) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (2 คะแนน)
3. ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/ พัฒนา	ทักษะการสังเกต (1 คะแนน), ทักษะการวัด (1 คะแนน), ทักษะการจำแนกประเภท (1 คะแนน), ทักษะการสร้างแบบจำลอง (1 คะแนน) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (1 คะแนน)
4. ดำเนินการแก้ไขปัญหา/ พัฒนา	ทักษะการสังเกต (1 คะแนน), ทักษะการจำแนกประเภท (1 คะแนน) ทักษะการวัด (1 คะแนน), ทักษะการใช้จำนวน (1 คะแนน) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (1 คะแนน)
5. ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง	ทักษะการสังเกต (1 คะแนน), ทักษะการจำแนกประเภท (1 คะแนน) ทักษะการวัด (1 คะแนน), ทักษะการใช้จำนวน (1 คะแนน) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล 1 คะแนน)
6. นำเสนอชิ้นงาน	ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (5 คะแนน)

**หมายเหตุ** การให้คะแนนในแต่ละขั้นตอนให้นำหนักในแต่ละทักษะตามการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ โดยพิจารณาจากทักษะที่เกิดขึ้นจริงกับนักเรียนตามลำดับ

**ตอนที่ 2 การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการนำเสนอชิ้นงาน**

การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 (รายการประเมินจำนวน 6 รายการ รายการละ 5 คะแนน คะแนนเต็ม 30 คะแนน) โดยให้คะแนนในแต่ละรายการประเมิน ตามทักษะที่ระบุดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2 การประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4**

รายการประเมิน	ทักษะที่ประเมิน
1. หลักการแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ (Science)	ทักษะการสังเกต (3 คะแนน) ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (2 คะแนน)
2. เทคโนโลยีที่ใช้ในการศึกษา (Technology)	ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (5 คะแนน)
3. การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การออกแบบและการวางแผน (Engineering)	ทักษะการสังเกต (2 คะแนน) ทักษะการวัด (1 คะแนน) ทักษะการจำแนกประเภท (1 คะแนน) ทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (1 คะแนน)
4. การใช้ตัวเลขในการศึกษา (Mathematics)	ทักษะการใช้จำนวน (5 คะแนน)
5) ความสอดคล้องของรูปภาพประกอบ	ทักษะการสร้างแบบจำลอง (5 คะแนน)
6) ชิ้นงานหรือสิ่งประดิษฐ์	ทักษะการทดลอง (3 คะแนน) ทักษะการจัดกระทำและสื่อความหมายข้อมูล (2 คะแนน)

**หมายเหตุ** การให้คะแนนในแต่ละรายการประเมินให้นำหนักในแต่ละทักษะตามการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญ โดยพิจารณาจากทักษะที่เกิดขึ้นจริงกับนักเรียนตามลำดับ

4. แบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับของ Likert (Likert Scale) จำนวน 10 ข้อ โดยผ่านผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและประเมินผลการศึกษา และผู้เชี่ยวชาญด้านจิตวิทยาแนะแนวและให้คำปรึกษา รวมจำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับองค์ประกอบ (Index of Consistency: IC)

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้อธิบายชี้แจงทำความเข้าใจความตกลงกับนักเรียนเรื่องรูปแบบการเรียน เวลาเรียน และวิธีการในการเรียนในสัปดาห์แรกของการจัดการเรียนการสอนแบบ ON-HAND

2. จัดกิจกรรมการเรียนโดยใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอลำดวน จังหวัดสุรินทร์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 ใช้เวลาสอน 6 สัปดาห์ (2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์) รวมทั้ง 12 ชั่วโมง ดังตารางที่ 3 โดยนักเรียนศึกษาข้อมูลจากคู่มือและทำใบกิจกรรมตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา เพื่อนำคะแนนที่ได้ไปเป็นคะแนนระหว่างเรียน

ตารางที่ 3 กิจกรรมการเรียนโดยใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา

สัปดาห์ที่	กิจกรรมการเรียนรู้
1	นักเรียนศึกษาข้อมูลจากคู่มือและทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 1 ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด โดยนักเรียนระบุปัญหา วิธีการแก้ปัญหา และวัสดุที่ใช้แก้ปัญหาที่มีภายในท้องถิ่น พร้อมบอกเหตุผลที่เลือกใช้วัสดุนั้นตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ เช่น ความยืดหยุ่น ความเหนียว เป็นต้น
2	นักเรียนทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 2 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยให้นักเรียนสืบค้น ข้อมูลในอินเทอร์เน็ต หรือสอบถามผู้รู้ในหมู่บ้านเกี่ยวกับการทำชิ้นงานที่ใช้แก้ปัญหา และแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ เช่น ความสูง ความยาว ความกว้าง ของสิ่งประดิษฐ์ เป็นต้น ให้ระบุวัสดุในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ และคุณสมบัติของวัสดุ วิธีและขั้นตอนการสร้างสิ่งประดิษฐ์
3	นักเรียนทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 3 ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา โดยให้นักเรียนวาดภาพการออกแบบสิ่งประดิษฐ์ พร้อมระบุวัสดุที่ใช้ ส่วนประกอบต่างๆ ก่อนลงมือทำสิ่งประดิษฐ์จริง
4	นักเรียนทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 4 ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา โดยให้นักเรียนนำสิ่งประดิษฐ์ที่ทำเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้ปกครองหรือคนในครอบครัว จำนวน 3 คน ทดลองใช้แล้วประเมินให้คะแนน
5	นักเรียนทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 5 ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง โดยให้นักเรียนปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ แล้วให้ผู้ปกครองหรือคนในครอบครัวประเมินอีกรอบ แล้วเขียนสรุปข้อดี ข้อเสียและวิธีแก้ไขปรับปรุง
6	นักเรียนทำใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 6 นำเสนอผลงานในรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ดังตัวอย่างใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 6

3. ประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา และจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 โดยกรรมการผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและประเมินผลการศึกษา 1 ท่าน

4. นักเรียนทำแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจำนวน 20 ข้อ เพื่อนำคะแนนที่ได้ไปเป็นคะแนนทดสอบหลังเรียน ทำการทดสอบในสัปดาห์ที่มีการจัดการเรียนการสอนรูปแบบ ON-SITE (โรงเรียนบ้านกุ่ม เริ่มจัดการจัดการเรียนการสอนรูปแบบ ON-SITE ในสัปดาห์แรกของเดือนกันยายน 2564)

5. นักเรียนทำแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา จำนวน 10 ข้อ

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์ประสิทธิภาพคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาสำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โรงเรียนบ้านกุ่ม อำเภอลำดวน จังหวัดสุรินทร์ สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษาอุบลราชธานี เขต 3 ตามเกณฑ์ 70/70 โดยหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ

2. วิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา โดยการทดสอบ One-Samples T Test โดยใช้เกณฑ์ 70%

3. วิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. วิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา โดยหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

## ผลการวิจัย

1. ผลการสร้างและหาประสิทธิภาพของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา (ตารางที่ 4) พบว่า คะแนนเฉลี่ยใบกิจกรรมการสร้างสิ่งประดิษฐ์ 6 กระบวนการระหว่างเรียนมีค่าเท่ากับ 21.19 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.43 ค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 70.62 และส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนหรือผลสัมฤทธิ์ ( $E_2$ ) มีค่าเท่ากับ 14.41 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.06 ค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 72.06 สรุปได้ว่าคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 70.62/72.06 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ 70/70

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา

การหาประสิทธิภาพ	Total	mean	S.D.	ประสิทธิภาพ (%)
ประสิทธิภาพของกระบวนการ ( $E_1$ )	30	21.19	4.43	70.62
ประสิทธิภาพของผลสัมฤทธิ์ ( $E_2$ )	20	14.41	2.06	72.06
คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา				70.62/72.06

2. ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา

ตอนที่ 1 ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา โดยการทดสอบ One-Samples T-Test โดยใช้เกณฑ์ 70% ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบตามตารางที่ 5 ซึ่งพบว่า คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา ขั้นตอนที่ 4 ,5 และ 6 มีคะแนนเฉลี่ยมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 3.50 คะแนน หรือร้อยละ 70 แต่มีค่า p-value > .01 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแตกต่างจากเกณฑ์ที่กำหนด (3.50 คะแนน, ร้อยละ 70) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 ส่วนขั้นตอนที่ 2 กับขั้นตอนที่ 3 มีคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และขั้นตอนที่ 1 มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ One-Samples T Test

ขั้นตอน	mean	S.D.	t-test	p-value*
1. ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด	3.50	0.71	-	-
2. รวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง	3.28	0.52	-	-
3. ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา	3.15	0.88	-	-
4. ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา	3.79	0.88	1.384	0.09
5. ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง	3.74	0.86	1.158	0.13
6. นำเสนอชิ้นงาน	3.72	0.63	1.452	0.08

\*p<.01

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ผลจากการประเมินจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 จากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน หลังจากนักเรียนสร้างและทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นจนเสร็จสิ้นตามขั้นตอนโครงการงานสะเต็มศึกษา โดยมีรายการประเมิน 6 รายการ ซึ่งสามารถแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ของนักเรียนทั้งหมด จากกรรมการผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน

รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	S.D.
1. หลักการแนวคิดวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ (Science)	3.33	0.85
2. เทคโนโลยีที่ใช้ในการศึกษา (Technology)	3.15	0.63
3. การเลือกวัสดุ อุปกรณ์ การออกแบบและการวางแผน (Engineering)	3.67	0.96
4. การใช้ตัวเลขในการศึกษา (Mathematics)	3.70	1.01
5. ความสอดคล้องของภาพร่างกับชิ้นงาน	3.06	0.94
6. ชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์	3.65	0.72
รวม	3.43	0.85

จากตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ของนักเรียนทั้งหมด จากกรรมการผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่า คะแนนเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 3.43 คะแนน เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 4 การใช้ตัวเลขในการศึกษา (Mathematics) มากที่สุด (mean=3.70, S.D.= 1.01) และมีคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 5 ความสอดคล้องของภาพร่างกับชิ้นงานต่ำที่สุด (mean=3.06, S.D.=0.94)

ตอนที่ 3 ผลการสร้างและทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น โดยให้ผู้ปกครอง และคนในครอบครัวมีส่วนร่วมในการทดลองใช้ และประเมินจากการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ จำนวน 3 คน โดยทดลองใช้และประเมินตามรายการประเมิน 5 รายการ (รายการละ 5 คะแนน รวม 25 คะแนน) ผลแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 คะแนนเฉลี่ยผลการประเมินสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นของนักเรียนทั้งหมด โดยให้ผู้ปกครอง และคนในครอบครัวมีส่วนร่วมการทดลองใช้ และประเมินจากการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ จำนวน 3 คน

รายการประเมิน	ผู้ประเมินคนที่			คะแนนรวม	คะแนนเฉลี่ย	S.D.	การแปลผล
	1	2	3				
1. กวาดง่าย สบายมือ	4.45	4.36	3.91	12.73	4.24	0.24	มาก
2. ไม้กวาดมีความแข็งแรง ทนทาน	4.09	4.09	4.36	12.55	4.18	0.13	มาก
3. ไม้กวาดมีความสมบูรณ์ครบชิ้นส่วน	3.91	3.91	3.45	11.27	3.76	0.21	มาก
4. วัสดุที่ใช้ทำไม้กวาดมีความเหมาะสม	3.64	3.36	3.18	10.18	3.39	0.19	ปานกลาง
5. ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียน	2.72	2.91	3.00	8.64	2.88	0.11	ปานกลาง
รวมทั้งหมด (25 คะแนน)	18.82	18.64	17.91	11.07	3.69	0.39	มาก

จากตารางที่ 7 คะแนนเฉลี่ยผลการประเมินสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นของนักเรียนทั้งหมด โดยให้ผู้ปกครอง และคนในครอบครัวมีส่วนร่วมการทดลองใช้ และประเมินจากการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ จำนวน 3 คน พบว่า โดยภาพรวมสิ่งประดิษฐ์ของนักเรียนมีคะแนน 3.69 คะแนน อยู่ในระดับมาก ซึ่งรายการประเมินที่ 1 กวาดง่าย สบายมือ มีคะแนนสูงสุด 4.24 คะแนน อยู่ในระดับมาก และมีคะแนนในรายการประเมินที่ 5 ความคิดสร้างสรรค์ของนักเรียนมีคะแนนต่ำสุด 2.88 คะแนนอยู่ในระดับปานกลาง





**คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์**

บทที่ 3 กระบวนการประดิษฐ์      กระบวนการประดิษฐ์ที่ 6

ขั้นที่ 6 นำเสนอผลงานกับคณะกรรมการ.....

ขั้นที่ 1 ระบุปัญหาที่สนใจศึกษา      ขั้นที่ 2 ระบุเครื่องมือหรือวัสดุ  
1. มีปัญหาอะไรที่สนใจจะศึกษา      2. มีอุปกรณ์หรือวัสดุอะไรบ้าง  
สำหรับศึกษาเรื่องนี้.....      ที่จะมีใช้.....

ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีปฏิบัติจากแผน      ขั้นที่ 4 ดำเนินการปฏิบัติตาม  
3. ออกแบบแผนการประดิษฐ์.....      4. ควบคุมผลการประดิษฐ์ตาม  
.....

ขั้นที่ 5 ทดสอบประเมินผล      ขั้นที่ 6 สรุปผลการทดลองให้  
5. สรุปผลการทดลองให้ทราบ      6. เขียนรายงานประดิษฐ์  
ชื่อ.....

รางวัลและเกียรติยศที่ได้รับ.....



คู่มือที่สร้างขึ้น

การใช้คู่มือที่บ้านของนักเรียน



การส่งคู่มือหลังจากใช้คู่มือ

การส่งชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์

ภาพที่ 1 การจัดการเรียนการสอนแบบ ON-HAND โดยการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น

**3. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการเสริมศึกษา**

จากผลการประเมินความพึงพอใจต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการเสริมศึกษาของนักเรียน (ตารางที่ 8) พบว่า ค่าเฉลี่ยรวมคะแนนความพึงพอใจของนักเรียนเท่ากับ 4.19 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.64 จากการแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก และพบว่ารายการประเมินความพึงพอใจที่มีคะแนนเฉลี่ยสูงสุดคือรายการประเมินที่ 6 คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้ง่ายขึ้น มีคะแนนเท่ากับ 4.80 คะแนน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.40 และรายการประเมินความพึงพอใจที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือรายการประเมินที่ 2 คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีข้อมูล เนื้อหา ครบถ้วนสมบูรณ์ มีคะแนนเท่ากับ 3.60 คะแนน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.72 และจากการสัมภาษณ์นักเรียนหลังการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นเพิ่มเติมได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

“...การสร้างสิ่งประดิษฐ์ด้วยตัวเองครั้งนี้ทำให้ผมรู้จักเลือกใช้วัสดุในท้องถิ่นตามลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุ...” (S1, 03 กันยายน 2564)

“...การสร้างสิ่งประดิษฐ์ครั้งนี้ทำให้หนูได้รู้จักวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเรื่องอื่น ๆ ในอนาคต” (S2, 03 กันยายน 2564)

“...การสร้างสิ่งประดิษฐ์ครั้งนี้ทำให้เราได้ใช้ทั้งวิทยาศาสตร์ ใช้ตัวเลข และใช้อินเทอร์เน็ตในการสืบค้น...” (S4, 03 กันยายน 2564)



**ตารางที่ 8** ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา

รายการประเมิน	mean	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้นักเรียนเข้าใจเนื้อหาที่เรียนได้ง่ายขึ้น	4.80	0.40	มากที่สุด
2. ครูเปิดโอกาสให้นักเรียนสร้างและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ด้วยตัวของนักเรียนเอง	4.73	0.44	มากที่สุด
3. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้นักเรียนได้บูรณาการความรู้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การออกแบบเชิงวิศวกรรม และคณิตศาสตร์	4.40	0.61	มาก
4. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้นักเรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างเต็มที่	4.40	0.61	มาก
5. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทำให้นักเรียนมีแนวคิดที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ขึ้นมาเรื่อย ๆ	4.27	0.58	มาก
6. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีการใช้เทคโนโลยีในการศึกษาที่หลากหลาย	4.07	0.58	มาก
7. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีความสอดคล้องกับเนื้อหาที่เรียน	3.93	0.68	มาก
8. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีภาษาที่อ่านเข้าใจง่าย	3.87	0.81	มาก
9. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีคำแนะนำ วิธีใช้อย่างละเอียด	3.80	0.83	มาก
10. คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีข้อมูล เนื้อหา ครบถ้วนสมบูรณ์	3.60	0.72	มาก
<b>เฉลี่ย</b>	<b>4.19</b>	<b>0.64</b>	<b>มาก</b>

## อภิปรายผล

**1. ผลการสร้างและหาประสิทธิภาพของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้นตามเกณฑ์มาตรฐาน 70/70**

จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา พบว่า คะแนนเฉลี่ยประสิทธิภาพของกระบวนการ ( $E_1$ ) จากใบกิจกรรมการสร้างสิ่งประดิษฐ์ 6 กระบวนการระหว่างเรียนมีค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 70.62 และส่วนคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนหรือผลลัพธ์ ( $E_2$ ) มีค่าประสิทธิภาพคิดเป็นร้อยละ 72.06 สรุปได้ว่าคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษาที่สร้างขึ้นมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 70.62/72.06 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่ตั้งไว้ 70/70 เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ ตลอดจนพัฒนา ปรับปรุง แก้ไขเป็นคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นที่มีเนื้อหา ขั้นตอนกระบวนการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษาที่เหมาะสมกับนักเรียน จึงทำให้คู่มือมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดสอดคล้องกับการศึกษาของ Pomprakan (2015) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาชุดการสอนวิชาอุปกรณ์และการออกแบบสำหรับนักศึกษา พบว่า ชุดการสอนวิชาอุปกรณ์และการออกแบบมีค่าประสิทธิภาพ 84.89/ 84.06 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 70/70 สอดคล้องกับการศึกษาของ Thatwong (2017) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบสะเต็มศึกษา สำหรับนักเรียนพบว่าการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบสะเต็มศึกษามีค่าประสิทธิภาพ 76.78/71.16 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 70/70 และนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Theerapisit (2021) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลการใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษา พบว่า ชุดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษา มีค่าประสิทธิภาพ 72.43/77.14 สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 70/70

**2. ผลการประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์จากการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา**

**ตอนที่ 1** ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา โดยการทดสอบ One-Samples T Test โดยใช้เกณฑ์ 70% พบว่า คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ขั้นตอนที่ 4, 5 และ 6 มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 3.50 คะแนน หรือร้อยละ 70 แต่มีค่า p-value > .05 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแตกต่างจากเกณฑ์ที่กำหนด (4 คะแนน, ร้อยละ 70) อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 เนื่องจากการขั้นตอนที่ 4) ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา, 5) ทดสอบ

ประเมินผล ปรับปรุง และ 6) นำเสนอชิ้นงาน ตามลำดับ เป็นขั้นตอนที่นักเรียนได้ใช้ความรู้และทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์อย่างเต็มที่ในการหาวัสดุในท้องถิ่น และอุปกรณ์ที่มีอยู่ในบ้านมาสร้างสิ่งประดิษฐ์ และให้คนในครอบครัวทดลองใช้ และประเมินคุณภาพจนได้ชิ้นงานที่เหมาะสม และเขียนสรุปผลการทำงานในขั้นตอนที่ 6 ได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้คะแนนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ส่วนขั้นตอนที่ 1) ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ เนื่องจากขั้นตอนที่ 1 ระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด เป็นขั้นที่ครูยกสถานการณ์ประเด็นปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงเรียนที่ขาดแคลนไม้กวาดในการทำเขตบริเวณที่รับผิดชอบ และให้นักเรียนร่วมกันแสดงความคิดเห็นถึงหนทางในการแก้ปัญหาในประเด็นปัญหาที่ครูยกตัวอย่าง ซึ่งครูยังมีบทบาทมากในขั้นตอนนี้ จากการวิเคราะห์จากใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 1 พบว่า นักเรียนจำนวน 5 คน คิดเป็นร้อยละ 27.78 นักเรียนยังระบุปัญหาได้ไม่ชัดเจนพอ และระบุวิธีการแก้ปัญหาอย่างไม่สอดคล้องกับปัญหาเท่าที่ควร จึงทำให้มีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับเกณฑ์ที่ตั้งไว้ และในส่วนของขั้นตอนที่ 2) รวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง และ 3) ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา มีคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ จากการวิเคราะห์จากใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 2 เกี่ยวกับการรวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง พบว่า นักเรียนจำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 44.44 ยังระบุข้อมูลไม่ชัดเจนพอเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ แต่จากการที่ผู้วิจัยสัมภาษณ์เพิ่มเติมเกี่ยวกับชิ้นงานที่นักเรียนส่งมานักเรียนสามารถบอกขั้นตอนและวิธีทำอย่างละเอียดได้โดยไม่ต้องดูเอกสาร และสามารถบอกได้อีกว่าวัสดุในท้องถิ่นมีข้อดีข้อเสียอย่างไร เช่น การเลือกใช้ทางมะพร้าวเนื่องจากทางมะพร้าวมีความเหนียว และความยาวที่เหมาะสมกับการทำไม้กวาดกว่าทางหมาก และทางตาล เลือกใช้ไม้ไผ่เพราะไม้ไผ่หาได้ง่ายในท้องถิ่น และมีความคงทนแข็งแรง จับง่าย สบายมือเวลาใช้งาน เลือกใช้ขวดพลาสติกชนิด Polyethylene terephthalate หรือ PET ที่ใช้บรรจุเป็นขวดน้ำอัดลม น้ำดื่ม และน้ำผลไม้ เป็นต้น เนื่องจากมีความเหนียวและยืดหยุ่นได้ เจาะง่าย กว่ากระป๋องแม้อายุการใช้งานน้อยกว่ากระป๋อง แต่จากประสบการณ์ที่ถามผู้รู้ในหมู่บ้านทางมะพร้าวจะหลุดและผูกพร้อมขวดพลาสติกพอดีหลังใช้งานไปตามอายุการใช้งานในระยะหนึ่ง เป็นต้น ส่วนขั้นตอน 3) ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา จากการวิเคราะห์จากใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ที่ 3 เกี่ยวกับการร่างภาพก่อนลงมือทำสิ่งประดิษฐ์ พบว่า นักเรียน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 38.89 มีการร่างภาพก่อนลงมือทำสิ่งประดิษฐ์จริงของนักเรียนส่วนใหญ่ระบุส่วนประกอบไม่ครบตามชิ้นงานที่ปรากฏจริง และบางส่วนไม่ได้ระบุส่วนประกอบมีแค่ภาพร่างเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าอาจเนื่องมาจากในคู่มือยังไม่ระบุรายละเอียด ตัวอย่าง และคำแนะนำในการเขียนภาพร่างที่ดี สามารถสรุปได้ว่า คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นเป็นนวัตกรรมที่สามารถพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ได้ดีในทักษะการสังเกต (Observing) ทักษะการจำแนกประเภท (Classifying) ทักษะการวัด (Measuring) ทักษะการใช้จำนวน (Using Number) และทักษะการลงความเห็นจากข้อมูล (Inferring) ในขั้นตอนการดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา และทดสอบประเมินผล ปรับปรุง และส่งเสริมให้นักเรียนใช้เทคโนโลยีในการเรียนรู้ได้อย่างเหมาะสม โดยมีรูปแบบกิจกรรมกระบวนการที่ส่งเสริมพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คือ การเรียนรู้ด้วยตนเองโดยการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ประกอบด้วย 1) การระบุปัญหาประเด็นที่เด่นชัด ซึ่งทำให้นักเรียนรับรู้ที่มาและความสำคัญขององค์ความรู้และแนวทางการแก้ปัญหาที่จะไปสู่ความสำเร็จ 2) การรวบรวมแนวคิดที่เกี่ยวข้อง ทำให้นักเรียนได้ศึกษาแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง ทั้งจากในคู่มือและจากแหล่งต่าง ๆ ที่นำไปสู่การสร้างสิ่งประดิษฐ์เพื่อแก้ปัญหา 3) ออกแบบวิธีแก้ไขปัญหา/พัฒนา นักเรียนได้ออกแบบวางแผนการสร้างสิ่งประดิษฐ์ กำหนดอุปกรณ์ และวัสดุในท้องถิ่นที่ใช้ในการสร้างก่อนลงมือทำจริง 4) ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา นักเรียนได้ลงมือดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์ตามวิธีการที่กำหนดไว้ ซึ่งการดำเนินการสร้างสิ่งประดิษฐ์นั้น นักเรียนได้บูรณาการศาสตร์ 4 สาขาวิชา ที่เชื่อมโยง 1. วิชาวิทยาศาสตร์ คือ แนวคิดทางวิทยาศาสตร์เกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพของสิ่งประดิษฐ์ที่ส่งผลต่อการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ เช่น ไม้กวาดที่มีทางมะพร้าวยาวรวมกันแบบแคบ ๆ เหมาะสมสำหรับกวาดพื้นที่มีน้ำขัง และพื้นทีกว้าง ๆ ไม้กวาดที่มีทางมะพร้าวยาวรวมกันแบบกระจายกว้าง ๆ เหมาะสำหรับการกวาดหยากไย่ และไม้กวาดที่ทางมะพร้าวสั้นรวมกันแบบชิดกันเหมาะสมสำหรับกวาดพื้นซีเมนต์ เป็นต้น 2. วิชาคณิตศาสตร์ คือ การใช้ตัวเลขในการประเมินชิ้นงานจากการทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นโดยให้ผู้ปกครอง และคนในครอบครัวมีส่วนร่วมการทดลองใช้ และประเมินการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ของตัวเอง 3. เทคโนโลยี คือ การใช้เทคโนโลยีในการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการสร้างสิ่งประดิษฐ์ และคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ และการใช้แอปพลิเคชันต่าง ๆ ในคำนวณผลการประเมิน และ 4. การออกแบบเชิงวิศวกรรม คือ การออกแบบการสร้าง การเลือกวัสดุ การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้สร้างสิ่งประดิษฐ์ 5) ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง นักเรียนได้ร่วมกันกับคนในครอบครัวพิจารณาผลการสร้าง และปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์จากสาเหตุที่ทำให้สิ่งประดิษฐ์ไม่สมบูรณ์ตามที่ตั้งไว้ และ 6) นำเสนอชิ้นงาน นักเรียนได้นำกระบวนการและผลการสร้างสิ่งประดิษฐ์ทั้งหมดตั้งแต่ ขั้นที่ 1) ถึง ขั้นที่ 5) นำเสนอในรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 เป็นการทบทวนความรู้ สรุปความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ได้จากการสร้างสิ่งประดิษฐ์ให้คนอื่น ๆ ได้รับรู้ต่อไปดังภาพที่ 2 ที่แสดงให้เห็นถึงการใช้ทักษะการสร้างแบบจำลอง และทักษะการทดลองของนักเรียน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chaphithak and Chaipichit (2021) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3 พบว่า การเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานเป็นการจัดการเรียนรู้ที่เน้นกระบวนการคิดโดยเริ่มต้นจาก

ปัญหา นักเรียนได้ใช้กระบวนการค้นคว้าด้วยตนเอง การลงมือแก้ปัญหาด้วยตนเองเป็นการเรียนรู้แบบปฏิบัติ มุ่งเน้นพัฒนา นักเรียนในด้านความรู้ ทักษะ และกระบวนการเรียนรู้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Angthong *et al.* (2020) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการเรียนรู้แบบโครงการตามแนวทางสะเต็มศึกษา พบว่า การจัดกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีกระบวนการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนที่ชัดเจนทำให้นักเรียนได้ฝึกทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ทักษะการสืบค้นหาความรู้จากแหล่งเรียนรู้ต่างๆ รู้จักกระบวนการทำงานเป็นทีม และสอดคล้องกับการศึกษาของ Trijaemjan (2019) ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงการ พบว่า การเรียนรู้แบบโครงการทำให้นักเรียนได้มีการฝึกคิดแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้นักเรียนได้ฝึกแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยตนเอง ลงมือปฏิบัติ ศึกษา ค้นคว้า ทดลอง ตามความถนัดและสนใจแสวงหาความรู้ด้วยตัวเอง เพื่อตอบคำถามที่ตนเองอยากรู้ หาเหตุและผล โดยผ่านกระบวนการคิดและการปฏิบัติอย่างมีระบบ เน้นการใช้กระบวนการกลุ่ม ผลที่ได้จากการฝึกจะช่วยให้นักเรียนสามารถตัดสินใจแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยวิธีการอย่างสมเหตุสมผลมีจิตวิทยาศาสตร์ และคุณธรรม จริยธรรม



ภาพที่ 2 การใช้ทักษะการสร้างแบบจำลอง และทักษะการทดลอง

ตอนที่ 2 ผลการประเมินจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ของนักเรียนทั้งหมด จากกรรมการผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ประกอบไปด้วย ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์ศึกษา 2 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญด้านการวิจัยและประเมินผลการศึกษา 1 ท่าน หลังจากนักเรียนสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นจนเสร็จสิ้นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ซึ่งผลการประเมินพบว่าคะแนนเฉลี่ยโดยรวมเท่ากับ 3.43 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 4 การใช้ตัวเลขในการศึกษา (Mathematics) ทักษะที่ประเมินคือทักษะการใช้จำนวน (Using Number) มากที่สุด (mean=3.70, S.D.= 1.01) เนื่องจากการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา มีการใช้ตัวเลขในการประเมินชิ้นงานจากการทดลองใช้สิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นโดยให้ผู้ปกครอง และคนในครอบครัวมีส่วนร่วมการทดลองใช้ และประเมินการใช้งานสิ่งประดิษฐ์ ซึ่งนักเรียนได้ใช้ทักษะการใช้จำนวนในการประเมินคุณภาพชิ้นงานของตนเองตามกระบวนการขั้นที่ 4 ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา และกระบวนการขั้นที่ 5 ทดสอบประเมินผลปรับปรุง จึงทำให้คะแนนเฉลี่ยด้านที่ 4 การใช้ตัวเลขในการศึกษา (Mathematics) สูงสุด ส่วนคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 5 ความสอดคล้องของภาพร่างกับชิ้นงาน ต่ำที่สุด เนื่องจากการร่างภาพก่อนลงมือทำสิ่งประดิษฐ์จริงของนักเรียนส่วนใหญ่ระบุ

