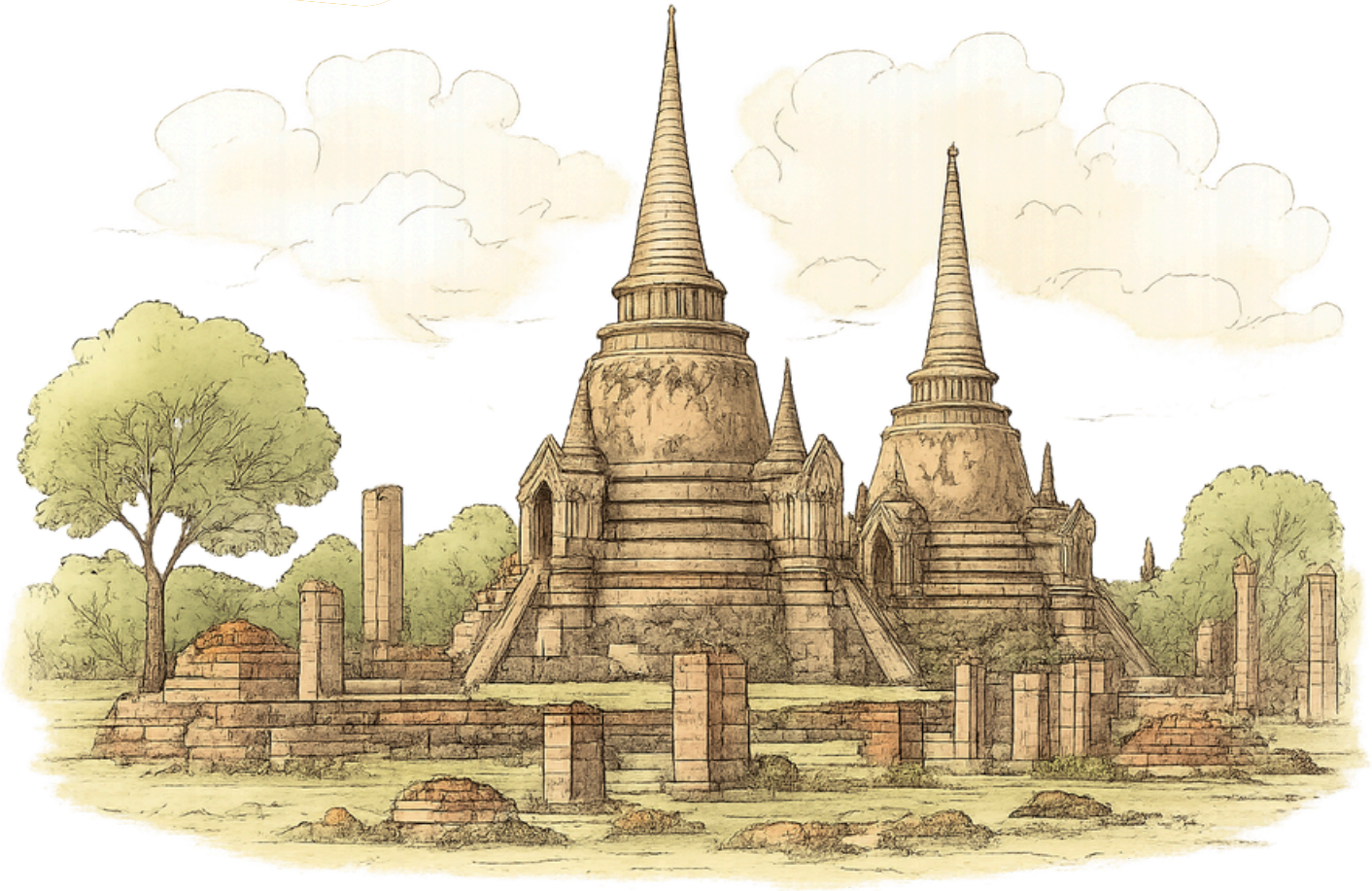
ARU JASI

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Journal of Applied Science and Innovation

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม

2569



ISSN: 3088-3652 (Online)

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569

ติดต่อและส่งบทความ

กองบรรณาธิการวารสาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
jasi.sciaru@aru.ac.th
035-245-888

ประสานงาน

นางปวีณา มะลิซ้อน
paweena@aru.ac.th
035-245-888

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม
Journal of Applied Science and Innovation
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569

วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม มุ่งเผยแพร่บทความวิจัย และบทความวิชาการในสาขาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ เพื่อส่งเสริมการพัฒนางานวิจัยคุณภาพสูงที่มีความถูกต้องเชิงวิชาการ สามารถประยุกต์ใช้ได้จริง และสร้างผลกระทบเชิงพัฒนาแก่ท้องถิ่น ภูมิภาค และประเทศ โดยมีผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) ในสาขานั้น ๆ จำนวน 3 ท่าน จากหลากหลายสถาบัน ซึ่งผู้ประเมินจะไม่ทราบชื่อผู้เขียนและผู้เขียนจะไม่ทราบชื่อผู้ประเมิน (Double-blinded) โดยไม่มีค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์

ขอบเขต

วารสารรับพิจารณาต้นฉบับที่เป็นบทความวิจัย และบทความวิชาการ ในสาขาต่อไปนี้

1. วิทยาศาสตร์ประยุกต์ (Applied Sciences)
   1.1 วิทยาศาสตร์กายภาพ (ฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยาประยุกต์)
   1.2 วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์การกีฬา และวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐาน
   1.3 วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และพลังงานสีเขียว
2. เทคโนโลยีและนวัตกรรม (Technology & Innovation)
   2.1 เทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตรและอาหาร
   2.2 เทคโนโลยีดิจิทัล ระบบสารสนเทศ คอมพิวเตอร์ วิศวกรรมซอฟต์แวร์ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง และปัญญาประดิษฐ์
   2.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม เทคโนโลยีชีวภาพ วัสดุศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยี
3. นวัตกรรมเพื่อการพัฒนาชุมชนและพื้นที่ (Local & Community Innovation)
   3.1 งานวิจัยเพื่อยกระดับเศรษฐกิจฐานรากด้วยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม
   3.2 งานวิจัยและนวัตกรรมเชิงพื้นที่เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

นโยบายการจัดพิมพ์วารสาร

วารสารเปิดรับพิจารณาต้นฉบับบทความวิจัยและบทความวิชาการ ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยผลงานที่ส่งเข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องไม่เคยได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ที่วารสารอื่น นอกจากนี้ เนื้อหาและรูปภาพประกอบทั้งหมดจะต้องไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ใด ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์จะถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความโดยตรง

เกณฑ์การพิจารณาบทความ

1. บทความวิจัยที่มีกระบวนการวิจัยเกี่ยวข้องกับมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง จะต้องได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง จึงจะได้รับการพิจารณาลงตีพิมพ์ในวารสาร
2. บทความจะมีการตรวจสอบคุณภาพโดยผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบันในสาขานั้น จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double-blind peer review)
3. กองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงบทความให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการตัดสินตีพิมพ์บทความให้หรือไม่ก็ได้

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับ

การจัดรูปแบบบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ผู้เขียนบทความสามารถจัดรูปแบบบทความตามตัวอย่างที่แสดงใน Template ซึ่งทางวารสารได้ตั้งค่าขนาดหน้ากระดาษ รูปแบบหน้าแรก รูปแบบและขนาดตัวอักษร คำอธิบายสำหรับการเขียนบทความ วิธีการเขียนเนื้อเรื่อง การเขียนอ้างอิง การใส่ภาพและตาราง ผู้เขียนสามารถดาวน์โหลดเอกสารชุดนี้ได้จากเว็บไซต์ของวารสาร หรือศึกษาจากคำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับท้ายเล่มของวารสาร

การส่งต้นฉบับบทความ

ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับบทความ โดยบทความวิจัยและบทความวิชาการต้องมีความยาวไม่ต่ำกว่า 8 หน้ากระดาษ แต่ไม่เกิน 20 หน้ากระดาษขนาด A4 พร้อมกรอกแบบฟอร์มนำส่งบทความวิจัยหรือบทความวิชาการ ซึ่งระบุวิธีการจัดส่งในเอกสารแบบฟอร์มดังกล่าวโดยส่งผ่านระบบเว็บไซต์ของวารสารที่เว็บไซต์ https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

ข้อมูลเผยแพร่

https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

เลขมาตรฐานสากล

ISSN: 3088-3652 (Online)

กำหนดการเผยแพร่

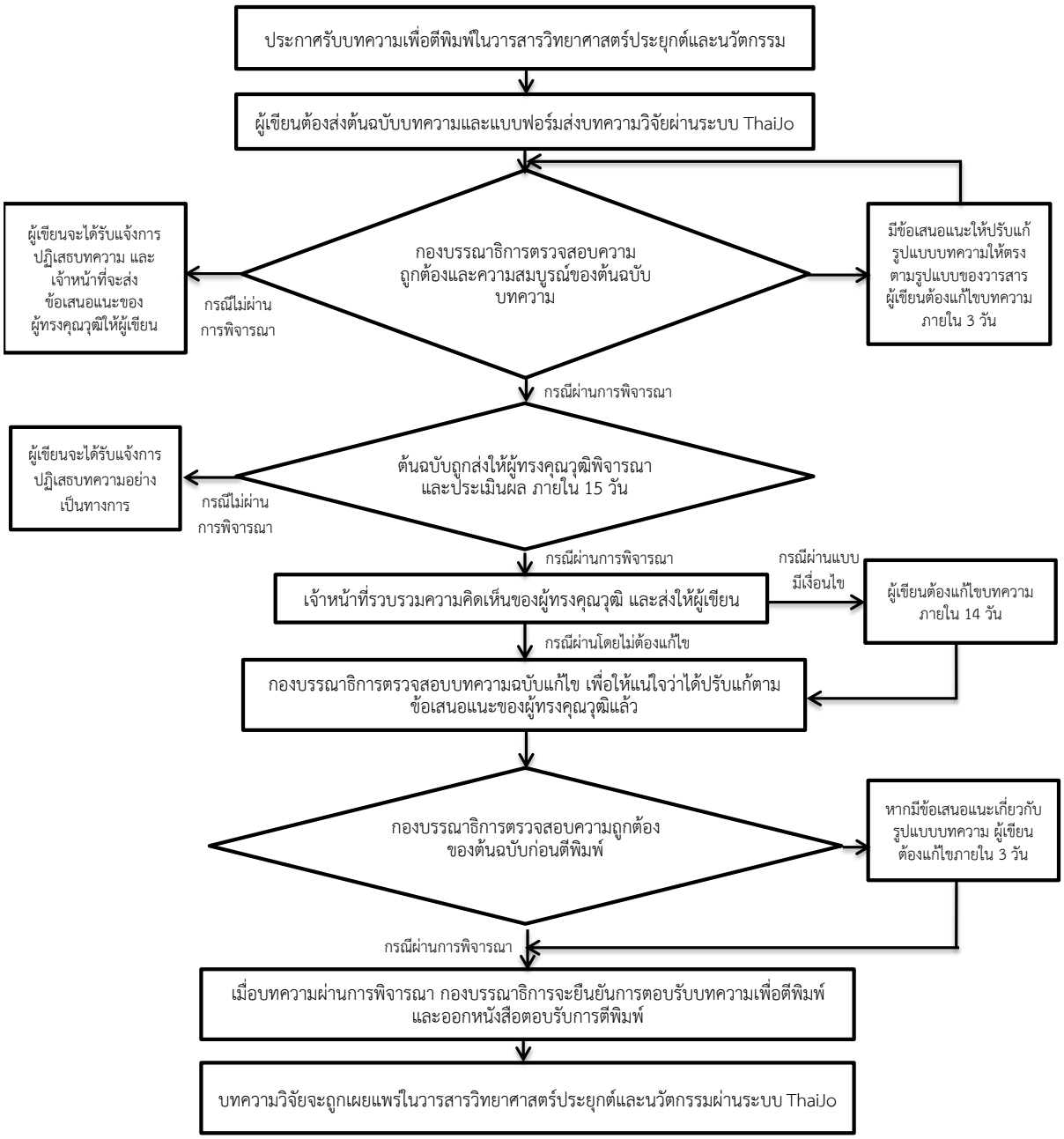
วารสารตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี
ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน
ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม

ประเภทบทความที่รับพิจารณา

วารสารรับพิจารณาบทความตามประเภทต่อไปนี้

1. บทความวิจัย (Research Article) : รายงานผลการศึกษาที่มีระเบียบวิธีชัดเจน
2. บทความวิชาการ (Academic Article) : วิเคราะห์หรือสังเคราะห์องค์ความรู้ในประเด็นเฉพาะ

ขั้นตอนการดำเนินการและการพิจารณาบทความ



การติดต่อวารสาร

กองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
เลขที่ 96 หมู่ 2 ตำบลประตูชัย อำเภอพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา
E-mail: jasi.sciaru@aru.ac.th โทร: 035-245-888 โทรสาร: 035-245-888

การติดต่อประสานงาน

นางปวีณา มะลิซ้อน
E-mail: paweena@aru.ac.th โทร: 035-248-888

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขรักษ์ แซ่เจี่ย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.พิทยา ใจคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

กองบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

ศาสตราจารย์ ดร.พรชัย ราชตนะพันธุ์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สรรพสิทธิ์ กล่อมเกล้า	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ศาสตราจารย์ ภญ.ร.ต.อ.หญิง ดร.สุชาดา สุขหร่อง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ วาดเขียน	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.จตุพร ทองศรี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วสุ ปฐมอารีย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.กันต์ อินทุวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นงเยาว์ ในอรุณ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา รัตนเสนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เลิศชาย สถิตย์พนาวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิรประภา ดีประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัททิรา หอมหวล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางปวีณา มะลิซ้อน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
นางสาวกัญญาภรณ์ ศรีไทย	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ
วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม
ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน 2569

รองศาสตราจารย์ ดร.เกตุการ ดาจันทา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ บุญกุศล	มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พิทยา ใจคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพล แสนบุญส่ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
รองศาสตราจารย์ ดร.สามารถ สายอุต	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญตา ศรีนคร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติพนธ์ ศรีสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญนันท์ ฤทธิ์มณี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นรากร ศรีสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิภาพร ชนะมาร	มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปพนพัชร์ ภัทรฐิติวัสส์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พันธ์ทิพย์ โอฬารรัตน์มณี	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิลาพรรณ โพธิ์นรินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนาวดี พานทอง	มหาวิทยาลัยพะเยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวลัญช์ ฉิมพะเนาว์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชราภรณ์ ตันติพนาทิพย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แววดาว ดาทอง	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศนิ จิระสถิตย์	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัฏฐพล อิสสระ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทุมพร สุระยศ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุภาวิณี แสนทวีสุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
อาจารย์ ดร. อัครพล พูลสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
อาจารย์ ดร.กันยาลักษณ์ โพธิ์ดง	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
อาจารย์ ดร.จารุวรรณ กาญจนศุภวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
อาจารย์ ดร.พุทธิดา สกุลวิริยกิจกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ ดร.วิโรจน์ ยอดสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
อาจารย์ ดร.สุทธยศ ยิ้มพูลทรัพย์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

บทบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งในการนำเสนอ วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม (Journal of Applied Science and Innovation) ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 ซึ่งเป็นฉบับปฐมฤกษ์ของวารสารที่จัดตั้งขึ้นเพื่อเป็นเวทีเผยแพร่ผลงานวิจัยและบทความวิชาการด้านวิทยาศาสตร์ประยุกต์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม โดยมุ่งเน้นการสร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเศรษฐกิจ สังคม ชุมชน และอุตสาหกรรม ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน วารสารดำเนินงานภายใต้กระบวนการพิจารณาบทความโดยผู้ทรงคุณวุฒิประเมินแบบไม่เปิดเผยตัวตนสองทาง (Double-Blind Peer Review) เพื่อให้ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์มีคุณภาพ เป็นไปตามมาตรฐานวิชาการ และเป็นแหล่งอ้างอิงที่น่าเชื่อถือสำหรับนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจ

ในโอกาสนี้ กองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้เขียนบทความ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ และผู้มีส่วนร่วมทุกท่านที่ร่วมกันผลักดันให้วารสารฉบับปฐมฤกษ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี พร้อมทั้งหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างองค์ความรู้ การแลกเปลี่ยนทางวิชาการ และการพัฒนางานวิจัยและนวัตกรรมของประเทศ ทั้งนี้ กองบรรณาธิการขอเชิญชวนนักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจร่วมส่งผลงานเพื่อตีพิมพ์ในวารสารฉบับต่อไป เพื่อร่วมกันพัฒนาวารสารให้ก้าวสู่การเป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพและได้รับการยอมรับทั้งในระดับประเทศและระดับนานาชาติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขรักษ์ แซ่เจี่ย
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความ	เลขที่บทความ
ผลของกากถั่วดาวอินคาผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคา Effect of Sacha Inchi Pressed Cake on the Quality of Instant Sacha Inchi Powdered Beverage สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ เกตุการ ดาจันทา อุทัยวรรณ ฉัตรธง ชุติมา เลิศลักษมี และสุภัชญาพร นิตย์สุวัฒน์ Sirikarn Thanaboonrongkom, Katekan Dajanta, Utaiwan Chattong, Chutima Lerdluksamee and Supatchayaporn Nitsuwat	26101
การวิเคราะห์ความต้องการระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนของเจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐในจังหวัดนครราชสีมา Requirements Analysis of a Poverty Household Information System for Government Agency Officers in Nakhon Ratchasima Province ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล และกนกพร ฉิมพลี Chutrapee Popitikul and Kanokporn Chimplee	26102
ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: ศักยภาพ จริยธรรม และสมรรถนะผู้สอนในศตวรรษที่ 21 Artificial Intelligence in Science and Technology Education: Potential, Ethics, and Educator Competency for the 21st Century สาโรช พูลเทพ คณิต เขียววิชัย และไพรินทร์ ไทยสงเคราะห์ Saroj Pullteap, Kanit Kheovichai and Phairin Thaisongkroh	26103
อิทธิพลของลูกแป้งพื้นบ้านต่อคุณภาพและการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำในภาคเหนือตอนล่าง Influence of Traditional Starters on the Quality and Fermentation of Black Glutinous Rice Khao-Mak in Lower Northern Thailand เกตุการ ดาจันทา สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ อุทัยวรรณ ฉัตรธง ชุติมา เลิศลักษมี และสุภัชญาพร นิตย์สุวัฒน์ Katekan Dajanta, Sirikarn Thanaboonrongkom, Utaiwan Chattong, Chutima Lerdluksamee, and Supatchayaporn Nitsuwan	26104
การพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผงทดแทนน้ำตาลด้วยอิริทริทอล Development of Red Jasmine Brown Rice Gel Food Supplemented with Cricket Powder and Sweetened with Erythritol ชลธิชา มงคลสนธิ์ ศรัญญา สุวรรณอังกูร และปัณณปภณ ใจฉกรรจ์ Chonthicha Mongkhonson, Saranya Suwanangul, and Pannapapol Jaichakan	26105

สารบัญ (ต่อ)