ส่วนประกอบไม่ครบตามชิ้นงานที่ปรากฏจริง และบางส่วนไม่ได้ระบุส่วนประกอบมีแค่ภาพร่างเท่านั้นจึงทำให้คะแนนเฉลี่ยในด้านนี้ต่ำสุด

### 3) ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นของนักเรียน พบว่า จากการแปลผลค่าเฉลี่ยของคะแนนนักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก เนื่องจากคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นมีเนื้อหาและใบกิจกรรมกระบวนการประดิษฐ์ ตาม 6 ขั้นตอนของโครงการสะเต็มศึกษา ซึ่งได้เปิดโอกาสให้นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง ได้ทำกิจกรรมเหมือนการทำงานของนักประดิษฐ์หรือนักวิทยาศาสตร์ ใบกิจกรรมมีการเรียนรู้ที่หลากหลายทั้งการสืบค้นข้อมูล การรวบรวมข้อมูล การออกแบบ การคัดเลือกวัสดุในท้องถิ่นที่มีอยู่รอบ ๆ ตัว การประเมินคุณภาพสิ่งประดิษฐ์ร่วมกับคนในครอบครัว นักเรียนจึงไม่รู้สึกเบื่อเหมือนกับการเรียนแบบทั่ว ๆ ไป ทำให้นักเรียนเกิดความพึงพอใจในระดับมาก สอดคล้องกับผลจากการสัมภาษณ์นักเรียนหลังการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นได้ตารางที่ 5 นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการศึกษาของ Klomdee (2018) ที่ศึกษาผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ชุดแบบฝึกทักษะร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อการเรียนโดยใช้ชุดแบบฝึกอยู่ในระดับมาก เนื่องจากนักเรียนมีความอยากรู้อยากเห็น รู้จักแสวงหาคำตอบด้วยตนเอง มีเจตคติที่ดีต่อวิทยาศาสตร์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Theerapisit (2021) ได้ศึกษาการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้ชุดกิจกรรมการเรียนรู้รูปแบบสะเต็มศึกษา เรื่อง วงจรไฟฟ้าและแม่เหล็กไฟฟ้า พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจต่อชุดกิจกรรมการเรียนรู้ในระดับมากเนื่องจากชุดกิจกรรมมีกระบวนการที่ทำให้นักเรียนได้ใช้ทั้งทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์สูงขึ้น และสอดคล้องกับการศึกษาของ Pornsuriwong *et al.* (2020) ที่ศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์ เรื่อง การเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 พบว่า การจัดการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาเป็นการจัดการเรียนการสอนที่นักเรียนได้ลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง ทำให้นักเรียนมีความสนใจ สนุกกับการเรียน นักเรียนเกิดความกระตือรือร้นในการค้นหาคำตอบจากการกระตุ้นด้วยสถานการณ์ที่ครูกำหนดให้ นักเรียนแต่ละคนได้ใช้ความสามารถของตนเองมาใช้ในการคิดวิเคราะห์แก้ปัญหาจากสถานการณ์ นำไปสู่การสร้างนวัตกรรมไปแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน จากการวิเคราะห์พบว่ารายการประเมินความพึงพอใจที่มีคะแนนเฉลี่ยต่ำสุดคือรายการประเมินที่ 10 คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์มีข้อมูล เนื้อหา ครบถ้วนสมบูรณ์ มีคะแนนเท่ากับ 3.60 คะแนน และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.72 ผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าอาจมาจากเนื้อหาในคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่มีน้อย ซึ่งเป็นแนวทางของผู้วิจัยที่จะส่งเสริมให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล และรวบรวมเนื้อหาด้วยตนเองมากขึ้น

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากการวิจัย

จากการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ภายใต้สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) วิเคราะห์ผลการศึกษาและสรุปผลได้ดังนี้ 1) คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา มีประสิทธิภาพ 70.62/72.06 จึงสามารถสรุปได้ว่า คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ 2) ผลการวิเคราะห์คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา โดยการทดสอบ One-Samples T Test โดยใช้เกณฑ์ 70% พบว่า คะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ขั้นตอนที่ 4) ดำเนินการแก้ไขปัญหา/พัฒนา, 5) ทดสอบประเมินผล ปรับปรุง และ 6) นำเสนอชิ้นงาน ตามลำดับ มีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด 3.50 คะแนน หรือร้อยละ 70 แต่มีค่า  $p\text{-value} > .01$  แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคะแนนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนแตกต่างจากเกณฑ์ที่กำหนดอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ .01 และผลการประเมินจากการนำเสนอชิ้นงานรูปแบบโปสเตอร์ขนาด A4 ของนักเรียนทั้งหมด จากกรรมการผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน พบว่า นักเรียนมีคะแนนเฉลี่ยในรายการประเมินที่ 4 การใช้ตัวเลขในการศึกษา (MATHEMATICS) มากที่สุด (mean=3.70, S.D.= 1.01) และ 3) ผลการประเมินความพึงพอใจต่อคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษาของนักเรียน พบว่า นักเรียนมีความพึงพอใจในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.19 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.64

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป 1) การจัดการเรียนรู้ด้วยคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่น ควรให้นักเรียนและผู้ปกครองร่วมกันศึกษาคู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา อย่างละเอียดก่อนลงมือทำกิจกรรมตามขั้นตอน เพื่อให้นักเรียนสามารถมองเห็นแนวทางที่จะทำกิจกรรมตามกระบวนการประดิษฐ์ได้อย่างราบรื่น และผู้ปกครองเองก็สามารถมองเห็นแนวทางในแนะนำแหล่งข้อมูล หรือองค์ความรู้ ภูมิปัญญาต่าง ๆ ในท้องถิ่นเกี่ยวกับการสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้ 2) ในการใช้คู่มือการสร้างสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุในท้องถิ่นตามขั้นตอนโครงการสะเต็มศึกษา ครูสามารถนำไปใช้ในการสอนเสริมให้นักเรียนที่มีความสามารถสูง หรือนำไปใช้สอนซ่อมเสริมให้กับกลุ่มนักเรียนที่มีปัญหาการเรียน อัน

เนื่องมาจากการมีระดับเขาวนปัญญาที่ต่ำกว่าเกณฑ์เฉลี่ย หรือนำไปปรับใช้ในสถานการณ์ปกติ หรืออาจนำไปใช้ในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนให้นักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงขึ้นควบคู่กับการพัฒนาทักษะที่จำเป็นอื่น ๆ 3) ควรนำรูปแบบงานวิจัยในครั้งนี้ไปใช้กับกลุ่มนักเรียนในระดับที่สูงขึ้น เช่น มัธยมศึกษาตอนต้น และควรมีการนำไปบูรณาการกับกลุ่มสาระการเรียนรู้อื่น ๆ เช่น สังคมศึกษา และศิลปะ เป็นต้น เพื่อพัฒนานักเรียนในด้านอื่น ๆ เช่น ความคิดสร้างสรรค์ด้านศิลปวัฒนธรรม และภูมิปัญญาท้องถิ่น เป็นต้น

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รองศาสตราจารย์ ดร. อาฟีฟี ลาเต๊ะ ที่ได้ให้คำแนะนำด้านการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรือศรี วิเศษสุวรรณภูมิ ที่ได้ให้คำแนะนำด้านการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พวงทิพย์ แก้วทับทิม ที่ได้ให้คำแนะนำด้านทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณผู้อำนวยการพิศมัย แก้วเชื้อ และคณะครูโรงเรียนบ้านกุ่มที่ได้อนุเคราะห์สถานที่และให้คำแนะนำด้านปัญหาวิจัย และขอบคุณนายพัชรพล รัตนพันธ์ ครูโรงเรียนบ้านตาขุนวิทยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี นางสาวเฉลิมฉัตร อาญาพิทักษ์ ครูโรงเรียนวัดนางเหล้า จังหวัดสงขลา และนางสาวณิชาภรณ์ คงคำหนี ครูโรงเรียนบ้านทุ่งไทรงาม จังหวัดพังงา ที่ร่วมประเมินทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Angthong, W., Thaewongiw, B., and Nuangchalem, P. (2020). Development of integrated science process skills of Mathayomsuksa 5 students learned by project-based STEM education (in Thai). **Rajabhat Maha Sarakham University Journal**, 14(1), 91-103.
- Chanunan, S. (2017). Learning management model based on STEM education. Retrieved 5 July 2021, from **Phitsanulok Primary Educational Service Area Office 1:** [https://phitsanulok1.go.th/userfiles/kit\\_pr/files/Learning%20Management%20Model%20STEM.docx](https://phitsanulok1.go.th/userfiles/kit_pr/files/Learning%20Management%20Model%20STEM.docx).
- Chaphithak, R. and Chaipichit, D. (2021). The Development of Grade 3 Students' Scientific Process Skill and Learning Achievement through Problem-Based Learning Activities (in Thai). **Journal of Roi Kaensarn Academi**, 6(6), 215-232.
- Klomdee, P. (2018). The Results of Development on Basic Science Process Skills of Grade 5 Students by Using Science Skill Practice Packages with Inquiry-Based Instruction (5E) (in Thai). **Veridian E- Journal, Silpakorn University (Humanities, Social Sciences and arts)**, 11(1), 2004-2020.
- Klomim, K. (2016). Learning management Based on STEM Education for Student Teachers. **Journal of Education Naresuan University**, 18(4), 334-348.
- National STEM Education Center. (2015). **STEM Network [Manual]** (in Thai). Bangkok: The institute for the Promotion of Teaching Science and Technology.
- Office of the Basic Education Commission. (2021). Learning Management during the COVID-19 (in Thai). Retrieved 5 July 2021, from **Office of the Basic Education Commission:** <https://www.obec.go.th/archives/377135>.
- Polyiem, T. (2018). STEM Education: Introduction to Integrated Classroom (in Thai). **Journal of Faculty of Education Pibulsongkram Rajabhat University**, 5(2), 122-135.
- Pomprakan, Y. (2015). The development of an instructional package of VLSI design and tools for student in Faculty of Industrial Technology of Kamphaeng Phet Rajabhat University (in Thai). **NRRU Community Research Journal**, 9(2), 79-88.
- Pornsuriwong, S. and Sungthong, A. (2020). The results of learning activities using STEM education of motion in physics for grade-11 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 30-40.
- Ruengrung, S., Sukmas, T., and Kaewtubtim, P. (2020). The development of science process skills through the uses of manual for creating experimental package according to the project steps SATIT PSU STEM INNOVATION on simple pendulum by the uses of tracker video analysis program (in Thai). **Proceedings**

of Research Conference 3: Classroom Research Presentation Contest Project to develop student learning management Student Teachers of Thailand (pp.1–16). Bangkok: Kasetsart University.

Ruengrung, S., Sukmas, T., and Kaewtubtim, P. (in press). The effect of SATIT PSU STEM INNOVATION as project-based learning in the design and development of an experimental set approach by grade 10<sup>th</sup> students on problem - solving skills and physics' learning achievement (in Thai). *Journal of Education Naresuan University*, 25(3), 2023.

Srisa-Ard, B. (2013). *Basic Research*. Bangkok: Suweeriyasan.

Thangkratok, P., Lhimsoonthon, B., Palacheewa, N., and Tongtham, A. (2021). Online nursing education during the Coronavirus-19 pandemic: A case study of the epidemiology course (in Thai). *Journal of Thailand Nursing and Midwifery Council*, 36(3), 31-44.

Thatwong, W. (2017). Instructional innovative inventory with the STEM education method for problem solving ability and learning achievements on electrochemistry Issus of Secondary Students at the 5<sup>th</sup> Grade Level (in Thai). *Master's Thesis*. Maha Sarakham: Rajabhat Maha Sarakham University.

Theerapisit, S. (2021). Development of Science learning achievement of sixth grade students using STEM education, subject electric and electromagnetic circuits (in Thai). *Journal of MCU Nakhondhat*, 8(8), 325-337.

Trijaemjan, N. (2019). The development of science process skill and project ability of Prathomsuksa 5 students through the uses of project-based learning method (in Thai). *Master's Thesis*. Nakhon Pathom: Silpakorn University.

Visetsuvarnabhumi, K. (2019). *SATIT PSU STEM INNOVATION project-based learning [Handout]* (in Thai). Pattani: Faculty of Education, Prince of Songkla University.

### รายการอ้างอิงภาษาไทยก่อนแปล

กมลฉัตร กล่อมอิม. (2559). การจัดการเรียนรู้แบบบูรณาการสะเต็มศึกษา สำหรับนักศึกษาวิชาชีพรู. *วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 18(4), 334-348.

เครือศรี วิเศษสุวรรณภูมิ. (2562). เอกสารประกอบการจัดการเรียนรู้แบบโครงการ SATIT PSU STEM INNOVATION. คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฐิติวรดา พลเยี่ยม. (2561). สะเต็มศึกษา: ความเข้าใจเบื้องต้นสู่ห้องเรียนบูรณาการ. *วารสารครูพิบูล*, 5(2), 122-135.

นิภา ตรีแจ่มจันทร์. (2562). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และความสามารถในการทำโครงการของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 ด้วยการจัดการเรียนรู้แบบโครงการ (วิทยานิพนธ์หลักสูตรศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต (หลักสูตรและการนิเทศ)). มหาวิทยาลัยศิลปากร.

บุญชม ศรีสะอาด. (2556). การวิจัยเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.

ปราโมทย์ ถ่างกระโทก บุศรินทร์ หลิมสุนทร ณิชชญา พลาชีวะ และอาบกกก ทองแถม. (2564). การจัดการเรียนการสอนทางการพยาบาลแบบออนไลน์ในสถานการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 19: กรณีศึกษารายวิชาวิทยาการระบาด. *วารสารสภาการพยาบาล*, 36(3), 31-44.

ภารดี กล่อมดี. (2561). ผลการพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ขั้นพื้นฐานในระดับชั้นประถมศึกษาปีที่ 5 โดยใช้ชุดแบบฝึกทักษะร่วมกับการจัดการเรียนรู้แบบสืบเสาะหาความรู้ (5E). *Veridian E Journal ฯ สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ*, 11(1), 2004-2020.

โยธิน ป้อมปราการ. (2558). รายงานผลการพัฒนาชุดการสอนวิชาอุปกรณ์และการออกแบบ สำหรับนักศึกษาคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. *วารสารชุมชนวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา*, 9(2), 79-88.

รุ่งนภา ขาพิทักษ์ และดุจเดือน ไชยพิชิต. (2564). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการจัดการเรียนรู้แบบปัญหาเป็นฐานของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 3. *Journal of Roi Kaensarn Academi*, 6(6), 215-232.

- วรรณภา อ่างทอง บังอร แฉวโนนจิว และประสาธ เมืองเฉลิม. (2563). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ชั้น  
บูรณาการของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 ที่ได้รับการจัดการเรียนรู้แบบโครงงานตามแนวทางสะเต็มศึกษา.  
**วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**, 14(1), 91-103.
- วัฒนา ทัดวงศ์. (2562). การศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ในรูปแบบสะเต็มศึกษา ความสามารถในการแก้ปัญหา และ  
ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ไฟฟ้าเคมี ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5 (วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยา  
ศาสตรศึกษา)). มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.
- ศูนย์สะเต็มศึกษาแห่งชาติ. (2558). คู่มือเครือข่ายสะเต็มศึกษา. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยี.
- สกนธ์ชัย ชะนูนันท์. (2560). รูปแบบการจัดการเรียนรู้ตามแนวคิดสะเต็มศึกษา. สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา ภาควิชาการศึกษา  
คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สถาพร เรืองรุ่ง ธเนศ สุขมาตย์ และพวงทิพย์ แก้วทับทิม. (2563). การพัฒนาทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ด้วยคู่มือการ  
สร้างชุดทดลองตามขั้นตอนโครงการ SATIT PSU STEM INNOVATION เรื่อง ลูกตุ้มอย่างง่าย โดยใช้โปรแกรม  
Tracker video analysis. **โครงการประกวดการนำเสนองานวิจัยในชั้นเรียน เพื่อพัฒนาการจัดการเรียนรู้ของนิสิต  
นักศึกษาครูแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3**.
- สถาพร เรืองรุ่ง ธเนศ สุขมาตย์ และพวงทิพย์ แก้วทับทิม. (in press). ผลการจัดการเรียนรู้แบบโครงงาน SATIT PSU STEM  
INNOVATION ในการออกแบบพัฒนาชุดทดลองของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ ที่มีต่อความสามารถในการ  
แก้ปัญหา และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาฟิสิกส์. **วารสารศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, 25(3), 2023.
- สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน. (2564). **การจัดการเรียนการสอนในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อ  
ไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19)**. สืบค้นจาก <https://www.obec.go.th/archives/377135> [5 กรกฎาคม 2564].
- สุดารัตน์ อีร์พิสิฐ. (2564). การพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 6 โดยใช้ชุด  
กิจกรรมการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEM EDUCATION) เรื่อง วงจรไฟฟ้าและแม่เหล็กไฟฟ้า. **วารสารมหาจุฬ  
นาครทรรณ**, 8(8), 325-337.
- เสาวภาคย์ พรสุริวงศ์ และอภิชาติ สังข์ทอง. (2563). ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ตามแนวทางสะเต็มศึกษาในรายวิชาฟิสิกส์  
เรื่อง การเคลื่อนที่ ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4. **วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา**, 3(1), 30-40.



บทความวิชาการ

## วิธีระบุเงื่อนไขเกินของปัญหากำหนดการเชิงเส้น

รตี โบจรัส<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>สังกัด ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

\*Email: ratee.b@ubu.ac.th

รับบทความ: 5 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 13 ธันวาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 24 มกราคม 2565

### บทคัดย่อ

กำหนดการเชิงเส้นเป็นวิธีที่สำคัญวิธีหนึ่งในการสร้างตัวแบบเพื่อแก้ปัญหาเกี่ยวกับการจัดการทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับการสร้างตัวแบบเชิงเส้นอาจมีเงื่อนไขบังคับที่เกินความจำเป็น ทำให้ใช้เวลาหาผลเฉลยเหมาะสมที่สุดมากขึ้นตาม ในบทความนี้นำเสนอผลวิจัยของ Paulraj and Sumathi (2010, 2012) และ Estiningsih *et al.* (2019) ที่เปรียบเทียบวิธีระบุเงื่อนไขเกินทั้งหมด 8 วิธี พบว่าแต่ละวิธีสามารถระบุเงื่อนไขเกินได้โดยใช้ระยะเวลาการคำนวณที่ต่างกัน หากเราพบวิธีระบุเงื่อนไขเกินที่ดีที่สุดจะช่วยลดเวลาการคำนวณหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้เร็วขึ้น

**คำสำคัญ:** กำหนดการเชิงเส้น เงื่อนไขเกิน ผลเฉลยเหมาะสมที่สุด

#### อ้างอิงบทความนี้

รตี โบจรัส. (2565). วิธีระบุเงื่อนไขเกินของปัญหากำหนดการเชิงเส้น. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 141-147. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.12>



Academic Article

## Redundant constraints identification methods for linear programming problems

Ratee Bojaras<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Mathematics Computer and Statistics, Faculty of science, Ubon Ratchathani University

\*Email: [ratee.b@ubu.ac.th](mailto:ratee.b@ubu.ac.th)

Received <5 November 2021>; Revised <13 December 2021>; Accepted <24 January 2022>

---

### Abstract

Linear programming (LP) is one of the most important methods used in modeling and solving to manage the resources effectively. Formulating LP model may include redundant constraints so it takes more time-consuming to achieve the optimal solutions. This paper presents the results of Paulraj and Sumathi (2010, 2012) and Estiningsih *et al.* (2019) which identified the redundant constraints by 8 methods. It reveals that each method can detect redundant constraints with different computational times. The effective method to identify the redundant constraints can reduce time to solve the optimal solutions.

**Keywords:** Linear programming (LP), redundant constraint, optimal solution

---

**Cite this article:**

Bojaras, R. (2022). Redundant constraints identification methods for linear programming problems (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 141-147. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.12>

## บทนำ

กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming: LP) เป็นเครื่องมือหนึ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization problems) ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function) ที่อยู่ในรูปเชิงเส้น (Linear function) และข้อจำกัดหรือเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ที่เป็นสมการหรืออสมการเชิงเส้น (Linear equality or linear inequality) โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อหาค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจุดประสงค์ภายใต้ข้อจำกัด ปัญหาทั่วไปที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรม การขนส่ง การจัดการทรัพยากร มักจะใช้ตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) เพราะช่วยหาจำนวนการผลิตสินค้าให้ได้กำไรมากที่สุดภายใต้วัตถุดิบที่มีอย่างจำกัด หรือเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้ดี วิธีแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้นมีหลายวิธี เช่น วิธีกราฟ (Graphical method) วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex method) และวิธีจุดภายใน (Interior point method) แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดคือวิธีซิมเพล็กซ์เพราะมีขั้นตอนวิธีไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่เหมาะกับปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมากหรือมีตัวแปรมากเลขศูนย์ (Sparse problems)

## เงื่อนไขเกินของปัญหาคำหนดการเชิงเส้น

พิจารณารูปแบบทั่วไปของปัญหาคำหนดการเชิงเส้นที่มีจำนวนเงื่อนไขบังคับ  $m$  เงื่อนไขและจำนวนตัวแปร  $n$  ตัว ( $m \geq n$ ) ดังนี้

$$\begin{aligned} &\text{หาค่าสูงสุดของ} && (\text{Max}) && Z = C^T X \\ &\text{ภายใต้เงื่อนไข (subject to)} && && \left. \begin{aligned} AX &\leq b \\ X &\geq \underline{0} \end{aligned} \right\} (1) \end{aligned}$$

โดยที่

$$C^T = [c_1 \ c_2 \ \dots \ c_n], \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix} \text{ และ } \underline{0} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

หรือเขียนได้ในรูป  $C = [c_j]_{n \times 1}$ ,  $X = [x_j]_{n \times 1}$ ,  $A = [a_{ij}]_{m \times n}$  และ  $b = [b_i]_{m \times 1}$  เมื่อ  $1 \leq i \leq m$ ,  $1 \leq j \leq n$  บริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ (The feasible region)  $S$  ที่สอดคล้องกับสมการ (1) คือ  $S = \{X \in R^n \mid AX \leq b, X \geq \underline{0}\}$

ในบางปัญหาเราอาจลดจำนวนเงื่อนไขลงได้ โดยไม่ทำให้บริเวณคำตอบที่เป็นไปได้  $S$  เปลี่ยนแปลง Telgen (1983) พิสูจน์ว่าเราสามารถลดจำนวนเงื่อนไขในอสมการ (1) ก็ต่อเมื่อ อสมการ (1) มีเงื่อนไขเกินและ/หรือมีอสมการเงื่อนไขที่สามารถแทนได้ด้วยสมการเงื่อนไขแล้วไม่ทำให้บริเวณคำตอบที่เป็นไปได้  $S$  เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังกำหนดนิยามและแบ่งประเภทของเงื่อนไขเกิน ดังนี้

**บทนิยาม 1** สำหรับค่า  $k$  ใดๆ ( $1 \leq k \leq m$ ) เงื่อนไขบังคับที่  $k$  ( $A_k X \leq b_k$ ) จะเป็นเงื่อนไขเกินของสมการ (1)

ก็ต่อเมื่อ  $S_k = S$  เมื่อ  $S_k = \{X \in R^n \mid A_i X \leq b_i, X \geq \underline{0}, \forall i \neq k\}$  และ  $1 \leq i \leq m$

**บทนิยาม 2** (Weakly redundant constraints) เงื่อนไขบังคับที่  $k$  ( $A_k X \leq b_k$ ) จะเป็น Weakly redundant constraints ของสมการ (1) ถ้าเงื่อนไขบังคับที่  $k$  เป็นเงื่อนไขเกินและ  $A_k X = b_k$  สำหรับบาง  $X$  ที่  $X \in S_k$

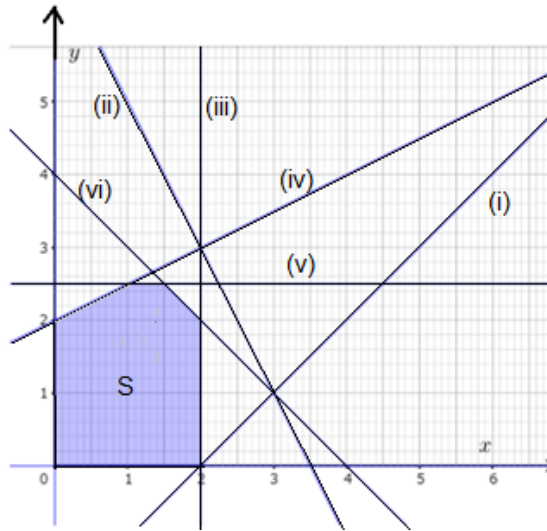
**บทนิยาม 3** (Strongly redundant constraints) เงื่อนไขบังคับที่  $k$  ( $A_k X \leq b_k$ ) จะเป็น Strongly redundant constraints ของสมการ (1) ถ้าเงื่อนไขบังคับที่  $k$  เป็นเงื่อนไขเกินและ  $A_k X < b_k$  สำหรับทุก  $X$  ที่  $X \in S_k$

**ตัวอย่างที่ 1** พิจารณากราฟของเงื่อนไขบังคับที่ (i)-(vii) ในภาพที่ 1

$$\begin{aligned} x_1 - x_2 &\leq 2 && \text{(i)} \\ 2x_1 + x_2 &\leq 7 && \text{(ii)} \\ x_1 &\leq 2 && \text{(iii)} \\ -x_1 + 2x_2 &\leq 4 && \text{(iv)} \\ 2x_2 &\leq 5 && \text{(v)} \end{aligned}$$

$$x_1 + x_2 \leq 4 \quad (\text{vi})$$

$$x_1, x_2 \geq 0 \quad (\text{vii})$$



ภาพที่ 1 บริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ (the feasible region) ( $S$ ) ที่สอดคล้องกับข้อสมการ (i)-(vii)

จากรูปเงื่อนไขบังคับที่ (iii), (iv), (v), (vi) และ (vii) เป็นเงื่อนไขที่จำเป็น ส่วนเงื่อนไขที่ (i) และ (ii) เป็นเงื่อนไขเกินโดยเงื่อนไขที่ (i) เป็น Weakly redundant constraints เงื่อนไขที่ (ii) เป็น Strongly redundant constraints สังเกตว่า Weakly redundant constraints เป็นเส้นตรงที่มีจุดสัมผัสกับบริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ ( $S$ ) แต่ Strongly redundant constraints เป็นเส้นตรงที่ไม่มีจุดสัมผัสกับบริเวณคำตอบที่เป็นไปได้ ( $S$ )

ในบทความนี้นำเสนองานวิจัยของ Paulraj and Sumathi (2010) ที่เปรียบเทียบวิธีระบุเงื่อนไขเกินทั้งหมด 5 วิธี งานวิจัยของ Paulraj and Sumathi (2012) เปรียบเทียบกับวิธี Loslovich (2001) และงานวิจัยของ Estiningsih *et al.* (2019) เปรียบเทียบวิธีระบุเงื่อนไขเกินทั้งหมด 3 วิธี หากเราเลือกวิธีระบุเงื่อนไขเกินที่มีความถูกต้องและใช้เวลาน้อยที่สุด จะช่วยลดเวลาการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยไม่ทำให้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดเปลี่ยนแปลง

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related researches)

- งานวิจัยของ Paulraj and Sumathi (2010) ได้อภิปรายและเปรียบเทียบวิธีระบุเงื่อนไขเกินทั้งหมด 5 วิธี ได้แก่
  - 1) วิธีกำหนดขอบเขต (Brearley *et al.*, 1975)
  - 2) วิธี Linear programming (Caron *et al.*, 1989)
  - 3) วิธี Deterministic (Telgen, 1983)
  - 4) วิธีของ Stojković และ Stanimirović (Stojković and Stanimirović, 2001)
  - 5) วิธี Heuristic (Paulraj *et al.*, 2006)

จากการศึกษาในปัญหาขนาดกลางที่มีจำนวนตัวแปรไม่เกิน 6 ตัวและจำนวนเงื่อนไขไม่เกิน 50 เงื่อนไข พบว่าวิธี Heuristic สามารถระบุเงื่อนไขเกินได้มากที่สุดโดยใช้เวลาน้อยที่สุด ส่วนวิธี Linear programming และวิธี Deterministic สามารถระบุเงื่อนไขเกินได้แต่ใช้เวลามากกว่า วิธีกำหนดขอบเขตระบุเงื่อนไขเกินได้น้อยกว่าวิธีอื่นและขึ้นอยู่กับขอบเขตบน-ล่างของตัวแปรตัดสินใจ สำหรับวิธีของ Stojković และ Stanimirović ระบุเงื่อนไขเกินได้น้อยที่สุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนเงื่อนไขเกินที่ตรวจสอบโดย 5 วิธี จากตัวอย่างขนาดกลาง

จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	จำนวนเงื่อนไขเกินที่ระบุด้วย				
		วิธีกำหนดขอบเขต	วิธี Linear programming	วิธี Deterministic	วิธีของ Stojković และ Stanimirović	วิธี Heuristic
16	6	14	13	5	1	14
20	5	17	18	1	0	17
25	6	17	23	3	0	23
30	3	24	29	18	0	29
37	5	29	35	12	0	35
40	2	38	39	38	0	39
45	3	34	43	10	0	43
50	5	28	49	11	0	49

ในปัญหาขนาดเล็กที่มีจำนวนตัวแปรไม่เกิน 10 ตัวและจำนวนเงื่อนไขไม่เกิน 7 เงื่อนไข พบว่าวิธี Heuristic มีจำนวนตัวดำเนินการคูณ/การหารน้อยที่สุด รองลงมาคือวิธี Linear programming วิธี Deterministic และวิธีของ Stojković และ Stanimirović ตามลำดับ ส่วนวิธีกำหนดขอบเขตมีจำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหารมากที่สุด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหาร จากตัวอย่างขนาดเล็ก

จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	จำนวนเงื่อนไขเกินที่ระบุด้วย				
		วิธีกำหนดขอบเขต	วิธี Linear programming	วิธี Deterministic	วิธีของ Stojković และ Stanimirović	วิธี Heuristic
3	2	93	42	42	93	42
3	2	93	93	93	93	42
3	2	93	42	42	93	42
4	3	167	76	168	311	76
4	3	167	75	75	167	75
3	3	186	97	88	178	97
4	5	186	88	88	336	88
5	2	505	70	159	159	70
5	4	535	50	50	167	50
7	10	883	161	1894	1894	161

งานวิจัยของ Paulraj and Sumathi (2012) นำเสนอวิธีใหม่ที่ใช้หลักการของ Loslovich (2001) มาปรับปรุงและเปรียบเทียบกับวิธีเดิมของ Loslovich พบว่า วิธี Paulraj and Sumathi (2012) ใช้เวลาตรวจสอบเงื่อนไขน้อยกว่าวิธีเดิมและจำนวนตัวดำเนินการคูณ/การหารน้อยกว่า รวมทั้งให้ผลตรงกัน เมื่อทดสอบกับปัญหาขนาดเล็ก ( $m = 7, n = 10$ ) ดังตารางที่ 3 และปัญหาขนาดใหญ่ ( $m = 511, n = 210$ )  $m$  คือ จำนวนเงื่อนไข  $n$  คือ จำนวนตัวแปร ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 จำนวนตัวดำเนินการคูณ/การหารและเวลาที่ใช้ตรวจสอบเงื่อนไขเกิน จากตัวอย่างขนาดเล็ก

จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธี loslovich		วิธี Paulraj and Sumathi (2012)	
		จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหาร	เวลา (micro seconds)	จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหาร	เวลา (micro seconds)
3	2	747	201	326	179
3	2	815	286	326	187
3	2	747	203	326	184
3	3	2034	285	648	185
3	3	1895	290	786	200
3	4	4245	485	1360	230
4	3	2682	306	972	231
4	3	2681	295	1248	235
4	5	107860	643	3795	336
6	3	5082	460	2724	349
7	10	221226	8516	94146	3797

ตารางที่ 4 จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหารและเวลาที่ใช้ตรวจสอบเงื่อนไขเกิน จากตัวอย่างขนาดใหญ่

จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	วิธี loslovich		วิธี Paulraj and Sumathi (2012)	
		จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหาร	เวลา (micro seconds)	จำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหาร	เวลา (micro seconds)
50	500	7299004428	157638973	608250369	19837621
50	500	6965109510	146332149	593487546	18657901
50	500	6967810329	157647651	510430124	16727382
240	192	8011245923	930620218	774361273	2046104
511	210	12577042510	1230620218	922863013	641873563

งานวิจัยของ Estiningsih *et al.* (2019) เปรียบเทียบวิธี Heuristic (Paulraj *et al.*, 2006) วิธีของ Llewellyn (Telgen, 1979) และวิธีของ Stojković และ Stanimirović (Stojković and Stanimirović, 2001) พบว่า วิธี Heuristic ไม่สามารถระบุเงื่อนไขเกินชนิด Weakly redundant constraints ได้ วิธีของ Llewellyn และวิธีของ Stojković และ Stanimirović มีจำนวนขั้นตอนการทำซ้ำเท่ากันคือ  $n \times (n-1)$  ขั้นตอน เมื่อ  $n$  คือ จำนวนตัวแปร นอกจากนี้วิธีของ Llewellyn สามารถระบุเงื่อนไขเกินได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับ 2 วิธีแต่จะใช้เวลาเพิ่มขึ้น ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เพราะขั้นตอนวิธีของ Llewellyn ต้องเปรียบเทียบทีละ 2 เงื่อนไขจนครบทุกเงื่อนไข ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนเงื่อนไขเกินที่ตรวจสอบโดย 3 วิธี จากตัวอย่างขนาดเล็ก

จำนวนเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร	จำนวนเงื่อนไขเกินที่ระบุด้วย		
		วิธี Heuristic	วิธีของ Llewellyn	วิธีของ Stojković และ Stanimirović
5	2	3	3	3
5	2	-	3	-
5	2	1	3	-
5	2	3	3	-
5	2	2	3	3
5	2	-	3	-

### สรุปและปัญหาเปิด

จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้น พบว่า วิธี Heuristic สามารถระบุเงื่อนไขเกินได้ดีทั้งในปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยใช้เวลาตรวจสอบเงื่อนไขเกินน้อยกว่าวิธีอื่น เนื่องจากมีจำนวนตัวดำเนินการคูณ/ การหารน้อยที่สุด แต่ไม่สามารถระบุเงื่อนไขเกินชนิด Weakly redundant constraints ได้ วิธีของ Llewellyn สามารถระบุเงื่อนไขเกินได้ดีกว่าวิธี Heuristic แต่จะใช้เวลาตรวจสอบเงื่อนไขเกินมากขึ้น ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับวิธีของ Paulraj and Sumathi (2012) ที่ใช้หลักการของ loslovich มาปรับปรุง ใช้เวลาตรวจสอบเงื่อนไขเกินน้อยกว่าวิธีเดิม แต่ไม่ได้ระบุจำนวนเงื่อนไขเกินที่ตรวจสอบได้ หากเราสามารถเปรียบเทียบวิธี Heuristic วิธีของ Llewellyn และวิธีของ Paulraj and Sumathi (2012) อาจพบวิธีที่ดีที่สุดในการระบุเงื่อนไขเกินและใช้เวลาที่น้อยที่สุดได้

### เอกสารอ้างอิง

- Brearley, A. L., Mitra, G., and Williams, H. P. (1975). Analysis of mathematical programming problems prior to applying the simplex algorithm. *Mathematical Programming*, 8(1), 54-83.
- Caron, R. J., McDonald, J. F., and Ponic, C. M. (1989). A degenerate extreme point strategy for the classification of linear constraints as redundant or necessary. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 62(2), 225-237.
- Estiningsih, Y., Farikhin, and Tjahjana, R. H. (2019). Some methods for identifying redundant constraints in linear programming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1321, 022073.
- loslovich, I. (2001). Robust reduction of a class of large-scale linear programs. *SIAM journal on Optimization*, 12(1), 262-282.
- Paulraj, S., Chellappan, C., and Natesan, T. R. (2006). A heuristic approach for identification of redundant constraints in linear programming models. *International Journal of Computer and Mathematics*, 83(8-9), 675-683.
- Paulraj, S. and Sumathi, P. (2010). A Comparative Study of Redundant Constraints Identification Methods in Linear Programming Problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010, 723402.
- Paulraj, S. and Sumathi, P. (2012). A new approach for selecting a constraint in linear programming problems to identify the redundant constraints. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 3(8), 1345-1348.
- Stojković, N. V. and Stanimirović, P. S. (2001). Two direct methods in linear programming. *European Journal of Operation Research*, 131(2), 417-439.
- Telgen, J. (1979). On R. W. Llewellyn's rules to identify redundant constraints: A detailed critique and some generalizations. *Zeitschrift Für Operations Research*, 23(5), 197-206.
- Telgen, J. (1983). Identifying redundant constraints and implicit equalities in systems of linear constraints. *Management Science*, 29(10), 1209-1222.



บทความวิชาการ

## อัตลักษณ์ด้านสะเต็ม: อีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งเสริมความสำเร็จของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย

ลือชา ลดาชาติ<sup>1</sup> และลฎาภา ลดาชาติ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>วิทยาลัยการศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา

<sup>2</sup>คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่

\*Email: ladapa23@gmail.com

รับบทความ: 15 พฤศจิกายน 2564 แก้ไขบทความ: 7 ธันวาคม 2564 ยอมรับตีพิมพ์: 14 ธันวาคม 2564

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้กำหนดให้การพัฒนาบุคลากรด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมเป็นส่วนหนึ่งในยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี สะเต็มศึกษาจึงกลายเป็นนโยบายทางการศึกษาที่ขับเคลื่อนการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยในระยะยาว โดยจุดประสงค์หลักของสะเต็มศึกษาไม่ได้มีเพียงแค่การส่งเสริมการเรียนรู้เรื่องสะเต็มของพลเมืองทุกคนเท่านั้น หากยังรวมถึงการเพิ่มจำนวนบุคลากรที่ประกอบวิชาชีพด้านสะเต็มด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ปัจจัยสำคัญที่กำหนดว่า เมื่อจบการศึกษาขั้นพื้นฐานแล้วนักเรียนจะเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านสะเต็มคือการที่นักเรียนมีหรือไม่มีอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม—การมองตนเองว่าเป็นบุคคลด้านสะเต็ม อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยด้านสะเต็มศึกษามีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในประเทศไทย แต่อัตลักษณ์ด้านสะเต็มของนักเรียนกลับยังไม่ได้รับความสนใจ ซึ่งกลายเป็นข้อจำกัดสำคัญในการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับอัตลักษณ์ด้านสะเต็มเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาอัตลักษณ์ด้านสะเต็มของนักเรียน อันจะส่งผลให้นักเรียนตัดสินใจเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านสะเต็มต่อไปในอนาคต

**คำสำคัญ:** สะเต็มศึกษา อัตลักษณ์ด้านสะเต็ม

### อ้างอิงบทความนี้

ลือชา ลดาชาติ และลฎาภา ลดาชาติ. (2565). อัตลักษณ์ด้านสะเต็ม: อีกปัจจัยหนึ่งที่จะส่งเสริมความสำเร็จของสะเต็มศึกษาในประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 148-157. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.13>

Academic Article

## STEM identity: Another factor that will promote achievement of STEM education in Thailand

Luecha Ladachart<sup>1</sup> and Ladapa Ladachart<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>*School of Education, University of Phayao, Phayao*

<sup>2</sup>*Faculty of Education, Chiang Mai University, Chiang Mai*

*\*Email: ladapa23@gmail.com*

Received <15 November 2021>; Revised <7 December 2021>; Accepted <14 December 2021>

---

### Abstract

Thailand has endorsed human development in science, technology and innovation as part of the 20-year national strategy. STEM education has become an educational policy that drives Thailand's economic and social development in a long term. The key goals of STEM education are not only to promote STEM literacy for all citizens, but also to increase the workforce in STEM professions. In this regard, one important factor determining that students, when completing basic education, will pursue higher education and careers in STEM is whether or not they have STEM identity—seeing oneself as a STEM person. Although research in STEM education has constantly increased in Thailand, students' STEM identity has gained little attention. This becomes a significant limitation in driving the 20-year national strategy because students achieving success in learning STEM may not ultimately choose STEM-related careers. Thus, this article aims to introduce basic notions about STEM identity that can be a guide for investigating and developing students' STEM identity, which will influence them to choose the pursuit of STEM in higher education and careers in future.

**Keywords:** STEM education, STEM identity

---

#### Cite this article:

Ladachart, L. and Ladachart, L. (2022). STEM identity: Another factor that will promote achievement of STEM education in Thailand (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 148-157. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.13>



## บทนำ

ประเทศไทยกำหนดให้ส่งเสริมศึกษา (STEM education) เป็นส่วนหนึ่งในยุทธศาสตร์ของการพัฒนาชาติในระยะยาว 20 ปี (พ.ศ. 2561-2580) ซึ่งมุ่งเน้นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม (Office of the National Economic and Social Development Board, 2018) โดยส่งเสริมศึกษาเป็นการจัดการศึกษา 4 สาขาวิชา ได้แก่ วิทยาศาสตร์ (Science) เทคโนโลยี (Technology) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering) และคณิตศาสตร์ (Mathematics) ในลักษณะที่มีการบูรณาการเข้าด้วยกัน (Vasquez, 2015) ซึ่งมีเป้าหมายหลัก 2 ประการ (Promboon et al., 2018) เป้าหมายประการที่ 1 คือการส่งเสริมการรู้เรื่องส่งเสริม (STEM literacy) ให้กับพลเมืองทุกคน โดยการรู้เรื่องส่งเสริมหมายถึงการมี “ความรู้ คุณลักษณะ ความสามารถ และทักษะ...ที่สำคัญสำหรับการมีส่วนร่วมของนักเรียนที่ก่อให้เกิดผลในการศึกษา การประกอบอาชีพ และการปฏิบัติที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริม” (Falloon et al., 2020, p. 374) ทั้งนี้การรู้เรื่องส่งเสริมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของนักเรียนทุกคนทั้งในปัจจุบันและอนาคต (Zollman, 2012)

เป้าหมายประการที่ 2 คือการเพิ่มจำนวนบุคลากรในสาขาวิชาชีพด้านส่งเสริม (Workforce in STEM) เป้าหมายนี้เป็นผลที่สืบเนื่องมาจากเป้าหมายที่ 1 โดยหลังจากการสำเร็จการศึกษาขั้นพื้นฐานแล้ว นอกจากการมีคุณลักษณะของการรู้เรื่องส่งเสริมในฐานะพลเมืองแล้ว นักเรียนยังถูกคาดหวังให้เลือกศึกษาต่อในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนเป็นบุคลากรด้านส่งเสริมที่จะขับเคลื่อนการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมของชาติด้วยการสร้างเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่มีมูลค่าต่อไป ด้วยเป้าหมายนี้ ส่งเสริมศึกษาในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานจึงไม่ควรมุ่งเป้าไปที่การรู้เรื่องส่งเสริมของนักเรียนเพียงอย่างเดียว หากยังต้องส่งเสริมให้นักเรียนเกิดความสนใจในการเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านส่งเสริมด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ศึกษาความสนใจของนักเรียนในการประกอบวิชาชีพด้านส่งเสริมในประเทศไทยยังได้รับความสนใจน้อย (Angnakoon et al., 2020) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับงานวิจัยที่มุ่งพัฒนาการเรียนรู้ส่งเสริมด้านต่าง ๆ ของนักเรียน อาทิ ความรู้ ทักษะ และทักษะการคิดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริม

หากส่งเสริมศึกษาในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานยังคงมุ่งเน้นแค่การส่งเสริมการเรียนรู้ส่งเสริมด้านต่าง ๆ ของนักเรียน ยุทธศาสตร์ในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของชาติด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรมคงไม่อาจสำเร็จได้โดยง่าย เนื่องจากการตัดสินใจเลือกประกอบวิชาชีพด้านส่งเสริมไม่ได้เกี่ยวข้องกับผลการเรียนรู้ส่งเสริมเพียงอย่างเดียว (Kier et al., 2014; van Aalderen-Smeets et al., 2019) จากการสำรวจความคิดเห็นของนักเรียนที่เป็นผู้แทนประเทศไทยในการแข่งขันวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์โอลิมปิก Nuiman (2018) พบว่า นักเรียนที่ประสบผลสำเร็จในการเรียนรู้ส่งเสริมอาจไม่เลือกประกอบวิชาชีพด้านส่งเสริม ทั้งนี้เพราะปัจจัยหลายประการ อาทิ เป้าหมายส่วนบุคคล ความสนใจส่วนบุคคล การรับรู้ความสามารถของตนเอง และเจตคติต่อวิชาชีพด้านส่งเสริม (Angnakoon et al., 2020) โดยนักเรียนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน โดยเฉพาะนักเรียนในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น (Archer et al., 2010) มักถูก “ดึงไปมา” ระหว่างความสนใจในวิชาชีพส่งเสริมและความสนใจในวิชาชีพที่ไม่เกี่ยวข้องกับส่งเสริม (Godwin and Potvin, 2017)

งานวิจัยในต่างประเทศเปิดเผยว่า “อัตลักษณ์ด้านส่งเสริม” (STEM identity) เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกประกอบวิชาชีพด้านส่งเสริมของนักเรียน (Rahm and Moore, 2016) โดยอัตลักษณ์ด้านส่งเสริมหมายถึงการที่นักเรียนมองว่า ตนเองเป็นบุคคลด้านส่งเสริม (Seeing oneself as a STEM person) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ เมื่อนักเรียนมีความสนใจในวิชาส่งเสริม (Being interested in STEM) ได้แสดงความสามารถของตนเองด้านส่งเสริม (Performing competencies in STEM) และเป็นที่ยอมรับด้านส่งเสริมจากผู้อื่น (Being recognized in STEM) อาทิ ผู้ปกครอง ครู และเพื่อน (Dou and Cian, 2021; Dou et al., 2019) เนื่องจากงานวิจัยที่พัฒนาอัตลักษณ์ด้านส่งเสริมของนักเรียนในประเทศไทยยังไม่มีปรากฏ บทความนี้จึงมุ่งนำเสนอว่า อัตลักษณ์ด้านส่งเสริมคืออะไร และการส่งเสริมอัตลักษณ์ด้านส่งเสริมของนักเรียนจะเป็นไปได้อย่างไร ทั้งนี้เพื่อสร้างความตระหนักกับบุคลากรด้านการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นครู ผู้บริหาร ผู้กำหนดนโยบาย และนักวิชาการ ตลอดจนนักวิจัย อันจะนำไปสู่แนวทางในการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านส่งเสริมของนักเรียนอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

## แนวคิดพื้นฐานของอัตลักษณ์

แนวคิดเกี่ยวกับอัตลักษณ์ด้านส่งเสริมมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีการเรียนรู้ทางสังคมและวัฒนธรรม (Sociocultural theory of learning) (Lave and Wenger, 1991) ซึ่งมองว่า การเรียนรู้ไม่ใช่เป็นเพียงแค่การเปลี่ยนพฤติกรรม ความรู้ หรือความคิด หากแต่เป็นการมีส่วนร่วมที่เพิ่มขึ้นในชุมชนแห่งการปฏิบัติงาน (Community of practice) โดยชุมชนแห่งการปฏิบัติงานหมายถึง “กลุ่มคนที่มีความกังวล ชุดปัญหา หรือความสนใจเกี่ยวกับบางอย่างร่วมกัน และเป็นผู้ซึ่งพัฒนาความรู้และความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับเรื่องนั้นให้ลึกซึ้งโดยการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกันอย่างต่อเนื่อง” (Wenger et al., 2002, p. 4) ชุมชนแห่งการปฏิบัติงานด้านส่งเสริมจึงเป็นกลุ่มคนที่ประกอบวิชาชีพส่งเสริม ซึ่งมีการปฏิบัติงานบางอย่างร่วมกัน อาทิ การกำหนดปัญหา การออกแบบ การสืบเสาะ การสร้างต้นแบบ การทดสอบต้นแบบ และการปรับปรุงต้นแบบ (NGSS Lead States,

2013) ตามมุมมองของทฤษฎีการเรียนรู้เช่นนี้ นักเรียนจะเกิดการเรียนรู้สะสมอย่างแท้จริงได้ ก็ต่อเมื่อนักเรียนมีความสามารถและปรารถนาที่จะเป็นส่วนหนึ่งในชุมชนของบุคคลผู้ซึ่งประกอบวิชาชีพสะสม

กลไกหลักที่ส่งเสริมการเรียนรู้ในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานใด ๆ ก็คือการมีส่วนร่วม (Engagement) การสร้างความหมายร่วมกัน (Meaning negotiation) และการพัฒนาอัตลักษณ์ (Identity development) ซึ่งจะช่วยให้ผู้ซึ่งเป็น “มือใหม่” (Novices) ได้เรียนรู้ผ่านการมีปฏิสัมพันธ์ทางสังคมรูปแบบต่าง ๆ กับ “ผู้เชี่ยวชาญ” (Experts) ผ่านการสังเกตการปฏิบัติงาน การฝึกปฏิบัติงาน และการได้รับข้อมูลป้อนกลับจากผู้เชี่ยวชาญในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานนั้น จนกระทั่งมือใหม่สามารถปฏิบัติงานนั้นได้ด้วยตนเองและกลายเป็นสมาชิกในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานนั้นอย่างเต็มตัว (Lave and Wenger, 1991) นโยบายสะสมศึกษาในปัจจุบันจึงมุ่งสร้างชุมชนแห่งการปฏิบัติงานด้านสะสมให้เกิดขึ้นในโรงเรียน โดยการบูรณาการการปฏิบัติงานด้านสะสมในกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียน (ในฐานะมือใหม่ด้านสะสม) มีความพร้อมในการเป็นสมาชิกในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานด้านสะสมในอนาคต ดังเช่นที่ Godwin and Potvin (2017, p. 439) ได้ระบุไว้ว่า:

“ปัจเจกบุคคลต้องเรียนรู้ไม่ใช่แค่เนื้อหาสะสม แต่ยังคง...ระบุตัวตน (หรือสร้างอัตลักษณ์) อย่างลึกซึ้งกับสาขาวิชาเหล่านี้ เพื่อให้ตนเองสามารถมีส่วนร่วมที่เพิ่มขึ้นในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานด้านสะสม”

การสร้างอัตลักษณ์ในชุมชนแห่งการปฏิบัติงานด้านสะสมจึงเป็นหัวใจของการเรียนรู้ตามทฤษฎีการเรียนรู้ทางสังคมและวัฒนธรรม (Lave and Wenger, 1991) โดย Gee (2000) ให้นิยามความหมายของคำว่า “อัตลักษณ์” ไว้ว่าเป็น “การถูกยอมรับว่าเป็นบุคคลประเภทหนึ่งในบริบทหนึ่ง” (p. 99) โดยบุคคลใดบุคคลหนึ่งไม่ได้มีอัตลักษณ์ใดอัตลักษณ์หนึ่งเพียงอัตลักษณ์เดียว หากแต่มีอัตลักษณ์ได้หลากหลายในเวลาเดียวกัน ในกรณีนี้ Gee (2000) ได้จำแนกประเภทของอัตลักษณ์ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อัตลักษณ์ตามธรรมชาติ (Nature-based identity) อัตลักษณ์ตามสถาบัน (Institution-based identity) อัตลักษณ์ตามวาทกรรม (Discourse-based identity) และอัตลักษณ์ตามความเกี่ยวข้อง (Affinity-based identity) ทั้งนี้การแสดงออกของอัตลักษณ์ของบุคคลใด ๆ จะขึ้นอยู่กับบริบท สถานการณ์ หรือเหตุการณ์ที่แวดล้อมบุคคลนั้น (Stryker and Burke, 2000) โดยในแต่ละบริบทเฉพาะใด ๆ อัตลักษณ์หนึ่งอาจมีบทบาท มีอิทธิพล และปรากฏชัดเจนมากกว่าอัตลักษณ์อื่น ๆ รายละเอียดของอัตลักษณ์แต่ละประเภทมีดังนี้

1) อัตลักษณ์ตามธรรมชาติเป็นอัตลักษณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากสิ่งที่บุคคลได้รับมาโดยกำเนิด อาทิ การเป็นผู้ชาย และการเป็นคนไทย แม้อัตลักษณ์ตามธรรมชาติมักเกี่ยวข้องกับพันธุกรรม แต่การมีอัตลักษณ์เหล่านี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมเสียทั้งหมด หากแต่ขึ้นอยู่กับสิ่งที่บุคคลถูกมองว่ามีลักษณะทางพันธุกรรมเช่นนั้น ตัวอย่างเช่น ชายคนหนึ่งเป็นผู้ชายไม่ใช่เพราะว่าเขาโครโมโซมเพศแบบ XY หากแต่เพราะว่าเขาถูกมองโดยผู้อื่นว่าเป็นผู้ชาย ในทางตรงกันข้าม ผู้ที่มีเพศสภาพชายโดยกำเนิดอาจไม่ได้ถูกมองว่าเป็นผู้ชายเสมอไป

2) อัตลักษณ์ตามสถาบันเป็นอัตลักษณ์ที่ถูกกำหนดขึ้นตามโครงสร้างของสถาบันทางสังคม อาทิ การเป็นครู การเป็นหัวหน้างาน และการเป็นพระสงฆ์ อัตลักษณ์ตามสถาบันไม่ใช่สิ่งที่บุคคลได้รับมาโดยกำเนิด หากแต่ถูกสร้างขึ้นผ่านกลไกบางอย่างในโครงสร้างทางสังคม ไม่ว่าจะโดยกฎหมาย ข้อบังคับ หรือประเพณี อาทิ การแต่งตั้ง การคัดเลือก และการบรรจุ เช่นเดียวกับอัตลักษณ์ตามธรรมชาติ การมีอัตลักษณ์ตามสถาบันไม่ได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งทางสังคม หากแต่ขึ้นอยู่กับสิ่งที่บุคคลถูกมองโดยผู้อื่นว่ามีตำแหน่งทางสังคมนั้น

3) อัตลักษณ์ตามวาทกรรมเป็นอัตลักษณ์ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างการสนทนาระหว่างบุคคล อาทิ การเป็นคนเก่ง การเป็นคนเจียบขริ่ม และการเป็นคนตลก อัตลักษณ์ตามวาทกรรมเกิดขึ้นจากการประเมินโดยคู่สนทนา (ซึ่งอาจมีได้มากกว่า 1 คนในเวลาเดียวกัน) ว่า บุคคลที่ตนเองที่กำลังสนทนาด้วยนั้นเป็นคนเช่นใด อัตลักษณ์ตามวาทกรรมจึงแปรเปลี่ยนได้ง่ายตามบริบท เหตุการณ์ และผู้ร่วมสนทนา ตัวอย่างเช่น บุคคลหนึ่งอาจเป็นคนเจียบขริ่มสำหรับหัวหน้าในที่ทำงาน แต่อาจเป็นคนสนุกสนานสำหรับกลุ่มเพื่อนในวัยเรียนได้เช่นกัน

4) อัตลักษณ์ตามความเกี่ยวข้องเป็นอัตลักษณ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากการที่บุคคลเข้าไปมีส่วนร่วมในกิจกรรมของกลุ่มคนหรือชุมชนแห่งการปฏิบัติงานใด ๆ อาทิ การเป็นกองเชียร์ของสโมสรฟุตบอลหนึ่ง การเป็นแฟนคลับของวงดนตรีหนึ่ง การเป็นสมาชิกของกลุ่มคนรักสัตว์ชนิดหนึ่ง การเป็นสมาชิกของกลุ่มที่มีงานอดิเรกหนึ่ง และการเป็นสมาชิกของผู้ใช้รถยนต์หนึ่ง เป็นต้น อัตลักษณ์ตามความเกี่ยวข้องเกิดขึ้นจากการมีประสบการณ์ ความสนใจ และการปฏิบัติงานบางอย่างร่วมกัน ซึ่งอาจเกี่ยวข้องหรือไม่เกี่ยวข้องกัน เพศ เชื้อชาติ หรือสถาบันทางสังคมก็ได้

## อัตลักษณ์ด้านสะเต็ม

การจำแนกประเภทของอัตลักษณ์ของ Gee (2000) เป็นเพียงการจำแนกเบื้องต้นตามแหล่งหรือทรัพยากรของการสร้างอัตลักษณ์ ซึ่งไม่ได้หมายความว่าอัตลักษณ์ใด ๆ จะต้องเป็นอัตลักษณ์ประเภทใดประเภทหนึ่ง ดังเช่นในกรณีของการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มของนักเรียน นักเรียนอาจสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มจากการมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงานด้านสะเต็มในโรงเรียน ซึ่งเป็นอัตลักษณ์ตามความเกี่ยวข้อง โดยในระหว่างการปฏิบัติงานด้านสะเต็ม นักเรียนได้สนทนากับเพื่อน ๆ และอาจจะถูกมองว่าเป็นคนที่มีความสามารถด้านสะเต็ม ซึ่งเป็นอัตลักษณ์ตามวาทกรรม และหากนักเรียนได้รับการส่งเสริมอย่างเหมาะสมและเพียงพอ นักเรียนก็อาจเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านสะเต็มในอนาคต (Holmegaard et al., 2014) นักเรียนก็จะสร้างอัตลักษณ์ตามสถาบันที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพด้านสะเต็มต่อไป ด้วยเหตุนี้ การสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มจึงเป็นกระบวนการที่ต่อเนื่องและอาศัยเวลา ซึ่งนักเรียนควรได้รับการส่งเสริมตั้งแต่ระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ที่นักเรียนจะเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านสะเต็มต่อไป