บทความ	เลขที่บทความ
ศักยภาพของไส้เดือนทะเล *Prionospio membranacea* ในการบำบัดทางชีวภาพของดินตะกอนอินทรีย์สารสูงใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี Potential of the Spionid Polychaete *Prionospio membranacea* for Bioremediation of Organically Enriched Sediments Beneath Green Mussel Rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province ณัฐกิตติ์ โตอ่อน และอลงกต อินทรชาติ Natthakitt To-orn and Alongot Intarachart	26106
ระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะบนสถาปัตยกรรมเว็บสมัยใหม่ด้วยปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ An Intelligent Resume Builder based on Modern Web Architecture using Generative Artificial Intelligence อนัญญา สุภากรณ์ ปียดา กำแก้ว และรัตนาวดี พานทอง Ananya Supakorn, Peeyada Kamkaew, and Rattanawadee Panthong	26107
การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร Development of an Information System for Online Classroom Management at Sribangsai School สิริญญา โกษะ และอธิบ โพทอง Siriya Kosa and Atip Phothong	26108
สัตว์หน้าดินกับการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา : บทเรียนสังเคราะห์จากแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ Benthic Fauna and Environmental Quality Assessment of Water Bodies in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province: A Synthetic Review from Natural Waters, Community Areas, and Aquaculture Systems ณัฐกิตติ์ โตอ่อน Natthakitt To-orn	26109
การพัฒนาคุกกี้เนยโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลี Development of Butter Cookies with Partial Wheat Flour Substitution by Sacha Inchi Press Cake and Supplementation of Banana Blossom Powder ธีรเดช รัศมีคม จรัสสินี สุวีรานนท์ และศุภวัฒน์ นามคำ Theeradech Rassameekom, Jaratsinee Suweeranon, and Supawat Namkham	26110

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26101)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26101)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

ผลของกากถั่วดาวอินคาผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคา

Effect of Sacha Inchi Pressed Cake on the Quality of Instant Sacha Inchi Powdered Beverage

สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ* เกตุการ ดาจันทา อุทัยวรรณ ฉัตรธง ชุติมา เลิศลักษมี และสุภัชญาพร นิตย์สุวัฒน์
Sirikarn Thanaboonrongkom*, Katekan Dajanta, Utaiwan Chattong, Chutima Lerdluksamee and Supatchayaporn Nitsuwat

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000
Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology,
Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000, Thailand

Received: 07-04-2026, Revised: 17-04-2026, Accepted: 17-04-2026, Published: 28-05-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาโดยผันแปรปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบว่า ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง และความหนืดของเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคา แต่ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันกลับส่งผลให้เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคามีค่าความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ยังส่งผลให้ดัชนีการดูดซับน้ำของเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคามากขึ้น ในด้านผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า การเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาในสูตรการผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาเท่ากับ 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นถั่วดาวอินคา รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงคัดเลือกเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 6.82±1.79 คะแนน เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากกากถั่วดาวอินคาในสูตรการผลิตให้มากที่สุด

คำสำคัญ: ดัชนีการดูดซับน้ำ, ดัชนีการละลาย, กากถั่วดาวอินคา, ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผง

Abstract

This study aimed to develop an instant powdered beverage from sacha inchi pressed cake by incorporating the pressed cake at four different levels: 40%, 50%, 60%, and 70%. The results indicated that varying levels of sacha inchi pressed cake had no significant effect on the pH and viscosity of the beverage formulations. However, increasing the proportion of pressed cake significantly affected the moisture content, total soluble solids, and bulk density of the instant powdered beverage ($P \leq 0.05$). In addition, the water absorption index increased proportionally with higher levels of sacha inchi pressed cake incorporation. Sensory evaluation revealed that formulations containing 40% and 50% pressed cake showed no significant differences ($P > 0.05$) in scores for sacha inchi aroma, sweetness, viscosity, and overall

*Corresponding author: hrongkom@gmail.com

acceptability. Therefore, the formulation containing 50% sacha inchi pressed cake was selected as the optimal formulation, with an overall acceptability score of 6.82±1.79, as it provided the highest utilization of pressed cake while maintaining acceptable sensory quality.

Keywords: Water absorption index, Water soluble index, Sacha inchi pressed-cake, Instant beverage powder from sacha inchi pressed-cake

1. บทนำ

ถั่วดาวอินคา (*Plukenetia volubilis* L. หรือ Sacha ichi) เป็นพืชน้ำมันที่ได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะโปรตีนที่มีกรดอะมิโนจำเป็นอย่างครบถ้วน นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของโอเมก้า 3 6 และ 9 อีกด้วย ในกระบวนการบีบสกัดน้ำมันด้วยกระบวนการสกัดเย็นเพื่อผลิตน้ำมันถั่วดาวอินคาจะเกิดผลพลอยได้ปริมาณมากในรูปแบบของ กากถั่วดาวอินคา (Sacha Inchi pressed-cake) โดยกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดไขมันออกแล้วถือเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีปริมาณสูง รวมทั้งอุดมไปด้วยเส้นใยอาหารและกรดอะมิโนจำเป็น (Muñoz et al., 2025; Ana-Milena et al., 2018; Maurer et al., 2012) ปัจจุบันมีประเทศไทยได้มีการเพาะปลูกถั่วดาวอินคามากขึ้น มีโรงงานที่ผลิตน้ำมันจากถั่วดาวอินคาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เพิ่มมากขึ้น จึงมีกากถั่วดาวอินคาที่เป็นของเหลือจากกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้น แต่การใช้ประโยชน์ยังจำกัด เนื่องจากกากถั่วดาวอินคามีกลิ่นเฉพาะตัวที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากนัก แต่อย่างไรก็ตามกากถั่วดาวอินคากลับมีจุดเด่นคือ มีปริมาณโปรตีนสูงถึง 40-60 เปอร์เซ็นต์ มีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน โดยเฉพาะกรดอะมิโนลิวซีน วาลีน และไอโซลิวซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนสำคัญในการสังเคราะห์โปรตีนของกล้ามเนื้อและช่วยเพิ่มกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Muñoz et al., 2025; Rodríguez-Pérez et al., 2024) นอกจากนี้ยังปราศจากคอเลสเตอรอล และไขมันทรานส์ และมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดีอีกด้วย (Rawdkuen et al., 2018) ดังนั้นกากถั่วดาวอินคาจึงมีความเหมาะสมเป็นอย่างยิ่งที่จะนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและผลิตภัณฑ์อาหารเสริม โดยจากงานวิจัยของ Rodríguez-Pérez et al. (2024) ได้ศึกษาการนำกากถั่วดาวอินคาที่สกัดไขมันออกแล้ว (Defatted Sacha Inchi flour) มาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เพื่อสกัดเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสตพบว่า ได้เป็นสารเปปไทด์ที่ได้มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านการอักเสบได้ และกากถั่วดาวอินคามีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water holding capacity) และความสามารถในการกักเก็บน้ำมัน (Oil holding capacity) ที่ดี ดังนั้นกากถั่วดาวอินคาจึงถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอุตสาหกรรมอาหารอย่างหลากหลาย โดยมีการนำไปใช้เป็นส่วนผสมทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนและใยอาหาร ตลอดจนนำไปพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวทางเลือกเพื่อสุขภาพ นอกจากนี้สารสกัดโปรตีนเข้มข้น (Protein isolates) และโปรตีนไฮโดรไลเสตจากกากถั่วดาวอินคายังมีศักยภาพสูงในการนำไปเป็นส่วนผสมเชิงฟังก์ชันในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ผลิตภัณฑ์ทดแทนเนื้อสัตว์และโภชนเภสัช (Mancera et al., 2025) แต่พบว่ายังมีข้อมูลเกี่ยวกับการนำกากถั่วดาวอินคาไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปจำนวนน้อย

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่เหมาะสมในสูตรการผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคา ซึ่งเป็นนวัตกรรมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่เกิดจากการนำวัสดุเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าและพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถนำกากถั่วดาวอินคามาใช้ประโยชน์สูงสุด และเป็นข้อมูลในการสร้างแหล่งโปรตีนทางเลือกใหม่ (Plant-based protein) ที่มีความยั่งยืนต่อไป

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จจากกากถั่วดาวอินคาประกอบด้วย กากถั่วดาวอินคา รับมาจาก บริษัท โอเมกา 3.6.9 แอนด์ ไลโคปีน จำกัด จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งเป็นกากเหลือจากกระบวนการบีบสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคาเรียบร้อยแล้ว จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดสมุนไพร ครีมเทียมจากถั่วเหลืองจาก บริษัท พรีเซิร์ฟ ฟู้ด สเปเชียลตี้ จำกัด มอล์ตสกัดแบบผง มอลติตอล Soy protein isolate และสารสกัดจากหญ้าหวานรับมาจากบริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด Soy lecithin, Silicon dioxide วิตามินซี วิตามินบีรวม Psyllium hut และ Co-Enzyme Q10 รับมาจากบริษัท วิคกี้ เอนเตอร์ไพรซ์ จำกัด และคลอลาเจนจากปลาทะเล รับมาจากบริษัท ทาเลนท์ จำกัด

2.2 ศึกษาผลของกากถั่วดาวอินคาต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคา

ศึกษาปริมาณของกากถั่วดาวอินคาที่เติมลงในสูตรการผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจาก กากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีสูตรการผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทำการชั่งส่วนผสมตามสูตร จากนั้นผสมให้เข้ากันและบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยด์ถุงละ 100 กรัม ปิดผนึกให้สนิท จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไป ตรวจวิเคราะห์หาสมบัติทางเคมี กายภาพ และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนี้

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน

ส่วนผสม	ปริมาณกากถั่วดาวอินคา (เปอร์เซ็นต์)			
	40	50	60	70
1. กากถั่วดาวอินคาบดละเอียด	40	50	60	70
2. มอล์ตสกัด	8	8	8	8
3. ครีมเทียมจากถั่วเหลือง	13	13	13	13
4. Soy protein isolate	5	5	5	5
5. มอลติตอล	20	20	20	20
6. สตีเวีย	0.1	0.1	0.1	0.1
7. Soy lecithin	0.5	0.5	0.5	0.5
8. Silicon dioxide	0.5	0.5	0.5	0.5
9. Co-Enzyme Q10	0.1	0.1	0.1	0.1
10. คลอลาเจน	2	2	2	2
11. วิตามินซี	0.5	0.5	0.5	0.5
12. วิตามินรวม	0.5	0.5	0.5	0.5
13. Psyllium hut	0.5	0.5	0.5	0.5

2.3 วิธีวิเคราะห์

นำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปจากกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันทั้ง 4 สูตร ไปทำการวิเคราะห์สมบัติด้านเคมีและกายภาพประกอบด้วย ค่าสีด้วยระบบ L^*, a^* และ b^* ด้วยเครื่องวัดค่าสี Minolta (Color reader, CR-10, Japan) ค่ากิจกรรมของน้ำ (Water activity, a_w) ด้วย

เครื่อง Water activity Meter (Aqualab by Decagon, USA) ปริมาณความชื้น ด้วยวิธี AOAC (2000) ดัชนีการดูดซึมน้ำ (Water absorption index) และดัชนีการละลาย (Water solubility index) โดยวิธีของดารารัตน์ และคณะ (2554) ค่าความเป็นกรด–ด่างด้วยเครื่อง pH meter (Mettler Toledo รุ่น MS 204, Switzerland) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, °Brix) โดยเครื่อง Hand refractometer (ATAGO, Japan) และวัดค่าความข้นหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืดอาหาร Brookfield viscometer (Mettled toledo, Thailand Ltd., USA)

2.4 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด) โดยทดสอบคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏก่อนชง ลักษณะปรากฏหลังชง สี กลิ่นกากถั่วดาวอินคา กลิ่นโดยรวม รสชาติ รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม เพื่อคัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยโดยรวมสูงที่สุด โดยทำการชั่งตัวอย่างเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาจำนวน 25 กรัม ละลายในน้ำร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปริมาตร 150 มิลลิลิตร คนให้ละลายเข้ากันดี เสิร์ฟในถ้วยแก้วทนร้อนปริมาตร 20 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง

2.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองวางแผนแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ส่วนการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ทดสอบชิมเป็นบล็อก ข้อมูลที่ได้ถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปริมาณของกากถั่วดาวอินคาที่เหมาะสมในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคา โดยทำการผันแปรปริมาณผงกากถั่วดาวอินคาออกเป็น 4 ระดับ คือ 40 50 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พร้อมได้เสริม Functional ingredients เพื่อให้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ สร้างจุดเด่นและความแตกต่างให้กับผลิตภัณฑ์ และนำไปตรวจวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ตารางที่ 2 แสดงผลของปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาพบว่า ปริมาณกากถั่วดาวอินคาในสูตรเครื่องดื่มที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่างและความหนืดของเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคา แต่ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันส่งผลให้เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคามีค่าความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากการนำกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการหีบน้ำมันออกแล้ว มาผ่านกระบวนการบดด้วยเครื่องบดสมุนไพรที่เกิดความร้อนขึ้นในขณะทำการบดละเอียด เพื่อใช้เป็นส่วนผสมหลักในเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากกากถั่วดาวอินคาส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจาก 0.66±0.02 g/cm³ (40 เปอร์เซ็นต์) เพิ่มขึ้นเป็น 0.74±0.01 g/cm³ (70 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นผลจากการที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาเพิ่มมากขึ้น แต่พบว่าค่าความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จจากกากถั่วดาวอินคายังมีค่าสูงกว่าผงโปรตีนไอโซเลทที่ได้จะมีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.37 g/cm³ ซึ่งถือเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของโปรตีนพืชและมีความเหมาะสมต่อ

การนำไปผสมในสูตรอาหาร (Rawdkuen et al., 2022) เนื่องจากใช้กระบวนการเตรียมกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่า ดัชนีการดูดซับน้ำของเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคามากขึ้น ซึ่งจากรายงานของ Mancera et al. (2025) ได้รายงานว่ากากถั่วดาวอินคาที่มีค่าดัชนีการดูดซับสูงถึง 4.16±0.63 จึงส่งผลให้การเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาในส่วนผสมของเครื่องดื่มจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เครื่องจากกากถั่วดาวอินคา มีดัชนีการดูดซับเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาส่งผลให้เครื่องดื่มโปรตีนชนิดผงจากถั่วดาวอินคามีดัชนีการละลายลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ($P \leq 0.05$) โดยเครื่องดื่มที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคา 70 เปอร์เซ็นต์ มีดัชนีการละลายต่ำที่สุดเพียง 24.59±7.38 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระบวนการบีบอัดสกัดน้ำมัน (Mechanical pressing) แม้จะเป็นการสกัดเย็นที่ไม่ผ่านความร้อนแต่มักก่อให้เกิดแรงเสียดทานอย่างรุนแรง ซึ่งส่งผลให้โปรตีนในกากถั่วดาวอินคาเกิดการ เสียสภาพทางธรรมชาติ (Denaturation) ทำให้ความสามารถในการจับกับน้ำ (Water hydration) และการละลายน้ำของกากถั่วดาวอินคามีค่าลดลง (Torres-Sánchez et al., 2023)

ตารางที่ 2 สมบัติทางเคมีและกายภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ผันแปรปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน

สมบัติทางเคมีและกายภาพ	ปริมาณกากถั่วดาวอินคา (เปอร์เซ็นต์)			
	40	50	60	70
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	2.35±0.26^{a}	2.78±0.04^{a}	3.41±0.40^{b}	3.73±0.24^{b}
ค่าความเป็นกรด-ด่าง^{ns}	6.17±0.01	6.19±0.02	6.17±0.01	6.17±0.01
ค่า a_w	0.37±0.01^{a}	0.37±0.05^{a}	0.32±0.01^{b}	0.32±0.01b^{c}
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (ºBrix)	5.57±0.40^{a}	6.17±0.29^{b}	6.17±0.29^{b}	7.00±0.00^{c}
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.66±0.02^{a}	0.67±0.02^{a}	0.71±0.01^{b}	0.74±0.01^{c}
ความข้นหนืด (cP)^{ns}	6.66±0.21	6.67±0.50	6.40±0.30	6.30±0.10
ดัชนีการดูดซึมน้ำ	1.12±0.04^{b}	1.28±0.03^{a}	1.33±0.04^{a}	1.33±0.05^{a}
ดัชนีการละลาย (เปอร์เซ็นต์)	47.89±4.24^{c}	40.55±2.41^{b}	40.43±2.62^{b}	24.59±7.38^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ตารางที่ 3 แสดงค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่เติมกากถั่วดาวอินคาในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่า เมื่อเติมปริมาณกากถั่วดาวอินคาเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปจากถั่วดาวอินคาจะมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นสีตามธรรมชาติของกากถั่วดาวอินคาบดละเอียดและสีของส่วนผสมที่ใช้อย่างมอล์ตสกัด ครีมเทียมถั่วเหลือง และ soy protein isolate ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อนเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเติมกากถั่วดาวอินคาในปริมาณที่มากขึ้นจึงไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีของผลิตภัณฑ์ และจากการที่ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคามีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อนตามสีธรรมชาติของวัตถุดิบ และเมื่อนำไปชงนำน้ำร้อนในอัตราส่วนเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากถั่วดาวอินคาปริมาณ 25 กรัม ต่อน้ำร้อน 150 มิลลิลิตร แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีสีเหลืองอ่อนน่ารับประทาน

ตารางที่ 3 ผลของกากถั่วดาวอินคาต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาที่ผันแปรปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน

ปริมาณกากถั่วดาวอินคา (เปอร์เซ็นต์)	ค่าสี		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
40	82.9±0.9	2.6±1.0	23.1±0.6
50	83.5±0.8	2.6±0.2	22.7±0.2
60	80.6±0.8	2.6±0.4	24.4±0.2
70	79.6±0.2	2.8±0.5	24.6±0.3

หมายเหตุ : อักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันตามแนวคอลัมน์แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันไปประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อคัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบเฉลี่ยโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งมีผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารโปรตีนสูงสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกัน

คุณลักษณะ	ปริมาณกากถั่วดาวอินคา (เปอร์เซ็นต์)			
	40	50	60	70
ลักษณะปรากฏ**ก่อนชง**^{ns}	6.86±1.24	7.04±1.04	6.86±0.93	6.75±1.14
ลักษณะปรากฏ**หลังชง**^{ns}	6.46±0.96	6.68±0.86	6.68±0.98	6.39±1.23
สี ^{ns}	6.64±1.16	6.71±0.94	6.61±0.96	6.68±1.25
กลิ่นถั่วดาวอินคา	5.43±1.91^{ab}	5.79±1.93^{b}	5.11±1.81^{a}	5.21±1.97^{a}
กลิ่นโดยรวม^{ns}	5.75±1.84	6.04±1.90	5.75±1.76	5.82±1.74
รสหวาน	6.36±1.95^{b}	6.39±1.75^{b}	5.21±1.71^{a}	4.89±1.77^{a}
ความข้นหนืด	6.11±1.31^{c}	5.86±1.27^{bc}	5.68±1.33^{ab}	5.46±1.43^{a}
ความชอบโดยรวม	6.39±1.59^{b}	6.82±1.79^{b}	5.57±1.32^{a}	5.29±1.72^{a}

หมายเหตุ : ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำหนดค่าของข้อมูลในแถวเดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
ns = ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันพบว่า ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏก่อนชง ลักษณะปรากฏหลังชง สี และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคา แต่ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นถั่วดาวอินคา รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวมลดลง แต่ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคา 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นถั่วดาวอินคา รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือก

สูตรเครื่องดื่มสำเร็จรูปชนิดผงจากกากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณ กากถั่วดาวอินคา 50 เปอร์เซ็นต์ ที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และเป็นการใช้กากถั่วดาวอินคาในสูตรการผลิตให้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้แก่กากถั่วดาวอินคา และลดของเหลือจากกระบวนการบีบสกัดน้ำมันเมล็ดถั่วดาวอินคาได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มจุดเด่นให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มสำเร็จรูปจากกากถั่วดาวอินคาที่มีองค์ประกอบของโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ซึ่งหลงเหลือในกากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการสกัดน้ำมัน (Maurer et al., 2012) ให้แตกต่างจากเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากโปรตีนพืชชนิดอื่นอีกด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาในสูตรการผลิตเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากถั่วดาวอินคาไม่มีผลต่อความหนืดและค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่กลับส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้น ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่เพิ่มขึ้นจาก 40 เป็น 70 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังส่งผลให้เครื่องดื่มสำเร็จรูปจากถั่วดาวอินคามีค่าดัชนีการละลายที่ลดลง และจากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า ปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏก่อนชง ลักษณะปรากฏหลังชง สี และกลิ่นโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มโปรตีนชนิดผงจากถั่วดาวอินคาที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาเท่ากับ 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนความชอบด้านกลิ่นถั่วดาวอินคา รสหวาน ความข้นหนืด และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังนั้น จึงเลือกสูตรเครื่องดื่มโปรตีนชนิดผงที่มีปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นสูตรเครื่องดื่มสำเร็จรูปจากถั่วดาวอินคาที่ผ่านการพัฒนาเพื่อนำไปต่อยอดในการผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและวิจัยของภาคเอกชนในพื้นที่ ภายใต้การสนับสนุนตามกลไกอุทยานวิทยาศาสตร์ภาคเหนือประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง

ดารารัตน์ นาคละออ, อาภัสรา แสงนาค และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. (2554). การปรับปรุงคุณภาพแป้งเมล็ดขนุนโดยวิธีการพรีเจลาทิไนซ์. *วารสารงานวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*, *1*, 12-21.

Ana-Milena, Vanegas-Azuero, & Gutiérrez L. F. (2018). Physicochemical and sensory properties of yogurts containing sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds and β-glucans from Ganoderma lucidum. *Journal of Dairy Science*, *101*, 1020–1033.

Mancera, C., Carrillo, W., & Alvarez-Barreto, C. I. (2025). Comprehensive characterization and valorization potential of Amazonian Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds, oil, and oilcake by-products for sustainable food applications. *Frontiers in Nutrition*, *12*, 1597300. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1597300

Martinou – Voulasiki, I.S., & Zerfirids, G.K. (1990). Effect of some stabilizers on textural and sensory characteristics of yogurt ice form sheep's milk. *Journal of Food Science*, *55* (3), 703-707.

Maurer, N. E., Hatta-Sakoda, B., Pascual-Chagman, G., & Rodriguez-Saona, L. E. (2012). Characterization and authentication of a novel vegetable source of omega-3 fatty acids, sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Food Chemistry*, *134*, 1173-1180.

Muñoz, L. A., Zampuni, M., Leri, M., & Buccioni, A. (2025). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil press-cake powder: Chemical characterization and in vitro bioactivity for sustainable applications. *Foods*, *14*(1), 105. https://doi.org/10.3390/foods14010105

Rawdkuen, S., Rodzia, N., & Pinijsuwan, S. (2018). Characterization of sacha inchi protein hydrolysates produced by crude papain and Calotropis proteases. *LWT - Food Science and Technology*, *98*, 18–24.

Rawdkuen, S., D'Amico, S., & Schoenlechner, R. (2022). Physicochemical, functional, and in vitro digestibility of protein isolates from Thai and Peru sacha inchi (Plukenetia volubilis L.) oil press-cakes. *Foods*, 11(12), 1708. https://doi.org/10.3390/foods11121708.

Rodríguez-Pérez, C., Quirantes-Piné, R., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2024). Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) protein hydrolysate as a new ingredient of functional foods. *Foods*, *13*(13), 2045. https://doi.org/10.3390/foods13132045.

Torres-Sánchez, E., Velezmoro, C., & Tarazona-Díaz, M. P. (2023). Isolation and characterization of protein fractions for valorization of sacha inchi oil press-cake. *Foods*, *12*(12), 2401. https://doi.org/10.3390/foods12122401

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26102)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26102)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

การวิเคราะห์ความต้องการระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนของเจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐ ในจังหวัดนครราชสีมา

Requirements Analysis of a Poverty Household Information System for Government Agency Officers in Nakhon Ratchasima Province

ฉัฐระพี โพธิ์ปิติกุล[1,*] และกนกพร ฉิมพลี[2]
Chutrapee Popitikul[1,*] and Kanokporn Chimplee[2]

[1]โปรแกรมวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
[2]โปรแกรมวิชาพัฒนาสังคม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000
[1]Computer Education Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand
[2]Social Sciences for Development Program, Faculty of Humanities and Social Sciences, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

Received: 01-05-2026, Revised: 07-05-2026, Accepted: 07-05-2026, Published: 28-05-2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความต้องการของระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนในมุมมองของเจ้าหน้าที่ภาครัฐ และพัฒนากรอบแนวคิด Sequential Mixed-Methods Requirements Analysis Framework (SMRAF) สำหรับโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐ ดำเนินการวิจัยในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสานเชิงลำดับขั้นสำรวจ (QUAL⟶quan) กับผู้เข้าร่วมจำนวน 20 คน จาก 10 หน่วยงานภาครัฐ ระยะเชิงคุณภาพใช้การสนทนากลุ่มร่วมกับการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาแบบ thematic analysis เพื่อสกัดประเด็นความต้องการของระบบ ส่วนระยะเชิงปริมาณใช้แบบสอบถามมาตรประมาณค่า Likert 5 ระดับ และกรอบแนวคิด MoSCoW prioritization เพื่อยืนยันและจัดลำดับความสำคัญของความต้องการระบบ ผลการศึกษาพบความต้องการหลัก 5 ด้าน ได้แก่ (1) การเข้าถึงและการใช้งานระบบ (2) ความครอบคลุมและคุณภาพข้อมูล (3) การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (4) การรายงานผลและการวิเคราะห์ข้อมูล และ (5) การบูรณาการระบบ โดยประเด็นการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลได้รับการจัดลำดับความสำคัญสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.75, SD = 0.44) และถูกจัดอยู่ในระดับ Must Have เจ้าหน้าที่จากทุกหน่วยงานสะท้อนปัญหาการปรากฏซ้ำของข้อมูลครัวเรือนเดียวกันในหลายฐานข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อความถูกต้องของการให้ความช่วยเหลือประชาชน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์เชิงปริมาณยังยืนยันผลการศึกษาเชิงคุณภาพในประเด็นที่ 1–4 และสะท้อนความแตกต่างด้านความรอบรู้ดิจิทัลระหว่างกลุ่มผู้ใช้ในประเด็นการบูรณาการระบบ งานวิจัยนี้นำเสนอชุดความต้องการของระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนที่ผ่านการตรวจสอบในบริบทประเทศไทย และเสนอกรอบ SMRAF สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการของโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐที่มีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลากหลายระดับความเข้าใจด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

คำสำคัญ : ระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจน, การวิเคราะห์ความต้องการ, วิธีวิจัยแบบผสมผสาน, การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล, ระบบสารสนเทศภาครัฐ

*Corresponding author: chutrapee.p@nrru.ac.th

Abstract

This study aimed to analyze the requirements of a poverty-household information system from the perspective of government officers and to develop the Sequential Mixed-Methods Requirements Analysis Framework (SMRAF) for e-government information system projects. The study was conducted in Nakhon Ratchasima Province, Thailand, using a sequential exploratory mixed-methods design (QUAL⟶quan) involving 20 participants from 10 government agencies. The qualitative phase employed focus group discussions and thematic analysis to identify system requirements, while the quantitative phase utilized a five-point Likert-scale questionnaire and the MoSCoW prioritization framework to validate and prioritize the identified requirements. The findings revealed five major requirement categories: (1) system accessibility and usability, (2) data coverage and quality, (3) data deduplication, (4) reporting and analytical functions, and (5) system integration. Among these, data deduplication received the highest priority rating ($\bar{X}$ = 4.75, SD = 0.44) and was classified as a Must Have requirement. Participants from all agencies emphasized the recurring issue of identical households appearing across multiple databases, which negatively affected the accuracy and fairness of public assistance allocation. Quantitative findings confirmed the qualitative results for the first four categories and further revealed differences in digital literacy and system understanding among user groups regarding system integration requirements. This study provides a validated set of requirements for poverty-household information systems in the Thai context and proposes the SMRAF framework as a practical approach for requirements analysis in e-government information system projects involving stakeholders with varying levels of technological understanding.

Keywords: Poverty household information system, Requirements analysis, Sequential exploratory mixed methods, Data deduplication, E-government information system

1. บทนำ

ปัญหาความยากจนและความเหลื่อมล้ำในประเทศไทยยังคงเป็นความท้าทายสำคัญที่ต้องอาศัยข้อมูลเชิงพื้นที่และระบบสารสนเทศที่มีประสิทธิภาพในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย รัฐบาลไทยได้พัฒนาระบบ Thai People Map and Analytics Platform (TPMAP) เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลครัวเรือนยากจนระดับชาติใน 5 มิติ โดยมีเป้าหมายเพื่อช่วยให้หน่วยงานภาครัฐสามารถระบุกลุ่มเป้าหมาย ติดตามการให้ความช่วยเหลือ และรายงานผลการดำเนินงานได้อย่างเป็นระบบ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2564) อย่างไรก็ตาม ในระดับพื้นที่โดยเฉพาะจังหวัดขนาดใหญ่ เช่น จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดูแลกลุ่มเปราะบางจำนวนมากกว่า 10 หน่วยงาน การดำเนินงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานยังมีความซับซ้อนสูง (กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์, 2565) แม้ TPMAP จะมีบทบาทสำคัญในฐานะระบบสารสนเทศกลางระดับชาติ แต่ระบบดังกล่าวถูกออกแบบเพื่อการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในภาพรวมมากกว่าการสนับสนุนการปฏิบัติงานประจำวันของเจ้าหน้าที่ระดับพื้นที่ เจ้าหน้าที่จำนวนมากยังต้องพึ่งพาการกรอกข้อมูลซ้ำซ้อนและการแลกเปลี่ยนข้อมูลผ่านไฟล์ Excel ซึ่งสะท้อนปัญหา Data Silos และการขาดความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างระบบ

(Interoperability) ที่พบได้ทั่วไปในระบบ e-Government (Scholl & Klischewski, 2007) แม้ว่าสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (2565) จะกำหนดกรอบ Government Enterprise Architecture (GEA) เพื่อสนับสนุนการบูรณาการข้อมูลภาครัฐในระดับประเทศ แต่การนำไปใช้จริงในระดับพื้นที่ โดยเฉพาะในระบบข้อมูลสวัสดิการสังคม ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น

งานวิจัยในบริบทประเทศไทยสะท้อนข้อจำกัดดังกล่าวอย่างต่อเนื่อง วีระพงศ์ มาลัย และคณะ (2566) พบว่าหน่วยงานภาครัฐระดับท้องถิ่นในภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังขาดทั้งทักษะดิจิทัลของบุคลากรและโครงสร้างพื้นฐานที่รองรับการบูรณาการข้อมูลระหว่างหน่วยงาน ขณะที่สุวิมล ว่องวาณิช (2565) รายงานว่าการพัฒนาระบบสารสนเทศด้านสวัสดิการสังคมของประเทศไทยยังประสบปัญหาด้านมาตรฐานข้อมูลและการประสานงานระหว่างหน่วยงาน ปัญหาเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องของข้อมูลและประสิทธิภาพในการช่วยเหลือประชาชน นอกจากนี้ ประเด็นดังกล่าวยังเชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) โดยเฉพาะ SDG 1 (No Poverty) และ SDG 16 (Peace, Justice and Strong Institutions) ที่มุ่งเน้นการขจัดความยากจนและการพัฒนาสถาบันภาครัฐที่มีประสิทธิภาพ โปร่งใส และตรวจสอบได้

ในมุมมองด้านวิศวกรรมระบบสารสนเทศ การวิเคราะห์ความต้องการ (Requirements Analysis) ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่มีผลต่อความสำเร็จของการพัฒนาระบบ เนื่องจากเป็นกระบวนการกำหนดว่าระบบควรมีหน้าที่และคุณลักษณะใดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ (Sommerville, 2016; Wiegers & Beatty, 2013) การสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการรวบรวมความต้องการจากผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายกลุ่มพร้อมกัน (Morgan, 2019) ขณะที่การวิเคราะห์เชิงเนื้อหาแบบ Thematic Analysis ของ Braun & Clarke (2006, 2021) ช่วยให้สามารถสกัดรูปแบบความหมายจากข้อมูลเชิงคุณภาพได้อย่างยืดหยุ่น นอกจากนี้ แบบจำลอง Technology Acceptance Model (TAM) ของ Davis (1989) ยังสนับสนุนแนวคิดว่าการรับรู้ประโยชน์ของระบบ (Perceived Usefulness) และความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) ควรถูกกำหนดจากมุมมองของผู้ใช้จริงผ่านกระบวนการ user-centered requirements elicitation

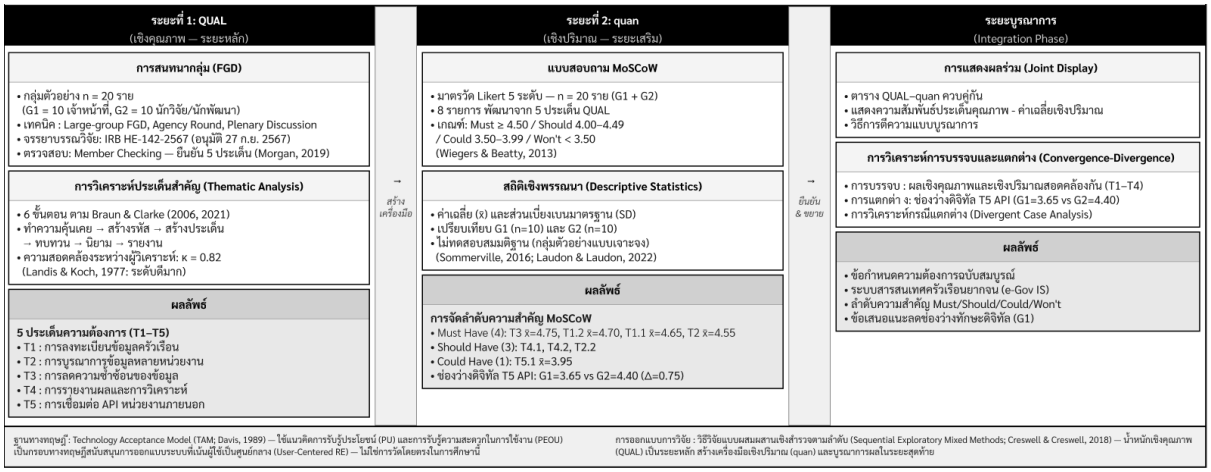
อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับ e-Government ส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นในระดับนโยบาย โครงสร้างพื้นฐาน หรือการประเมินความพร้อมด้านดิจิทัล มากกว่าการศึกษากระบวนการวิเคราะห์ความต้องการระบบจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ระดับปฏิบัติการในบริบทจังหวัดขนาดใหญ่ที่มีหลายหน่วยงานทำงานร่วมกัน ช่องว่างดังกล่าวนำไปสู่การวิจัยครั้งนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความต้องการของระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนในมุมมองของเจ้าหน้าที่ภาครัฐ และจัดลำดับความสำคัญของความต้องการตามกรอบ MoSCoW โดยผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ ได้แก่ ชุดความต้องการระบบที่ผ่านการตรวจสอบในบริบทประเทศไทย และกรอบการวิเคราะห์ความต้องการแบบผสมผสานเชิงลำดับขั้น Sequential Mixed-Methods Requirements Analysis Framework (SMRAF) สำหรับประยุกต์ใช้ในโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐที่มีบริบทคล้ายคลึงกัน

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้รูปแบบ Sequential Exploratory Mixed Methods Design (QUAL⟶quan) ตามแนวทางของ Creswell & Creswell (2018) โดยเริ่มจากระยะเชิงคุณภาพ (QUAL) ซึ่งเป็นระยะหลักของการวิจัย เพื่อสำรวจและสกัดประเด็นความต้องการของระบบสารสนเทศผ่านการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) และการวิเคราะห์เชิงเนื้อหาแบบ Thematic Analysis จากนั้นจึงนำข้อค้นพบที่ได้ไปพัฒนาเครื่องมือวิจัยเชิงปริมาณ (quan) เพื่อใช้ยืนยันและจัดลำดับความสำคัญของความต้องการระบบด้วย

แบบสอบถามมาตรประมาณค่า Likert 5 ระดับร่วมกับกรอบแนวคิด MoSCoW Prioritization ก่อนนำผลจากทั้งสองระยะมาบูรณาการร่วมกันในระยะ Integration การเลือกใช้ Sequential Exploratory Design มีพื้นฐานจากเหตุผลทั้งเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เนื่องจากบริบทของระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนในประเทศไทยยังขาดกรอบความต้องการระบบที่ชัดเจนและมีการศึกษาวิจัยเชิงลึกในระดับปฏิบัติการค่อนข้างจำกัด ผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องเริ่มต้นด้วยการสำรวจเชิงคุณภาพเพื่อทำความเข้าใจบริบท ปัญหา และความต้องการของผู้ใช้งานจริง ซึ่งไม่สามารถระบุได้อย่างครอบคลุมผ่านแบบสอบถามเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้ การใช้กรอบ MoSCoW Prioritization ยังช่วยแปลงข้อค้นพบเชิงคุณภาพให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ในการวางแผนและพัฒนาระบบสารสนเทศได้โดยตรง จึงตอบสนองทั้งเป้าหมายเชิงวิชาการและการประยุกต์ใช้เชิงปฏิบัติในเวลาเดียวกัน โดยกระบวนการดำเนินการวิจัยและการบูรณาการข้อมูลระหว่างระยะ QUAL และ quan แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิเคราะห์ความต้องการระบบสารสนเทศแบบผสมผสานตามลำดับขั้น (SMRAF)

ตารางที่ 1 รายละเอียดผู้เข้าร่วมวิจัย (รหัสแทนตัว P01–P20)

รหัส	หน่วยงาน	ตำแหน่ง/บทบาท	กลุ่ม
P01	สำนักงานพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์จังหวัดนครราชสีมา (พม.)	หัวหน้ากลุ่มนโยบายและวิชาการ	G1
P02	สำนักงานพัฒนาชุมชนจังหวัดนครราชสีมา (พช.)	นักวิชาการพัฒนาชุมชนชำนาญการพิเศษ	G1
P03	ที่ทำการปกครองจังหวัดนครราชสีมา (ปค.)	นักวิชาการคอมพิวเตอร์	G1
P04	สำนักงานส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นจังหวัดนครราชสีมา (สถ.)	นักส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นชำนาญการ	G1
P05	องค์การบริหารส่วนจังหวัดนครราชสีมา (อบจ.)	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการ	G1
P06	สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการพิเศษ	G1
P07	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา (สสจ.)	นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการ	G1
P08	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (มรนม.)	ผู้ประสานงานโครงการ	G1
P09	สำนักงานศึกษาธิการจังหวัดนครราชสีมา (ศธจ.)	นักวิชาการศึกษาชำนาญการ	G1
P10	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา (สสจ.)	นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการพิเศษ	G1
P11	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักพัฒนาระบบสารสนเทศ	G2
P12	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	วิศวกรซอฟต์แวร์อาวุโส	G2

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัส	หน่วยงาน	ตำแหน่ง/บทบาท	กลุ่ม
P13	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักจัดการข้อมูล	G2
P14	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักพัฒนาระบบ	G2
P15	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักวิเคราะห์ระบบ	G2
P16	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	ผู้เชี่ยวชาญฐานข้อมูล	G2
P17	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักวิจัยด้านวิทยาการข้อมูล	G2
P18	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักวิจัยด้านสังคมวิทยา	G2
P19	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักจัดการข้อมูลอาวุโส	G2
P20	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา	นักวิจัยด้านระบบสารสนเทศชุมชน	G2