อย่างไรก็ตาม การสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มมีความซับซ้อน ส่วนหนึ่งเป็นเพราะการซ้อนทับกันของอัตลักษณ์หลายประเภทในเวลาเดียวกัน โดยการมีอัตลักษณ์หนึ่งอาจส่งเสริมหรือกีดขวางการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มของนักเรียนได้ ตัวอย่างเช่น การมีอัตลักษณ์ความเป็นผู้หญิงอาจกีดขวางการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม ทั้งนี้เพราะในบริบททางสังคมและวัฒนธรรมหลายแห่ง สะเต็มถูกมองว่าเป็นวิชาชีพที่เหมาะสมกับเพศชาย (Brotman and Moore, 2008; Ladachart et al., 2020; Tonso, 2006) ดังนั้น ผู้หญิงจึงไม่ได้ถูกมองโดยผู้ชาย หรือแม้กระทั่งโดยผู้หญิงด้วยกันเอง ว่าเป็นผู้มีความสามารถด้านสะเต็ม (Kim et al., 2018) ยิ่งไปกว่านั้น หากผู้หญิงมีเชื้อชาติที่ไม่ใช่ชาวยุโรป อาทิ ชาวแอฟริกา หรือชาวอเมริกาใต้ ซึ่งไม่ตรงกับภาพตัวแทน (Stereotype) ในสาขาวิชาชีพสะเต็ม การมีอัตลักษณ์ของเชื้อชาติเหล่านี้ก็อาจเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่กีดขวางการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม (Morton and Parsons, 2018; Rahm and Moore, 2016; Rodriguez et al., 2019) ทั้งนี้เพราะสะเต็มถูกมองว่าเป็นวิชาชีพที่เหมาะสมกับชาวยุโรปมากกว่าผู้ที่มีเชื้อชาติอื่น ๆ (Brown, 2004)

นอกจากอัตลักษณ์ตามธรรมชาติที่เกี่ยวข้องกับเพศและเชื้อชาติแล้ว Brickhouse et al. (2000) พบว่า การสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มในบริบทโรงเรียนยังเกี่ยวข้องกับอัตลักษณ์ของการเป็น “นักเรียนที่ดี” อีกด้วย ในบริบทโรงเรียนหลายแห่งรวมทั้งในประเทศไทย การเป็นนักเรียนที่ดีหมายถึงการเป็นผู้ที่เชื่อฟังและปฏิบัติตามคำสั่งสอนของครู ซึ่งในบางครั้ง นักเรียนอาจมีข้อสงสัยและตั้งคำถามเกี่ยวกับสะเต็ม อย่างไรก็ตาม นักเรียนอาจคิดว่า การตั้งคำถามเช่นนั้นอาจเป็นการท้าทายครู ซึ่งอาจทำให้ครูคิดว่า ตนเองไม่ใช่เด็กนักเรียนที่ดี ดังนั้น การตั้งคำถามเกี่ยวกับสะเต็มจึงขัดแย้งกับอัตลักษณ์ของการเป็นนักเรียนที่ดี นักเรียนจึงอาจไม่กล้าที่จะตั้งคำถามกับครู (ซึ่งแม้คำถามนั้นเป็นคำถามที่ดี) เพียงเพราะว่านักเรียนต้องการรักษาอัตลักษณ์ของการเป็นนักเรียนที่ดีไว้ จากตัวอย่างนี้ การสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มจึงไม่ใช่เรื่องส่วนบุคคลของใครคนใดคนหนึ่ง หากยังเกี่ยวข้องกับปัจจัยทางสังคมและวัฒนธรรมที่แวดล้อมกระบวนการสร้างอัตลักษณ์นั้นให้เกิดขึ้นด้วย (Guerra and Rezende, 2017)

การได้รับการยอมรับเป็นหัวใจหลักของการสร้างอัตลักษณ์ (Gee, 2000) ดังนั้น หากนักเรียนต้องการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มให้กับตัวเอง นักเรียนจำเป็นต้องได้รับการยอมรับในแง่ของการมีคุณลักษณะด้านสะเต็ม (Carlone and Johnson, 2007) ทั้งนี้การยอมรับสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งการยอมรับตนเอง (Self-recognition) และการยอมรับทางสังคม (Social recognition) ซึ่งอาจเป็นพ่อแม่ ผู้ปกครอง ครู และเพื่อน (Rodriguez et al., 2019) โดยการยอมรับทางสังคมจะยิ่งมีอิทธิพลต่อการสร้างอัตลักษณ์ของนักเรียน หากการยอมรับนั้นมาจากบุคคลสำคัญที่มีความหมายต่อตัวนักเรียน (Carlone and Johnson, 2007) อย่างไรก็ตาม บุคคลที่มีความหมายต่อนักเรียนในแต่ละช่วงวัยอาจแตกต่างกัน โดยพ่อแม่อาจเป็นบุคคลที่มีความหมายมากสำหรับนักเรียนในระดับประถมศึกษา (Dou et al., 2019) ในขณะที่เพื่อนอาจเป็นบุคคลที่มีความหมายสำหรับนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา (Godwin and Potvin, 2017) ส่วนอาจารย์อาจเป็นบุคคลที่มีความหมายมากสำหรับนักศึกษาในระดับอุดมศึกษา (Carlone and Johnson, 2007) เป็นต้น

ไม่ว่าการยอมรับทางสังคมจะเกิดขึ้นโดยใครก็ตาม นักเรียนจำเป็นต้องมีและแสดงออกถึงความสามารถด้านสะเต็มของตนเองเพื่อให้ผู้อื่นสังเกตเห็นและยอมรับ ดังนั้น การแสดงความสามารถด้านสะเต็มจึงเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม (Hazari et al., 2010) แต่กระนั้นก็ตาม การแสดงออกถึงความสามารถด้านสะเต็มเป็นเพียงเงื่อนไขพื้นฐาน ทั้งนี้เพราะความสามารถด้านสะเต็มที่นักเรียนแสดงออกจะต้องถูกตัดสินว่าจะเป็นที่ยอมรับโดยผู้อื่นหรือไม่ (Carlone and Johnson, 2007) การสร้างอัตลักษณ์ของนักเรียนบางคน ซึ่งแม้จะมีความสามารถด้านสะเต็ม แต่ก็อาจถูกจำกัดด้วยค่านิยมทางสังคมและวัฒนธรรมบางประการ อาทิ ค่านิยมว่า “สะเต็มเหมาะสมกับผู้ชายและเด็กเก่ง” เป็นต้น นักเรียนที่มีลักษณะที่ไม่สอดคล้องกับค่านิยมเหล่านี้จึงมักถูกมองข้ามและต้องพยายามมากกว่าปกติเพื่อให้ตนเองเป็นที่ยอมรับและพัฒนาอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม (Rodriguez et al., 2019) ซึ่งไม่ใช่ทุกคนจะประสบความสำเร็จ (Godwin and Potvin, 2017) บางคนอาจถอดใจและหันเหออกจากสะเต็มในท้ายที่สุด (Rahm and Moore, 2016)

ด้วยเหตุนี้ ความสนใจด้านสะเต็มจึงถูกมองว่าเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม (Godwin and Potvin, 2017; Hazari et al., 2010) โดย Hughes et al. (2013) ระบุว่า หากปราศจากความสนใจด้านสะเต็มแล้ว นักเรียนจะมีความเป็นไปได้น้อยที่จะรู้สึกว่าคุณเองเหมาะสมกับสะเต็มและเลือกประกอบวิชาสะเต็ม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Jackson et al. (2019) ที่ระบุว่า การได้พูดคุยกับผู้อื่นเกี่ยวกับความสนใจของตนเองด้านสะเต็มส่งผลเชิงบวกให้นักเรียนสนใจการประกอบวิชาสะเต็ม ดังนั้น ความสนใจด้านสะเต็มจึงเป็นแรงจูงใจภายในที่ช่วยยึดโยงนักเรียนกับสะเต็มไว้ ถึงแม้ว่านักเรียนอาจจะประสบกับการไม่เป็นที่ยอมรับจากผู้อื่นมากกว่าที่ควรก็ตาม (Morton and Parsons, 2018) นอกจากนี้ ผลการวิจัยของ Dou et al. (2019) และ Dou and Cian (2021) ยังยืนยันด้วยว่า การได้พูดคุยเรื่องที่ตนเองสนใจเกี่ยวกับสะเต็มในวัยอนุบาลและประถมศึกษาตอนต้นกับคนในครอบครัวและเพื่อนส่งผลเชิงบวกในระยะยาวต่อการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มของผู้ที่เลือกศึกษาต่อด้านสะเต็มในระดับมหาวิทยาลัย

### การส่งเสริมอัตลักษณ์ด้านสะเต็ม

ด้วยความสำคัญของอัตลักษณ์ด้านสะเต็มต่อการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อและประกอบวิชาชีพด้านสะเต็ม งานวิจัยจำนวนหนึ่งจึงมุ่งศึกษาแนวทางในการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านสะเต็มของนักเรียน ในกรณีนี้ จากการสำรวจความคิดเห็นของนักเรียนในระดับมัธยมศึกษา Holmegaard et al. (2014) พบว่า สาเหตุสำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อการสร้างอัตลักษณ์ด้านสะเต็มและการไม่เลือกศึกษาต่อด้านสะเต็มคือการที่นักเรียนมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับธรรมชาติของสะเต็ม โดยนักเรียนมองว่า สะเต็มเป็นสาขาวิชาที่ตายตัวและน่าเบื่อ ซึ่งไม่ท้าทายความสามารถและการใช้ความคิดสร้างสรรค์ของตนเอง ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับข้อค้นพบของ Nadelson et al. (2017) ที่สำรวจความคิดเห็นของนักศึกษาที่กำลังศึกษาสะเต็มในระดับมหาวิทยาลัยว่า หากการจัดการเรียนการสอนสะเต็มมีความสอดคล้องกับธรรมชาติของการปฏิบัติงานของบุคลากรที่ประกอบ วิชาสะเต็มด้านสะเต็มมากขึ้น นักเรียนจะสามารถพัฒนาอัตลักษณ์ด้านสะเต็มได้ง่ายขึ้น ผลการวิจัยเหล่านี้จึงสนับสนุนนโยบายสะเต็มศึกษาที่พยายามบูรณาการการปฏิบัติงานด้านสะเต็มให้เป็นส่วนหนึ่งในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน

แนวทางหลักในการส่งเสริมสะเต็มศึกษาในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานของประเทศไทยคือการจัดการเรียนการสอนสะเต็มผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ (Engineering design process) (Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology, 2014) ซึ่งเป็นแนวทางที่นานาประเทศเห็นพ้องต้องกัน (Kelly and Knowles, 2016) ทั้งนี้เพราะวิศวกรรมศาสตร์เป็นศาสตร์ที่สามารถเชื่อมโยงวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยีเข้าด้วยกันได้เป็นอย่างดี (Quinn et al., 2020) โดยการจัดการเรียนการสอนสะเต็มผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์อาจมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป อาทิ “การเรียนรู้บนฐานการออกแบบ” (Design-based learning) (Korur et al., 2017) และ “การเรียนรู้โดยการออกแบบ” (Learning by design) (Kolodner et al., 2003) ซึ่งมีลักษณะสำคัญร่วมกันคือการมุ่งเน้นให้นักเรียนแก้ปัญหาในชีวิตประจำวันผ่านกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งนักเรียนต้องสร้างหรือนำความรู้ ทักษะ เจตคติ และการปฏิบัติงานด้านสะเต็มมาประยุกต์ใช้ (Kelly and Knowles, 2016)

การเรียนรู้บนฐานการออกแบบมีความหลากหลาย (Lewis, 2006) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า นักเรียนจะมีโอกาสสร้างความรู้ด้านสะเต็ม “ก่อน” (Fortus et al., 2004) “ระหว่าง” (Kolodner et al., 2003) หรือ “หลัง” (Apedoe et al., 2008) กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมศาสตร์ ตัวอย่างเช่น Fortus et al. (2004) กำหนดให้นักเรียนได้เรียนรู้สะเต็มผ่านกระบวนการ 5 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การระบุและนิยามบริบท (2) การวิจัยหาข้อมูลที่จำเป็น (3) การพัฒนาความคิด (4) การสร้างต้นแบบ และ (4) การเก็บรวบรวมข้อมูลป้อนกลับ ซึ่งนักเรียนได้ศึกษาความรู้ด้านสะเต็มก่อน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างทดสอบ และปรับปรุงต้นแบบ ในขณะที่ Apedoe et al. (2008) กำหนดให้นักเรียนเรียนรู้สะเต็มผ่านกระบวนการ 7 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การออกแบบชิ้นงาน (2) การประเมินชิ้นงาน (3) การให้เหตุผล (4) การทดสอบความคิด (5) การวิเคราะห์ผล (6) การสร้างข้อสรุปทั่วไป และ (7) การเชื่อมโยงกับแนวคิดหลัก ซึ่งนักเรียนได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบต้นแบบก่อน เพื่อนำผลการทดสอบนั้นมาประเด็นในการสืบเสาะเพื่อสร้างความรู้ด้านสะเต็มต่อไป

ในกรณีของประเทศไทย Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (2014) กำหนดให้นักเรียนได้เรียนรู้สะเต็มผ่านกระบวนการ 6 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การระบุปัญหา (2) การรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (3) การออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (4) การวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (5) การทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน และ (6) การนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา (ดังตัวอย่างที่ปรากฏในงานวิจัยของ Pornsuriwong and Sungthong, 2020) ขั้นตอนเหล่านี้คล้ายกับกระบวนการของ Fortus et al. (2004) ในแง่ที่ว่า นักเรียนได้ศึกษาความรู้ด้านสะเต็มก่อน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้าง ทดสอบ และปรับปรุงต้นแบบ ถึงแม้ว่าแนวทางนี้เป็นแนวทางหลักแพร่หลายในการจัดการเรียนการสอนสะเต็ม แต่ Promboon et al. (2018) ย้ำเตือนว่า การจัดการเรียนการสอนสะเต็มไม่ควรเป็นเสมือน

การสั่งตัดเสื้อขนาดเดียวให้ทุกคน (One size fits all) ทั้งนี้เพราะประเทศไทยมีความหลากหลายในแง่ของบริบททางการศึกษา ซึ่งอาจต้องการแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพิ่มเติมที่แตกต่างกันไป

ไม่ว่าแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพิ่มเติมจะเป็นอย่างไร การบูรณาการเพิ่มเติมศึกษาในหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐานเพียงอย่างเดียวยังไม่พอ ทั้งนี้เพราะการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนขึ้นอยู่กับพลวัตที่เกิดขึ้นในระหว่างกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติม ด้วยความที่เพศเกี่ยวข้องกับอัตลักษณ์ตามธรรมชาติ ซึ่งอาจส่งผลเชิงลบต่อการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนหญิง Hughes et al. (2013) จึงได้เปรียบเทียบการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนหญิงที่ทำกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติมในกลุ่มที่คละเพศและในกลุ่มที่มีนักเรียนหญิงล้วน ผลการวิจัยเปิดเผยว่า เพศของสมาชิกในกลุ่มไม่มีนัยสำคัญต่อการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติม หากแต่เป็นธรรมชาติของกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติมที่มีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามงานวิจัยของ Wieselmann et al. (2020) ซึ่งศึกษาปฏิสัมพันธ์ภายในกลุ่มของนักเรียนชายและนักเรียนหญิงที่กำลังทำกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติมร่วมกัน ผลการวิจัยกลับเปิดเผยว่า นักเรียนชายมักครอบงำกิจกรรมภายในกลุ่ม และมักไม่ยอมรับความคิดเห็นของนักเรียนหญิง ซึ่งสามารถส่งผลเชิงลบต่อการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนหญิงได้

จากการสังเกตพลวัตที่เกิดขึ้นในระหว่างการจัดกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติมในกลุ่มที่มีเพียงแต่นักเรียนหญิง Pattison et al. (2018) พบว่า นักเรียนบางคนจะทำตนเป็นผู้นำของกลุ่มผ่านการแสดงความสามารถด้านเพิ่มเติมของตนเอง ทั้งนี้เพื่อให้นักเรียนคนอื่นยอมรับ ซึ่งอาจส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนที่เป็นผู้นำกลุ่ม อย่างไรก็ตามนักเรียนที่ไม่ได้เป็นผู้นำกลุ่มอาจมีโอกาสน้อยกว่าในการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของตนเอง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโอกาสที่นักเรียนที่เป็นผู้นำกลุ่มจะมอบให้ และบรรยากาศภายในกลุ่มที่นักเรียนที่เป็นผู้นำกลุ่มสร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น หากผู้นำกลุ่มให้ความสำคัญกับการร่วมมือกันภายในกลุ่ม นักเรียนที่เป็นผู้ตามก็จะมีโอกาสมากขึ้นในการมีส่วนร่วม แสดงความสามารถ และเป็นที่ยอมรับภายในกลุ่ม ซึ่งจะส่งผลเชิงบวกต่อการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติม แต่หากผู้นำกลุ่มให้ความสำคัญกับการแข่งขันภายในหรือระหว่างกลุ่ม ผลลัพธ์ก็อาจเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม งานวิจัยนี้จึงให้ข้อเสนอแนะว่า พลวัตที่เกิดขึ้นในระหว่างที่นักเรียนกำลังทำกิจกรรมการเรียนรู้เพิ่มเติมมีความสำคัญต่อการสร้างอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติม

จากการทบทวนเอกสารงานวิจัยข้างต้น กิจกรรมการเรียนรู้บนฐานการออกแบบ ซึ่งเป็นแนวทางการจัดการเรียนการสอนเพิ่มเติมของประเทศไทย มีศักยภาพในการพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนได้ ทั้งนี้เพราะกิจกรรมการเรียนรู้บนฐานการออกแบบเปิดโอกาสให้นักเรียนได้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติงานด้านเพิ่มเติม โดยการมีส่วนร่วมนี้ไม่ได้มีความหมายแค่ว่าในแง่ทางร่างกายและทางสติปัญญาเท่านั้น หากแต่ยังรวมถึงการมีส่วนร่วมทางวาจาและทางอารมณ์ด้วย แต่กระนั้นก็ตาม พลวัตที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำกิจกรรม โดยเฉพาะการมีปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น อาทิ เพื่อน และครู อาจส่งผลได้ทั้งเชิงบวกและเชิงลบต่อการสร้างอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า นักเรียนจะได้รับการยอมรับจากผู้อื่นหรือไม่ ด้วยความที่อัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมยังไม่เป็นที่สนใจจากนักวิจัยในประเทศไทย ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดสำคัญของนโยบายระดับชาติที่มุ่งเน้นการเพิ่มกำลังคนทีประกอบอาชีพด้านเพิ่มเติม บทความนี้จึงเสนอแนะให้มีการวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาอัตลักษณ์ด้านเพิ่มเติมของนักเรียนเพิ่มขึ้น โดยพลวัตที่เกิดขึ้นในระหว่างการเรียนรู้เพิ่มเติมของนักเรียนควรได้รับการใส่ใจเป็นพิเศษ

## เอกสารอ้างอิง

- Angnakoon, P., Tubpun, T. and Sophonhiranrak, S. (2020). Investigating STEM career interest and attitude among 9<sup>th</sup> grade students in Thailand (Bangkok metropolitan region) (in Thai). *Journal of Graduate Studies Valaya Alongkorn Rajabhat University*, 14(2), 105-125.
- Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R. and Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms: The heating/cooling unit. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 454-465.
- Archer, L., Dewitt, J., Osborne, J., Dillon, J., Willis, B. and Wong, B. (2010). “Doing” science versus “being” a scientist: Examining 10/11-year-old schoolchildren’s constructions of science through the lens of identity. *Science Education*, 94(4), 617-639.
- Brickhouse, N. W., Lowery, P. and Schultz, K. (2000). What kind of a girl does science? The Construction of school science identities. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(5), 441-458.
- Brotman, J. S. and Moore, F. M. (2008). Girls and science: A review of four themes in the science education literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(9), 971-1002.

- Brown, B. A. (2004). Discursive identity: Assimilation into the culture of science and its implication for minority students. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(8), 810-834.
- Carlone, H. B. and Johnson, A. (2007). Understanding the science experiences of successful women of color: Science identity as an analytic lens. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1187-1218.
- Dou, R. and Cian, H. (2021). The relevance of childhood science talk as a proxy for college students' STEM identity as a Hispanic serving institution. *Research in Science Education*, 51(4), 1093-1105.
- Dou, R., Hazari, Z., Dabney, K., Sonnert, G. and Sadler, P. (2019). Early informal STEM experiences and STEM identity: The importance of talking science. *Science Education*, 103(3), 623-637.
- Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A. and Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM education: A framework for developing STEM literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 369-385.
- Fortus, D., Dershimer, R. C., Krajcik, J., Marx, R. W. and Mamlok-Naaman, R. (2004). Design-based science and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 1018-1110.
- Gee, J. P. (2000). Identity as an analytic lens for research in education. *Review of Research in Education*, 25, 99-125.
- Godwin, A. and Potwin, G. (2017). Pushing and pulling Sara: A case study of the contrasting influences of high school and university experiences on engineering agency, identity and participation. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(4), 439-462.
- Guerra, A. and Rezende, F. (2017). Sociocultural influences on science and on science identities. *Cultural Studies of Science Education*, 12(2), 505-511.
- Hazari, Z., Sonnert, G., Sadler, P. M. and Shanahan, M-C. (2010). Connecting high school physics experiences, outcome expectations, physics identity and physics career choice: A gender study. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 978-1003.
- Holmegaard, H. T., Madsen, L. M. and Ulriksen, L. (2014). To choose or not to choose science: Constructions of desirable identities among young people considering a STEM higher education programme. *International Journal of Science Education*, 36(2), 186-215.
- Hughes, R., M., Nzekwe, B. and Molyneaux, K. J. (2013). The single sex debate for girls in science: A comparison between two informal science program on middle school students' STEM identity formation. *Research in Science Education*, 43(5), 1979-2007.
- Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. (2014). STEM education and engineering design process (in Thai). Retrieved 4 November 2021, from IPST: [http://designtechnology.ipst.ac.th/?page\\_id=1082](http://designtechnology.ipst.ac.th/?page_id=1082).
- Jackson, M. C., Leal, C. C., Zambrano, J. and Thoman, D. B. (2019). Talking about science interest: The importance of social recognition when students' talk about their interests in STEM. *Social Psychology of Education*, 22(1), 149-167.
- Kelly, T. R. and Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework of integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3, 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kier, M. W., Blanchard, M. R., Osborne, J. W. and Albert, J. L. (2014). The development of the STEM career interest survey (STEM-CIS). *Research in Science Education*, 44(3), 461-481.
- Kim, A. Y., Sinatra, G. M. and Seyranian, V. (2018). Developing a STEM identity among young women: A social identity perspective. *Review of Educational Research*, 88(4), 589-625.

- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, C. D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S. and Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design™ into practice. **The Journal of the Learning Sciences**, 12(4), 495-547.
- Korur, F., Efe, G., Erdogan, F. and Tunc, B. (2017). Effects of toy crane design-based learning on simple machines. **International Journal of Science and Mathematics Education**, 15(2), 251-271.
- Ladachart, L., Phothong, W., Suaklay, N. and Ladachart, L. (2020). Thai Elementary Science Teachers' Images of "Engineer(s)" at Work. **Journal of Science Teacher Education**, 31(6), 631-653.
- Lave, J. and Wenger, E. (1991). **Situated learning: legitimate peripheral participation**. New York: Cambridge University Press.
- Lewis, T. (2006). Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? **Journal of Research in Science Teaching**, 43(3), 255-281.
- Morton, T. R. and Parsons, E. C. (2018). #BlackGirlMagic: The identity conceptualization of Black women in undergraduate STEM education. **Science Education**, 102(6), 1363-1393.
- Nadelson, L. S., McGuire, S. P., Davis, K. A., Farid, A., Hardy, K. K., Hsu, Y-C., Kaiser, U., Nagarajan, R. and Wang, S. (2017). Am I a STEM professional? Documenting STEM student professional identity development. **Studies in Higher Education**, 42(4), 701-720.
- NGSS Lead States. (2013). **Next generation science standards: for states, by states**. Washington D.C.: National Academy of Sciences.
- Nuiman, R. (2018). A study of factors influencing decisions to pursue STEM majors in higher education among Thailand's representative students in the Mathematics and Science Olympiads 2003-2016 from Office of the Basic Education Commission (in Thai). **Journal of Chandrakasensarn**, 24(2), 48-63.
- Office of the National Economic and Social Development Board. (2018). National Strategy 2018-2037 (in Thai). Retrieved 4 November 2021, from NESDC: [https://www.nesdc.go.th/download/document/SAC/NS\\_PlanOct2018.pdf](https://www.nesdc.go.th/download/document/SAC/NS_PlanOct2018.pdf).
- Pattison, S. A., Gontan, I. and Ramos-Montanez, S. (2018). Identity negotiation within peer groups during an informal engineering education program: The central role of leadership-oriented youth. **Science Education**, 102(5), 978-1006.
- Pornsuriwong, S. and Sungthong, A. (2020). The results of learning activities using STEM education of motion in physics for grade-11 students (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 3(1), 30-40.
- Promboon, S., Finley, F. N. and Kaweejijmanee, K. (2018). The evolution and current status of STEM education in Thailand: Policy directions and recommendations. In G. W. Fry (Ed.). **Education in Thailand: An old elephant in search of a new mahout** (pp. 423-459). Singapore: Springer.
- Quinn, C. M., Reid, J. W. and Gardner, G. E. (2020). S + T + M = E as a convergent model for the nature of STEM. **Science and Education**, 29(4), 881-898.
- Rahm, J. and Moore, J. C. (2016). A case study of long-term engagement and identity-in-practice: Insights into the STEM pathways of four underrepresented youths. **Journal of Research in Science Teaching**, 53(5), 768-801.
- Rodriguez, S., Cunningham, K. and Jordan, A. (2019). STEM identity development for Latinas: The role of self- and outside recognition. **Journal of Hispanic Higher Education**, 18(3), 254-272.
- Stryker, S. and Burke, P. (2000). The past, present and future of an identity theory. **Social Psychology Quarterly**, 63(4), 284-297.
- Tonso, K. L. (2006). Student engineers and engineer identity: Campus engineer identities as figured world. **Cultural Studies of Science Education**, 1(2), 273-307.

- van Aaldereen-Smeets, S. I., van der Molen, J. H. W. and Xenidou-Dervou, I. (2019). Implicit STEM ability beliefs predict secondary school students' STEM self-efficacy beliefs and their intention to opt for a STEM field career. **Journal of Research in Science Teaching**, 56(4), 465-485.
- Vasquez, J. A. (2015). STEM: Beyond the acronym. **Educational Leadership**, 72(4), 10-15.
- Wenger, E., McDermott, R. and Snyder, W. M. (2002). **Cultivating communities of practice: A guide to managing knowledge**. Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Wieselmann, J. R., Dare, E. A., Ring-Whalen, E. A. and Roehrig, G. H. (2020). "I just do what the boys tell me": Exploring small group student interactions in an integrated STEM unit. **Journal of Research in Science Teaching**, 57(1), 112-144.
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM literacy: STEM literacy for learning. **School Science and Mathematics**, 112(1), 12-19.





## บทความวิชาการ

## การทบทวนการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายสำหรับห้องเรียนเคมี

เพชรวิไล ชัตติยวงศ์<sup>1</sup> ศักดิ์ศรี สุภาขจร<sup>2</sup> และเสนอ ชัยรัมย์<sup>2\*</sup><sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190<sup>2</sup>ภาควิชาเคมีและศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อุบลราชธานี 34190

\*Email: sanoe.c@ubu.ac.th

รับบทความ: 25 มกราคม 2565 แก้ไขบทความ: 22 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 1 มีนาคม 2565

## บทคัดย่อ

บทความนี้ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายสำหรับห้องเรียนเคมีที่ทำให้ผู้เรียนเห็นภาพและเรียนรู้ได้ง่าย งานวิจัยที่ใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษและเส้นด้ายเน้นการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์เพื่อเป็นทางเลือกเพิ่มเติมจากการวิเคราะห์ในระบบของเหลวที่ใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ปัจจุบันนักวิจัยได้พัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายสำหรับการวิเคราะห์ที่หลากหลาย เช่น การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี การทดสอบด้วยการวัดค่าทางสี การวินิจฉัยสุขภาพ การตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อมและการทดสอบคุณภาพอาหาร เหตุผลที่กระดาษและเส้นด้ายเป็นวัสดุที่น่าสนใจสำหรับการผลิตระบบไมโครฟลูอิดิกส์หรือของไหลจุลภาค ได้แก่ (1) เป็นวัสดุเซลลูโลสที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย (2) เข้ากันได้กับสารเคมีทางชีวเคมีและการแพทย์ และ (3) สามารถขนส่งของเหลวด้วยแรงแคปิลลารีโดยไม่ต้องอาศัยแรงภายนอก โดยการสร้างช่องไมโครฟลูอิดิกส์บนกระดาษด้วยรูปแบบต่างๆ จะทำให้การไหลของของเหลวนบนกระดาษถูกจำกัดอยู่ภายในช่องที่กำหนด ดังนั้น การไหลของของเหลวจึงสามารถถูกนำทางในลักษณะที่ควบคุมได้ การวิจัยเกี่ยวกับไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษกำลังเป็นที่นิยม ผลงานที่เผยแพร่ส่วนใหญ่ได้เน้นไปที่ (1) การประดิษฐ์อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์ใช้กระดาษต้นทุนต่ำและใช้เทคนิคที่เรียบง่าย และ (2) การใช้งานอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษโดยผสมผสานวิธีการตรวจจับแบบใหม่ๆ เช่น การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนด้วยซอฟต์แวร์วิเคราะห์สีที่มีประสิทธิภาพและรู้ผลได้ไว โดยบทความนี้ได้ทบทวนทั้งเทคนิคการประดิษฐ์และการประยุกต์ใช้ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษและเส้นด้ายด้วยการทดลองที่หลากหลาย แต่คำนึงถึงประสิทธิภาพในการตรวจวัดและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้ โดยได้รวบรวมทั้งด้านจุดเด่นและจุดควรปรับปรุงของงานวิจัยที่เผยแพร่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 จนถึงปัจจุบัน

**คำสำคัญ:** การทดลองในห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์แบบกระดาษ อุปกรณ์แบบเส้นด้าย การเรียนรู้แบบลงมือปฏิบัติ ห้องเรียนเคมี

## อ้างอิงบทความนี้

เพชรวิไล ชัตติยวงศ์, ศักดิ์ศรี สุภาขจร และเสนอ ชัยรัมย์. (2565). การทบทวนการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายสำหรับห้องเรียนเคมี. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 158-171.  
<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.14>

Academic Article

## Review on the development of simple paper-based and thread-based devices for chemistry classrooms

Phetvilay Khattiyavong<sup>1</sup>, Saksri Supasorn<sup>2</sup>, and Sanoe Chairam<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Science Education Program, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

<sup>2</sup>Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

\*Email: sanoe.c@ubu.ac.th

Received <25 January 2022>; Revised <22 February 2022>; Accepted <1 March 2022>

### Abstract

This article gathered research articles involving development of simple paper- and thread-based analytical devices for chemistry classrooms allowing students to visualize and learn easily. This type of analytical devices has been developed as an alternative analytical method to high cost conventional liquid-based instrumental analysis. Currently, researchers have been developing simple paper- and thread-based devices for variety of analyses, for examples, determination of chemical reaction rate, colorimetric analysis, health diagnostics, environmental chemical analysis, and food quality analysis. Paper- and thread-based devices are gaining their popularity in microfluidic or flow system since (1) these low cost and available cellulose-based materials, (2) compatible with biochemical and medical chemicals, and (3) liquid transportable via capillary force with no external force required. In paper-based device, microfluidic channels are created with different patterns so liquid can flow only in the given channel. In other word, the flow of liquid in microfluidic devices can be controlled. Research concerning paper-based microfluidic device is gaining its' popularity. Most published research focuses on (1) fabrication of paper-based microfluidic device with simple technique, and (2) applications of paper-based microfluidic device coupled with new detection methods such as analysis of images captured by smartphones using efficient and rapid color processing software. In this article, both fabrication techniques and various experiments of paper- and thread-based microfluidic devices concerning their detection efficiency and applications in classrooms published in periodic journals since 2007 are reviewed. In addition, strengths and weaknesses of the reviewed articles are discussed.