2.2 ผู้เข้าร่วมวิจัย

ผู้เข้าร่วมวิจัย 20 คนได้รับการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) แบ่งเป็น G1 (เจ้าหน้าที่จัดการข้อมูลจากหน่วยงานตามภารกิจ) 10 คน และ G2 (นักวิจัยและนักพัฒนาระบบจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา) 10 คน เกณฑ์คัดเลือกคือมีประสบการณ์โดยตรงกับระบบข้อมูลครัวเรือนยากจนอย่างน้อย 1 ปี ทั้งนี้ P08 (ผู้ประสานงานโครงการ มรนม.) จัดอยู่ใน G1 เนื่องจากปฏิบัติหน้าที่ในฐานะผู้ประสานงานด้านข้อมูลฝ่ายผู้ใช้งาน มิใช่นักวิจัยหรือนักพัฒนาระบบ

ในด้าน Positionality ผู้วิจัยมีบทบาทเป็นผู้ร่วมวิจัยในโครงการซึ่งเป็นต้นสังกัดของผู้เข้าร่วม G2 ทั้ง 10 คน ความสัมพันธ์เชิงองค์กรนี้อาจส่งผลต่อการตอบสนองของผู้เข้าร่วม (Social Desirability Bias) ผู้วิจัยบรรเทาความเสี่ยงดังกล่าวด้วยมาตรการสามประการ ได้แก่ (1) การแจ้งผู้เข้าร่วมอย่างชัดเจนก่อนเริ่มว่าข้อมูลจะไม่ถูกรายงานต่อฝ่ายบริหารในลักษณะที่ระบุตัวตน (2) การใช้รหัสแทนตัว (P01–P20) ในเอกสารและฐานข้อมูลทั้งหมด และ (3) การตรวจสอบ Convergence ระหว่างผล FGD และผลแบบสอบถาม ซึ่งผลที่สอดคล้องกันในสี่จากห้า Theme ช่วยเสริมความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบ รายละเอียดผู้เข้าร่วมแสดงในตารางที่ 1

2.3 เครื่องมือและกระบวนการเก็บข้อมูล

ในระยะ Qualitative Strand ผู้วิจัยดำเนินการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) ในลักษณะ Large-group FGD (Morgan, 2019) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา โดยผู้เข้าร่วมทั้ง 20 คนจาก 10 หน่วยงานเข้าร่วมพร้อมกัน จากนั้นแบ่งเป็นกลุ่มเล็กหลายครั้ง มาจากเหตุผลสองข้อ ข้อแรกคือผู้เข้าร่วมเป็นตัวแทนของหน่วยงานที่ต้องทำงานร่วมกันจริงในภาคสนาม การแลกเปลี่ยนมุมมองข้ามหน่วยงานในกลุ่มเดียวกันจึงให้ข้อมูลที่มีคุณค่ากว่าการแยกกลุ่ม ข้อสองคือข้อจำกัดเชิงปฏิบัติ เจ้าหน้าที่ภาครัฐมีเวลาจำกัดและเดินทางมาจากต่างอำเภอ การจัดหลายครั้งแทบเป็นไปไม่ได้ เพื่อควบคุม Group Dynamics ผู้วิจัยใช้เทคนิค Structured Turn-taking แบ่งการอภิปรายเป็น 2 รอบ ได้แก่ Agency Round ที่ให้ผู้แทนแต่ละหน่วยงานนำเสนอก่อน แล้วจึงเปิด Plenary Discussion ในรอบที่สอง (Morgan, 2019) คำถามกึ่งโครงสร้างครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ (1) ปัญหาของระบบปัจจุบัน (2) ความต้องการฟีเจอร์ (3) ประสบการณ์ใช้งาน TPMAP (กรมการพัฒนาชุมชน, 2565) และ (4) ข้อกำหนดด้านการบูรณาการ บันทึกเสียงด้วยเครื่องบันทึกดิจิทัลและผู้ช่วยนักวิจัย 2 คนจดบันทึก ไฟล์เสียงถูกถอดความโดยอิสระและผ่าน Member Checking ภายใน 5 วันทำการ ในระยะ Quantitative Strand ภายหลังสนทนากลุ่ม ผู้เข้าร่วมทั้ง 20 คนตอบแบบสอบถาม MoSCoW Prioritization แบบ Likert 5 ระดับ จำนวน 8 รายการ

ใช้เวลา 30 นาที เกณฑ์ MoSCoW แสดงในตารางที่ 2Dynamics และป้องกัน Dominant Voice ผู้วิจัยใช้เทคนิค Structured Turn-taking แบ่งการอภิปรายเป็น 2 รอบ ได้แก่ Agency Round ที่ให้ผู้แทนแต่ละหน่วยงานนำเสนอปัญหาตามลำดับ ก่อนเปิด Plenary Discussion ในรอบที่สองเพื่อให้กลุ่มอภิปรายร่วมกัน (Morgan, 2019) คำถามกึ่งโครงสร้างครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ (1) ปัญหาและข้อจำกัดของระบบข้อมูลปัจจุบัน (2) ความต้องการฟีเจอร์และการทำงาน (3) ประสบการณ์การใช้งาน TPMAP และระบบที่เกี่ยวข้อง (กรมการพัฒนาชุมชน, 2565) และ (4) ข้อกำหนดด้านเทคนิคและการบูรณาการระบบ บันทึกเสียงด้วยเครื่องบันทึกเสียงดิจิทัลและจดบันทึกโดยผู้ช่วยนักวิจัย 2 คน ไฟล์เสียงถูกถอดความโดยอิสระ (Independent Transcription) และตรวจสอบโดยผู้เข้าร่วม (Member Checking) ภายใน 5 วันทำการ ในระยะ Quantitative Strand ภายหลังสนทนากลุ่ม ผู้เข้าร่วมทั้ง 20 คนตอบแบบสอบถาม MoSCoW Prioritization แบบ Likert 5 ระดับ จำนวน 8 รายการ ใช้เวลา 30 นาที เกณฑ์การจัดระดับ MoSCoW แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การจัดระดับ MoSCoW Prioritization ที่ใช้ในการวิจัย

ระดับ MoSCoW	เกณฑ์ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ความหมาย
Must Have	$\bar{X} \geq 4.50$	ความต้องการที่จำเป็นสูงสุด ระบบต้องมีในเวอร์ชันแรก
Should Have	$\bar{X}$ 4.00–4.49	ความต้องการสำคัญที่ควรพัฒนาในระยะที่ 2
Could Have	$\bar{X}$ 3.50–3.99	ความต้องการที่มีประโยชน์แต่สามารถเลื่อนออกไปได้
Won't Have	$\bar{X} < 3.50$	ไม่จำเป็นในระยะแรก (ไม่ปรากฏในผลการวิจัยนี้)

ด้าน Thematic Saturation ประเด็นความต้องการใหม่หยุดปรากฏขึ้นหลังจากชั่วโมงที่ 2 (จากทั้งหมด 3 ชั่วโมง) สอดคล้องกับ Braun & Clarke (2021) ที่อธิบายว่า saturation ใน reflexive TA พิจารณาจาก meaningful richness ของข้อมูล ซึ่งสนับสนุนความเพียงพอของจำนวนผู้เข้าร่วม

งานวิจัยนี้ดำเนินการภายใต้โครงการ “การพัฒนาและยกระดับแพลตฟอร์มเพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจน จังหวัดนครราชสีมา” ซึ่งได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา เลขที่ HE-142-2567 อนุมัติ 27 กันยายน 2567 หมดอายุ 26 กันยายน 2568 ดำเนินการตามแนวทาง Declaration of Helsinki ผู้เข้าร่วมทุกคนได้รับข้อมูลครบถ้วนและลงนามในแบบยินยอม (Informed Consent) ก่อนเริ่มกิจกรรม

กรอบ MoSCoW Prioritization พัฒนาโดย Wiegers & Beatty (2013) ซึ่งอธิบาย MoSCoW ในบริบทการวิเคราะห์ความต้องการซอฟต์แวร์ การวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ MoSCoW ด้วยเกณฑ์เชิงปริมาณจากค่าเฉลี่ย Likert เพื่อจัดลำดับความสำคัญในระยะเริ่มต้น (Sommerville, 2016) การกำหนด threshold แบบ equal-interval บนสเกล Likert 5 ระดับ (Must Have ≥ 4.50; Should Have 4.00–4.49; Could Have 3.50–3.99; Won't Have < 3.50) การกำหนด threshold แบบ equal-interval มีฐานจากหลักการที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นแนวทางเหมาะสมสำหรับการแปลผล Likert scale เป็นระดับการตัดสินใจ (Wiegers & Beatty, 2013) โดยการกำหนด Must Have ที่ $\bar{X} \geq 4.50$ สอดคล้องกับค่า ≥ 90% ของคะแนนสูงสุด ซึ่งสะท้อนฉันทามติสูงในการตัดสินว่าความต้องการนั้นจำเป็นต้องมีในเวอร์ชันแรก และสอดคล้องกับงานวิจัย IS Requirements ในบริบท e-Government ที่ใช้เกณฑ์ฉันทามติสูงเพื่อจำแนก core requirements จาก peripheral requirements (Scholl & Klischewski, 2007) ข้อจำกัดของการใช้ equal-interval threshold คือไม่ได้คำนึงถึงการกระจาย response ของแต่ละรายการ ซึ่งสะท้อนอยู่ใน SD ที่รายงานในตารางที่ 5

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในระยะ Qualitative Strand การวิเคราะห์ดำเนินการตาม Thematic Analysis 6 ขั้นตอน ของ Braun & Clarke (2006, 2021) นักวิจัย 2 คนเขียน Initial Codes อิสระจากกันสำหรับ 20% ของบทถอดความ (ประมาณ 6 หน้าจาก 30 หน้าทั้งหมด คัดเลือกโดยการสุ่ม) คำนวณ Inter-rater Agreement ได้ K = 0.82 (Substantial Agreement ตาม Landis & Koch, 1977) ระดับความโดดเด่น สูงมาก = ปรากฏในการสนทนาของทั้งสองกลุ่มและกล่าวถึงซ้ำตลอดทุกช่วงการสนทนา (≥ 8 ใน 10 คนต่อกลุ่ม) สูง = ปรากฏในผู้เข้าร่วมส่วนใหญ่ (≥ 6 ใน 10 คน) ของอย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม ปานกลาง = ปรากฏในผู้เข้าร่วมน้อยกว่า 6 ใน 10 คน หรือปรากฏเฉพาะบางช่วงของการสนทนา ในระยะ Quantitative Strand การคำนวณค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) สถิติเชิงพรรณนา (n = 20) ไม่สามารถอ้างอิงเชิงประชากรได้

ก่อนดำเนินการเก็บข้อมูล เครื่องมือแบบสอบถามผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหา (Content Validity) โดยผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ ด้านการวิจัยเชิงปริมาณ และด้านการบริหารงานภาครัฐ คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ได้ 0.83 ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับ (≥ 0.50) ตามแนวทางของ Wiegers and Beatty (2013) จากนั้นนำแบบสอบถามไปทดสอบเบื้องต้น (Pilot Test) กับเจ้าหน้าที่ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างจริง จำนวน 5 คน เพื่อตรวจสอบความชัดเจนของภาษาและความเหมาะสมของเวลาในการตอบ หลังปรับปรุงตามผล Pilot Test แล้ว คำนวณค่าความเชื่อมั่น (Cronbach's Alpha) ได้ α = 0.89 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี (≥ 0.70) บ่งชี้ว่าเครื่องมือมีความสอดคล้องภายในอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ผู้วิจัยเลือกใช้สถิติเชิงพรรณนาแทนการทดสอบนัยสำคัญ เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมีขนาดเล็ก (n = 20) และผลการทดสอบการแจกแจงปกติด้วย Shapiro-Wilk พบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ไม่เป็นไปตาม normal distribution (W = 0.89, P < 0.05 ในรายการที่ 3 และ 5) ดังนั้นการรายงานเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานพร้อมเกณฑ์ MoSCoW จึงเหมาะสมกว่าการใช้การทดสอบแบบอิงพารามิเตอร์ในบริบทนี้

ตารางที่ 3 ประเด็นความต้องการหลักและระดับความโดดเด่นจาก Thematic Analysis

ประเด็นหลัก	ความต้องการย่อยที่ปรากฏ	ระดับความโดดเด่น
1. การเข้าถึงและใช้งานระบบ	GUI เรียบง่าย เข้าถึงผ่านเว็บ รองรับอุปกรณ์หลากหลาย ระบบสิทธิ์ตามบทบาท (RBAC)	สูงมาก
2. ความครอบคลุมและคุณภาพข้อมูล	ครอบคลุม 5 มิติของ TPMAP Validation อัตโนมัติ แจ้งเตือนข้อมูลไม่สมบูรณ์	สูงมาก
3. การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล	Record Linkage ข้ามฐานข้อมูล ลดการกรอกข้อมูลซ้ำ รายงานรายการที่ขัดแย้ง	สูงมาก
4. การรายงานผลและการวิเคราะห์	Dashboard Real-time Export Excel/PDF กรองตามมิติ พื้นที่ ช่วงเวลา	สูง

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ประเด็นหลัก	ความต้องการย่อยที่ปรากฏ	ระดับความโดดเด่น
5. การบูรณาการและเชื่อมต่อระบบ	ดึงข้อมูลอัตโนมัติผ่าน API แจ้งเตือนรอบอัปเดต รองรับ Manual Import	ปานกลาง

หมายเหตุ : ระดับความโดดเด่น สูงมาก = ปรากฏในทั้งสองกลุ่มตลอดการสนทนา สูง = ส่วนใหญ่ ปานกลาง = บางกลุ่ม (Inter-rater K = 0.82)

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการวิเคราะห์เชิงประเด็น

กระบวนการ Thematic Analysis พบประเด็นความต้องการหลัก 5 ประเด็น ดังตารางที่ 3 โดยแต่ละประเด็นประกอบด้วยประเด็นย่อยเชิงคุณภาพที่ในระยะ quan ได้รับการสังเคราะห์เป็น 8 รายการความต้องการเชิงปริมาณ (ตารางที่ 5) ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างกระบวนการ Coding ที่นำไปสู่ประเด็นที่มีความโดดเด่นสูงสุด

ตารางที่ 4 ตัวอย่างรหัสเบื้องต้น ประเด็นย่อย และประเด็นหลัก (ประเด็นหลัก 3: การลดความซ้ำซ้อน)

รหัสเบื้องต้น	ประเด็นย่อย	ประเด็นหลัก
กรอกข้อมูลซ้ำทุกระบบทุกสัปดาห์	ภาระงานซ้ำซ้อน	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล
ครัวเรือนเดียวกันมีอยู่สามระบบ	ข้อมูลกระจัดกระจาย	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล
ไม่รู้จะเชื่อระบบไหน	ขาด Single Source of Truth	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล
ช่วยซ้ำบ้าง ไม่ได้ช่วยบ้าง	ผลกระทบต่อคุณภาพการช่วยเหลือ	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล
ไม่มีเวลาตรวจสอบทุกระบบ	ข้อจำกัดทรัพยากรเจ้าหน้าที่	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล
เจ้าของข้อมูลก็ไม่ยอมให้เข้าถึง	ปัญหา Data Ownership	การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

3.2 หลักฐานและการอภิปรายต่อแต่ละประเด็น

3.2.1 การเข้าถึงและใช้งานระบบ

ประเด็นนี้ปรากฏซ้ำในทุกกลุ่มย่อยตลอดการสนทนา เจ้าหน้าที่ระดับอำเภอและตำบลพูดถึงทรัพยากร IT ที่มีอยู่อย่างจำกัด และความจำเป็นที่ระบบต้องใช้งานได้จากเบราว์เซอร์ธรรมดา โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับ Davis (1989) ที่ระบุว่า Perceived Ease of Use มีผลโดยตรงต่อการยอมรับระบบในระยะยาว

“ถ้าระบบต้องดาวน์โหลดโปรแกรม ติดตั้งอะไร เจ้าหน้าที่ที่อำเภอก็ไม่ทำหรอกนะ ไม่มีเวลา มันต้องเปิดเว็บแล้วใช้ได้เลย” — P03 (G1 — นักวิชาการคอมพิวเตอร์ ปกครองจังหวัด)

“เรื่อง Login ก็สำคัญนะ แต่ละคนต้องเห็นแค่ข้อมูลของตัวเอง อย่าให้เห็นหมดทุกอย่าง มันจะเกิดปัญหาเรื่องความลับได้” — P08 (G1 — ผู้ประสานงาน มรนม.)

3.2.2 ความครอบคลุมและคุณภาพข้อมูล

ผู้เข้าร่วมเกือบทุกคนพูดถึงความจำเป็นที่ข้อมูลต้องครบ 5 มิติ แต่ที่น่าสนใจคือมิติการศึกษาและสุขภาพถูกยกตัวอย่างบ่อยที่สุดในฐานะมิติที่มีข้อมูลบกพร่องสูงในปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับ Scholl

& Klischewski (2007) ที่ระบุว่าปัญหาคุณภาพข้อมูล มักเป็นผลโดยตรงของการขาด Interoperability ระหว่างระบบ

“ข้อมูลการศึกษาของลูกในครัวเรือนมันไม่อัปเดตเลยนะ บางทีเด็กออกจากโรงเรียนไปแล้ว ในระบบยังบอกว่าเรียนอยู่ ทำให้เราประเมินผิดตั้งแต่ต้น” — P01 (G1 — พม.นครราชสีมา)

“ข้อมูลสุขภาพที่มีใน TPMAP กับที่เราเก็บมันไม่ตรงกันเลย เพราะใช้ตัวชี้วัดคนละชุด ระบบใหม่ต้องมาตรฐานเดียวกันก่อน” — P10 (G1 — สสจ.นครราชสีมา)

3.2.3 การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

ถ้าจะเลือกประเด็นเดียวที่โดดเด่นที่สุดจากการสนทนาสามชั่วโมงนั้น ประเด็นนี้คือคำตอบ ความซ้ำซ้อนของข้อมูลปรากฏขึ้นซ้ำ ๆ ตั้งแต่ต้นจนจบ ทุกหน่วยงาน ทุกกลุ่ม ความรุนแรงของปัญหาสอดคล้องกับบริบทของนครราชสีมาที่มีหน่วยงานเกี่ยวข้องถึง 10 แห่ง ครอบคลุม 32 อำเภอ 289 ตำบล แม้แต่ความผิดพลาดเล็กน้อยจากความซ้ำซ้อน ก็อาจส่งผลให้การช่วยเหลือผิดเป้าหมายในวงกว้าง สอดคล้องกับ Scholl & Klischewski (2007)

“ครัวเรือนเดียวกัน ระบบหนึ่งบอกช่วยแล้ว อีกระบบบอกยังไม่ได้รับ พอเราไปถามก็ไม่รู้จะเชื่อระบบไหน มันเกิดช่วยซ้ำบ้าง คนที่ควรได้ก็ตกหล่นบ้าง” — P02 (G1 — พช.นครราชสีมา)

“ตอนที่ merge ข้อมูลจาก TPMAP กับ ThaiQM กับครัวเรือนเปราะบาง ครัวเรือนเดียวกันก็อาจมี record ถึงสามแถวเลยนะ แต่ชื่อเขียนต่างกันนิดหน่อย ระบบก็ไม่รู้ว่าเป็นคนเดียวกัน” — P13 (G2 — นักจัดการข้อมูล มรนม.)