**Keywords:** Laboratory experiments, paper-based devices, thread-based devices, hands-on learning, chemistry classroom

#### Cite this article:

Khattiyavong, P., Supasorn, S. and Chairam, S. (2022 ). Review on the development of simple paper-based and thread-based devices for chemistry classrooms (in Thai). **Journal of Science and Science Education**, 5(1), 158-171. <http://doi.org/10.14456/jsse.2022.14>

## บทนำ

การเรียนรู้วิชาเคมีจำเป็นต้องมีการจัดการสอนแบบบรรยายควบคู่ไปกับการลงมือทำปฏิบัติการ อย่างไรก็ตาม การทดลองในห้องปฏิบัติการยังเป็นการใช้อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่และใช้ปริมาณสารเคมีจำนวนมาก ดังนั้น แนวคิดในการสร้างอุปกรณ์ขึ้นเองโดยผลการทดลองยังคงเดิมจึงน่าจะช่วยลดปัญหาการจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการได้ ในปัจจุบัน ปฏิบัติการทดลองแบบกระดาษและเส้นด้ายกำลังได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากกระดาษและเส้นด้ายเป็นวัสดุที่มีราคาถูก น้ำหนักเบาและสามารถออกแบบหรือปรับเปลี่ยนรูปแบบได้ง่ายตามที่ต้องการ นอกจากนี้ ยังสามารถนำมารีไซเคิลและย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ เส้นใยธรรมชาติที่พบในกระดาษและเส้นด้ายส่วนใหญ่ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ลิกนิน (lignin) และเพคติน (pectin) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันตามชนิดของพืช เซลลูโลสจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งในกลุ่มของสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เซลลูโลสประกอบด้วยไมโครไฟบริล (microfibrils) จำนวนมากซึ่งประกอบไปด้วยน้ำตาลกลูโคส (glucose) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ (glycosidic bond) ในตำแหน่ง  $\beta$ -1,4 เป็นสายยาว (Mahadeva et al., 2015)

กระดาษและเส้นด้ายได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในศาสตร์ของไมโครฟลูอิดิกส์ (microfluidics) ซึ่งเกี่ยวข้องกับไหลของของไหล (แก๊สหรือของเหลว) ในระบบจุลภาค ไมโครฟลูอิดิกส์เป็นวิทยาการที่อาศัยองค์ความรู้ที่จากศาสตร์ฟิสิกส์บางประการ อาทิ การไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) หรือการไหลโดยอาศัยแรงแคปิลลารี (capillary forces) การไหลของของไหลที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ตามสมการนาเวียร์-สโตกส์ (Navier-Stokes equations) เป็นต้น จุดประสงค์หลักของการพัฒนาไมโครฟลูอิดิกส์คือความต้องการที่จะย่อส่วนการทดลองต่างๆ ในห้องปฏิบัติการทั่วไปลงบนอุปกรณ์ขนาดเล็กมากที่เรียกว่า “lab-on-a-chip (LOC)” นอกจากนี้ การทดลองบนพื้นฐานไมโครฟลูอิดิกส์ยังง่ายต่อการพกพาออกไปนอกห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะทำให้สามารถวินิจฉัยโรคในสถานที่ที่คนไข้อยู่ได้ (point-of-care diagnostics) โดยไม่จำเป็นต้องนำไปตรวจที่โรงพยาบาลหรือสถานบริการทางการแพทย์ ไมโครฟลูอิดิกส์เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบที่ใช้การลำเลียงสารผ่านช่องทางไหลที่มีขนาดเล็กในช่อง 10-100 ไมโครเมตร เพื่อใช้ตรวจวัดในระบบที่มีปริมาตรของสารในช่วง  $10^{-9}$  –  $10^{-6}$  ลิตร หรือในช่วงนาโนลิตรถึงไมโครลิตร โดยมีเป้าหมายให้ทุกขั้นตอนเป็นเช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาที่ท่ายอยู่ในชุดการทดลองที่มีขนาดใหญ่หรือในเครื่องแก้ว อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษเริ่มต้นโดยกลุ่มงานวิจัย Martinez et al. (2007) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษและเส้นด้ายในการทดลองด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย อาทิ การพิมพ์ซีดีด้วยเทคโนโลยีอิงค์เจ็ทเพื่อสร้างสิ่งกีดขวางทางกายภาพที่ไม่ชอบน้ำบนกระดาษ (Nilghaz et al., 2019) เป็นต้น

## การพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์

กระดาษเป็นวัสดุบางซึ่งทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ ราคาถูกและสามารถหาได้ทั่วไป ดังนั้น อุปกรณ์แบบกระดาษจึงเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก พกพาได้ ง่ายต่อการใช้งาน อีกทั้งยังใช้ปริมาณสารเคมีน้อย และปริมาณตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์ก็น้อยด้วยเช่นกัน อุปกรณ์แบบกระดาษถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการตรวจวัดแบบเทียบสี เช่น การมองด้วยตาเปล่า การใช้กล้องถ่ายภาพ หรือการใช้เครื่องสแกนเนอร์ เป็นต้น จากนั้นก็นำมาวิเคราะห์ความเข้มของสีด้วยโปรแกรม ImageJ (ImageJ software, 2021) อุปกรณ์แบบกระดาษมักนิยมนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์จุลภาคแบบกระดาษ (microfluidic paper-based analytical device ;  $\mu$ PAD) ซึ่งมีหลักการที่สำคัญ คือ การสร้างลวดลายบนกระดาษ ทำให้กระดาษ ที่สร้างได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic region) ซึ่งเป็นบริเวณที่เคลือบด้วยสารที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ และส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic region) ซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้สำหรับทำปฏิกิริยาซึ่งเกิดจากขอบเขตที่กำหนดขึ้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำนั้นจะช่วยในการควบคุมทิศทางการแพร่ของสารละลายโดยใช้หลักการแพร่ของสารในท่อขนาดเล็กที่เรียกว่า “การซึมตามรูเล็ก (capillary action)” ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้แรงจากภายนอก (Martinez et al., 2007) ทั้งนี้ อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ซึ่งอาศัยเทคนิคในการ

ตรวจวัดต่างๆ มาประยุกต์ร่วมกัน เช่น การตรวจวัดทางสี (colorimetric detection) และการวัดทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical detection) เป็นต้น

ปัจจุบัน นักวิจัยสนใจที่พัฒนาวิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ กระบวนการขึ้นรูปขอบเขตหรือจำกัดพื้นที่ที่ไม่ชอบน้ำมีวิธีการที่หลากหลายและแตกต่างกันออกไป วิธีการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษที่ควรรู้จักสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษ

วิธีการประดิษฐ์	วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้	การขึ้นรูป	ค่าใช้จ่าย	ที่มาของงานวิจัย
1. การพิมพ์ด้วยแสง (photolithography)	wax	รังสียูวี รังสีเอกซ์ เลเซอร์	สูง	Martinez et al. (2007);
2. การวาดลายโดยใช้วัสดุพอลิเมอร์ (plotting)	polydimethylsiloxane (PDMS)	ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบ	ค่อนข้างสูง	Bruzewicz et al. (2008)
3. การวาดลายโดยใช้ปากกาเขียน	wax	ให้ความร้อนโดยใช้ hot plate	ต่ำ	Xu et al. (2015); Chatmontree et al. (2015)
4. การสกรีนด้วยสีผง	wax	ให้ความร้อนโดยใช้เตาอบและเครื่องเป่าลม	ต่ำ	Sameenoi et al. (2014); Namwong et al. (2018); Naksen et al. (2021)
5. การประทับแม่พิมพ์ที่มีสีผง หลอมเหลวบนกระดาษ	wax	ให้ความร้อนโดยใช้ hot plate	ค่อนข้างสูง	Zhang et al. (2014)
6. การพิมพ์ด้วยสีผง	wax	ให้ความร้อนโดยใช้ hot plate	ค่อนข้างสูง	Nilghaz et al. (2019)
7. การสกรีนด้วยน้ำยาง	rubber latex	การสกรีน	ต่ำ	Kajornklin et al. (2020)

การเลือกใช้วิธีการขึ้นรูปอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบใดนั้นก็ขึ้นกับความสะดวกและบริบทของงานวิจัย ทั้งนี้ การสร้างอุปกรณ์ต้องมีขั้นตอนในการขึ้นรูปที่ง่ายและไม่ซับซ้อนเกินไป อุปกรณ์ที่ขึ้นรูปเสร็จแล้วต้องมีความคงทนต่อการใช้งานและสามารถประดิษฐ์ได้จำนวนมากในระยะเวลาอันสั้น วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปบนกระดาษก็ต้องสามารถหาซื้อได้ง่ายและไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์ขนาดใหญ่ในการขึ้นรูป การพิมพ์ด้วยน้ำหมึกฉีด (inject printing) และการพิมพ์ด้วยสีผง (wax screen printing) เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสูง อาทิ กลุ่มงานวิจัย Sameenoi et al. (2014) ได้พัฒนาเทคนิคการพิมพ์ด้วยสีผง ทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำ ราคาถูก ง่ายต่อการขึ้นรูปและใช้เวลาสั้น การขึ้นรูปอุปกรณ์แบบกระดาษประกอบด้วยสองขั้นตอนหลัก ขั้นตอนแรก คือ ออกแบบรูปแบบช่องการไหลที่ต้องการ และทำการพิมพ์สีผงลงบนกระดาษส่วนที่ต้องการให้เป็นบริเวณที่ไม่ชอบน้ำ โดยจะออกแบบให้เคลือบหรือพิมพ์ด้วยสีผงแข็ง (wax printer) ซึ่งมีขายกันทั่วไป ขั้นตอนที่สอง คือ นำกระดาษที่เคลือบสีผงแล้วนั้นวางลงบนแท่นให้ความร้อนเพื่อให้สีผงหลอมเหลวและซึมลงไปบนเนื้อกระดาษ ซึ่งจะทำให้เกิดบริเวณที่ชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำตามที่ผู้วิจัยออกแบบไว้

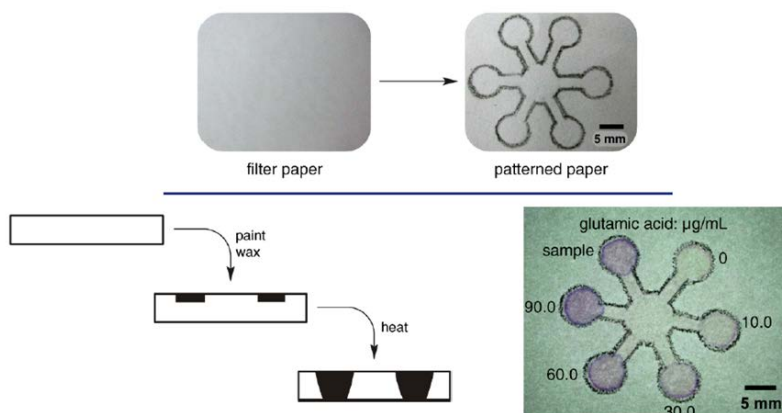
เส้นด้ายเป็นอีกวัสดุชนิดหนึ่งที่ได้รับการสนใจและถูกนำมาประยุกต์ในการสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ในการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางเช่นกัน เส้นด้ายเป็นวัสดุที่ไม่ต้องเสียเวลาขึ้นรูปหรือสร้างลวดลายเพื่อใช้ในการควบคุมการไหลของของไหล ดังนั้น อุปกรณ์วิเคราะห์แบบเส้นด้ายจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีราคาถูก พกพาสะดวก ใช้งานได้

ง่าย และสามารถนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการตรวจวัดอื่น ๆ เช่นเดียวกับอุปกรณ์แบบกระดาษ ตัวอย่างเช่น Reches et al. (2010) พัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์จุลภาคแบบเส้นด้าย (microfluidic thread-based analytical device;  $\mu$ PAD) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สารกลุ่มโปรตีน ไนไตรต์ และคีโตน ทั้งนี้ สารที่ใช้ในการวิเคราะห์จะถูกเคลือบไว้ที่ปลายของเส้นด้าย สารตัวอย่างสามารถไหลไปตามเส้นด้ายด้วยแรงแคปิลลารี โดยไม่ต้องอาศัยปั๊มภายนอกช่วยในการไหล อุปกรณ์วิเคราะห์จากเส้นด้ายนี้สามารถประยุกต์การตรวจวัดทางสีได้เป็นอย่างดี ให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง แม่นยำ และมีประสิทธิภาพเทียบเท่าอุปกรณ์วิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยไม่ต้องนำตัวอย่างไปตรวจที่โรงพยาบาลหรือสถานบริการทางการแพทย์

### การประยุกต์อุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายในด้านการศึกษา

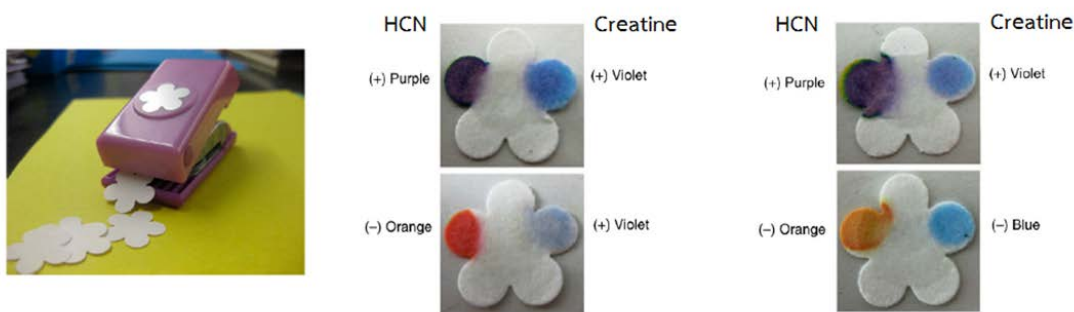
ในปัจจุบัน อุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายเริ่มถูกนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียนวิทยาศาสตร์ ทั้งโรงเรียนและมหาวิทยาลัยในประเทศที่กำลังพัฒนา ทั้งนี้ สาเหตุเกิดมาจากอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ที่ทันสมัย สารเคมี และห้องเรียนที่มีอยู่อย่างจำกัด จึงทำให้นักวิจัยทางการศึกษาบางส่วนได้พัฒนาปฏิบัติการอย่างง่ายเพื่อให้การจัดการกิจกรรมการเรียนรู้ในชั้นเรียนเป็นไปอย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม การเลือกใช้เทคนิคในการสร้างอุปกรณ์การวิเคราะห์บนกระดาษและเส้นด้ายก็ต้องพิจารณาจากหลายปัจจัย อาทิ ความพร้อมของอุปกรณ์ ราคาของวัสดุ ขั้นตอนการผลิต และการใช้ประโยชน์ได้จริงในห้องเรียน เป็นต้น

การใช้อุปกรณ์แบบกระดาษในห้องเรียนมีการเผยแพร่ในวารสาร Journal of Chemical Education ครั้งแรกโดยกลุ่มงานวิจัย Cai et al. (2012) ซึ่งได้สร้างอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษอย่างง่ายโดยใช้ปากกาขีดวงวาดวงกลมบนกระดาษกรองออกเป็น 6 แฉก แต่ละวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และมีช่องทางการไหลที่เชื่อมต่อกันที่วงกลมศูนย์กลาง จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ที่สร้างไปอบที่ 135 °C เป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งจะทำให้ขี้ผึ้งละลายและซึมเข้าสู่กระดาษเพื่อสร้างผนังช่องทางการไหล ดังแสดงในภาพที่ 1 อุปกรณ์นี้ถูกนำไปตรวจหากรดอะมิโนในสารสกัดจากชาด้วยสารละลายนินไฮดริน (ninhydrin) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ ผลิตขึ้นได้ง่ายและสามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้ห้องเรียนได้ การสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษอย่างง่ายนี้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณกรดอะมิโนได้อย่างดี และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสอนไมโครฟลูอิดิกในห้องเรียนหรือในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือจำกัด นักเรียนสามารถสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ที่เทียบเท่ากับเครื่องมือที่ราคาแพงได้ ผลจากการใช้อุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษในการวิเคราะห์กรดอะมิโนนี้แสดงให้เห็นว่า นักเรียนมีความกระตือรือร้นในการทดลองและนำผลที่ได้มาแลกเปลี่ยนความคิดเห็นกับเพื่อนในห้องเรียน จึงทำให้บรรยากาศการเรียนมีความสนุกสนาน ซึ่งช่วยให้นักเรียนมีความสนใจที่จะเรียนรู้วิชาการทำความเข้าใจบทเรียน และกล้าแสดงความคิดเห็นมากขึ้น

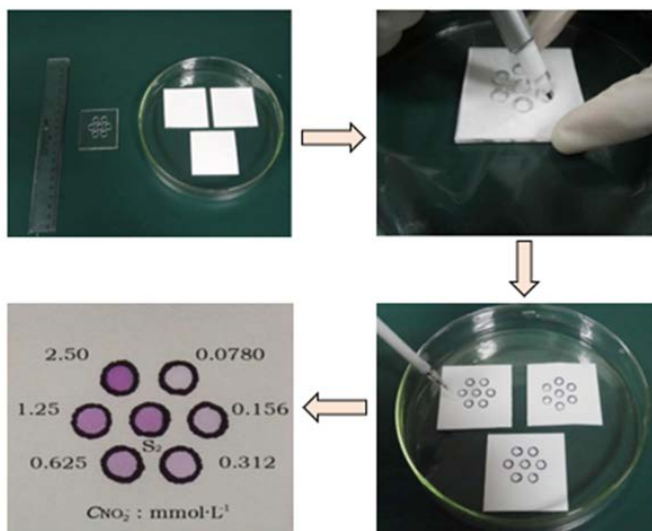


ภาพที่ 1 (บน) โชนวงกลมออกเป็น 6 แฉกบนกระดาษกรอง; (ล่าง) ขี้ผึ้งละลายและซึมเข้าสู่กระดาษเพื่อตรวจหาปริมาณกรดอะมิโนในสารสกัดจากชาด้วยสารละลายนินไฮดริน (Cai et al., 2012)

Ravgiala et al. (2014) ได้ออกแบบอุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษซึ่งสร้างขึ้นได้ง่ายโดยใช้เครื่องเจาะแถบกระดาษให้เป็นรู (scrapbook punch) ที่เป็นรูปแบบพิเศษคล้ายใบไม้ 5 แฉก อุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษอย่างง่ายนี้ถูกนำไปใช้ในการเรียนรู้สำหรับนักเรียนมัธยมศึกษาเพื่อเป็นต้นแบบของการตรวจพิสูจน์หลักฐานทางนิติเวช วิทยาควบคู่กับการวิเคราะห์ทางสี ดังแสดงในภาพที่ 2 สารต้นแบบของการสืบสวนทางนิติเวชวิทยาในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (hydrogen cyanide; HCN) และ ครีเอทีน (creatine) ทั้งนี้ ไฮโดรเจนไซยาไนด์ เป็นสารพิษที่พบได้ทั่วไปทั้งในพืชและอุตสาหกรรมหลายชนิด ส่วนครีเอทีนเป็นหนึ่งในอาหารเสริมที่กลุ่มผู้รักสุขภาพ และผู้ที่ต้องการสร้างกล้ามเนื้อ การวิเคราะห์ทางสีทำได้โดยหยดยูนิเวอร์แซลอินดิเคเตอร์ (universal indicator) กับ สารไบยูเรต (biuret reagent) ที่ละลายแฉกของกระดาษแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง เมื่อนำสารตัวอย่างมาหยดแล้วทิ้งไว้ ประมาณ 5-10 นาที ก็จะปรากฏสีซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า จากการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ นักเรียนรู้สึกสนุก กับอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษนี้อย่างมากและได้เรียนรู้การสืบสวนทางนิติเวชวิทยาเบื้องต้นในห้องเรียน



ภาพที่ 2 (ซ้าย) เครื่องเจาะแถบกระดาษให้เป็นรู (scrapbook punch) ที่เป็นรูปแบบพิเศษคล้ายใบไม้รูป 5 แฉก; (ขวา) การวิเคราะห์ทางสีเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสืบสวนทางนิติเวชวิทยา (Ravgiala et al., 2014)



ภาพที่ 3 สร้างชุดการทดลองไมโครพลูอิดิกส์แบบกระดาษด้วยปากกามาร์คเกอร์เคมีชนิดถาวรเพื่อใช้หาปริมาณ ไนเตรตไอออน ( $\text{NO}_2^-$ ) (Wang et al., 2015)

Wang et al. (2015) ได้สร้างชุดการทดลองไมโครพลูอิดิกส์แบบกระดาษด้วยปากกามาร์คเกอร์เคมีชนิดถาวร (permanent marker pen) เพื่อใช้หาปริมาณไนเตรตไอออน ( $\text{NO}_2^-$ ) โดยวิธีการตรวจวัดทางสี ชุดการทดลองแบบกระดาษมีขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรก ตัดกระดาษกรองขนาด  $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$  จากนั้น วาดรูปวงกลมจำนวน 7 วง ด้วยปากกามาร์คเกอร์เคมีชนิดถาวร ขั้นตอนต่อมา หยดอินดิเคเตอร์ซึ่งประกอบด้วย *p*-amino benzenesulfonamide และ *N*-(1-naphthyl)ethylenediamine ลงในช่องวงกลม แล้วทิ้งไว้แห้งในที่มืดเป็นเวลา

ประมาณ 20 นาที ขึ้นตอนสุดท้าย หยดสารละลายโซเดียมไนไตรต์มาตรฐานความเข้มข้น 0.0780, 0.156, 0.312, 0.625, 1.25 และ 2.50 mmol·L<sup>-1</sup> แล้วทิ้งไว้ในที่มีดประมาณ 2 นาที ก็จะปรากฏสีซึ่งสามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่า แต่ละวงกลมจะความเข้มของสีที่แตกต่างกันตามความเข้มข้นของไนไตรต์ ทั้งนี้ นักเรียนสามารถใช้สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้ในการอ่านความเข้มสีเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตไอออนในสารละลายตัวอย่างทันทีโดยไม่ต้องพึ่งพาอุปกรณ์ขนาดใหญ่ ขึ้นตอนในการสร้างชุดการทดลองไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษด้วยปากกามาร์คเกอร์เคมีชนิดถาวรเพื่อใช้หาปริมาณไนเตรตไอออนและปฏิกิริยาที่ใช้ในการตรวจวัดไนเตรตไอออนแสดงในภาพที่ 3 อุปกรณ์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ ผลิตขึ้นได้ง่าย สามารถนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ให้ห้องเรียนและสามารถนำไปตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตไอออนในอาหารได้

Chatmontree et al. (2015) ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์สาธิตการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบกระดาษอย่างง่ายเพื่อศึกษาปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า อุปกรณ์แบบกระดาษถูกออกแบบเป็นโซนรูปวงกลม 6 แฉก จากนั้น สร้างระบบช่องทางการไหลโซนวงกลมทั้ง 6 แฉก แต่ละวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm และมีช่องทางการไหลที่เชื่อมต่อกันที่วงกลมศูนย์กลาง จากนั้น สร้างผนังในระบบช่องทางการไหลด้วยวิธีการอย่างง่ายโดยการเขียนซีพิ้งจากเทียนไขและนำอุปกรณ์ที่สร้างไปอังบนเตาให้ความร้อน เป็นเวลา 30 วินาที ซึ่งจะทำให้ซีพิ้งละลายและซึมเข้าสู่กระดาษเพื่อสร้างผนังช่องทางการไหล แต่ละช่องทางการไหลจะถูกฝังด้วยแผ่นโลหะที่แตกต่างกัน 6 ชนิด ได้แก่ สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe) ตะกั่ว (Pb) เงิน (Ag) และดีบุก (Sn) ตามลำดับ พร้อมหยดสารละลายไอออนตัวเดียวกันกับชนิดแผ่นโลหะที่ช่องโซนวงกลม อาทิ ในช่องโลหะทองแดง (Cu) ก็จะหยดด้วยสารละลายคอปเปอร์(II) ซัลเฟต (CuSO<sub>4</sub>) เป็นต้น ส่วนวงกลมศูนย์กลางให้หยดด้วยสารละลายโพแทสเซียมไนเตรท (KNO<sub>3</sub>) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสะพานเกลือ (salt bridge) ที่เชื่อมแต่ละครึ่งเซลล์เข้าด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 4 จากนั้นทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของคู่เซลล์ที่ต้องการศึกษาโดยใช้มัลติมิเตอร์ (multimeter) นอกจากนี้ การใช้ภาพแทน (sub-microscopic representation) ยังเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้ อุปกรณ์สาธิตการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบกระดาษอย่างง่ายนี้ถูกนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ เรื่อง เซลล์กัลวานิกในเคมีไฟฟ้าตั้งแต่ระดับมัธยมศึกษาจนถึงระดับมหาวิทยาลัยได้

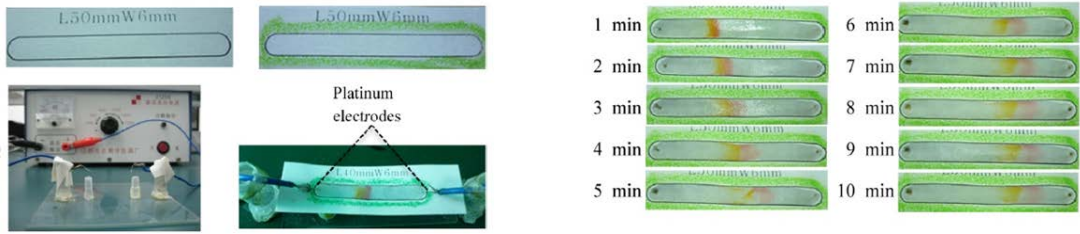


ภาพที่ 4 (ซ้าย) อุปกรณ์สาธิตการทดลองเซลล์กัลวานิกแบบกระดาษอย่างง่าย; (ขวา) การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของคู่เซลล์และการใช้ภาพแทน sub-microscopic representation อธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (Chatmontree et al., 2015)

Xu et al. (2016) ได้พัฒนาอุปกรณ์สาธิตการทดลองอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบกระดาษอย่างง่ายเพื่อใช้แยกสารสีสังเคราะห์ที่มีมวลโมเลกุลสูง อุปกรณ์สาธิตการทดลองอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบกระดาษถูกออกแบบให้เป็นทางตรงและมีขนาดเล็ก โดยมีความกว้าง 6 มิลลิเมตร ยาว 50 มิลลิเมตร จากนั้น สร้างระบบช่องทางการไหลด้วยการเขียนด้วยซีพิ้ง ต่อมาก็นำไปเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์แบบกระดาษที่มีแผ่นโลหะแพลตินัม (platinum) เป็นขั้วไฟฟ้า

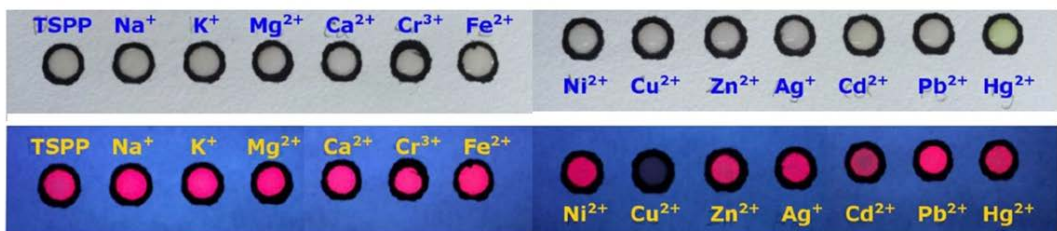


สุดท้ายหยุดสารละลายผสมที่ประกอบไปด้วย carmine และ sunset yellow แล้วใช้ความต่างศักย์ 250 โวลต์ เพื่อแยกสารสีสังเคราะห์ออกจากกัน อุปกรณ์สาธิตการทดลองอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบกระดาษอย่างง่ายนี้สามารถแยก carmine และ sunset yellow ออกจากกันโดยใช้เวลาที่ประมาณ 6-10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 (ซ้าย) อุปกรณ์สาธิตการทดลองอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบกระดาษอย่างง่าย; และ (ขวา) การแยก carmine และ sunset yellow ออกจากกันในช่วงเวลา 1-10 นาที (Xu et al., 2016)