3.2.4 การรายงานผลและการวิเคราะห์

ปัญหาที่ฟังดูน่าเบื่อแต่ส่งผลจริงมากคือการจัดทำรายงาน เจ้าหน้าที่หลายคนบอกว่าต้อง copy ตัวเลขจาก Excel หลายไฟล์มารวมกันเองก่อนทุกการประชุมสำคัญ ใช้เวลาหลายวัน และยังผิดพลาดบ่อยครั้ง Dashboard Real-time จึงไม่ใช่แค่ความสะดวก แต่เป็นเงื่อนไขสำคัญของการตัดสินใจเชิงนโยบายในระดับจังหวัด

“ทุกครั้งที่จะประชุมรายงานผู้ว่าฯ ต้องโทรถามข้อมูลจากแต่ละหน่วยงานก่อนเลย แล้วมารวมเอง ใช้เวลาหลายวัน ถ้ามี Dashboard รวมไว้แล้วก็จะเร็วกว่านี้มาก” — P06 (G1 — สำนักงานจังหวัด)

“ตอนนี้ก็นั่ง copy ตัวเลขจาก Excel สี่ห้าไฟล์มารวมกันเองเลยนะ แล้วยังผิดอีก ถ้า Export ออกมาได้เลยจากระบบก็คงดีมาก” — P05 (G1 — อบจ.นครราชสีมา)

3.2.5 การบูรณาการและเชื่อมต่อระบบ

ประเด็นนี้น่าสนใจตรงที่ให้ผลต่างระหว่างกลุ่มที่ชัดเจนที่สุด G2 ให้ความสำคัญสูงกว่า G1 มาก เพราะ G1 ส่วนใหญ่ยังไม่คุ้นเคยกับแนวคิด API เลย ขณะที่ G2 ถือว่ามันจำเป็นสำหรับการทำงาน ช่องว่างความรอบรู้ดิจิทัลระหว่างสองกลุ่มนี้บ่งชี้ว่าการพัฒนาระบบ จะต้องมาพร้อมกับแผนสร้างความเข้าใจให้กับ G1 ด้วย ไม่ใช่แค่ส่งมอบระบบแล้วจบ

“สิ่งที่ยากที่สุดก็คือการ sync ข้อมูลระหว่างหน่วยงาน ถ้าไม่มี API มาตรฐาน ก็ต้องรอให้แต่ละคนส่ง Excel มาให้ตลอด มันช้าและผิดพลาดบ่อยเพราะ format ก็ไม่เหมือนกันด้วย” — P14 (G2 — นักพัฒนาระบบ มรนม.)

“API คืออะไรผมยังไม่แน่ใจเลยนะ แต่ถ้ามันทำให้ข้อมูลอัปเดตเองโดยไม่ต้องกรอกซ้ำก็ดีนะ เพราะตอนนี้เสียเวลาเยอะมากจริง ๆ” — P04 (G1 — สถ.นครราชสีมา)

ช่องว่างนี้มีนัยสำคัญต่อการออกแบบเชิงนโยบาย การพัฒนาระบบที่มีความสามารถสูงทางเทคนิค แต่ขาดแผนเสริมสร้างความรอบรู้ดิจิทัลให้กับ G1 จะนำไปสู่การใช้งานที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ ผู้วิจัยเห็นว่าโครงการพัฒนาระบบควรออกแบบ API ในลักษณะที่ซ่อนความซับซ้อนทางเทคนิคไว้เบื้องหลัง (Abstraction Layer) และมาพร้อมกับโมดูลฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ G1 อย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับกรอบการบริหารจัดการการเปลี่ยนแปลง (Change Management) ที่ Sommerville (2016) ระบุว่าเป็นปัจจัยสำคัญของความสำเร็จในโครงการ IS ภาครัฐ ในระดับนโยบาย กรอบสถาปัตยกรรมรัฐบาลองค์กร (Government Enterprise Architecture: GEA) ของสำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล (2565) เป็นกลไกที่พร้อมรองรับการบูรณาการดังกล่าว แต่ต้องการการผลักดันเชิงนโยบายให้หน่วยงานระดับจังหวัดนำไปปฏิบัติจริงควบคู่กับการพัฒนาระบบสารสนเทศ

3.3 ผลการสำรวจจัดลำดับความสำคัญ

ผู้เข้าร่วมทั้ง 20 คน ตอบแบบสอบถามครบถ้วน ตารางที่ 5 แสดงผลสถิติเชิงพรรณนา (n = 20) แยกตาม G1 (n = 10) และ G2 (n = 10) ทั้งนี้ผลลัพธ์เป็นสถิติเชิงพรรณนาสำหรับกลุ่มตัวอย่างชุดนี้เท่านั้น ไม่สามารถอ้างอิงเชิงประชากรได้

ตารางที่ 5 ผลการสำรวจจัดลำดับความสำคัญ MoSCoW แยกตามกลุ่ม G1 และ G2 (สถิติเชิงพรรณนา, n = 20)

ความต้องการ	G1 $\bar{X}$	G2 $\bar{X}$	รวม $\bar{X}$ (SD)	MoSCoW
1. การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลระหว่างฐานข้อมูลหน่วยงาน	4.70	4.80	4.75 (0.44)	Must Have
2. ส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เรียบง่ายและเข้าถึงได้ผ่านเว็บ	4.60	4.60	4.60 (0.50)	Must Have
3. ข้อมูลครอบคลุมครบทุก 5 มิติของ TPMAP	4.50	4.60	4.55 (0.51)	Must Have
4. ระบบสิทธิ์การเข้าถึงตามบทบาทหน้าที่ (RBAC)	4.50	4.50	4.50 (0.51)	Must Have
5. Dashboard สรุปสถิติแบบ Real-time	4.30	4.40	4.35 (0.59)	Should Have
6. การ Export รายงาน Excel/PDF	4.20	4.20	4.20 (0.62)	Should Have
7. การดึงข้อมูลอัตโนมัติผ่าน API	3.70	4.50	4.10 (0.72)	Should Have
8. ระบบแจ้งเตือนรอบการอัปเดตข้อมูล	3.60	4.30	3.95 (0.76)	Could Have

หมายเหตุ : สถิติเชิงพรรณนา n = 20 (G1 n = 10, G2 n = 10); คะแนนจากแบบสอบถาม Likert 5 ระดับ 8 รายการ; เกณฑ์ MoSCoW ดูตารางที่ 2; ผลไม่สามารถอ้างอิงเชิงประชากรได้

ตัวเลข SD ของรายการ Must Have ทั้ง 4 อยู่ระหว่าง 0.44–0.51 บ่งชี้ว่ากลุ่มตัวอย่างเห็นพ้องกันสูง G1 และ G2 ให้คะแนนใกล้เคียงกันในรายการที่ 1–6 (ผลต่าง ≤ 0.10) ต่างจากรายการที่ 7 และ 8 ซึ่งทั้งสองกลุ่มให้คะแนนห่างกันมากกว่า รายการที่ 7 G1 ให้ 3.70 G2 ให้ 4.50 (ผลต่าง 0.80) และรายการที่ 8 G1 ให้ 3.60 G2 ให้ 4.30 (ผลต่าง 0.70) ความแตกต่างในสองรายการนี้บ่งชี้ถึงช่องว่างความรอบรู้ดิจิทัลระหว่างสองกลุ่ม ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบจากระยะ QUAL

3.4 ระยะ Integration: การตรวจสอบว่าระยะ quan ยืนยันและขยายผล QUAL อย่างไร

ระยะ Integration ในกรอบ Sequential Exploratory Mixed Methods Design (Creswell & Creswell, 2018) คือขั้นตอนที่ผลจากระยะ QUAL และระยะ quan ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูว่าทั้งสองชุดข้อมูล ยืนยัน (validated) หรือขยาย (extended) กันอย่างไร ผลแสดงในตารางที่ 6 ภาพรวมจากการวิเคราะห์ Integration ชัดเจนพอสมควร สำหรับ Theme 1–4 ระยะ quan ยืนยัน (validated) ผล QUAL

กล่าวคือลำดับความสำคัญจากแบบสอบถาม สอดคล้องกับระดับความโดดเด่นที่สกัดได้จาก Thematic Analysis ซึ่งเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อค้นพบ แต่สำหรับ Theme 5 เรื่องราวซับซ้อนกว่า ระยะ quan ขยาย (extended) ผล QUAL ด้วยการเผยให้เห็นว่า G2 ให้ระดับความสำคัญแก่ API สูงกว่าระดับความโดดเด่นที่ปรากฏในการสนทนากลุ่ม ช่องว่างความรอบรู้ดิจิทัลนี้ไม่ปรากฏชัดในระยะ QUAL เพียงอย่างเดียว นั่นคือคุณค่าที่ Sequential Exploratory Design มอบให้ ระยะ QUAL สร้างความเข้าใจเชิงบริบท ขณะที่ระยะ quan ขยายภาพให้ครบถ้วนยิ่งขึ้น ที่น่าสังเกตคือความต้องการด้านการเข้าถึงและใช้งานระบบซึ่งได้ระดับ Must Have ($\bar{X}$ = 4.55) สอดคล้องกับ Davis (1989) ที่ระบุว่า Perceived Ease of Use เป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับระบบ ส่วนความแตกต่างของมุมมองระหว่าง G1 และ G2 ในประเด็น API ชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการบริหารจัดการความคาดหวังจากผู้มีส่วนได้เสียหลายกลุ่มพร้อมกัน ซึ่ง Sommerville (2016) ระบุว่าเป็นความท้าทายที่พบบ่อยในโครงการพัฒนาซอฟต์แวร์ขนาดใหญ่

ตารางที่ 6 การบูรณาการผลการวิจัย : การตรวจสอบว่าระยะเชิงปริมาณ (quan) ยืนยันและขยายผลการศึกษาเชิงคุณภาพ (QUAL) อย่างไร

ประเด็นหลัก	ระดับความโดดเด่น (Qual)	ตัวแทนคำพูดผู้เข้าร่วม (Qual)	$\bar{X}$ ระดับธีม / MoSCoW (Quan)	ผลการบูรณาการ : quan ยืนยัน / ขยาย QUAL
T1: การเข้าถึง และใช้งานระบบ	สูงมาก	“ระบบต้องเปิดเว็บแล้วใช้ได้เลย ไม่ต้องติดตั้งอะไร” (P03)	4.55* / Must Have	quan ยืนยัน QUAL คะแนนสอดคล้องกับระดับความโดดเด่น
T2: ความครอบคลุมและคุณภาพข้อมูล	สูงมาก	“ข้อมูลการศึกษาไม่อัปเดตเลยนะ ทำให้ประเมินผิดตั้งแต่ต้น” (P01)	4.55 / Must Have	quan ยืนยัน QUAL คะแนนสอดคล้องกับระดับความโดดเด่น
T3: การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล	สูงมาก	“ช่วยซ้ำบ้าง ไม่ได้รับบ้าง คนที่ควรได้ก็ตกหล่น” (P02)	4.75 / Must Have	quan ยืนยัน QUAL ยืนยันอย่างสมบูรณ์ในทุกมิติ
T4: การรายงานผลและการวิเคราะห์	สูง	“ถ้ามี Dashboard รวมไว้แล้วก็จะเร็วกว่านี้มาก” (P06)	4.28* / Should Have	quan ยืนยัน QUAL คะแนนสอดคล้องในทิศทางเดียวกัน
T5: การบูรณาการและเชื่อมต่อระบบ	ปานกลาง	“ต้องรอ Excel จากแต่ละคน ช้าและผิดพลาดบ่อย” (P14)	4.03* / Should Have	quan ขยาย QUAL G2 ให้ระดับสูงกว่าที่ QUAL ปรากฏ สะท้อนช่องว่างความรอบรู้ดิจิทัล

หมายเหตุ : *ค่าเฉลี่ยระดับธีมคำนวณจากค่าเฉลี่ยของรายการย่อยในธีมนั้น (T1: Items 2+4; T2: Item 3 T3: Item 1 T4: Items 5+6 T5: Items 7+8)

กระบวนการแปลง Technical Attributes (TA) ที่ได้จากระยะ QUAL ไปสู่ System Requirements ใน SMRAF สามารถอธิบายผ่านตัวอย่างจริงจากข้อมูลที่เก็บรวบรวมในการวิจัยนี้ ตัวอย่างที่ 1: TA “เจ้าหน้าที่ต้องกรอกข้อมูลครัวเรือนเดียวกันซ้ำในหลายระบบบางครั้งถึง 3 ระบบในวันเดียวกัน” ถูกแปลงเป็น System Requirement ว่า “ระบบต้องมีกลไกตรวจสอบและป้องกันการบันทึกข้อมูลซ้ำซ้อน โดยอัตโนมัติก่อน commit” และจัดระดับเป็น Must Have ($\bar{X}$ = 4.75) ตัวอย่างที่ 2 : TA “เจ้าหน้าที่ต้องรอ Excel จากแต่ละหน่วยงาน ช้าและผิดพลาดบ่อย” ถูกแปลงเป็น System Requirement ว่า “ระบบต้องรองรับการเชื่อมต่อผ่าน API กับระบบของ หน่วยงานอื่นอย่างน้อย 3 หน่วยงาน” และจัดระดับเป็น Should Have ($\bar{X}$ = 4.03) กระบวนการแปลง TA ดังกล่าวดำเนินการโดยทีมผู้วิจัยร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านระบบสารสนเทศ และผ่านการตรวจสอบในระยะ Pilot Test ก่อนนำไปใช้จริงในแบบสอบถาม

สำหรับแนวทางการประยุกต์ใช้ SMRAF ในบริบทอื่น แม้การวิจัยนี้ดำเนินการในบริบทของเทศบาลขนาดกลางในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่กรอบ SMRAF มีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้กับโครงการพัฒนาระบบสารสนเทศภาครัฐในบริบทที่คล้ายกัน โดยมีเงื่อนไขสำคัญสามประการ คือ (1) หน่วยงานมีโครงสร้างลำดับชั้นและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายกลุ่ม ซึ่งต้องการวิธีเก็บข้อมูลแบบผสมผสาน (2) ขอบเขตความต้องการยังไม่ชัดเจนในระยะเริ่มต้นและต้องอาศัยการค้นพบแบบ exploratory ก่อนการออกแบบเชิงปริมาณ และ (3) ผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารมีมุมมองต่อระบบที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ผู้วิจัยที่ต้องการประยุกต์ใช้ SMRAF ในจังหวัดอื่นหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นควรปรับขั้นตอน QUAL ให้สอดคล้องกับบริบทท้องถิ่น และตรวจสอบว่าเกณฑ์ MoSCoW threshold ที่ใช้สะท้อนฉันทามติขององค์กรนั้น ๆ อย่างเหมาะสม

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความต้องการของระบบสารสนเทศครัวเรือนยากจนจากมุมมองของเจ้าหน้าที่ภาครัฐในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้รูปแบบ Sequential Exploratory Mixed Methods Design (QUAL⟶quan) กับผู้เข้าร่วมจำนวน 20 คน จาก 10 หน่วยงาน ผลการศึกษาพบความต้องการหลักของระบบจำนวน 5 ประเด็น โดยประเด็นที่ได้รับความสำคัญสูงสุดคือการลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ($\bar{X}$ = 4.75, SD = 0.44, Must Have) ซึ่งถูกกล่าวถึงอย่างสอดคล้องกันจากผู้เข้าร่วมทุกหน่วยงานโดยไม่ต้องอาศัยการชี้นำจากผู้วิจัย ในระยะการบูรณาการผล (Integration) พบว่าผลเชิงปริมาณยืนยันผลการศึกษาเชิงคุณภาพใน Theme 1–4 และขยายผลใน Theme 5 โดยสะท้อนความแตกต่างด้านความรอบรู้ดิจิทัลและความเข้าใจระบบระหว่างกลุ่มผู้ใช้ ซึ่งไม่ปรากฏอย่างชัดเจนจากข้อมูลเชิงคุณภาพเพียงอย่างเดียว งานวิจัยนี้นำเสนอชุดความต้องการของระบบจำนวน 5 Themes และ 8 Sub-requirements ที่ผ่านการตรวจสอบในบริบทประเทศไทย พร้อมทั้งเสนอกรอบ SMRAF สำหรับการวิเคราะห์ความต้องการของโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐ กรอบ SMRAF มีลักษณะแตกต่างจากแนวทางมาตรฐาน เช่น BABOK และ ISO/IEC 29148 เนื่องจากถูกออกแบบสำหรับบริบทที่ขอบเขตปัญหายังไม่ชัดเจน และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียมีระดับความเข้าใจระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้บ่อยในโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐของประเทศกำลังพัฒนา นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวาง Product Backlog ของการพัฒนาระบบโดยกำหนดรายการระดับ Must Have เป็นเป้าหมายของการพัฒนาระยะแรก และรายการระดับ Should Have สำหรับการพัฒนาในระยะถัดไป

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรก กลุ่มตัวอย่างมีขนาดค่อนข้างเล็กและเกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงการ จึงอาจเกิด Social Desirability Bias ได้ ประการที่สอง การเก็บข้อมูลเชิงปริมาณทันทีหลังการสนทนากลุ่มอาจก่อให้เกิด Anchoring Bias (Tversky & Kahneman, 1974) กล่าวคือประเด็นที่ถูกอภิปรายในระยะ QUAL อาจส่งผลต่อกรอบความคิดของผู้เข้าร่วมและมีอิทธิพลต่อการตอบแบบสอบถามในระยะ quan นอกจากนี้ ในด้านความสามารถในการถ่ายโอนผลการวิจัย (Transferability) ข้อค้นพบอาจเหมาะสมกับจังหวัดขนาดใหญ่ที่มีหน่วยงานเกี่ยวข้องจำนวนมาก ขณะที่บริบทของจังหวัดขนาดเล็กหรือพื้นที่ที่มีระดับความรอบรู้ดิจิทัลแตกต่างออกไป อาจส่งผลให้ลำดับความสำคัญของความต้องการระบบเปลี่ยนแปลงได้ ผู้วิจัยจึงเสนอให้มีการตรวจสอบและปรับใช้ข้อค้นพบตามบริบทของแต่ละพื้นที่ก่อนนำไปใช้จริง

สำหรับข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ควรขยายกลุ่มตัวอย่างไปสู่ระดับตำบล เพิ่มรายการคำถามประเภท control items เพื่อลดอคติของการตอบแบบสอบถาม และดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันเพื่อประเมินความคงทนของผลการศึกษา นอกจากนี้ การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างจังหวัดที่มีบริบทแตกต่างกันจะช่วยประเมินความสามารถในการประยุกต์ใช้กรอบ SMRAF ในโครงการระบบสารสนเทศภาครัฐในบริบทพื้นที่อื่นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากหน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาชุมชนเมืองและพื้นที่ (บพท.) และกองทุนวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ภายใต้โครงการ “การพัฒนาและยกระดับแพลตฟอร์มเพื่อการแก้ไขปัญหาความยากจน จังหวัดนครราชสีมา” (PMU-A/NSRF) ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาครัฐทุกท่านที่สละเวลาเข้าร่วมวิจัย และขอแสดงความขอบคุณต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา (รหัสโครงการ HE-142-2567)

เอกสารอ้างอิง

กรมการพัฒนาชุมชน. (2565). *ระบบ TPMAP: Thai People Map and Analytics Platform คู่มือการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่ (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. กระทรวงมหาดไทย.

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2565). *รายงานสถานการณ์ทางสังคมของกลุ่มเปราะบาง ประจำปี 2565*. กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์.

กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). *รายงานการพัฒนาระบบบริการดิจิทัลภาครัฐสำหรับการช่วยเหลือกลุ่มเปราะบางหลังวิกฤต COVID-19*. กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม.

วีระพงศ์ มาลัย, สมชาย ประดับนาค และนุชรีย์ สิงห์คำ. (2566). ความพร้อมด้าน e-Government และอุปสรรคในระดับท้องถิ่น: กรณีศึกษาจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. *วารสารการบริหารและการจัดการ*, 13(2), 45–62.

สำนักงานพัฒนารัฐบาลดิจิทัล. (2565). *กรอบสถาปัตยกรรมองค์กรภาครัฐ (Government Enterprise Architecture: GEA) ฉบับ 2.0*. สพร.

สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2564). *ระบบ Thai People Map and Analytics Platform (TPMAP): ฐานข้อมูลครัวเรือนยากจนใน 5 มิติ*. สศช.

สุวิมล ว่องวาณิช. (2565). การพัฒนาและบูรณาการระบบสารสนเทศสวัสดิการสังคมในประเทศไทย. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ*, 17(1), 1–20.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology.*Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE. https://uk.sagepub.com/en-gb/eur/thematic-analysis/book248481

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE.

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology.*MIS Quarterly, 13*(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data.*Biometrics, 33*(1), 159–174. https://doi.org/10.2307/2529310

Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2022). *Management information systems: Managing the digital firm* (17th ed.). Pearson.

Morgan, D. L. (2019). *Basic and advanced focus groups*. SAGE.

Scholl, H. J., & Klischewski, R. (2007). E-government integration and interoperability: Framing the research agenda. *International Journal of Public Administration, 30*(8–9), 889–920. https://doi.org/10.1080/01900690701402668

Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Pearson.

Wiegers, K., & Beatty, J. (2013). *Software requirements* (3rd ed.). Microsoft Press.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26103)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26103)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) ACADEMIC ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: ศักยภาพ จริยธรรม และสมรรถนะผู้สอนในศตวรรษที่ 21

Artificial Intelligence in Science and Technology Education: Potential, Ethics, and Educator Competency for the 21st Century

สาโรช พูลเทพ[1,*] คณิต เขียววิชัย และไพรินทร์[1] ไทยสงเคราะห์[2]
Saroj Pullteap[1,*], Kanit Kheovichai[1] and Phairin Thaisongkroh[2]

[1]คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
[1]Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand
[2]Division of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 03-05-2026, Revised: 19-05-2026, Accepted: 19-05-2026, Published: 28-05-2026

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาบทบาทและศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการยกระดับคุณภาพการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการ ได้แก่ การวิเคราะห์กลไกที่ปัญญาประดิษฐ์สร้างประสบการณ์การเรียนรู้เฉพาะบุคคล การประเมินประสิทธิผลของระบบวิเคราะห์ข้อมูลการเรียนรู้ (Learning analytics) ในการติดตามพัฒนาการของผู้เรียน การสำรวจความท้าทายเชิงจริยธรรมที่เกิดขึ้นจากการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในบริบทการศึกษา และการกำหนดข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับผู้บริหารสถาบันและผู้กำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้อง การศึกษาอาศัยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic review) จากงานวิจัยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ผนวกกับการวิเคราะห์กรณีศึกษาจากสถาบันการศึกษาชั้นนำทั้งในระดับนานาชาติและในบริบทของประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์มีขนาดผลเชิงบวกในระดับปานกลางถึงสูงต่อประสิทธิผลการเรียนรู้ โดยเฉพาะในการสนับสนุนการเรียนรู้ที่ตอบสนองความต้องการรายบุคคลและการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันที อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสมรรถนะด้านดิจิทัลของผู้สอน ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องระบุตรงกันว่าเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้ในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงด้านดิจิทัลในชั้นเรียน นอกจากนี้ แม้ปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพในการลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา แต่ในทางปฏิบัติเทคโนโลยีเหล่านี้ยังคงกระจุกตัวอยู่ในสถาบันที่มีทรัพยากรสูง พร้อมกับก่อให้เกิดข้อกังวลด้านการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เรียนและความลำเอียงของระบบการประมวลผลอัตโนมัติ ซึ่งต้องการการจัดการเชิงนโยบายอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง

คำสำคัญ : ปัญญาประดิษฐ์, การเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล, จริยธรรม AI, การศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Abstract

This article examines the role and potential of Artificial Intelligence (AI) in enhancing the quality of science and technology education, pursuing four primary objectives: analyzing the mechanisms through which AI enables personalized learning experiences, evaluating the effectiveness of Learning Analytics systems in monitoring student progress, exploring the ethical challenges arising from the application of technology in educational contexts, and

*Corresponding author: saroj@su.ac.th

formulating policy recommendations for institutional administrators and relevant policymakers. The study draws on systematic review of studies conducted over the past decade, complemented by case study analysis from leading educational institutions at both the international level and within the Thai context. The findings indicate that AI demonstrates moderate-to-high positive effect sizes on learning outcomes, particularly in supporting individualized learning and delivering real-time feedback. Nevertheless, such success is significantly associated with teachers' digital competency, which converging research consistently identifies as an indispensable factor in driving digital transformation in the classroom. Furthermore, while AI holds considerable potential for reducing educational inequality, these technologies in practice remain concentrated in resource-rich institutions, and give rise to substantial concerns regarding student data privacy and algorithmic bias that require systematic and sustained policy intervention.

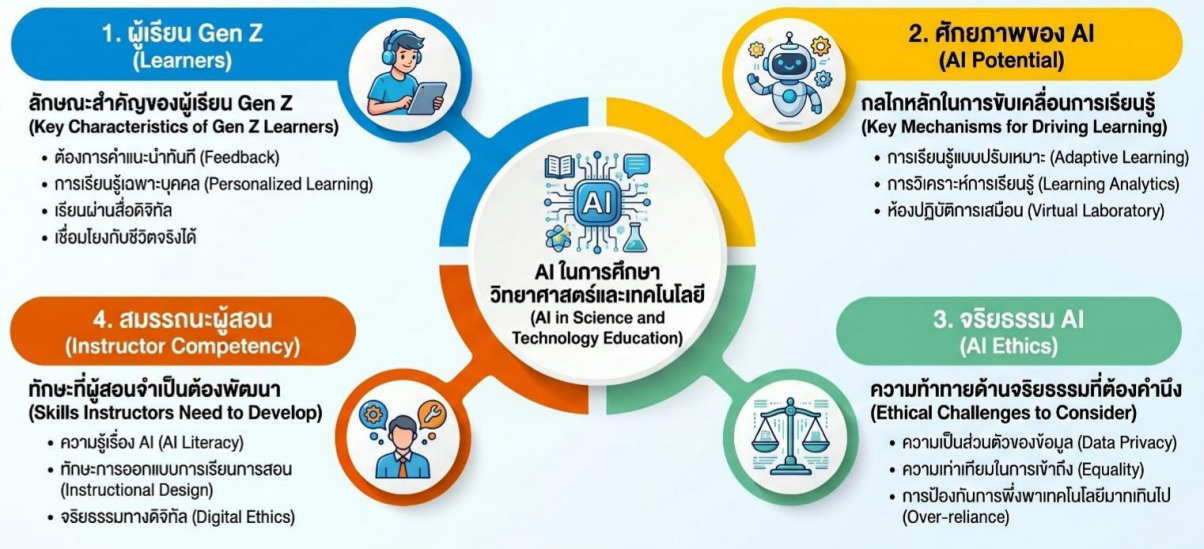
Keywords: Artificial Intelligence, Digital Transformation, AI Ethics, Science and Technology Education

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 21 ส่งผลให้ระบบการศึกษาทั่วโลกต้องปรับตัวอย่างเร่งด่วน เพื่อรองรับความต้องการของตลาดแรงงานและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งถือเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาประเทศ (UNESCO, 2023) รูปแบบการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมที่เน้นการบรรยายในชั้นเรียนและการทดลองในห้องปฏิบัติการแม้จะมีประสิทธิผลในการถ่ายทอดความรู้พื้นฐาน แต่งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่ารูปแบบดังกล่าวมีข้อจำกัดในการตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน การส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ขั้นสูง และการเตรียมผู้เรียนให้พร้อมสำหรับโลกการทำงานในยุคดิจิทัล (Ouyang & Jiao, 2021; World Economic Forum, 2023) ในขณะเดียวกัน ผู้เรียนในยุค Gen Z ซึ่งเติบโตมากับเทคโนโลยีดิจิทัลตั้งแต่กำเนิดมีลักษณะการเรียนรู้ที่แตกต่างจากคนรุ่นก่อนอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มที่จะเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล และต้องการข้อมูลป้อนกลับทันที อีกทั้งยังคาดหวังประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมายและสามารถเชื่อมโยงกับชีวิตจริง (Seemiller & Grace, 2018; Živković et al., 2025) การนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาจึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในฐานะเครื่องมือที่มีศักยภาพในการตอบสนองต่อความต้องการเหล่านี้ โดยงานวิจัยพบว่าปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพิ่มแรงจูงใจของผู้เรียน และช่วยให้ผู้สอนจัดการการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Zawacki-Richter et al., 2019; Chen et al., 2020; Crompton & Burke, 2023)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาโดยทั่วไป แต่การศึกษาเชิงวิเคราะห์ที่บูรณาการทั้งศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ ประเด็นด้านจริยธรรม และสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในบริบทเฉพาะของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังคงมีอยู่อย่างจำกัด (Miao et al., 2021; Zawacki-Richter et al., 2019) โดยเฉพาะการศึกษาที่นำประเด็นเหล่านี้มาวิเคราะห์ภายในกรอบแนวคิดเดียวกันอย่างครอบคลุมและเป็นระบบ ช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าวจึงเป็นแรงผลักดันสำคัญของบทความวิชาการนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาลักษณะการเรียนรู้และความต้องการของผู้เรียนยุค Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2) วิเคราะห์ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ ในการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลและการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เรียน 3) สังเคราะห์

ประเด็นด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา และ 4) นำเสนอแนวทางพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเพื่อขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลทางการศึกษาให้เกิดผลสัมฤทธิ์อย่างมีประสิทธิผลและมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทั้งนี้ผลที่คาดว่าจะได้รับจากบทความวิชาการนี้คือองค์ความรู้เชิงบูรณาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้สอน นักวิชาการศึกษา และผู้กำหนดนโยบายในการออกแบบและพัฒนากระบวนการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับบริบทของการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล ตลอดจนเป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับสถาบันการศึกษาที่ต้องการนำปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและมีจริยธรรม รวมถึงการตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนในยุคใหม่ได้อย่างแท้จริง โดยกรอบแนวคิดของบทความวิชาการนี้สามารถสรุปภาพรวมได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดภาพรวมในมิติความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ ผู้เรียน Gen Z จริยธรรม และสมรรถนะผู้สอนในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(**ที่มา :** NotebookLM, 2569)

2. การศึกษาและทบทวนวรรณกรรม

บทความวิชาการนี้จัดโครงสร้างการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 4 หัวข้อหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการทำความเข้าใจลักษณะของผู้เรียน นำไปสู่การวิเคราะห์ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ การพิจารณาประเด็นจริยธรรม และการพัฒนาสมรรถนะของผู้สอนในฐานะผู้ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ

2.1 ลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียนยุค Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับลักษณะและพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนถือเป็นจุดเริ่มต้นที่ขาดไม่ได้ในการออกแบบกระบวนการจัดการศึกษาที่มีประสิทธิผล โดยเฉพาะในบริบทที่ผู้เรียนส่วนใหญ่ในระดับอุดมศึกษาและมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบันล้วนเป็นสมาชิกของกลุ่ม Generation Z หรือเรียกว่า Gen Z ซึ่งหมายถึงผู้ที่เกิดระหว่างปี ค.ศ. 1997 ถึง 2012 กลุ่มคนรุ่นนี้เติบโตขึ้นมาพร้อมกับเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างแท้จริง ต่างจากคนรุ่นก่อนหน้าที่ต้องมีการปรับตัวเข้าหาเทคโนโลยีในปัจจุบัน (Seemiller & Grace, 2018) ความเข้าใจเกี่ยวกับอัตลักษณ์ ความคาดหวัง และข้อจำกัดที่ผู้เรียนกลุ่มนี้เผชิญจากระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับความเป็นจริงในศตวรรษที่ 21

2.1.1 อัตลักษณ์และพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน Gen Z

ผู้เรียนยุค Gen Z มีอัตลักษณ์ที่โดดเด่นซึ่งหล่อหลอมขึ้นจากการเติบโตในสภาพแวดล้อมที่อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง สมาร์ตโฟน และสื่อสังคมออนไลน์ดำรงอยู่เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันตั้งแต่วัยเด็ก ลักษณะดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการประมวลผลและรับรู้ข้อมูล โดย Seemiller & Grace (2018) อธิบายว่าผู้เรียน Gen Z มีความสามารถในการกรองและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น แต่มีช่วงความสนใจ (Attention span) ที่สั้นกว่าคนรุ่นก่อนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลให้พวกเขาตอบสนองต่อเนื้อหาที่กระชับ มีภาพประกอบ และสื่อความหมายได้ทันทีมากกว่าการบรรยายในรูปแบบข้อความยาว ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Prensky (2010) ที่อธิบายว่าผู้เรียนกลุ่มนี้คุ้นชินกับการรับข้อมูลในรูปแบบที่หลากหลายพร้อมกัน และตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ใช้สื่อผสม (Multimedia) รวมถึงองค์ประกอบของการเรียนรู้เชิงเกม (Gamification) ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาข้อค้นพบเหล่านี้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ในประเด็นดังกล่าวอาศัยการวิเคราะห์พฤติกรรมในบริบทของประเทศตะวันตก ซึ่งอาจไม่สะท้อนลักษณะเฉพาะของผู้เรียน Gen Z ในบริบทสังคมและวัฒนธรรมไทยได้อย่างครบถ้วน ซึ่งนับเป็นช่องว่างองค์ความรู้ที่ยังคงต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

นอกจากนั้น ในด้านพฤติกรรมการแสวงหาความรู้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwieger & Ladwig (2018) ซึ่งพบว่าผู้เรียนในยุค Gen Z มีแนวโน้มในการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-directed learning) สูง โดยนิยมค้นหาความรู้ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล เช่น YouTube, Khan Academy หรือ MOOCs มากกว่าการพึ่งพาผู้สอนในฐานะแหล่งความรู้หลัก พฤติกรรมดังกล่าวสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างในความสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับความรู้ กล่าวคือ ผู้เรียนกลุ่มนี้มองตนเองเป็นผู้กำหนดเส้นทางการเรียนรู้ของตนเอง มากกว่าเป็นผู้รับสารแบบเฉื่อย (Passive recipient) ในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี งานวิจัยของ Dabbagh et al. (2019) พบว่าผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติ (Experiential learning) และการแก้ปัญหาในบริบทจริงมากกว่าการท่องจำทฤษฎีแบบนามธรรมที่ขาดการเชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริง ซึ่งสอดคล้องและได้รับการยืนยันเพิ่มเติมจากการศึกษาของ Crompton และ Burke (2023) ที่พบว่าผู้เรียนในสาขาสตรีม (Science, Technology, Engineering, Mathematics: STEM) แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานโจทย์ปัญหาจากสถานการณ์จริงเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยทั้ง 2 ข้างต้นจะสนับสนุนแนวทางการสอนแบบเชิงรุก (Active learning) แต่ยังมีความแตกต่างในระดับของการนำเสนอ กล่าวคือ Dabbagh et al. (2019) เน้นที่แรงจูงใจและความต้องการของผู้เรียนเป็นสำคัญ ขณะที่ Crompton & Burke (2023) ให้น้ำหนักกับผลลัพธ์การเรียนรู้ที่วัดได้จากการจัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการทำความเข้าใจพฤติกรรมของผู้เรียน Gen Z ในเชิงลึกนั้นจำเป็นต้องพิจารณาทั้งมิติของแรงจูงใจภายในและปัจจัยภายนอกด้านการออกแบบการสอนไปพร้อมกัน และนับเป็นประเด็นที่งานวิจัยในอนาคตควรให้ความสนใจในการบูรณาการมุมมองทั้งสองแนวทางดังกล่าวอย่างเป็นระบบต่อไป

2.1.2 ความคาดหวังของผู้เรียน Gen Z ต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอน

ความคาดหวังของผู้เรียน Gen Z ต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอนมีความแตกต่างจากคนรุ่นก่อนในหลายมิติที่สำคัญ โดย Živković et al. (2025) รายงานว่าผู้เรียนกลุ่มนี้คาดหวังให้การศึกษาตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะบุคคล ทั้งในด้านความเร็วของการเรียนรู้ รูปแบบเนื้อหา และระดับความยากที่สอดคล้องกับศักยภาพและความสนใจของแต่ละคน ความคาดหวังดังกล่าวสะท้อนถึงพฤติกรรมที่ผู้เรียนคุ้นเคยจากการใช้บริการดิจิทัลในชีวิตประจำวัน ซึ่งอัลกอริทึมสามารถปรับแต่งเนื้อหา

และประสบการณ์ให้เหมาะกับผู้ใช้งานแต่ละคนได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนั้น ข้อค้นพบของ Živković et al. (2025) อาศัยฐานข้อมูลจากบริบทยุโรปเป็นหลัก จึงเป็นคำถามเชิงวิจัยที่ต้องการพิสูจน์ว่าความคาดหวังในลักษณะดังกล่าวมีความสอดคล้องหรือแตกต่างกันอย่างไรในบริบทของผู้เรียนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งระบบการศึกษายังคงมีลักษณะที่ให้น้ำหนักกับความสัมพันธ์เชิงอำนาจระหว่างผู้สอนและผู้เรียนในระดับที่สูงกว่า นอกจากนั้น ในด้านความต้องการข้อมูลป้อนกลับ Ouyang & Jiao (2021) อธิบายว่าผู้เรียน Gen Z ไม่เพียงแต่ต้องการทราบว่าคำตอบถูกหรือผิด แต่ต้องการคำอธิบายเชิงลึกที่ช่วยให้เข้าใจจุดบกพร่องและแนวทางพัฒนาของตนเอง ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการประเมินผลแบบดั้งเดิมที่มักให้ข้อมูลป้อนกลับในลักษณะสรุปรวม (Summative) และมีความล่าช้า เมื่อพิจารณาร่วมกับงานวิจัยของ Imjai (2024) ที่พบว่าผู้เรียน Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้ความสำคัญกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Collaborative learning) ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล โดยมองทักษะการทำงานเป็นทีมออนไลน์ว่าเป็นสมรรถนะที่จำเป็นสำหรับตลาดแรงงานในอนาคต ไม่ใช่เพียงกิจกรรมเสริมในชั้นเรียน ทั้ง 2 งานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นในทิศทางเดียวกันว่าผู้เรียน Gen Z มองกระบวนการเรียนรู้ในเชิงพัฒนาการและการเตรียมความพร้อมสู่การปฏิบัติจริงมากกว่าการสะสมความรู้เพื่อการทดสอบเท่านั้น โดยงานวิจัยทั้ง 2 ยังมีข้อจำกัดร่วมกันในแง่ที่ยังไม่ได้ตรวจสอบอย่างลึกซึ้งว่าความคาดหวังดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อผู้เรียนเผชิญกับข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีในสถาบันการศึกษาที่มีทรัพยากรต่างกัน ซึ่งนับเป็นช่องว่างที่งานวิจัยในอนาคตควรให้ความสนใจ