Prabpal et al. (2017) ได้พัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษอย่างง่ายเพื่อใช้วิเคราะห์โลหะหนักด้วย tetrakis(4-sulfonatophenyl)porphyrin (TSPP) ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบพorphyrin เมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ผลผลิตของ TSPP ที่ได้มีค่าเท่ากับ 45% ซึ่งเพียงพอเพียงสำหรับการนำไปประยุกต์เป็นรีเอเจนต์บนอุปกรณ์แบบกระดาษอย่างง่ายเพื่อใช้วิเคราะห์โลหะหนักคู่กับการตรวจวัดทางสี เบื้องต้นนำหลอดทดลองที่บรรจุสารละลายโลหะชนิดต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ag^+$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  และ  $Hg^{2+}$  เพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงทั้งการสังเกตสีด้วยตาเปล่าและการวัดแสงฟลูออเรสเซนซ์ เมื่อเปรียบเทียบกับไอออนชนิดอื่น ๆ ไอออน  $Hg^{2+}$  และ  $Cd^{2+}$  ให้ผลการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าและทางฟลูออเรสเซนซ์ที่ในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตาม ไอออน  $Cu^{2+}$  ให้ผลการเปลี่ยนแปลงทางฟลูออเรสเซนซ์ที่ชัดเจนที่สุด ผลการทดสอบในหลอดทดลองสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงทั้งทางสีด้วยตาเปล่าและทางฟลูออเรสเซนซ์หลังจากที่หยุดสารละลาย TSPP ในช่องวงกลมสำหรับทดสอบ (test zone) บนอุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 6 ดังนั้น งานวิจัยนี้มีประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการและยังสามารถนำอุปกรณ์แบบกระดาษอย่างง่ายนี้ไปปรับใช้ในการเรียนการสอนหัวข้ออื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ อาทิ การทดลองที่เกี่ยวข้องกับการตรวจหาโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในน้ำที่ใช้ในชีวิตประจำวันและสิ่งแวดล้อมรอบตัว เช่น น้ำดื่มที่จำหน่ายตามท้องตลาด น้ำจากน้ำบาดาล หรือน้ำจากแม่น้ำ ลำคลอง เป็นต้น

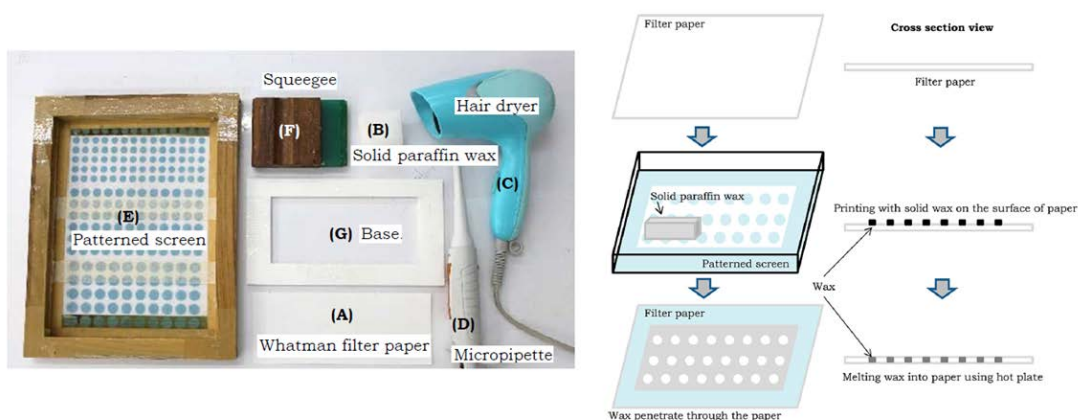


ภาพที่ 6 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงทางสีที่สังเกตด้วยตาเปล่าและทางฟลูออเรสเซนซ์แบบกระดาษอย่างง่าย (Prabpal et al., 2017)

Namwong et al. (2018) ได้สร้างชุดอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษด้วยเทคนิคการพิมพ์สกรีนเพื่อจัดการเรียนรู้ทางเคมี เรื่อง สารกำหนดปริมาณ (limiting reagent) โดยใช้ปฏิกิริยากรด-เบส สำหรับนักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ในงานวิจัยนี้ นักเรียนได้ลงมือประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์กระดาษด้วยตนเอง อุปกรณ์สาธิตและขั้นตอนในการสร้างการทดลองแบบกระดาษอย่างง่ายแสดงดังภาพที่ 7 ปฏิกิริยากรด-เบส ที่ใช้ในการศึกษาสารกำหนดปริมาณประกอบด้วย 3 ปฏิกิริยา ได้แก่ ปฏิกิริยาระหว่าง  $Na_2CO_3$  กับ  $CH_3COOH$ ,  $NaHCO_3$

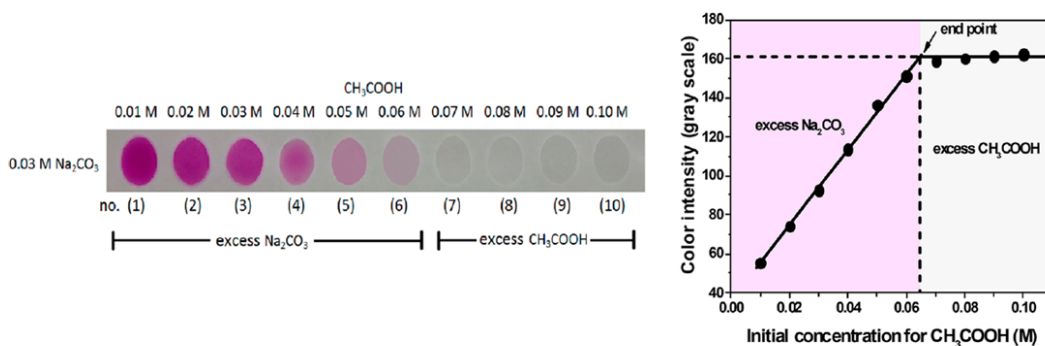


กับ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และ  $\text{NaOH}$  กับ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ตามลำดับ ปฏิกริยาทั้งหมดนี้ใช้ฟีนอล์ฟทาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ในการสังเกตการเปลี่ยนสี



ภาพที่ 7 (ซ้าย) อุปกรณ์สาริตที่จำเป็นสำหรับการสร้างการทดลองแบบกระดาษอย่างง่าย และ (ขวา) ขั้นตอนในการสร้างการทดลองแบบกระดาษอย่างง่าย (Namwong et al., 2018)

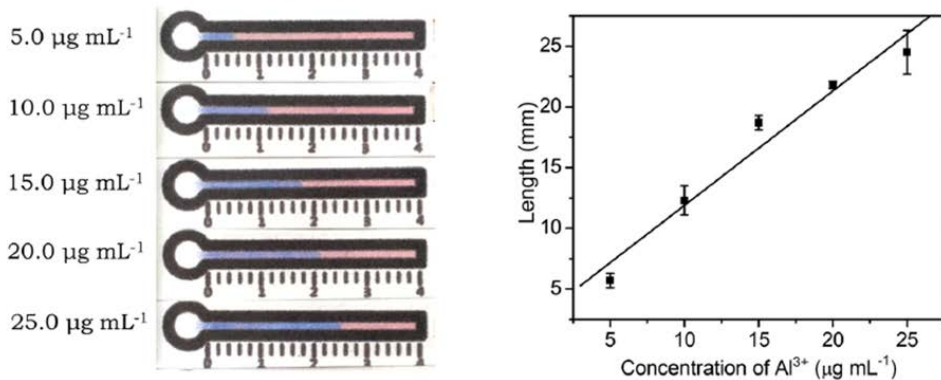
เมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลาย  $0.03 \text{ M Na}_2\text{CO}_3$  ในช่องวงกลมสำหรับทดสอบ (test zone) ในแต่ละช่องคองที่ จากนั้น หยดสารละลาย  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ลงแต่ละในช่องวงกลมโดยเปลี่ยนความเข้มข้นตั้งแต่  $0.01$  ถึง  $0.10 \text{ M}$  ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า นักศึกษาสามารถทำการทดลองโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบกระดาษเพื่อระบุสารกำหนดปริมาณ (limiting reagent) และสารมากเกินพอ (excess reagent) ได้อย่างถูกต้องโดยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางสีด้วยตาเปล่า ผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการวิเคราะห์ความเข้มของสี (สีเทา) ด้วยโปรแกรม ImageJ (ImageJ software, 2021) ดังแสดงในภาพที่ 8 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนรู้ เรื่อง สารกำหนดปริมาณโดยใช้อุปกรณ์สาริตการทดลองแบบกระดาษอย่างง่ายนี้มีส่วนช่วยส่งเสริมให้นักเรียนมีความเข้าใจในแนวคิดสารกำหนดปริมาณจากปฏิกริยาระหว่าง-เบส ได้ นักเรียนมีคะแนนหลังสอบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 8 (ซ้าย) อุปกรณ์แบบกระดาษเพื่อศึกษาสารกำหนดปริมาณจากปฏิกริยาระหว่าง  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  กับ  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ; (ขวา) การวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการวิเคราะห์ความเข้มของสี (สีเทา) ด้วยโปรแกรม ImageJ (Namwong et al., 2018)

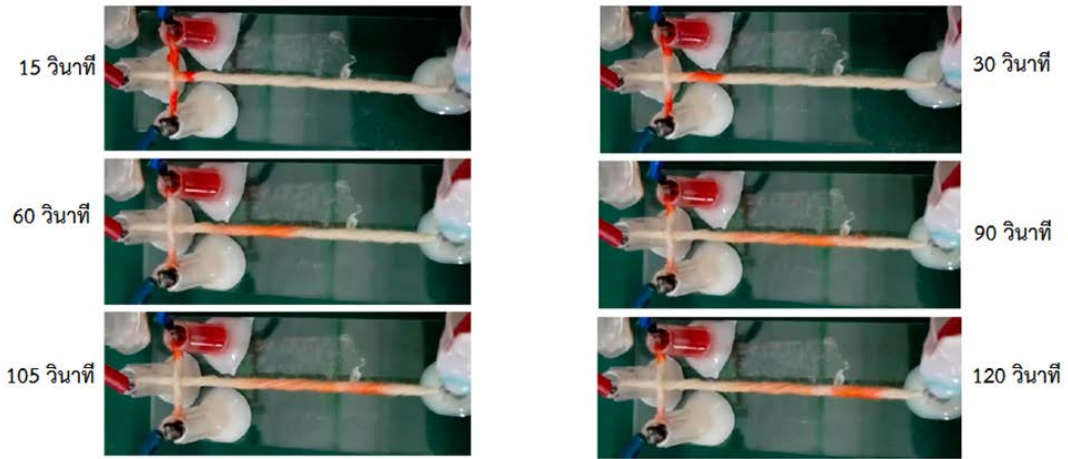
Lai et al. (2020) ได้พัฒนาอุปกรณ์วิเคราะห์แบบกระดาษด้วยการวัดระยะทางซึ่งสามารถสังเกตเห็นสีได้ด้วยตาเปล่าเพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณอลูมิเนียมไอออน ( $\text{Al}^{3+}$ ) ในยาลดกรด การขึ้นรูปอุปกรณ์อาศัยการพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์แว็กซ์ (wax printer) อุปกรณ์กระดาษนี้มีลักษณะคล้ายปรอทโดยมีช่องวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นช่องสำหรับหยดสารละลายตัวอย่าง (sample zone) และสร้างช่องทางการไหลขนาด  $2 \times 40$

มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำอุปกรณ์ที่สร้างไปอบที่ 120 °C เป็นเวลา 90 วินาที ซึ่งจะทำให้ขี้ผึ้งละลายและซึมเข้าสู่กระดาษเพื่อสร้างผนังช่องทางการไหล การตรวจวัดจะอาศัยการสร้างสารเชิงซ้อนที่มีจากปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมไอออน กับสารให้สีซึ่งเป็นของผสมระหว่าง chrome azurol S (CAS) และ cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) สร้างกราฟมาตรฐานโดย นำสารละลายอลูมิเนียมไอออน ความเข้มข้น 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ 25.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  หยดลงในช่องวงกลมสำหรับทดสอบ จากนั้น อลูมิเนียมไอออนที่ไหลไปตามช่องทางการไหลจะทำปฏิกิริยากับสารให้สี และให้สีน้ำเงินซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยการกราฟสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของอลูมิเนียมไอออน กับระยะทางของสีน้ำเงินที่วัดได้ ดังแสดงในภาพที่ 9 นักเรียนมีความพอใจต่ออุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษด้วยการวัดระยะทางเป็นอย่างยิ่งเพราะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณอลูมิเนียมไอออน ( $\text{Al}^{3+}$ ) ในยาลดกรดได้



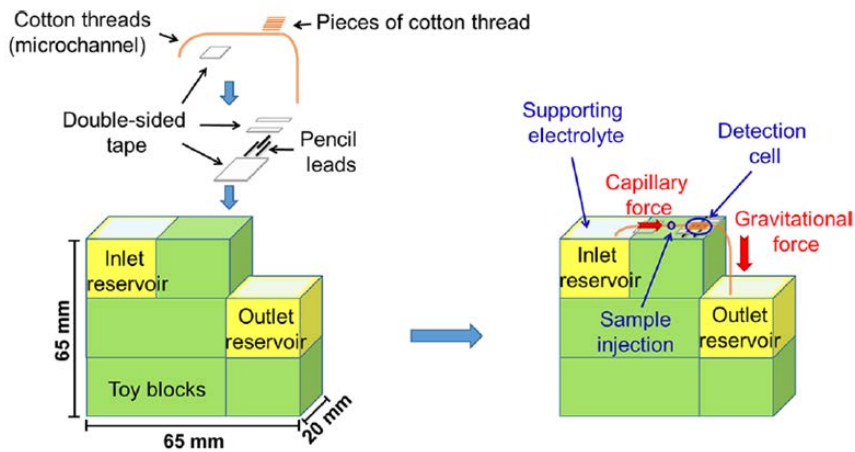
ภาพที่ 9 (ซ้าย) อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบกระดาษด้วยการวัดระยะทาง; (ขวา) กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของอลูมิเนียมไอออน ( $\text{Al}^{3+}$ ) กับระยะทางของสีน้ำเงิน (Lai et al., 2020)

นอกจากอุปกรณ์แบบกระดาษแล้ว อุปกรณ์แบบเส้นด้ายก็สามารถนำไปประยุกต์ในด้านการเรียนการสอนด้วยเช่นกัน ในปี 2018 กลุ่มงานวิจัย Xu et al. (2018) ตีพิมพ์ผลงานลงวารสาร Journal of Chemical Education ครั้งแรก โดยการนำเส้นด้ายมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์การทดลองอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้แยกสารสีสังเคราะห์ที่มีมวลโมเลกุลสูงในสีผสมอาหาร วัสดุที่จำเป็นสำหรับการสร้างอุปกรณ์แบบเส้นด้ายและตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองอิเล็กทรอนิกส์แสดงในภาพที่ 10 เมื่อเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (power supply) และให้ความต่างศักย์ที่เหมาะสมแก่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง อุปกรณ์แบบเส้นด้ายนี้สามารถแยกสารสีสังเคราะห์ที่มีมวลโมเลกุลสูง ได้แก่ carmine และ sunset yellow ออกจากกันได้ภายในเวลา 2 นาที เนื่องด้วยอุปกรณ์การทดลองอิเล็กทรอนิกส์อย่างง่ายนี้มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ มีต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการขึ้นรูป และง่ายต่อการใช้งาน อุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์แบบเส้นด้ายนี้จึงถูกนำไปใช้ในการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาระดับมหาวิทยาลัย จากการสังเกตในห้องปฏิบัติการ นักศึกษาสามารถสร้างอุปกรณ์การทดลองอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตนเอง ดังนั้น อุปกรณ์การทดลองอิเล็กทรอนิกส์นี้ทำให้นักศึกษามีความรู้ที่สนุกสนานในการเรียนรู้ในห้องปฏิบัติการเพราะผลการทดลองสามารถสังเกตได้ง่ายบนเส้นด้าย ซึ่งมีส่วนช่วยกระตุ้นความสนใจในการเรียนรู้วิชาในกลุ่มสาขาเคมีวิเคราะห์ในหัวข้อเคมีไฟฟ้าจากการแยกสารด้วยเทคนิคอิเล็กโตรโฟรีซิส



ภาพที่ 10 อุปกรณ์สาธิตการทดลองอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้แยกสารสีสังเคราะห์ที่มีมวลโมเลกุลสูงในสีผสมอาหารที่มีมวลโมเลกุลสูงในสีผสมอาหารในช่วงเวลา 120 วินาที (Xu et al., 2018)

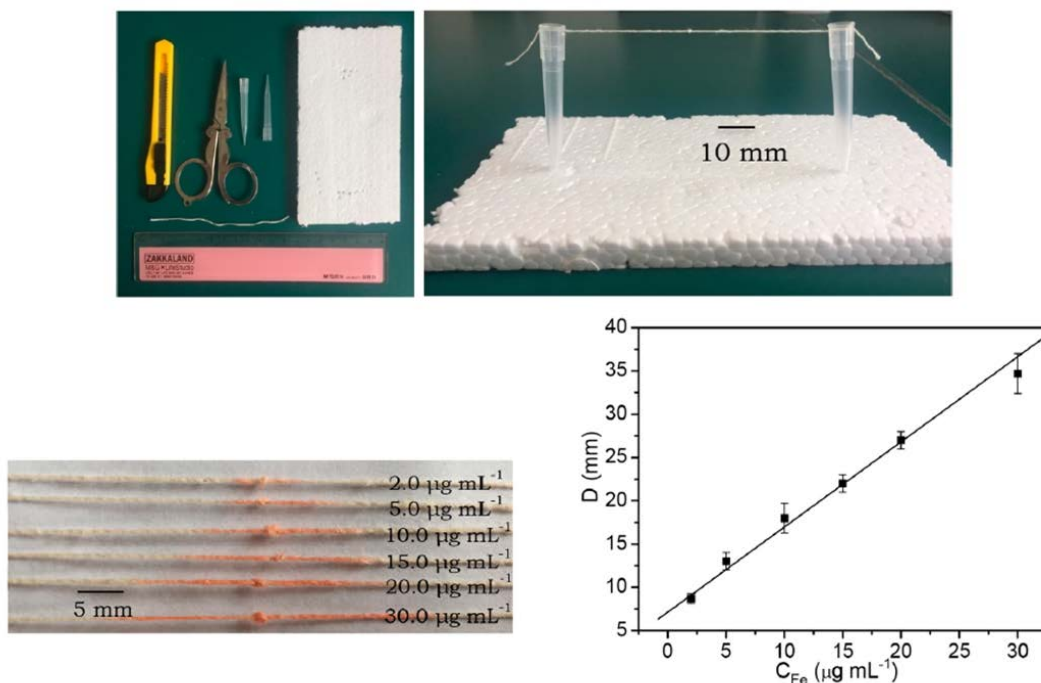
Agustini et al. (2018) ได้นำเอาเส้นด้ายมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า อย่างง่ายที่มีต้นทุนต่ำ วัสดุที่นำมาสร้างอุปกรณ์ประกอบด้วยบล็อกของเล่น เทปสองหน้า ไม้ดินสอด และเส้นด้ายจากฝ้าย การไหลของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ อาศัยแรงแคปิลลารี ควบคุมกับแรงโน้มถ่วงของโลก ดังแสดงในภาพที่ 11 อุปกรณ์นี้มีราคาประมาณ 33 บาท/ชุด ให้ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ที่ดีเทียบเท่ากับเครื่องมือทางเคมีไฟฟ้าขนาดใหญ่ในห้องปฏิบัติการ นักศึกษาสามารถวิเคราะห์หาปริมาณตัวอย่างที่สนใจ อาทิ กรดแอสคอร์บิก (ascorbic acid) ได้ด้วยอุปกรณ์นี้ งานวิจัยนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเรียนสอนในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ด้วยเคมีไฟฟ้าในระดับปริญญาตรีได้



ภาพที่ 11 (ซ้าย) วัสดุที่นำมาสร้างอุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าไมโครฟลูอิดิกส์ และ (ขวา) หลักการทำงานอาศัยอาศัยแรงแคปิลลารีควบคุมกับแรงโน้มถ่วงของโลก (Xu et al., 2018)

Cai et al. (2019) ได้นำเอาเส้นด้ายจากฝ้ายมาพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์ด้วยการวัดระยะทางซึ่งสามารถสังเกตเห็นสีได้ด้วยตาเปล่าเพื่อใช้ในการตรวจวัดปริมาณเหล็กไอออน ( $Fe^{2+}$ ) วัสดุที่จำเป็นสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์เส้นด้ายด้วยการวัดระยะทางและตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์สาธิตการทดลองแสดงในภาพที่ 12 ขั้นตอนการจัดวางอุปกรณ์ทำได้โดยการนำเส้นด้ายมาซึ่งไว้บนไมโครปิเปต (micropipette) ที่ปักหมุดไว้บนฐานโฟม เส้นฝ้ายดังกล่าวจะถูกมัดเป็นปม (knot) ไว้ตรงกลาง จากนั้นทำการหยด

สารละลาย 1,10-phenanthroline ลงบนเส้นด้ายแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง จากนั้นหยดสารละลาย  $\text{Fe}^{2+}$  ความเข้มข้น 2.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 และ 30.0  $\mu\text{g mL}^{-1}$  ลงบนปมไว้ตรงกลางของเส้นด้าย สารละลาย  $\text{Fe}^{2+}$  ที่ไหลไปตามเส้นด้าย จะทำปฏิกิริยากับ 1,10-phenanthroline ที่เคลือบอยู่บนเส้นด้าย เกิดสีแดงขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าก็ทำการวัดความยาวของแถบสีด้วยไม้บรรทัดเพื่อนำไปสร้างกราฟมาตรฐาน ชุดการทดลองนี้มีข้อดีคือใช้งานง่าย มีต้นทุนต่ำ ขึ้นรูปง่าย และลดการใช้สารเคมีในห้องปฏิบัติการ การทดลองนี้สามารถจัดเป็นปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ  $\text{Fe}^{2+}$  ชั่วโมงปฏิบัติการ 3 ชั่วโมง ผู้วิจัยนำการทดลองนี้ไปใช้ในการเรียนรู้อัตโนมัติระดับปริญญาตรี 7 ภาคเรียน พบว่านักศึกษาที่มีความสนุกกับการประดิษฐ์อุปกรณ์วิเคราะห์แบบเส้นด้ายและมีความพอใจต่ออุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์แบบเส้นด้ายนี้สามารถนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ  $\text{Fe}^{2+}$  ในตัวอย่างได้จริง



ภาพที่ 12 (บน) วัสดุที่จำเป็นสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจวิเคราะห์ไมโครฟลูอิดิกส์เส้นด้ายด้วยการวัดระยะทาง และตัวอย่างการติดตั้งอุปกรณ์สาธิตการทดลอง; (ล่าง) แถบสีบนเส้นด้ายและกราฟมาตรฐานที่พล็อตระหว่างความเข้มข้นของ  $\text{Fe}^{2+}$  กับระยะที่วัดได้ (Cai et al., 2019)

### สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายสำหรับห้องเรียนเคมี อุปกรณ์อย่างง่ายที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในการเรียนรู้ทั้งการสาธิตทดลองในห้องบรรยายและการทดลองในห้องปฏิบัติการสำหรับเรียนรู้เนื้อหาเคมีอย่างมากมาย อาทิ สารกำหนดปริมาณ กรด-เบส และเคมีไฟฟ้า เป็นต้น ทั้งนี้ อุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายยังสามารถนำไปประยุกต์ควบคู่กับการตรวจวัดด้วยวิธีการอื่น เช่น การตรวจวัดทางสี การตรวจวัดด้วยกระแสไฟฟ้า การตรวจวัดทางฟลูออเรสเซนซ์ และการตรวจวัดด้วยระยะทาง นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์สารทางนิติเวชวิทยาที่เกี่ยวข้องในชีวิตประจำวันได้ เช่น การตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน การตรวจวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตไอออน และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก เป็นต้น เนื่องด้วยข้อดีหลายประการ เช่น ต้นทุนที่ต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็ก พกพาสะดวก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดการใช้สารเคมี สามารถตรวจวิเคราะห์สารได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญทดสอบและไม่ต้องพึ่งเครื่องมือวิเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่ตอบโจทย์งานวิจัยในอนาคตได้เป็นอย่างดี

ในปัจจุบัน การพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายสำหรับการนำไปใช้ในการจัดการเรียนรู้ในห้องเรียน ยังมีน้อยและยังไม่แพร่หลายเท่าที่ควร ดังนั้น การทบทวนการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายในบทความนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยสร้างแรงบันดาลใจสำหรับ นิสิต/นักศึกษาวิชาชีพ ครูประจำการและนักวิจัยวิทยาศาสตร์ศึกษาที่จะศึกษา ค้นคว้า รวบรวมและต่อยอดการพัฒนาอุปกรณ์แบบกระดาษและเส้นด้ายอย่างง่ายเพื่อเป็นสื่อการสอนสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งในห้องบรรยายและในห้องปฏิบัติการเคมีในโรงเรียนต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ และแสดงความรู้ขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อผู้วิจัย และกลุ่มทีมงานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศที่พวกท่านได้ทุ่มเทแรงกายแรงใจในการทำงาน ในการคิดค้น และต่อยอดงานวิจัยที่ได้ออกมา งานวิจัยต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นมีคุณค่าอย่างมากต่อครู ต่อผู้เรียนนักศึกษาหรือนักวิจัยรุ่นใหม่ เพราะงานวิจัยเหล่านี้ได้เป็นแนวทางเพื่อแก้ไขปัญหาให้ผู้เรียน หรือครูได้มีวิธีการสอนที่มีชุดการสอนที่สะดวก ที่ง่ายตายที่แม้กระทั่งที่ครูที่สอนอยู่เขตห่างไกลยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในห้องเรียนของตนเอง

ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงต่อวิทยาลัย ครูสะหวันนะเขต ประเทศลาว และแผนงานการปรับปรุงคุณภาพและขยายโอกาสเข้าเรียนสำหรับการศึกษาระดับพื้นฐานใน สปป.ลาว (Basic Education Quality and Access in Lao PDR , Australian aid) ที่ให้โอกาสและให้ทุนสนับสนุน

### เอกสารอ้างอิง

- Agustini, D., Bergamini, M. F., and Marcolino-Junior, L. H. (2018). Simple and inexpensive microfluidic thread based device for teaching microflow injection analysis and electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 95(8), 1411-1414.
- Bruzewicz, D. A., Reches, M., & Whitesides, G. M. (2008). Low-cost printing of poly (dimethylsiloxane) barriers to define microchannels in paper. *Analytical chemistry*, 80(9), 3387-3392.
- Cai, L., Wu, Y., Xu, C., and Chen, Z. (2012). A simple paper-based microfluidic device for the determination of the total amino acid content in a tea leaf extract. *Journal of Chemical Education*, 90(2), 232-234.
- Cai, L., Zhang, X., Luo, L., Lin, H., Chen, J., Xu, C., Zhong, M., and Liao, X. (2019). Visual quantification of Fe on cotton thread using a ruler. *Journal of Chemical Education*, 96(7), 1532-1535.
- Chatmontree, A., Chairam, S., Supasorn, S., Amatatongchai, M., Jarujamrus, P., Tamuang, S., and Somsook, E. (2015). Student fabrication and use of simple, low-cost, paper-based galvanic cells to investigate electrochemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(6), 1044-1048.
- ImageJ software. (2021) <https://imagej.nih.gov/ij/> (accessed Nov. 2021).
- Kajornklin, P., Jarujamrus, P., Phanphon, P., Ngernpradab, P., Supasorn, S., Chairam, S., Amatatongchai, M. (2020). Fabricating a low-cost, simple, screen-printed paper towel-based experimental device to demonstrate the factors affecting chemical equilibrium and chemical equilibrium constant,  $K_c$ . *Journal of Chemical Education*, 97(7), 1984-1991.
- Lai, H., Li, Z., Zhu, S., Cai, L., Xu, C., and Zhou, Q. (2020). Naked-Eye detection of aluminum in gastric drugs on a paper-based analytical device. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 295-299.

- Mahadeva, S. K., Walus, K., and Stoeber, B. (2015). Paper as a platform for sensing applications and other devices: a review. **ACS Applied Materials and Interfaces**, 7(16), 8345-8362.
- Martinez, A. W., Phillips, S. T., Butte, M. J., and Whitesides, G. M. (2007). Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays. **Angewandte Chemie International Edition**, 46(8), 1318-20.
- Namwong, P., Jarujamrus, P., Amatatongchai, M., and Chairam, S. (2018). Fabricating simple wax screen-printing paper-based analytical devices to demonstrate the concept of limiting reagent in acid–base reactions. **Journal of Chemical Education**, 95(2), 305-309.
- Naksen, P., Saisui, P., Chomphu, T., Chaksuma, W., Anutrasakda, W. and Jarujamrus, P. (2021). Barcode-like paper sensor for water hardness detection. **Journal of Science and Science Education**, 4(1), 51-61.
- Nilghaz, A., Liu, X., Ma, L., Huang, Q., and Lu, X. (2019). Development of fabric-based microfluidic devices by wax printing. **Cellulose**, 26(5), 3589-3599.
- Prabpal, J., Vilaivan, T., and Praneenarat, T. (2017) Paper-based heavy metal sensors from the concise synthesis of an anionic porphyrin: a practical application of organic synthesis to environmental chemistry. **Journal of Chemical Education**, 94(8), 1137–1142.
- Ravgiala, R. R., Weisburd, S., Sleeper, R., Martinez, A., Rozkiewicz, D., Whitesides, G. M., Hollar, K. A. (2014). Using Paper-based diagnostics with high school students to model forensic investigation and colorimetric analysis. **Journal of Chemical Education**, 91(1), 107-111.
- Reches, M., Mirica, K. A., Dasgupta, R., Dickey, M. D., Butte, M. J. and Whitesides, G. M. (2010). Thread as a matrix for biomedical assays. **ACS Applied Materials & Interfaces**, 2, (6) 1722-1728.
- Sameenoi, Y., Nongkai, P. N., Nouanthavong, S., Henry, C. S., and Nacapricha, D. (2014). One-step polymer screen-printing for microfluidic paper-based analytical device ( $\mu$ PAD) fabrication. **Analyst**, 139(24), 6580-6588.
- Xu, C., Cai, L., Zhong, M., and Zheng, S. (2015). Low-cost and rapid prototyping of microfluidic paper-based analytical devices by inkjet printing of permanent marker ink. **RSC Advances**, 5(7), 4770-4773.
- Xu, C., Lin, W., Cai, L. (2016). Demonstrating electrophoretic separation in a straight paper channel delimited by a hydrophobic wax barrier. **Journal of Chemical Education**, 93(5), 903-905.
- Xu, C., Jiang, D., Lin, J., and Cai, L. (2018). Cross channel thread-based microfluidic device for separation of food dyes. **Journal of Chemical Education**, 95(6), 1000-1003.
- Zhang, Y., Zhou, C., Nie, J., Le, S., Qin, Q., Liu, F., Li, Y., and Li, J. (2014). Equipment-free quantitative measurement for microfluidic paper-based analytical devices fabricated using the principles of movable-type printing. **Analytical chemistry**, 86(4), 2005-2012.
- Wang, B., Lin, Z., and Wang, M. (2015). Fabrication of a paper-based microfluidic device to readily determine nitrite ion concentration by simple colorimetric assay. **Journal of Chemical Education**, 92(4), 733-736.





บทความวิชาการ

## ปัญหาและความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์: การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ประสบความสำเร็จ

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ<sup>1\*</sup> และอรุณ ขาญชัยเขาวีวัฒน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาชีววิทยา และหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 10110

<sup>2</sup>สาขาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา กรุงเทพฯ 10600

\*Email: somkiatp@gs.swu.ac.th

รับบทความ: 20 ธันวาคม 2564 แก้ไขบทความ: 9 กุมภาพันธ์ 2565 ยอมรับตีพิมพ์: 11 กุมภาพันธ์ 2565

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันมีการปรับสมดุลใหม่ที่ผู้สอนและผู้เรียนต้องปรับตัวให้ทันสถานการณ์อยู่เสมอ โดยเฉพาะสถานการณ์โควิด-19 ซึ่งมีผลต่อการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ปัญหาสำคัญในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ คือ เนื้อหาวิทยาศาสตร์มีทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ส่วนที่เป็นนามธรรมไม่สามารถจัดการเรียนรู้โดยใช้การบรรยายแบบปกติได้ ต้องหาวิธีจัดการเรียนรู้โดยแสดงลักษณะที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าให้ออกมาเป็นสิ่งที่อธิบายได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ อย่างเข้าใจ นอกจากนี้สิ่งที่มีปัญหามากที่สุดในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์คือ “การทำปฏิบัติการ” การใช้เฉพาะปฏิบัติการที่อยู่บนออนไลน์หรือกิจกรรมที่ไม่ได้ทำการทดลอง ส่วนใหญ่ได้เพียงทำให้ผู้เรียนจดจำภาพที่เกิดขึ้นจากการสังเกตในสื่อวีดิทัศน์ ใช้กิจกรรมลงมือปฏิบัติแบบแห้ง (dry practical) หรือด้วยเทคนิคการจำลอง (simulation) ต่าง ๆ ก็อาจไม่เท่าเทียมกับการปฏิบัติการจริง บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจปัญหาของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์และสร้างความท้าทายในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ได้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ของเนื้อหา นั้น โดยอธิบายเรื่องปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย และความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคปกติใหม่

**คำสำคัญ:** การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์, การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์, ความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์, ปัญหาการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์

### อ้างอิงบทความนี้

สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และอรุณ ขาญชัยเขาวีวัฒน์. (2565). ปัญหาและความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์: การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ประสบความสำเร็จ. วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา, 5(1), 172-180.

<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.15>

Academic Article

## Issue and challenge of teaching science: Successful online-learning management

Somkiat Phornphisutthimas<sup>1\*</sup> and Arun Chanchaichavivat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Biology, and Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning,  
Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand*

<sup>2</sup>*Program Study of Microbiology, Faculty of Science and Technology,  
Bansomdejchaopraya Rajabhat University, Bangkok 10600, Thailand*

*\*Email: somkiatp@g.swu.ac.th*

Received <20 December 2021>; Revised <9 February 2022>; Accepted <11 February 2022>

---

### Abstract

Nowadays, there are new normal that teachers and learners have always brought up to date, particularly Covid-19 crisis, highly affecting the science learning management. The important issue of science learning management is scientific contexts that are both concrete and abstract. The abstract concepts cannot be taught using only the lecture; therefore, the learning management has been found to elucidate microscopic concepts to be understanding descriptions using various methods. In addition, the critical issue of science learning is “doing laboratory”. Either online practical or non-laboratory practical can assist learners to memorise figures that they have observed from video, dry practical or many simulation techniques. They cannot give knowledge as doing the experiments. This article aimed at investigating issues of online-learning management in science and challenging online learning to achieve the contextual learning objectives by starting from issues of learning management during Covid-19 crisis, issues of science learning management during Covid-19 crisis in Thailand, and Challenge of science learning management in new normal situation.

**Keywords:** Science Learning Management, Online-learning management, Challenge of Science Learning, Issues of online-learning management

---

#### Cite this article:

Phornphisutthimas, S. and Chanchaichavivat, A. (2022). Issue and challenge of teaching science: Successful online-learning management (in Thai). *Journal of Science and Science Education*, 5(1), 172-180.  
<http://doi.org/10.14456/jsse.2022.15>



## บทนำ

ปัจจุบันการระบาดของโรคต่าง ๆ โดยเฉพาะโควิด-19 ทำให้ต้องปรับเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้เข้าสู่ยุคปกติใหม่ (new normal) และมีผลกระทบต่อการจัดการเรียนรู้ในโรงเรียน วิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเป็นอย่างมาก การจัดการเรียนรู้แบบเดิม ณ สถานที่ตั้ง (on site) ทำได้น้อยลง และมีการปรับเปลี่ยนบริบทมาเป็นการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ (online learning) มากขึ้น นอกจากนี้ผู้เรียนบางคนสามารถมาเรียน ณ สถานที่ที่ตั้งได้ แต่บางคนไม่สามารถมาเรียน ณ สถานที่ที่ตั้งได้ เนื่องจากอยู่ในบริเวณที่มีการแพร่ระบาดของโรค หรือต้องกักตัวเนื่องจากไปบริเวณพื้นที่เสี่ยง ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนการจัดการเรียนรู้ร่วมกันทั้งสองแบบ การจัดการเรียนรู้ด้วยรูปแบบที่หลากหลาย เช่น มีการจัดการเรียนรู้แบบเผชิญหน้า (face-to-face learning) ทั้ง ณ สถานที่ตั้งร่วมกับการจัดการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนศึกษาเองแบบออนไลน์ เรียกว่า การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน (blended learning) หรือการจัดการเรียนรู้แบบไฮบริด (hybrid learning) (Allen and Seaman, 2005; Bidarra and Rusman, 2017) โดยจะต้องมีการจัดการเรียนรู้ที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอนอย่างน้อยร้อยละ 70 ส่วนที่เหลืออาจใช้สื่อหรือเว็บไซต์ช่วยจัดการเรียนรู้แบบไม่มีปฏิสัมพันธ์ (ไม่ควรเกินร้อยละ 30 ของเวลาจัดการเรียนรู้ทั้งหมด)

ปัญหาเรื่องการจัดการเรียนรู้ในภาวะสถานการณ์ที่ไม่คาดคิด เช่น การแพร่ระบาดของโรคซาร์อีโบล่า โควิด-19 เป็นปัญหาไปทั่วทุกประเทศ (OECD, 2020; UNESCO, 2020) กระบวนการเรียนการรู้ทฤษฎีวิชา โดยเฉพาะรายวิชาวิทยาศาสตร์ และรายวิชาอื่นที่มีปฏิบัติการที่ผู้เรียนต้องลงมือทำเองเพื่อให้ได้รับทักษะตามผลลัพธ์การเรียนรู้ที่ควรจะเป็น ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีการจัดการเรียนรู้ใดที่ดีที่สุดในการจัดการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนได้รับความรู้ได้ตามที่ผลลัพธ์การเรียนรู้ที่กำหนดไว้ จึงเป็นความท้าทายให้ผู้สอนต้องจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้รับความรู้ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้หรือผลลัพธ์การเรียนรู้ที่คาดหวังตามระบบการจัดการออกแบบการสอนโดยตรง (forward design) หรือการออกแบบการสอนแบบย้อนกลับ (backward design) นอกจากนี้ผู้สอนยังต้องสร้างทักษะต่าง ๆ ให้กับผู้เรียนตามทักษะในศตวรรษที่ 21 ด้วย (Phornphisutthimas, 2014)

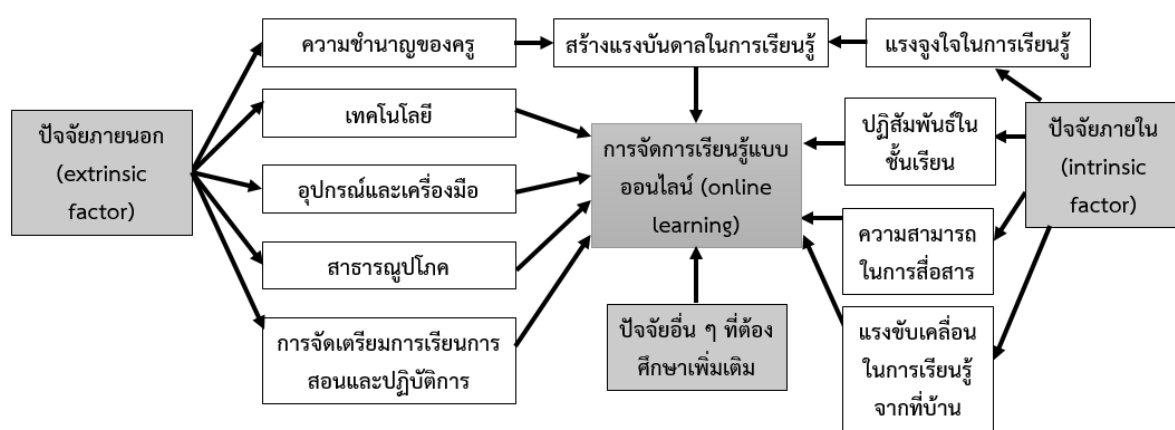
บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแสดงปัญหาในการจัดการเรียนการรู้ในภาวะการแพร่ระบาดของโควิด-19 และความท้าทายในการจัดการเรียนรู้ในภาวะดังกล่าว เพื่อทำให้การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ให้ได้ประสิทธิภาพมากที่สุด

## ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19

การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ปกติจัดการเรียนรู้ ณ สถานที่ตั้ง ซึ่งบางหัวข้อยังต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ความรู้ที่ดี เนื่องจากเป็นหัวข้อที่เป็นนามธรรม มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า และทำปฏิบัติการได้ยาก รวมไปถึงการทดลองบางการทดลองต้องใช้งบประมาณในการเรียนรู้สูง จนต้องทำชุดปฏิบัติการขนาดเล็ก (small-scale practical) (Baiya and Phornphisutthimas, 2014; Halme *et al.*, 2006; Karayannis *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการระบาดของไวรัสโคโรนา (coronavirus) ที่มีการแพร่กระจายในอากาศ ติดเชื้อ แสดงอาการรุนแรงที่ปอด และทำให้เสียชีวิตได้ ที่เรียกว่า ไวรัสซาร์-โควี-2 (SAR-CoV-2 virus) หรือโควิด-19 ในปี พ.ศ. 2563 การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ณ สถานที่ตั้งก็หยุดลงตามประกาศกระทรวงศึกษาธิการและกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ทันที และให้มีการจัดการเรียนการรู้แบบออนไลน์โดยทั้งผู้สอนและผู้เรียนเรียนรู้ที่บ้าน โดยไม่ต้องเดินทางมาที่โรงเรียนและมหาวิทยาลัย โดยการประกาศให้เป็นไปตามหน่วยงานที่ทำการเรียนการสอนนั้น ซึ่งเกือบทั้งหมดไม่มีการเรียน ณ สถานที่ตั้ง ให้เรียนออนไลน์อยู่ที่บ้านทั้งหมด และประกาศให้ผู้สอนและเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานทำงานที่บ้าน (work from home: WFH)

จากการรวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้นในประเทศไทย พบว่า หน่วยงานไม่เคยได้รับการเตรียมความพร้อมเพื่อจัดการเรียนการรู้แบบออนไลน์มาก่อน จึงเกิดความวุ่นวายในการจัดการเรียนรู้ในปี พ.ศ. 2563 นอกจากนี้ยังไม่ได้มีการเตรียมความพร้อมของเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อให้สามารถจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ด้วย เช่น ผู้เรียนบางคนไม่มีคอมพิวเตอร์ Wi-Fi ไม่มีหรือไม่มีดีพอจะเรียนรู้ได้ตลอดเวลา บางบ้านไฟฟ้ายังเข้าไปไม่ถึง ทำให้ผู้เรียนต้องไปเรียนที่บ้านเพื่อนที่อยู่ใกล้เคียง เหตุการณ์เหล่านี้ไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะในประเทศไทยเท่านั้น ยังเกิดขึ้นในประเทศอื่นเช่นกัน เช่น ไนเซปรัส (Adedoyin and Soykan, 2020) ฟิลิปินส์ (Barrot, Llenares and del Rosario, 2021) อินโดนีเซีย (Efriana, 2021) อเมริกา (Garcia and Weiss, 2020) อังกฤษ (Stokes and Lewis, 2021) ปัญหาซึ่งเกิดจากความไม่พร้อมต่าง ๆ โดยเฉพาะด้านการฉลาดรู้ทางเทคโนโลยี (digital literacy) ความไม่พร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือ (facilities) จึงทำให้ความรู้ที่ผู้เรียนควรได้รับลดลงทันที ยกตัวอย่างในห้องเรียนชีวิตสถิติของผู้เขียน (2563) ซึ่งยังจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งได้ร้อยละ 60 ของภาคการศึกษา แต่พอให้จัดการเรียนรู้และส่งการบ้านผ่าน Google Classroom ผู้เรียนบางคนยังใช้ไม่เป็น การตรวจการบ้านคืนทำได้ยาก ต้องใช้ Facebook group ในการตรวจการบ้าน แต่ผู้เรียนมักถามคำถามในเวลาเลยเวลาราชการ เช่น 21:00 น. ถึง 2:00 น. ของวันถัดไป ทำให้ผู้สอนต้องรับภาระในการตอบคำถามเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุผลลัพธ์การเรียนรู้ครบถ้วน ในปี พ.ศ. 2564 มีการอนุญาตให้เข้าเรียนในสถานที่ตั้ง และประกาศปิดกะทันหัน ทำให้ผู้เรียนบางคนไม่ได้นำเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (laptop) กลับไปที่บ้าน ทำให้การจัดการเรียนรู้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลข้อมูลยุ่งยากมาก บางคนใช้รุ่นไม่ตรงกับผู้สอน บางคนมีแต่ iPad บางคนไม่มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผู้สอนต้องใช้ทุกวิธีในการจัดการเรียนการรู้

เพื่อให้ได้วิธีการคิด เป้าหมายของการออกแบบการทดลอง และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในงานวิจัยของผู้เรียนต่อไปในอนาคต และเมื่อจัดการเรียนรู้วิชาชีวสถิติในปีการศึกษา 2564 พบว่า ร้อยละ 56.25 ของผู้เรียนทั้งหมด ไม่มีคอมพิวเตอร์ จึงทำให้การจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ไม่สามารถทำได้ ทำได้เพียงการสาธิตให้ผู้เรียนเท่านั้น นอกจากนี้ผู้สอนบางคนมีวิชาสอนหลายรายวิชา จึงทำให้การสอนสดผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ทุกวันทำได้ยาก โดยเฉพาะผู้สอนในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน จึงจัดการเรียนรู้แบบไม่ประสานเวลา (asynchronous learning) โดยบันทึกวีดิทัศน์แล้วส่งให้ผู้เรียนเรียนรู้อีก จากนั้นสั่งการบ้านให้ผู้เรียนส่ง และเป็นแบบนี้เกือบทุกรายวิชา ผู้สอนจะเหนื่อยในปีแรก เพราะการบันทึกและตัดต่อวีดิทัศน์ต้องใช้เวลาาน เครื่องคอมพิวเตอร์ไม่สอดคล้องกับการทำงานหนัก จึงเกิดความเสียหาย ในด้านผู้เรียน เมื่อมีการบ้านเพิ่มมากขึ้น ก็ทำกันไม่ไหว ก็เลิกทำการบ้าน ไม่ส่ง และไม่สนใจคะแนนที่ครูจะให้ เกือบทุกโรงเรียนจึงสร้างไลน์กลุ่มผู้ปกครอง และตามการบ้านที่ผู้ปกครองแทน และกำชับให้ผู้ปกครองต้องมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ของผู้เรียนด้วย ปัญหาที่เกิดจากการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์เมื่อวิเคราะห์ทั้งปัจจัยทั้งภายในและภายนอกแสดงดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ยังต้องมีการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นปัญหาในการเรียนการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์



ภาพที่ 1 ปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายในที่ส่งผลกระทบต่อการจัดการเรียนการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์

ปัญหาด้านการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ไม่ได้เป็นปัญหาเฉพาะการเรียนรู้เท่านั้น ยังประสบปัญหาไปถึงการประเมินผล การเรียนรู้ ในปี พ.ศ. 2563 ผู้สอนยังเตรียมตัวไม่ทัน เร่งออกข้อสอบ บางครั้งข้อสอบผิดไม่มีคำตอบ ผู้สอนที่ออกข้อสอบชุดเดียว ใช้ Google Forms ในการเตรียมข้อสอบ ก็เกิดปัญหาผู้เรียนลอกข้อสอบกันเป็นส่วนใหญ่ แต่ในปี พ.ศ. 2564 ผู้สอนปรับตัวเริ่มมีการใช้โปรแกรมต่าง ๆ มาคุมการสอบ เช่น Safe Exam Browser มีการใช้โปรแกรมจับการคัดลอกข้อสอบ เช่น Plagiarism Checker (Kocdar *et al.*, 2018; Reedy *et al.*, 2021) รวมถึงการเปิดกล้องในขณะที่สอบ ทำให้ผู้เรียนที่มีกล้องเพียงตัวเดียว ไปยืม Smartphone จากผู้ปกครองมาเปิดร่วมด้วย บางคนไม่มีกล้องเลย ก็ต้องปรับแก้ไขการสอบให้เหมาะกับกลุ่มผู้เรียนกลุ่มนั้น ๆ จากการสำรวจปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ของผู้สอนและผู้เรียนระดับมัธยมศึกษาของ Wisanti *et al.* (2020) พบว่า ปัญหาของการเรียนรู้แบบออนไลน์ในอินโดนีเซียเกิดจากผู้สอนร้อยละ 22 ผู้เรียนร้อยละ 36 และเทคโนโลยีร้อยละ 42 ผู้สอนส่วนใหญ่มีปัญหาในการควบคุมแอปพลิเคชัน การใช้แบบฝึกต่าง ๆ รวมถึงการฝึกงาน และไม่สามารถอธิบายเนื้อหาที่กำกวมให้ชัดเจนได้ ผู้สอนขาดแรงกระตุ้นให้ผู้เรียนเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ และไม่สามารถอธิบายเนื้อหาให้เข้าใจในขณะที่สอนออนไลน์ได้ สำหรับปัญหาของการเรียนรู้แบบออนไลน์จากผู้เรียน คือ การไม่มีเครื่องมือสื่อสารในการเรียนรู้ ขาดทักษะทางเทคโนโลยี ขาดแรงจูงใจในการเข้าถึงข้อมูล และไม่สามารถเข้าใจหลักการต่าง ๆ ได้ ในปี พ.ศ. 2564 ผู้สอนและผู้เรียนในประเทศไทยได้รับการอบรมให้เข้าใจถึงเทคโนโลยีต่าง ๆ มากขึ้น ปัญหาเรื่องการเรียนรู้ผ่านแอปพลิเคชันจึงลดลง (Somsathan and Sanjaiprom, 2021) เช่นเดียวกับในประเทศอื่น ๆ (Dhawan, 2020; Zalatld, Hamed and Bolbol, 2021)

จากการศึกษาการเรียนรู้ของผู้เรียนทันตแพทย์ในสหรัฐอเมริกาของ Zheng *et al.* (2021) พบว่า ผู้เรียนทันตแพทย์ต้องการเรียนรู้เนื้อหาที่ต้องใช้ทักษะแบบเผชิญหน้ากับผู้สอนมากกว่าเรียนแบบออนไลน์ เช่น กายวิภาคศาสตร์และมิถุนวิทยา (anatomy and histology) การฝึกปฏิบัติทางคลินิก และต้องการการสนับสนุนข้อมูลทางออนไลน์ ส่วนเนื้อหาที่ไม่ได้เป็นการปฏิบัติ ผู้เรียนก็สนใจเรียนแบบออนไลน์มากกว่าแบบเผชิญหน้า เมื่อพิจารณาเรื่องการเรียนออนไลน์ พบว่า ผู้เรียนชอบเรียนร่วมกันแบบผสมผสานทั้งแบบประสานเวลาหรือผู้สอนสอนเองและมีปฏิสัมพันธ์กับผู้เรียนโดยตรง (synchronous learning) และแบบไม่ประสานเวลาหรือผู้เรียนไปเรียนจากวีดิทัศน์ที่ผู้สอนบันทึกไว้นอกเวลาที่สอน แต่มีกลุ่มผู้เรียนบางกลุ่มต้องการเรียนแบบเผชิญหน้ากับผู้สอนร่วมกับออนไลน์แบบไม่ประสานเวลา และบางเนื้อหา ผู้เรียนต้องการให้ผู้สอนอธิบาย ไม่ต้องการวีดิทัศน์ให้ไปศึกษาเอง เช่น เกสซ์

คลินิกและพหุคลินิก พันตรงสี่วิทยา และเมื่อนำเกรดที่ผู้เรียนได้รับในแต่ละรายวิชามาเปรียบเทียบกันระหว่างการสอนออนไลน์แบบประสานเวลา ไม่ประสานเวลา และแบบเผชิญหน้ากับผู้สอน พบว่า เนื้อหาที่มีปฏิบัติการที่ต้องใช้ทักษะ การสอนแบบประสานเวลาและแบบเผชิญหน้ากับผู้สอนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าการสอนแบบไม่ประสานเวลา ( $p < 0.01$ )

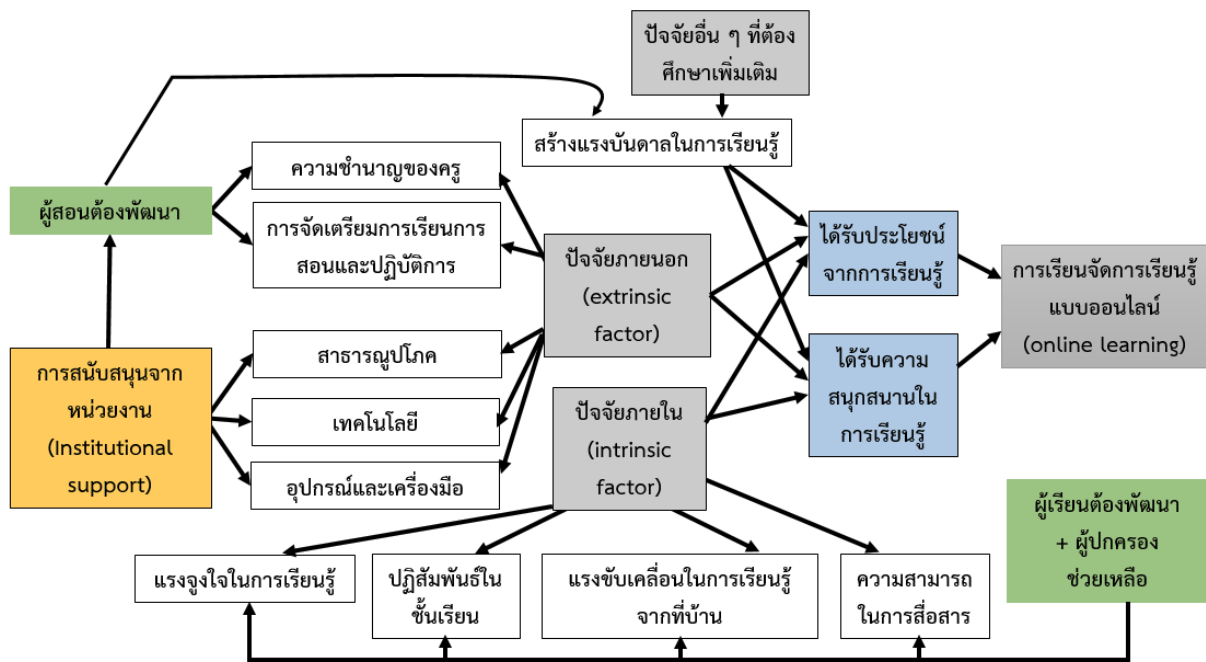
### ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย

จากปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ที่เริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบกับจัดการเรียนรู้ในประเทศไทย จะพบว่า ผู้สอนหลายโรงเรียนยังคงสอนแบบเผชิญหน้ากับผู้เรียน แต่ผู้สอนหลายคนนิยมสอนแบบไม่ประสานเวลาโดยให้ผู้เรียนไปศึกษาความรู้จากบทเรียนที่ผู้สอนบันทึกไว้ให้แล้ว จากการสัมภาษณ์ผู้สอนและผู้เรียนทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานและอุดมศึกษาอย่างไม่เป็นทางการ และการนิเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครูของนิสิตครูในการจัดการเรียนรู้ที่โรงเรียน ในช่วงที่มีการเรียนการสอนแบบออนไลน์ในปีการศึกษา 2563–2564 กับทั้งผู้สอนและผู้เรียน พบว่า ทั้งผู้สอนและผู้เรียนต้องการให้จัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งมากกว่าการเรียนแบบออนไลน์ ผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่ต้องการเรียนแบบไม่ประสานเวลา ไม่ต้องการให้ครูบันทึกวีดิทัศน์การสอนไปเรียนเอง หากเป็นการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ผู้เรียนชอบให้ครูสอนแบบประสานเวลามากกว่า ผู้สอนชอบให้ผู้เรียนเปิดกล่องขณะเรียน ส่วนผู้เรียนแจ้งว่าบางครั้งไม่สะดวกเปิดกล่อง อย่างไรก็ตาม การประเมินผลมีความสำคัญและช่วยให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ด้วย ผู้เรียนต้องการให้ผู้สอนประเมินผลระหว่างทาง (formative assessment) เก็บคะแนนมากกว่าการประเมินผลปลายทาง (summative assessment) เฉพาะกลางภาคเรียนและปลายภาคเรียนเท่านั้น (Phomphisutthimas, 2014) จากการสอบถามผู้เรียนเรื่องงานที่ผู้สอนกำหนดไว้ พบว่า ผู้เรียนไม่ต้องการให้ครูสั่งการบ้านจำนวนมาก (Sangkasuth and Trimek, 2021) เนื่องจากต้องเรียนรายวิชาจำนวนมาก ทุกรายวิชาสั่งการบ้านทุกวัน ซึ่งก่อนการระบาดของโควิด-19 วิชาเดียวกันนี้เมื่อจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง ไม่มีการสั่งการบ้าน มีเฉพาะรายงานรายภาคการศึกษา (term paper) เมื่อผู้เรียนทำไม่ทัน จึงตัดสินใจไม่ทำส่งทุกรายวิชา หรือเลือกเฉพาะรายวิชาที่ตนเองสนใจเพื่อทำการบ้านส่งเท่านั้น เมื่อผู้เรียนไปนิเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพครู นิสิตครูและครูประจำการให้ข้อมูลว่า ผู้เรียนไม่ส่งการบ้าน ไม่เปิดกล่องระหว่างเรียน และบางคนมาเรียนแต่ไม่ทำแบบทดสอบในระหว่างเรียน สิ่งที่ยังควบคุมไม่ได้ระหว่างการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ คือ สมมติในการเรียน การรบกวนโดยภาวะแวดล้อมในขณะที่เรียน และรู้สึกเบื่อ (Sangkasuth and Trimek, 2021)

จากการสัมภาษณ์ผู้สอนต่อการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะการระบาดของโควิด-19 พบว่า ผู้สอนขาดทักษะการใช้ อุปกรณ์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์จึงส่งผลกระทบต่อถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียน เมื่อผู้สอนได้รับการอบรมแล้ว มักจะสอนมุ่งเน้นเนื้อหาบรรยายมากกว่าการปฏิบัติ ผู้สอนส่วนใหญ่ขาดการออกแบบกิจกรรมเพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจเนื้อหา เช่น การเชื่อมโยงเรื่องราวที่เรียนเข้าสู่ชีวิตประจำวัน การใช้สื่อวีดิทัศน์ในการจัดการเรียนรู้ การมีปฏิสัมพันธ์ของผู้สอนกับผู้เรียนยังมีน้อย และขาดสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ออนไลน์ เช่น อินเทอร์เน็ต คอมพิวเตอร์ (Fakngern and Kijkuakul, 2021)