ในทำนองเดียวกัน ความคาดหวังด้านความเกี่ยวข้องกับชีวิตจริง (Relevance) ถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีน้ำหนักสูงในมุมมองของผู้เรียนกลุ่มนี้ โดยผลการศึกษาของ World Economic Forum (2023) ระบุว่าผู้เรียน Gen Z ต้องการเห็นการเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างเนื้อหาในชั้นเรียนกับการนำไปประยุกต์ใช้ในตลาดแรงงานและชีวิตจริง หากไม่สามารถตอบคำถาม “เรียนสิ่งนี้ไปทำไม” ได้อย่างน่าพึงพอใจ ผู้เรียนกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะขาดแรงจูงใจและมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ข้อค้นพบนี้ได้รับการสนับสนุนจากผลการวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการรับรู้ถึงความเกี่ยวข้องของเนื้อหากับระดับการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Student engagement) ของผู้เรียน Gen Z ในสาขา STEM นอกจากนั้น ในรายงานของ World Economic Forum (2023) นำเสนอมุมมองในระดับมหภาคจากเชิงนโยบายและตลาดแรงงาน ในขณะที่ Crompton & Burke (2023) ให้หลักฐานเชิงประจักษ์ในระดับจุลภาคจากสภาพแวดล้อมการเรียนรู้จริง การนำข้อค้นพบจากทั้งสองระดับมาพิจารณาร่วมกันจึงมีนัยสำคัญสำหรับการออกแบบหลักสูตรที่ตอบสนองทั้งความต้องการของตลาดแรงงานและแรงจูงใจภายในของผู้เรียนไปพร้อมกัน ทั้งนี้ ยังคงมีช่องว่างองค์ความรู้ที่สำคัญในการศึกษาว่าความคาดหวังด้านความเกี่ยวข้องดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างไรระหว่างสาขาวิชาที่มีลักษณะเชิงนามธรรมสูง เช่น คณิตศาสตร์ประยุกต์หรือฟิสิกส์ กับสาขาที่มีลักษณะเชิงปฏิบัติการมากกว่า เช่น วิศวกรรมซอฟต์แวร์หรือเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

2.1.3 ข้อจำกัดของการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในการตอบสนองต่อผู้เรียน Gen Z

แม้ว่าการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจะยังคงมีคุณค่าในการสร้างรากฐานความรู้เชิงทฤษฎีและทักษะการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นข้อจำกัดสำคัญหลายประการที่ส่งผลให้รูปแบบการสอนดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองต่อลักษณะและความคาดหวังของผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ได้อย่างเพียงพอ ดังสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ข้อจำกัด ได้แก่

1) การไม่สามารถรองรับความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน (Individual differences) ในชั้นเรียนขนาดใหญ่ การบรรยายในรูปแบบ One-size-fits-all หมายความว่าผู้สอนต้องกำหนดความเร็วระดับ และรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาที่เดียวสำหรับผู้เรียนทุกคน ซึ่งนำไปสู่สถานการณ์ที่ผู้เรียนบางส่วน

ตามไม่ทัน ในขณะที่บางส่วนรู้สึกเบื่อเพราะเนื้อหาง่ายเกินไป (Miao et al., 2021) พบว่าปัญหาดังกล่าวทวีความรุนแรงขึ้นในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งมีความต่อเนื่องเชิงเนื้อหาสูง กล่าวคือ หากผู้เรียนไม่เข้าใจแนวคิดพื้นฐาน ความสามารถในการเรียนรู้แนวคิดขั้นสูงที่ต่อยอดขึ้นมาก็จะได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2) การขาดกลไกข้อมูลป้อนกลับที่ทันเวลาและมีคุณภาพเพียงพอ โดย Zawacki-Richter et al. (2019) ชี้ว่าในบริบทของการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม ผู้สอนหนึ่งคนไม่สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนจำนวนมากได้อย่างทันท่วงที ซึ่งขัดกับความคาดหวังของผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ที่ต้องการการตอบสนองทันที ความล่าช้าในการให้ข้อมูลป้อนกลับนี้ไม่เพียงแต่ลดโอกาสการแก้ไขความเข้าใจผิดแต่ยังส่งผลต่อแรงจูงใจในการเรียนรู้อีกด้วย

3) การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ขั้นสูง (Higher-order thinking skills) ซึ่งงานวิจัยของ Ouyang & Jiao (2021) พบว่าการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมมักเน้นที่การท่องจำและการประยุกต์ใช้สูตรหรือขั้นตอนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า มากกว่าการส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการสร้างสรรค์นวัตกรรม ซึ่งเป็นสมรรถนะที่ตลาดแรงงานในยุคดิจิทัลต้องการมากที่สุด ทั้งนี้ UNESCO (2023) มีการรายงานว่าช่องว่างระหว่างทักษะที่บัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีกับทักษะที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการยังคงเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิผล ข้อจำกัดเหล่านี้ได้สร้างแรงกดดันอย่างชัดเจนต่อสถาบันการศึกษาและผู้กำหนดนโยบายในการแสวงหาแนวทางและเครื่องมือใหม่ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนยุคใหม่ได้อย่างแท้จริง โดยมีปัญญาประดิษฐ์เป็นหนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจและการพิสูจน์หลักฐานเชิงประจักษ์มากที่สุดในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

2.2 ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการยกระดับคุณภาพการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ปัญญาประดิษฐ์ได้พิสูจน์ให้เห็นเชิงประจักษ์ว่า AI มิได้เป็นเพียงแนวคิดเชิงทฤษฎีในห้องปฏิบัติการวิจัย แต่เป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในหลากหลายภาคส่วน รวมถึงภาคการศึกษาที่ได้รับอิทธิพลจากเทคโนโลยีดังกล่าวอย่างต่อเนื่องและลึกซึ้งมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งมีเนื้อหาที่ซับซ้อน มีความต่อเนื่องเชิงแนวคิดสูง และต้องการกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลายทั้งในเชิงทฤษฎีและการปฏิบัติ ดังนั้นศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการยกระดับคุณภาพด้านการศึกษาในสาขาเหล่านี้จึงได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง การทำความเข้าใจในศักยภาพดังกล่าวอย่างรอบด้านจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้อย่างมีประสิทธิผลและสอดคล้องกับบริบทการศึกษาในโลกยุคใหม่

2.2.1 แนวคิดและประเภทของปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้ในการศึกษา

ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทของการศึกษาครอบคลุมกลุ่มเทคโนโลยีที่หลากหลายซึ่งมีหลักการทำงานและการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ Ouyang & Jiao (2021) ได้เสนอกรอบแนวคิดสำหรับการจำแนกประเภทปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาออกเป็น 3 กระบวนทัศน์หลัก ได้แก่ กระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นผู้สอน (AI-as-tutor), กระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ (AI-as-tool), และกระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นหุ้นส่วนในการเรียนรู้ (AI-as-peer) โดยแต่ละกระบวนทัศน์มีบทบาทและลักษณะการโต้ตอบกับผู้เรียนที่แตกต่างกัน กระบวนทัศน์แรกมุ่งเน้นการแทนที่บางหน้าที่ของผู้สอนด้วยระบบอัตโนมัติ เช่น การตอบคำถาม การให้ข้อมูลป้อนกลับ และการประเมินผล ในขณะที่กระบวนทัศน์ที่ 2 และ 3 มุ่งเน้นการเสริมประสิทธิภาพกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยไม่แทนที่บทบาทของผู้สอน นอกจากนั้น ในด้านเทคโนโลยีเฉพาะ Chen et al. (2020)

ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและพบว่าเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ที่ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษามากที่สุด ได้แก่ Intelligent tutoring systems (ITS) ซึ่งเป็นระบบสอนพิเศษอัจฉริยะที่ปรับการนำเสนอเนื้อหาตามการตอบสนองของผู้เรียนในแบบเรียลไทม์ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) ที่ช่วยให้ระบบสามารถวิเคราะห์และตอบสนองต่อภาษามนุษย์ได้อย่างเป็นธรรมชาติ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning: ML) ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการเรียนรู้และพยากรณ์ผลลัพธ์ทางการเรียน รวมถึงคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) ที่นำมาใช้ในการประเมินทักษะปฏิบัติในห้องทดลอง สำหรับสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ Zawacki-Richter et al. (2019) ชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบของการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และห้องปฏิบัติการเสมือน (Virtual laboratory) มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนสามารถทดลองกับสถานการณ์ที่อันตรายหรือมีต้นทุนสูงเกินกว่าจะจัดการได้จริงในห้องปฏิบัติการทั่วไป อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าล่าสุดในด้านปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) โดยเฉพาะโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs) ตัวอย่างเช่น ChatGPT และ Gemini ได้เพิ่มมิติใหม่ให้กับการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Baidoo-Anu & Ansah (2023) อธิบายว่า Generative AI สามารถทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยส่วนตัวของผู้เรียนในการอธิบายแนวคิดที่ซับซ้อน การตั้งคำถามโต้ตอบเพื่อกระตุ้นการคิดวิเคราะห์ และการสนับสนุนการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเปิดโอกาสให้เกิดรูปแบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะบุคคลได้ในระดับที่ไม่เคยเป็นไปได้มาก่อน

2.2.2 การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลด้วยปัญญาประดิษฐ์

การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลถือเป็นหนึ่งในศักยภาพที่โดดเด่นที่สุดของปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา โดยแสดงถึงความสามารถของระบบในการปรับเนื้อหา ลำดับการเรียนรู้ ระดับความยาก และรูปแบบการนำเสนอให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของผู้เรียนแต่ละคนอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ ซึ่งในงานวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลด้วยปัญญาประดิษฐ์นั้นแตกต่างจากการปรับการสอนโดยผู้สอนในสองมิติสำคัญ ได้แก่ 1) มาตราส่วน (Scale) ซึ่งหมายถึงระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถให้การเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนหลาย ๆ คนพร้อมกันได้โดยไม่ลดคุณภาพและความต่อเนื่อง โดยที่ระบบจะปรับตัวอยู่ตลอดเวลาทุกครั้งที่ผู้เรียนโต้ตอบกับระบบ ไม่ใช่เพียงในช่วงเวลาของการสอนในห้องเรียนเท่านั้น 2) การเรียนรู้แบบปรับตัว (Adaptive learning) ซึ่งทำงานจากการวิเคราะห์ข้อมูลการตอบสนองของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ความถูกต้องของคำตอบ เวลาที่ใช้ในการตอบ รูปแบบข้อผิดพลาดที่เกิดซ้ำ และเส้นทางการนำทางในเนื้อหา จากนั้นระบบจะปรับแผนการเรียนรู้ของผู้เรียนในเวลาจริงโดยอาศัยอัลกอริทึมที่ซับซ้อน นอกจากนี้ Ouyang & Jiao (2021) รายงานว่าระบบ ITS ที่ใช้ Machine learning สามารถพยากรณ์จุดที่ผู้เรียนจะประสบความยากลำบากในเนื้อหาถัดไปได้ก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง และปรับกลยุทธ์การนำเสนอเนื้อหาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ ระบบการเรียนรู้แบบปรับตัวมีนัยสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากโครงสร้างเนื้อหาที่มีลำดับชั้นและความต่อเนื่องสูง ระบบสามารถระบุช่องว่างความรู้เฉพาะจุด (Knowledge gap) ของผู้เรียนและจัดเส้นทางการเรียนรู้แบบย้อนกลับเพื่อเสริมสร้างพื้นฐานก่อนที่ผู้เรียนจะก้าวหน้าไปสู่แนวคิดขั้นสูงต่อไป ซึ่งแตกต่างจากชั้นเรียนแบบดั้งเดิมที่ผู้เรียนทุกคนต้องก้าวหน้าไปพร้อมกันในอัตราเดียวโดยไม่คำนึงถึงความพร้อมของแต่ละบุคคล (Miao et al., 2021) นอกจากนี้ การศึกษาของ Holmes et al. (2022) ยังพบว่าระบบการเรียนรู้แบบปรับตัวที่ออกแบบมาสำหรับสาขา STEM สามารถเพิ่มระดับการมีส่วนร่วมของผู้เรียนและลดอัตราการออกกลางคันในวิชาที่มีความยากสูงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้สอน

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียน (Learning analytics) หมายถึงการวัด เก็บรวบรวม วิเคราะห์และรายงานข้อมูลเกี่ยวกับผู้เรียนและบริบทการเรียนรู้ เพื่อเข้าใจและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ (Siemens, 2013 อ้างถึงใน Zawacki-Richter et al., 2019) ในยุคที่การเรียนการสอนดิจิทัลสร้างข้อมูลจำนวนมหาศาลขึ้นมา Learning Analytics จึงเป็นกุญแจสำคัญที่เปลี่ยนข้อมูลดิบเหล่านั้นให้กลายเป็นข้อมูลเชิงลึก (Insight) ที่ผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงการสอนโดยมีหลักฐานสนับสนุนเชิงประจักษ์ ซึ่งความสำคัญของ Learning Analytics ในบริบทการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นเป็นที่ประจักษ์ชัดในหลายมิติ นอกจากนี้ Crompton & Burke (2023) อธิบายว่าระบบการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถระบุผู้เรียนที่มีความเสี่ยงต่อการสอบไม่ผ่านหรือออกกลางคันได้ตั้งแต่ระยะแรกเริ่มของภาคการศึกษา โดยอาศัยสัญญาณจากพฤติกรรมการเรียนรู้ เช่น ความถี่ในการเข้าถึงสื่อการเรียน เวลาที่ใช้กับแบบฝึกหัด และรูปแบบการตอบคำถาม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้ผู้สอนสามารถแทรกแซงและให้ความช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที (Early intervention) ก่อนที่ปัญหาจะสะสมจนยากต่อการแก้ไข อีกทั้ง Chen et al. (2020) ยังชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนสามารถยกระดับคุณภาพการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ในระดับมหภาค กล่าวคือ นอกจากการช่วยผู้เรียนรายบุคคลแล้ว ข้อมูลเชิงรวม (Aggregate data) จากระบบยังสามารถสะท้อนให้เห็นว่าแนวคิดใดที่ผู้เรียนส่วนใหญ่มักเข้าใจผิด กิจกรรมการเรียนรู้ใดที่มีประสิทธิผลสูงที่สุด และจุดใดในหลักสูตรที่ควรได้รับการปรับปรุง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีคุณค่าอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาหลักสูตรในระยะยาว ในแง่นี้การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนจึงเป็นเครื่องมือที่เชื่อมโยงการปรับปรุงการสอนในระดับบุคคลกับการพัฒนาระบบการศึกษาในระดับสถาบันเข้าด้วยกันอย่างมีเหตุมีผล

อีกทั้งการใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนให้ได้ผลอย่างแท้จริงนั้นต้องการมากกว่าการมีข้อมูลเพียงเท่านั้น แต่ต้องการความตระหนักรู้ทางข้อมูล (Data literacy) ของผู้สอนในการอ่าน ตีความและนำข้อมูลไปใช้อย่างถูกต้อง Miao et al. (2021) เสนอว่าสถาบันการศึกษาควรพัฒนาระบบสนับสนุนที่ช่วยให้ผู้สอนสามารถเข้าถึงและตีความการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เรียนได้โดยไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญเชิงเทคนิคสูง เพื่อให้ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์นั้นสามารถก้าวเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอนจริงได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

2.2.4 ผลสัมฤทธิ์ของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หลักฐานเชิงประจักษ์ที่สะสมมาในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาสะท้อนภาพที่ค่อนข้างชัดเจนเกี่ยวกับประสิทธิผลของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยการวิเคราะห์อภิมานของ Crompton & Burke (2023) ที่ครอบคลุมงานวิจัยจำนวน 138 ชิ้น ในช่วงปี ค.ศ. 2010–2021 พบว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการเรียนการสอน STEM ส่งผลเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในภาพรวม โดยมีขนาดผลลัพธ์ (Effect size) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และมีความสม่ำเสมอในหลายบริบทและระดับการศึกษา ทั้งนี้ กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยดังกล่าวประกอบด้วยการรวบรวมและคัดกรองงานวิจัยจากฐานข้อมูลวิชาการชั้นนำ ได้แก่ ERIC, Scopus และ Web of Science โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกที่ครอบคลุมทั้งระดับการศึกษา ประเภทของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่นำมาใช้ และตัวชี้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่วัดได้จริง จากนั้นจึงนำค่าขนาดผลจากงานวิจัยแต่ละชิ้นมาประมวลผลรวมด้วยสถิติถ่วงน้ำหนัก (Weighted effect size) เพื่อควบคุมความแปรปรวนของขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือในระดับที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้อ้างอิงเชิงนโยบาย สำหรับในด้านของสาขาวิชาเฉพาะด้านผลการศึกษาของ Chen et al. (2020) รายงานว่าการใช้ระบบการสอนอัจฉริยะ (Intelligent tutoring systems: ITS) ในการเรียนการสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ให้ผลสัมฤทธิ์ที่สูงกว่าการสอนแบบดั้งเดิม

อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้เรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับกลาง ซึ่งมักเป็นกลุ่มที่ได้รับประโยชน์น้อยที่สุดจากการสอนแบบบรรยายที่ออกแบบมาสำหรับผู้เรียนโดยรวม กระบวนการดำเนินการในการศึกษาดังกล่าวใช้รูปแบบการทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุม (Randomized controlled trial: RCT) โดยให้กลุ่มทดลองได้เรียนรู้ผ่านระบบ ITS ที่ปรับเนื้อหาและลำดับการเรียนรู้โดยอัตโนมัติตามผลการตอบสนองของผู้เรียนในแต่ละขั้นตอน ขณะที่กลุ่มควบคุมได้รับการสอนในรูปแบบชั้นเรียนปกติจากผู้สอนคนเดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาการทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ก่อนวัดผลด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ผ่านการตรวจสอบความตรงและความเชื่อมั่นแล้ว ผลการวิจัยจึงมีความน่าเชื่อถือในระดับสูงเนื่องจากสามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของงานวิจัยนี้คือการดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมสูง ซึ่งอาจไม่สะท้อนความซับซ้อนของการนำระบบ ITS ไปใช้จริงในชั้นเรียนที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานและทรัพยากรที่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน การศึกษาของ Baidoo-Anu & Ansah (2023) พบว่าการใช้ Generative AI เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนในสาขาวิทยาศาสตร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการเขียนอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific writing) และการคิดวิเคราะห์เชิงวิพากษ์ (Critical thinking) ของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยนี้ครอบคลุมการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบ Prompt-based learning ซึ่งกำหนดให้ผู้เรียนในกลุ่มทดลองต้องร่างคำถามและโต้ตอบกับระบบ Generative AI เพื่ออธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน จากนั้นผู้สอนทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและกระตุ้นให้ผู้เรียนประเมินคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้รับจากระบบ AI วิธีการดังกล่าวไม่เพียงส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แต่ยังพัฒนาทักษะการประเมินสารสนเทศ (Information literacy) ซึ่งถือเป็นสมรรถนะที่จำเป็นในยุคดิจิทัล เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chen et al. (2020) พบว่าทั้ง 2 งานวิจัยสนับสนุนประสิทธิผลของปัญญาประดิษฐ์ในทิศทางเดียวกัน แต่แตกต่างกันในแง่ของกระบวนการเรียนรู้ที่มุ่งเน้น กล่าวคือ งานวิจัยของ Chen et al. (2020) เน้นการปรับเนื้อหาเป็นรายบุคคลผ่านระบบอัตโนมัติ ในขณะที่ Baidoo-Anu & Ansah (2023) เน้นการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงผ่านการโต้ตอบเชิงสร้างสรรค์กับ AI ซึ่งจะต้องอาศัยการออกแบบกิจกรรมและบทบาทของผู้สอนที่แตกต่างกันออกไปอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแง่ของความรู้และทักษะแล้ว ปัญญาประดิษฐ์ยังส่งผลเชิงบวกต่อตัวแปรด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ที่สำคัญ โดย Ouyang & Jiao (2021) พบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์มีระดับแรงจูงใจในการเรียน (Motivation) การรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) และการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Engagement) สูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบดั้งเดิมอย่างสม่ำเสมอ กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยดังกล่าวอาศัยการสำรวจด้วยแบบวัดมาตรฐานที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) ร่วมกับการวิเคราะห์บันทึกพฤติกรรมการใช้งานระบบ (System log analysis) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างการรับรู้ของผู้เรียนกับพฤติกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริง ผลการศึกษาชี้ว่าผู้เรียนที่ได้รับข้อมูลป้อนกลับทันทีและต่อเนื่องจากระบบ AI มีแนวโน้มที่จะทบทวนเนื้อหาซ้ำและลงทุนเวลาในการเรียนรู้นอกชั้นเรียนมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งอาจถือเป็นผลระยะยาวที่สำคัญต่อการเสริมสร้างนิสัยรักการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Lifelong learning) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นอกจากนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องตระหนักอีกประการหนึ่งก็คือ ประสิทธิผลของปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาไม่ได้เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงกระบวนการหลายประการ ได้แก่ คุณภาพของการออกแบบระบบและการบูรณาการกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ความสามารถของผู้สอนในการออกแบบกิจกรรมที่ใช้ AI อย่างมีเป้าหมาย และบริบทของสถาบันการศึกษาทั้งในด้านโครงสร้างพื้นฐานและนโยบายสนับสนุน Holmes et al. (2022) เน้นย้ำว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมักเกิดขึ้นเมื่อปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เสริมและขยายความสามารถของผู้สอน ไม่ใช่การทดแทนผู้สอน โดยกระบวนการดำเนินการที่มีประสิทธิผลจะประกอบด้วยสามขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ ขั้นแรกคือการที่