จากข้อมูลการสัมภาษณ์และภาพข่าว รวมถึงสื่อสังคมออนไลน์ จะเห็นว่า ปัญหาการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะการระบาดของไวรัสโคโรนา ส่วนใหญ่แล้ว ไม่แตกต่างจากในต่างประเทศ โดยเฉพาะในประเทศภูมิภาคตะวันออกเฉียงใต้ด้วยกัน เช่น ฟิลิปปินส์ (Barrot *et al.*, 2021) อินโดนีเซีย (Matalak *et al.*, 2021) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศแถบยุโรปและอเมริกา พบว่า ประเทศในกลุ่มนี้พยายามออกแบบการจัดการเรียนรู้ออนไลน์เพื่อให้ผู้เรียนได้รับเนื้อหาจากการเรียนรู้ออนไลน์มากที่สุด (Katic *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2021) จากปัญหาการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ในภาวะโควิด-19 ในประเทศไทย ต้องแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนเพื่อทำให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์จากความรู้และมีความสุขสนุกสนานใกล้เคียงกับการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง (Boca, 2021; Maheshwari, 2021; Pham, Le and Do, 2021) ดังในภาพที่ 2 ผู้สอนต้องได้รับการอบรมเรื่องการจัดการเรียนรู้ออนไลน์และการประเมินผลการเรียนรู้แบบออนไลน์ ต้องเรียนรู้การใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อใช้ในการเรียนจัดการเรียนรู้ รวมถึงการใช้จักรวาลเสมือน (metaverse) เพื่อเตรียมการจัดการเรียนรู้ที่ผู้เรียนไม่ต้องการเปิดหน้ากล่อง แต่ใช้ส่วนของใบหน้าเข้าไปสร้างอวตาร (avatar) เพื่อเข้าไปเรียนรู้ออนไลน์ได้หลากหลายรูปแบบ โดยได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานทั้งในระดับกระทรวง โรงเรียน และมหาวิทยาลัย เพื่อให้ได้รับเทคโนโลยี อุปกรณ์ เครื่องมือ และสาธารณูปโภค เช่น อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ค่าไฟฟ้าที่ราคาถูกลง ผู้สอนทำหน้าที่เป็นผู้สร้างแรงบันดาลใจ เป็นผู้อำนวยความสะดวกทางการศึกษา ในขณะที่ทั้งผู้สอน ผู้ปกครอง และผู้เรียนเองต้องสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ มีปฏิสัมพันธ์กับผู้สอนและเพื่อนร่วมชั้นเรียน สร้างแรงขับเคลื่อนในการเรียนรู้จากบริบทที่ไม่ใช่โรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย และต้องพยายามสื่อสารให้ผู้เรียนเข้าใจความรู้ที่ผู้เรียนได้รับไป อย่างไรก็ตาม การจัดการเรียนรู้ออนไลน์ที่ท้าทายที่สำคัญที่ไม่สามารถทำให้ผู้เรียนเข้าใจได้ในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ยังคงจำเป็นต้องเข้ามาเรียนรู้ออนไลน์ ณ สถานที่ตั้ง การจัดการเรียนรู้ด้วยกลยุทธ์ต่าง ๆ ยังนำมาใช้ในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์ได้ด้วย เช่น การให้ผู้เรียนศึกษาคลิปวีดิทัศน์หรือเอกสารก่อนเรียน แล้วจัดการเรียนรู้ออนไลน์แบบห้องเรียนกลับทาง (flipped classroom) โดยผู้สอนต้องจัดประสบการณ์เรียนรู้ที่เกิดจากการศึกษาคลิปวีดิทัศน์หรือเอกสารที่ศึกษามาก่อนนั้น และให้ผู้เรียนทำแบบฝึกต่าง ๆ ในห้องเรียน ก็จะทำให้การบ้านลดลง (Tang *et al.*, 2020) และทำ

ให้ผู้เรียนสนุกสนานกับกิจกรรมในห้องเรียนได้เช่นเดียวกับการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง การจัดคลินิกการเรียนรู้ (learning clinic) ให้กับผู้เรียนที่ยังไม่เข้าใจเนื้อหาที่เรียนรู้หรือมีคำถามเชิงประยุกต์ก็สำคัญ อาจช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจความรู้ต่าง ๆ ได้ครบถ้วนมากขึ้น



ภาพที่ 2 การแก้ปัญหาการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ให้ผู้เรียนได้รับประโยชน์และความสนุกสนานในการเรียนรู้

### ความท้าทายในการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ในยุคปกติใหม่

ในปัจจุบัน ผู้สอนพยายามแก้ไขปัญหาการจัดการเรียนการสอนในภาวะการแพร่กระจายของไวรัสโคโรนา ก่อนที่ผู้เรียนจะได้รับวัคซีน 2 เข็ม โรงเรียนในพื้นที่สีแดงเข้ม (พื้นที่ที่มีผู้ติดไวรัสโคโรนาจำนวนมาก) การจัดการเรียนรู้เป็นแบบออนไลน์ทั้งหมด การจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ซึ่งมีหลายเนื้อหาเป็นสิ่งที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า อธิบายได้จากการทำปฏิบัติการ และการจัดการเรียนรู้เนื้อหาวิทยาศาสตร์บางเรื่องจำเป็นต้องทำการทดลองจึงจะเข้าใจได้ เช่น การศึกษากายวิภาคศาสตร์ของสัตว์ สัตว์ฐานวิทยาและกายวิภาคศาสตร์ของพืช เทคนิคต่าง ๆ ที่ต้องใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวิทยาศาสตร์ วิธีการจัดการเรียนรู้ที่น่าจะช่วยให้ผู้เรียนได้ความรู้เชิงปฏิบัติการมากที่สุดโดยใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการจริง คือ การสาธิต (demonstration) แต่ผู้สอนสามารถช่วยให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการอย่างง่ายได้ โดยให้ผู้เรียนใช้ของที่มีในครัวเรือนเพื่อทำปฏิบัติการ หรือส่งอุปกรณ์วิทยาศาสตร์พร้อมน้ำยาต่าง ๆ แบ่งใส่หลอดทดลองพลาสติกแล้ว ส่งไปให้ผู้เรียนทำปฏิบัติการไปพร้อมผู้สอน สำหรับการจัดการเรียนรู้ชีววิทยาที่ต้องมีการผ่าตัดเครื่องในสัตว์อาจให้ผู้เรียนหาตัวอย่างจากท้องตลาด แล้วใช้มีดทำครัว ผ่าตัดไปพร้อมกันระหว่างที่ผู้สอนสาธิตให้ดูผ่านช่องทางออนไลน์ แต่การประเมินผลทักษะด้วยข้อสอบไม่สามารถทำให้ผู้เรียนมีทักษะในการทำการทดลองดังกล่าวได้อย่างถูกต้อง นอกจากการจัดการเรียนรู้ด้วยวิธีการสาธิตแล้ว ยังมี การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างห้องปฏิบัติการเสมือน (virtual classroom) ที่ใช้สามารถช่วยให้ผู้เรียนได้ทดสอบก่อนเรียน ใช้ในการเรียนรู้ หรือใช้บทวนหลังจากฝึกปฏิบัติแล้ว (Wisanti *et al.*, 2020) เช่น บทปฏิบัติการเสมือน การทำโปรตีนให้บริสุทธิ์ (protein purification, URL: [http://www.agbooth.com/pp\\_ajax/](http://www.agbooth.com/pp_ajax/); Phomphisutthimas *et al.*, 2007) ห้องปฏิบัติการบนชิพ (lab-on-a-chip; Wietsma *et al.*, 2018)

ความท้าทายของการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์นอกจากการทำปฏิบัติการที่ต้องทำให้ผู้เรียนเข้าใจแล้ว ยังมี การอธิบายมโนทัศน์ (concept) ของเนื้อหาในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ซึ่งปกติผู้สอนมักใช้การสนทนาออนไลน์ การวิจารณ์ออนไลน์ ใช้วีดิทัศน์ และการนำเสนอด้วย PowerPoint จากรายงานของ Wisanti *et al.* (2020) พบว่า การสนทนาออนไลน์และการวิจารณ์ออนไลน์ช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจมโนทัศน์เรื่องที่เรียนได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม สิ่งที่สำคัญคือ การออกแบบการเรียนรู้แบบออนไลน์อย่างไร จึงทำให้ผู้เรียนเข้าใจมโนทัศน์ดังกล่าว

ในปี พ.ศ. 2564 เมื่อผู้สอนและผู้เรียนได้รับวัคซีนโควิด-19 อย่างน้อย 2 เข็ม ร่วมกับต้องตรวจและแสดงผล ATK ตามกำหนด ก็สามารถเข้าทำการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้งได้ อย่างไรก็ตาม กระทรวงศึกษาธิการและกระทรวงอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ให้ทางเลือกกับผู้เรียนในการเลือกเรียนรู้อย่างผสมผสานได้ ซึ่งการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานมีลักษณะสำคัญ 5 ประการ ได้แก่ 1) ต้องจัดการเรียนรู้แบบประสานเวลา (synchronous learning) เป็นหลัก ทำให้ผู้เรียนและผู้สอนเรียนรู้และมีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน ทั้งในห้องเรียนจริงและห้องเรียนเสมือน (virtual classroom) 2) ต้องมีการเรียนรู้ด้วยตนเอง (self-

paced learning) เพื่อสร้างประสบการณ์เรียนรู้ที่สมบูรณ์ในเวลาจำกัดจากการปฏิสัมพันธ์และการเรียนรู้จากอินเทอร์เน็ต 3) ผู้เรียนต้องสามารถสื่อสารกับผู้อื่นและผู้สอนได้ หรือมีการเรียนรู้แบบร่วมมือ (collaboration) เช่น มีห้องสนทนาแบบออนไลน์ ใช้แอปพลิเคชันต่าง ๆ โดยกำหนดเวลาให้เข้าเรียนรู้พร้อมกัน 4) ต้องมีการประเมินผลทั้งก่อนและหลังเรียน เพื่อตรวจสอบความรู้เดิม (prior knowledge) และความรู้ใหม่ที่ได้รับ ตามลำดับ และ 5) ต้องมีสิ่งสนับสนุนการเรียนรู้ (support materials) เช่น แหล่งอ้างอิงเพื่อใช้ศึกษาเพิ่มเติม เนื้อหาสรุป (Carman, 2002) การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานไม่ได้หมายถึงการจัดการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างการจัดการเรียนรู้แบบ ณ สถานที่ตั้ง และแบบออนไลน์ แต่ยังหมายถึงการจัดการเรียนการสอนหลากหลายรูปแบบหรือวิธีการเพื่อทำให้ผู้เรียนบรรลุสมรรถนะ (competency) ที่ต้องได้รับหลังจากการเรียนรู้ที่เสร็จสิ้นแล้ว

อย่างไรก็ตาม การเรียนรู้ด้านทักษะยังคงต้องเรียน ณ สถานที่ตั้ง เป็นหลัก แต่ต้องมีการควบคุมให้มีการจัดระบบระบายอากาศ ล้างมือด้วยเจลแอลกอฮอล์ และจัดให้มีระยะห่างระหว่างผู้เรียนด้วยตนเอง และระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน เพื่อป้องกันการระบาดของไวรัสโควิด-19 ในระหว่างการจัดการเรียนรู้ จึงเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง หากมีผู้วิจัยที่สามารถทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ทักษะปฏิบัติโดยไม่ต้องเข้ามา ณ สถานที่ตั้งได้ การจัดการเรียนรู้ปัจจุบันมีจุดประสงค์สำคัญดังนี้ 1) ต้องจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนเรียนรู้จากที่โรงเรียนเพื่อให้เข้าใจอาชีพที่ผู้เรียนอยากทำงานในอนาคต 2) ต้องจัดประสบการณ์เรียนรู้ให้เข้ากับชุมชนรอบโรงเรียน 3) ต้องมีแรงกระตุ้นเพื่อให้ผู้เรียนเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการเรียนรู้ 4) ต้องจัดประสบการณ์ให้ผู้เรียนสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้ด้วยตนเอง และ 5) ความพึงพอใจของผู้เรียนต้องได้มาจากการเรียนรู้และการอ่าน เพื่อให้สามารถค้นคว้าหาความรู้ด้วยตนเองได้ง่ายขึ้น (OECD, 2020)

แม้การจัดการเรียนรู้แบบผสมผสานจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเข้าถึงข้อมูลและเรียนรู้ร่วมกับผู้สอนและผู้เรียนคนอื่น ๆ ได้ แต่ก็ยังประสบปัญหาการจัดการเรียนรู้ที่ยังไม่ทำให้ผู้เรียนบรรลุตามจุดประสงค์เท่าที่ควร และกระทรวงศึกษาธิการยังมีประกาศให้ลดเวลาในคาบเรียน ยกเลิกการสอบวัดผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ปลายทาง และลดปริมาณการบ้านที่นักเรียนต้องทำลง และให้ตัดสินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนจากการบ้านหรือแบบฝึกหัดที่ผู้สอนจัดให้กับผู้เรียนตลอดทั้งภาคการศึกษา ยิ่งทำให้ความเข้าใจในเนื้อหาลดลงเรื่อย ๆ ปัจจุบันผู้สอนและผู้เรียนมีประสบการณ์เรื่องการใช้แอปพลิเคชันในการจัดการเรียนรู้ออนไลน์มากขึ้น แต่การออกแบบการจัดการเรียนรู้ก็ยังคงมีความสำคัญ เนื่องจากหากจัดการเรียนรู้แบบเดิมตลอดเวลา จะทำให้ผู้เรียนรู้สึกเบื่อหน่าย และหากผู้เรียนไม่เข้าใจเนื้อหาที่กำลังเรียนก็จะไม่ประสบความสำเร็จในการเรียนรู้ตามสมรรถนะที่ผู้เรียนควรได้รับ นอกจากนี้จะทำอย่างไรให้ผู้เรียนถึงความซื่อสัตย์ ไม่ลอกข้อสอบระหว่างการสอบ

การออกแบบการเรียนรู้ที่ทำให้ผู้เรียนประสบความสำเร็จในการเรียนออนไลน์ได้ คือ การบูรณาการวิทยาศาสตร์เข้าด้วยกัน เรียนเป็นแบบธีม (theme-based education) เป็นการให้เรื่องสำคัญที่ผู้เรียนต้องเรียนรู้โดยใช้ศาสตร์ของฟิสิกส์ ชีววิทยา และเคมี รวมถึงคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาเรื่องเดียวกัน และเรื่องที่กำหนดให้ควรเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของผู้เรียนเอง (Haatainen and Aksela, 2021; Pursitasari, Nuryanti and Rede, 2015) อาจใช้แนวทางการจัดการเรียนรู้แบบสะเต็มศึกษา (STEM education) โดยเน้นกระบวนการได้มาของความรู้เป็นหลัก หรือใช้วิธีจัดการเรียนรู้แบบห้องเรียนกลับทาง และผู้สอนจัดประสบการณ์ร่วมในห้องเรียนเพื่อให้เกิดการสนทนาและวิพากษ์มนทัศน์นั้นแบบออนไลน์ จะช่วยให้ผู้เรียนมีความรู้ตามสมรรถนะที่คาดหวัง (Bidarra and Rusman, 2017) สิ่งที่เป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ คือ ผู้เรียนได้รับสมรรถนะตามที่คาดหวังไว้ และสามารถแก้ไขสถานการณ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเรื่องที่ได้อ่านไปแล้ว นอกจากนี้ยังสามารถนำความรู้ที่มีไปเลือกศึกษาความรู้จากแหล่งเรียนรู้จากอินเทอร์เน็ตได้อย่างถูกต้อง และนำไปพัฒนาตนเองเพื่อประกอบอาชีพได้ในอนาคต ตัวชี้วัดในระยะสั้นคือ สมรรถนะตามที่คาดหวังไว้ แต่ตัวชี้วัดระยะยาว เริ่มจากสามารถเลือกความรู้ได้อย่างถูกต้อง พัฒนาตนเองไปประกอบอาชีพได้ และต้องเกิดการเรียนรู้ด้วยตนเองได้ตลอดชีวิต (Pham et al., 2021)

## สรุป

จากภาวะการระบาดของไวรัสโคโรนาที่แพร่ระบาดไปทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยด้วย ทำให้ผู้เรียนและผู้สอนไม่อาจเรียนรู้อณ สถานที่ตั้งได้ ดังนั้นทางเลือกที่สำคัญในช่วงการระบาดของไวรัสก็คือ การเรียนการสอนแบบออนไลน์ ในช่วงแรกมีปัญหาทั้งผู้เรียนและผู้สอนทั้งในเรื่องของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับจัดการเรียนรู้ ความฉลาดรู้เรื่องเทคโนโลยี รวมถึงสาธารณูปโภคต่าง ๆ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าอินเทอร์เน็ต การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตของผู้เรียนแต่ละคน ล้วนเป็นอุปสรรคในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ ปัญหาการจัดการเรียนรู้วิทยาศาสตร์แบบออนไลน์ที่สำคัญที่สุดคือ การอธิบายมนทัศน์ที่ต้องการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เรียนเข้าใจ รวมถึงการจัดประสบการณ์เรียนรู้ในการทำการทดลองให้กับผู้เรียน ซึ่งแม้ปัจจุบันจะมีการเตรียมตัวเพื่อเข้าสอน ณ สถานที่ตั้ง แต่กระทรวงฯ ก็แนะนำให้มีการจัดการเรียนรู้แบบผสมผสาน คือ ทั้งแบบ ณ สถานที่ตั้ง และแบบออนไลน์ร่วมกัน ผลสำเร็จของการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์ คือ การวัดสมรรถนะที่คาดหวังไว้ (ในระยะสั้น) และสามารถเลือกความรู้ได้อย่างถูกต้อง พัฒนาตนเองเพื่อประกอบอาชีพได้ และเรียนรู้ตลอดชีวิตได้ (ในระยะยาว) สิ่งที่เป็นความท้าทายของครุวิทยาศาสตร์ในการจัดการเรียนรู้แบบออนไลน์คือ

ต้องออกแบบการจัดการเรียนรู้โดยเน้นเนื้อหาและลักษณะของผู้เรียนเป็นสำคัญ ซึ่งต้องอาศัยอุปกรณ์ที่มีอยู่อย่างเป็นประโยชน์ การจัดการเรียนรู้ต้องง่ายต่อความเข้าใจ เป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนโดยตรง และทำให้เกิดความสนุกสนานในการเรียนรู้ด้วย

### เอกสารอ้างอิง

- Adedoyin, O. B. and Soykan, E. (2020). Covid-19 pandemic and online learning: The challenges and opportunities. *Interactive Learning Environments*, DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1813180>
- Allen, I. E. and Seaman, J. (2005). **Growing by Degrees: Online Education in the United States, 2005**. USA: The Sloan Consortium.
- Baiya, S. and Phornphisutthimas, S. (2014). The construction of a hands-on laboratory practical on “cellular respiration” for undergraduate learners (in Thai). **Proceeding of the 1<sup>st</sup> National Conference on Science Education to Inspire Innovation** (pp.244-248). Phetchaburi: Rajabhat Phetchaburi University.
- Barrot, J. S., Llenares, I. I. and del Rosario, L. S. (2021). Student’s online learning challenges during the pandemic and how they cope with them: The case of the Philippines. *Education and Information Technologies*, 26, 7321-7338.
- Bidarra, J. and Rusman, E. (2017). Towards a pedagogical model for science education: Bridging educational contexts through a blended learning approach. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning*, 32(1), 6-20.
- Boca, G. D. (2021). Factors influencing students’ behavior and attitude towards online education during COVID-19. *Sustainability*, 13, 7469. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137469>
- Dhawan, S. (2020). Online learning: A panacea in the time of COVID-19 crisis. *Journal of Educational Technology*, 49(1), 5-22.
- Efriana, L. (2021). Problem of online learning during Covid-19 pandemic in EFL classroom and the solution. *Journal of English Language Teaching and Literature*, 2(1), 38-47.
- Fakngern, S. and Kijkuakul, S. (2021). Online science learning management during the Covid-19 pandemic: A case study of a large school in the lower northern region of Thailand. *Journal of Education, Maharakham University*, 15(3), 223-235.
- García, E. and Weiss, E. (2020). **Covid-19 and Student Performance, Equity, and U.S. Education Policy: Lessons from Pre-Pandemic Research to Inform Relief, Recovery, and Rebuilding**. U.S.: Economics Policy Institute.
- Haatainen, O. and Aksela, M. (2021). Project-based learning in integrated science education: Active teachers’ perceptions and practices. *International Journal of Math, Science and Technology Education*, 9(21), 149-173.
- Halme, D. G., Khodor, J., Mitchell, R. and Walker, G. C. (2006). A small-scale concept-based laboratory component: The best of both worlds. *Cell-Life Science Education*, 5, 41-51.
- Karayannis, P., Petrakli, F., Gkika, A. and Koumoulos, E. P. (2019). 3D-printed lab-on-a-chip diagnostic systems-developing a safe-by-design manufacturing approach. *Micromachines*, 10, 825. DOI: <https://doi.org/10.3390/mi10120825>
- Katić, S., Ferraro, F. V., Ambra, F. I., Iavarone, M. L. (2021). Distance learning during the COVID-19 pandemic. A comparison between European countries. *Educational Science*, 11, 595. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci11100595>
- Kocdar, S., Kardeniz, A., Peytcheva-Forsyth, R. and Stoeva, V. (2018). Cheating and plagiarism in e-assessment: Students’ perspectives. *Open Praxis*, 10(3), 221-235.
- Maheshwari, G. (2021). Factor affecting students’ intentions to undertake online learning: An empirical study in Vietnam. *Education and Information Technologies*, 26, 6629–6649.
- Malelak, E. O., Taneo, J. and Ufi, D. T. (2021). Problems of online learning during the covid-19 pandemic in generation Z. *Paedagogia: Jurnal Kajian, Penelitian dan Pengembangan*, 12(1), 115-121.

- OECD. (2020). Strengthening online learning when schools are closed: The role of families and teachers in supporting students during the Covid-19 crisis. Retrieved 20 December 2021, from [https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=136\\_136615-o13x4bkowa&title=Strengthening-online-learning-when-schools-are-closed](https://read.oecd-ilibrary.org/view/?ref=136_136615-o13x4bkowa&title=Strengthening-online-learning-when-schools-are-closed)
- Pham, T. T. T., Le, H. A. and Do, D. T. (2021). The factors affecting students' online learning outcomes during the Covid-19 Pandemic: A Bayesian exploratory factor analysis. **Education Research International**, Article ID 2669098, 13 pages. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/2669098>
- Phornphisutthimas, S. (2014). How do learning assessments assist learners to effectively learn science in the 21<sup>st</sup> century? (in Thai) **RMUTSB Academic Journal**, 2(1), 81-90.
- Phornphisutthimas, S. (2014). Learning Management of Science in 21<sup>st</sup> Century (in Thai). **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 4(1), 55-63.
- Phornphisutthimas, S., Panijpan, B., Wood, E. J. and Booth, A. G. (2007). Improving Thai students' understanding of concepts in protein purification by using Thai and English versions of a simulation program. **Biochemistry and Molecular Biology Education**, 35(5), 316-321.
- Pursitasari, N. D., Nuryanti, S. and Rede, A. (2015). Promoting of thematic-based integrated science learning on the junior high school. **Journal of Education and Practice**, 6(20), 97-102.
- Reedy, A., Pfitzner, D., Rook, L. and Ellis, L. (2021). Responding to COVID-19 emergency: Student and academic staff perceptions of academic integrity in the transition to online exams at three Australian universities. **International Journal for Educational Integrity**, 17, 9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40979-021-00075-9>
- Sangkasuth, S. and Trimek, J. (2021). Students' satisfaction towards appropriate online teaching and learning models in the epidemic of COVID-19 of Rangsit University (in Thai). In **Proceedings of RSU Research Conference**. Retrieved 20 December 2021, from [https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nationalsoc2021/1807\\_20210511144007.pdf](https://rsucon.rsu.ac.th/files/proceedings/nationalsoc2021/1807_20210511144007.pdf)
- Somsathan, P. and Sanjaiprom, S. (2021). Learning online preparedness during COVID-19 pandemic in Thailand. **Journal of MCU Peace Studies**, 9(3), 884-894.
- Stokes, J. and Lewis, J. (2021). **Remote Schooling through the Coronavirus (COVID-19) pandemic, England: April 2020 to 2021**. UK: Office of National Statistics.
- Tang, T., Abuhmaid, A. M., Olaimat, M., Oudat, D. M., Aldhaeabi, M. and Bamanger, E. (2020). Efficiency of flipped classroom with online-based teaching under COVID-19. **Interactive Learning Environments**, 1-12. DOI: <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1817761>
- UNESCO. (2020). Covid-19: A global crisis for teaching and learning. ED/ESC/TED/2020/01 Rev.2. Retrieved 20 December 2021, from <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373233>
- Wietsma, J. J., van der Veen, J. T., Buesink, W., van den Berg, A. and Odijk, M. (2018). Lab-on-a-chip: Frontier science in the classroom. **Journal of Chemical Education**, 95(2), 267-275.
- Wisanti, Ambawati, R., Putri, E. K. and Rahayu, D. A. and Khaleyra, F. (2020). Science online learning during the covid-19 pandemic: Difficulties and challenges. **Journal of Physics: Conference Series**, 1747, 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1747/1/012007>
- Zalatld, M. M., Hamed, M. S. and Bolbol, S. A. (2021). The experiences, challenges, and acceptance of e-learning as a tool for teaching during the COVID-19 pandemic among university medical staff. **PLOS ONE**, 16(3), e0248758. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248758>
- Zheng, M., Bender, D. and Lyon, C. (2021). Online learning during COVID-19 produced equipment or better student course performance as compared with prepandemic: Empirical evidence from a school-wide comparative study. **BMC Medical Education**, 21, 495. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-021-0290>

## ดัชนีผู้เขียน (Author Index)

ชื่อ-สกุล	หน้า	Name-Surname	Page
กบิล กาญจมาภรณ์กุล	58	Kabin Kanjamapornkul	59
กฤษฎา บุราไกร	49	Kritsada Burakri	50
กิตติญา ขวัญเมือง	49	Kittiya Khwanmueang	50
จิรายุ แสงศรี	12	Jirayu Saengsri	13
ชาญชัย ศุภอรรรถกร	12	Chanchai Supaartagorn	13
ชาญณรงค์ ธนนาทธนะชน	49	Channarong Thananattthanachon	50
ณัฐ ติษเจริญ	39	Nadh Ditcharoen	40
ธัญญา รุ่งโรจน์มงคล	58	Thanyada Rungrotmongkol	59
บรรณรักษ์ คัมรักษา	107	Bannarak Khumraksa	108
ประดับ มีสวัสดิ์	85	Pradup Mesawat	86
ปรัชญาพร วันชัย	23	Pratyaporn Wanchai	24
พงศธร บุญชู	107	Pongsathorn Boonchu	108
พรรณวิภา แผงศรี	1	Phunwipa Pangsri1	2
เพชรวิไล ชัตติยวงศ์	158	Phetvilay Khattiyavong	159
ภาณุพงศ์ กาสา	49	Phanupong Kasa	50
รติ โบจรัส	141	Ratee Bojaras	142
เรืองวิทย์ เสนาดี	23	Raeungwit Senadee	24
ลฎาภา ลดาชาติ	148	Ladapa Ladachart	149
ลัดดาวัลย์ กงพลี	1	Laddawan Kongplee	2
ลือชา ลดาชาติ	148	Luecha Ladachart	149
วงกต ศรีอุไร	39	Wongkot Sriurai	40
วรศักดิ์ สุขบพ	72	Worasak Sukkabot	73
วริศรา ทาจิตร	72	Waritsara Thajitr	73
ศักดิ์ศรี สุภาสร	158	Saksri Supasorn	159
ศิริรัตน์ เพชรประภัสสร	107	Sirirat Phetprapatsorn	108
สถาพร เรืองรุ่ง	124	Sathaphorn Ruengrung	125
สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ	172	Somkiat Phornphisutthimas	173
สิริยาภรณ์ อ่อนโยน	49	Siriyaporn Onyone	50
สุทธนา พลอดสมบูรณ์	49	Sutthana Plodsomboon	50
สุพจน์ หารหนองบัว	58	Supot Hannongbua	59
สุระ วุฒิพรหม	97	Sura Wuttiprom	98
เสนอ ชัยรัมย์	158	Sanoe Chairam	159
อนุวัฒน์ เปพาทย์	39	Anuwat Paphat	40
อรัญญา พิมพมงคล	49	Aranya Pimmongkol	50
อรุณ ชาญชัยเขาวีวัฒน์	172	Arun Chanchaichaovivat	173
อัญชลีกร คำหลัก	12	Aunchaleekorn Khamla	13
อิสสระ พิมวัน	97	Itsara Phimwan	98





## วารสารวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ศึกษา (JSSE)

งานส่งเสริมการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

85 ถนนสถลมารค ตำบลเมืองศรีโค อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

โทรศัพท์ 045-353401 ต่อ 4425 โทรสาร 045-353422

Email : [jsse.sci.ubu@gmail.com](mailto:jsse.sci.ubu@gmail.com) หรือ [saksri.s@ubu.ac.th](mailto:saksri.s@ubu.ac.th)

วันที่พิมพ์ 6 พฤษภาคม 2565