ผู้สอนกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมที่ AI จะเข้ามาสนับสนุน ขั้นที่สองคือการที่ระบบ AI ดำเนินการปรับเนื้อหา ติดตามผล และให้ข้อมูลป้อนกลับเชิงบุคคลแก่ผู้เรียนโดยอัตโนมัติ และขั้นที่สามคือการที่ผู้สอนนำข้อมูลสรุปจากระบบ AI มาใช้ในการวางแผนการสอนและให้การดูแลเชิงลึกแก่ผู้เรียนที่ต้องการความช่วยเหลือเพิ่มเติม กระบวนการสามขั้นตอนดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในการออกแบบและบูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้าสู่กระบวนการสอนเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้สำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาอย่างมีประสิทธิผลและยั่งยืน

2.3 จริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา

แม้ว่าปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพสูงในการยกระดับคุณภาพการศึกษาดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้า แต่การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในบริบทการศึกษาโดยปราศจากกรอบการพิจารณาด้านจริยธรรมที่รอบคอบอาจก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบที่ซับซ้อนและส่งผลระยะยาวต่อผู้เรียน สถาบันการศึกษา และสังคมโดยรวม Holmes et al. (2022) ได้กล่าวว่าความกระตือรือร้นในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมานั้น มักดำเนินไปข้างหน้าเร็วกว่าการพัฒนากรอบจริยธรรมและกลไกกำกับดูแลที่จำเป็น ซึ่งสร้างความเสี่ยงที่ไม่อาจมองข้ามได้ การทำความเข้าใจประเด็นด้านจริยธรรมเหล่านี้อย่างถ่องแท้จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ขาดไม่ได้สำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาอย่างมีความรับผิดชอบและยั่งยืน ฯลฯ

2.3.1 ความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลผู้เรียน

ระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมหาศาลเกี่ยวกับผู้เรียนในการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นผลการเรียน พฤติกรรมการเข้าถึงเนื้อหา รูปแบบการตอบสนองต่อคำถาม ไปจนถึงข้อมูลส่วนบุคคลและบางครั้งข้อมูลชีวภาพ เช่น การจดจำใบหน้าในระบบตรวจสอบของการสอบ ความเข้มข้นในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้สร้างความกังวลเป็นอย่างยิ่งเกี่ยวกับสิทธิในความเป็นส่วนตัวของผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนที่เป็นผู้เยาว์ซึ่งอาจไม่สามารถให้ความยินยอมได้เมื่อมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอ (Informed consent) อย่างแท้จริง (Miao et al., 2021) โดย Williamson & Hogan (2020) ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลผู้เรียนที่ถูกเก็บรวบรวมโดยระบบปัญญาประดิษฐ์มักไหลเวียนผ่านบริษัทเทคโนโลยีเอกชน ซึ่งมีผลประโยชน์ทางการค้าที่อาจขัดแย้งกับผลประโยชน์สูงสุดของผู้เรียน การที่บริษัทเอกชนเหล่านี้ถือครองและวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนจำนวนมากก่อให้เกิดความเสี่ยงหลายประการ ทั้งในแง่ของการนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ได้รับความยินยอม การเกิดการละเมิดข้อมูล (Data breach) และการสร้างภาพจำถาวรของผู้เรียนที่อาจส่งผลต่อโอกาสในชีวิตอนาคตของผู้เรียนได้ เช่น การรับเข้าศึกษาหรือการจ้างงาน ความเสี่ยงเหล่านี้ทวีความรุนแรงขึ้นในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผู้เรียนมักโต้ตอบกับระบบดิจิทัลในความถี่และความลึกที่สูงกว่าสาขาอื่น ๆ นอกจากนั้น Holmes et al. (2022) ได้ให้คำแนะนำว่าสถาบันการศึกษาควรนำหลักการ “ความเป็นส่วนตัวโดยการออกแบบ (Privacy by design)” มาใช้ในการจัดซื้อและพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา กล่าวคือ การคุ้มครองความเป็นส่วนตัวต้องถูกฝังรวมเข้าไปในสถาปัตยกรรมของระบบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ไม่ใช่การเพิ่มเติมภายหลัง ควบคู่กับการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับประเภทของข้อมูลที่เก็บรวบรวม ระยะเวลาในการจัดเก็บ และบุคคลที่มีสิทธิ์เข้าถึง อีกทั้ง UNESCO (2023) ยังเน้นย้ำถึงความสำคัญของการมีกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลทางการศึกษาที่ทันสมัยและมีประสิทธิผล โดยเฉพาะในบริบทของประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งกรอบกฎหมายในด้านนี้ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา

2.3.2 ความเท่าเทียมและการเข้าถึงเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษา

ประเด็นด้านความเท่าเทียมถือเป็นหนึ่งในความท้าทายด้านจริยธรรมที่ซับซ้อนและสำคัญที่สุดในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีความเสี่ยงสูงที่เทคโนโลยีดังกล่าวจะขยายช่องว่างทางการศึกษาที่มีอยู่เดิมแทนที่จะช่วยลดลง Miao et al. (2021) อธิบายว่าความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาปรากฏในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงและอุปกรณ์ดิจิทัล ไปจนถึงระดับสถาบัน เช่น ความสามารถทางการเงินในการจัดหาระบบปัญญาประดิษฐ์ราคาสูง และระดับบุคคล เช่น ทักษะดิจิทัลของผู้เรียนและผู้สอน อีกทั้งรายงานของ World Economic Forum (2023) ระบุว่า แม้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาจะมีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือสร้างความเสมอภาค โดยเฉพาะผ่านการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลที่ช่วยให้ผู้เรียนที่อยู่ด้านหลังสามารถตามทันเพื่อนได้ แต่ในความเป็นจริง ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มีคุณภาพสูงมักกระจุกตัวอยู่ในสถาบันการศึกษาที่มีทรัพยากรสูง ขณะที่โรงเรียนและมหาวิทยาลัยในพื้นที่ห่างไกลหรือด้อยโอกาสยังคงขาดแคลนทั้งโครงสร้างพื้นฐานและงบประมาณในการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ ผลลัพธ์ที่ตามมาคือความเหลื่อมล้ำทางการศึกษาที่มีอยู่เดิมอาจถูกขยายให้กว้างขึ้นในยุคของปัญญาประดิษฐ์ นอกจากนั้น ปัญหาความเท่าเทียมอีกประการหนึ่งคือ ความเอนเอียงที่ฝังอยู่ในอัลกอริทึม (Algorithmic bias) ซึ่ง Williamson & Hogan (2020) อธิบายว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกฝึกฝนด้วยข้อมูลที่สะท้อนอคติทางสังคมที่มีอยู่เดิม เช่น ความเหลื่อมล้ำทางเพศ เชื้อชาติ หรือชนชั้นทางสังคม อาจสร้างความเอนเอียงในกระบวนการประเมินผลหรือการพยากรณ์ผลการเรียนของผู้เรียน ตัวอย่างเช่น การใช้งานระบบที่มีมากนำข้อมูลย้อนหลังจากกลุ่มประชากรที่ไม่หลากหลายในการพยากรณ์ความเสี่ยงในการออกกลางคันอาจสร้างอคติต่อผู้เรียนจากกลุ่มที่ด้อยโอกาสโดยไม่ตั้งใจ ซึ่งนำไปสู่การตัดสินใจเชิงการสอนที่ไม่เป็นธรรมได้

2.3.3 ความเสี่ยงและผลกระทบต่อการพัฒนาความคิดของผู้เรียนจากการพึ่งพาเทคโนโลยี

ท่ามกลางความพยายามในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในงานด้านการศึกษา ประเด็นที่มักถูกมองข้ามแต่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือผลกระทบของการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไปต่อการพัฒนาความสามารถในการคิดและการเรียนรู้ที่แท้จริงของผู้เรียน Baidoo-Anu & Ansah (2023) ตั้งคำถามสำคัญว่าเมื่อผู้เรียนสามารถพึ่งพาระบบปัญญาประดิษฐ์ในการค้นหาคำตอบ สรุปเนื้อหา หรือแม้แต่เขียนรายงานได้โดยง่าย กระบวนการต่อสู้กับความยากลำบากทางความคิด (Productive struggle) ซึ่งนักการศึกษาหลายท่านมองว่าเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งจะเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยความวิตกกังวลนี้ส่งผลสำคัญต่อบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาเชิงวิเคราะห์ต้องอาศัยการฝึกฝนอย่างต่อเนื่องและการเผชิญกับความซับซ้อนของปัญหาด้วยตนเอง Ouyang & Jiao (2021) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างไม่ระมัดระวังอาจทำให้ผู้เรียนพัฒนานิสัยการพึ่งพาเครื่องมือมากกว่าการพัฒนาความสามารถในการคิดด้วยตนเอง ซึ่งส่งผลเสียต่อการพัฒนาทักษะระดับสูงในระยะยาว เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ การสังเคราะห์ข้อมูล และการสร้างสรรค์นวัตกรรม

นอกจากนี้ ประเด็นเรื่องความซื่อสัตย์ทางวิชาการ (Academic integrity) ถือเป็นความท้าทายที่สถาบันการศึกษาทั่วโลกกำลังเผชิญอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะหลังการเกิดขึ้นของปัญญาประดิษฐ์ประเภทสร้างสรรค์ที่สามารถผลิตเนื้อหาได้อย่างน่าเชื่อถือ โดย Holmes et al. (2022) แสดงให้เห็นว่าการแยกแยะระหว่างผลงานที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเองกับผลงานที่ปัญญาประดิษฐ์ช่วยสร้างกลายเป็นเรื่องที่ทำได้ยากขึ้นเรื่อย ๆ และสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังไม่มีนโยบายที่ชัดเจนในการรับมือกับความท้าทายนี้ ความคลุมเครือดังกล่าวสร้างความสับสนและความไม่เป็นธรรมต่อผู้เรียนที่พยายามทำผลงานด้วยตนเองอย่างซื่อสัตย์ และในท้ายที่สุดอาจบั่นทอนคุณค่าของผลลัพธ์ทางการศึกษาโดยรวม

2.3.4 แนวปฏิบัติและกรอบจริยธรรมสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษา

เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายด้านจริยธรรมที่กล่าวมาข้างต้น องค์กรระหว่างประเทศและนักวิชาการต่าง ๆ ได้เสนอกรอบแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในด้านการศึกษาอย่างมีความรับผิดชอบ โดย UNESCO (2023) ได้กำหนดหลักการสำคัญ 4 ประการสำหรับการพัฒนาและการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา ได้แก่ ความโปร่งใส ความรับผิดชอบ ความไม่เลือกปฏิบัติ และการให้มนุษย์เป็นศูนย์กลางของการตัดสินใจ ซึ่งหมายความว่าการตัดสินใจที่ส่งผลต่อชีวิตและอนาคตของผู้เรียนจะต้องไม่ถูกมอบหมายให้ระบบปัญญาประดิษฐ์เป็นผู้ตัดสินใจแต่เพียงผู้เดียวโดยปราศจากการควบคุมตรวจสอบของมนุษย์ โดย Miao et al. (2021) เสนอกรอบการกำกับดูแลปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาที่มีความสามารถครอบคลุม 3 ระดับที่เชื่อมโยงกัน 1) ระดับนโยบาย ซึ่งรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องพัฒนากฎหมายและมาตรฐานที่สามารถนำมาบังคับใช้ได้จริงเกี่ยวกับการจัดการข้อมูลของผู้เรียน ความโปร่งใสของอัลกอริทึม รวมถึงความรับผิดชอบของผู้พัฒนาระบบ 2) ระดับสถาบัน ซึ่งสถาบันการศึกษาต้องกำหนดนโยบายภายในที่ชัดเจนเกี่ยวกับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในห้องเรียน รวมถึงจัดให้มีคณะกรรมการจริยธรรมที่ทำหน้าที่ประเมินและตรวจสอบการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้อย่างสม่ำเสมอ และ 3) ระดับห้องเรียน ซึ่งผู้สอนต้องได้รับการพัฒนาทักษะในการใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมและสามารถสอนให้ผู้เรียนเข้าใจข้อจำกัดและความเสี่ยงของเทคโนโลยีเหล่านี้ด้วย

นอกจากนั้น สิ่งสำคัญที่กรอบจริยธรรมเหล่านี้มีร่วมกันคือการยืนยันว่าบทบาทของมนุษย์ในกระบวนการศึกษาไม่สามารถถูกแทนที่ได้ Holmes et al. (2022) สรุปว่าปัญญาประดิษฐ์ควรได้รับการมองว่าเป็นเครื่องมือที่ขยายขีดความสามารถของมนุษย์ ไม่ใช่สิ่งทดแทนมนุษย์ และการตัดสินใจด้านการศึกษาที่มีแก่นสำคัญทางจริยธรรม เช่น การประเมินผล การให้คำแนะนำด้านอาชีพ และการตัดสินกรณีละเมิดวินัย จะต้องอยู่ภายใต้การดูแลและตัดสินของมนุษย์เสมอ ไม่ว่าจะมีการนำปัญญาประดิษฐ์มาสนับสนุนในระดับใดก็ตาม นอกจากนี้ Williamson & Hogan (2020) ยังเน้นย้ำว่าการสร้างวัฒนธรรมการตั้งคำถามต่อเทคโนโลยีเชิงวิพากษ์ในหมู่ผู้เรียน ผู้สอน และผู้บริหารสถาบันการศึกษา ถือเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่สำคัญที่สุดสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาอย่างมีจริยธรรมและมีความรับผิดชอบต่อสังคมในระยะยาว

2.4 สมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในฐานะปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล

การนำปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการศึกษาให้ประสบความสำเร็จนั้นไม่อาจสำเร็จได้เพียงด้วยการจัดหาเครื่องมือและโครงสร้างพื้นฐานที่ทันสมัย หากแต่ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สอนในการนำเทคโนโลยีเหล่านั้นไปบูรณาการเข้ากับกระบวนการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิผลและมีจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน โดย Redecker (2017) นิยามสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนว่าเป็นความสามารถในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างสร้างสรรค์และมีวิจารณญาณ เพื่อยกระดับการวางแผนการสอน การจัดการเรียนรู้ การประเมินผล และการพัฒนาวิชาชีพของตนเองอย่างต่อเนื่อง ในบริบทของการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน สมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนจึงกลายเป็นตัวแปรสำคัญที่กำหนดว่าระบบการศึกษาจะสามารถใช้ประโยชน์จากศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ได้มากน้อยเพียงใดและจะหลีกเลี่ยงความเสี่ยงด้านจริยธรรมที่เกี่ยวข้องได้อย่างไร

2.4.1 กรอบแนวคิดสมรรถนะดิจิทัลสำหรับผู้สอนในศตวรรษที่ 21

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา องค์กรระหว่างประเทศและนักวิชาการหลายกลุ่มได้พัฒนากรอบแนวคิดที่เป็นระบบสำหรับการนิยามและวัดสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน กรอบแนวคิดที่ได้รับการยอมรับและอ้างอิงอย่างกว้างขวางที่สุดในระดับนานาชาติ ได้แก่ กรอบสมรรถนะดิจิทัลสำหรับนักการศึกษา

ของสหภาพยุโรป (European Digital Competence Framework for Educators หรือ DigComp-Edu) ที่พัฒนาโดย Redecker (2017) ซึ่งจำแนกสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนออกเป็น 6 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เชิงวิชาชีพผ่านช่องทางดิจิทัล 2) การจัดหาและสร้างสรรค์สื่อและทรัพยากรดิจิทัล 3) การจัดการเรียนการสอนและการนิเทศด้วยเทคโนโลยี 4) การประเมินผลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล 5) การส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้เรียน และ 6) การออกแบบการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความหลากหลายของผู้เรียนด้วยเทคโนโลยี ตามลำดับ นอกเหนือจากกรอบ DigComp-Edu แล้ว กรอบแนวคิดอีกลักษณะหนึ่งที่โดดเด่นในบริบทของการบูรณาการเทคโนโลยีกับการสอน คือกรอบ Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) ที่พัฒนาโดย Mishra & Koehler (2006) และยังคงนำมาใช้จนถึงปัจจุบัน โดยกรอบนี้มีการเสนอว่าการสอนที่มีประสิทธิผลด้วยเทคโนโลยีต้องอาศัยความรู้ 3 ด้านที่บูรณาการกัน ได้แก่ ความรู้ด้านเนื้อหาวิชา ความรู้ด้านวิธีสอน และความรู้ด้านเทคโนโลยี โดยประสิทธิผลสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อผู้สอนสามารถผสมผสานความรู้ทั้ง 3 ด้านนี้ได้อย่างลงตัวในบริบทเฉพาะของการสอน Mishra (2019) ได้ปรับปรุงกรอบนี้ให้ทันสมัยขึ้นโดยเพิ่มมิติของปัญญาประดิษฐ์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ผู้สอนในศตวรรษที่ 21 ต้องมี ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิทัศน์เทคโนโลยีทางการศึกษาที่เกิดขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา

นอกจากนั้น UNESCO (2022) ยังได้เผยแพร่กรอบสมรรถนะปัญญาประดิษฐ์สำหรับครู (AI Competency Framework for Teachers) ซึ่งสามารถระบุถึงสมรรถนะเฉพาะที่ผู้สอนจำเป็นต้องมีในยุคที่ปัญญาประดิษฐ์เข้ามามีบทบาทในชั้นเรียน ครอบคลุมตั้งแต่ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ การประเมินและเลือกใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาอย่างมีวิจารณญาณ ตลอดจนถึงการสอนให้ผู้เรียนใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมและมีประสิทธิผล โดยมีกรอบแนวคิดเหล่านี้เป็นพื้นฐานช่วยให้มีการพัฒนาสมรรถนะด้านดิจิทัลของผู้สอนมีทิศทางที่ชัดเจนและสามารถวัดความก้าวหน้าได้อย่างเป็นระบบ

2.4.2 ช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แม้ว่าผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมักได้รับการมองว่ามีความคุ้นเคยกับเทคโนโลยีมากกว่าผู้สอนในสาขาอื่น แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการใช้เทคโนโลยีส่วนตัว (Personal technology usage) นั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากความสามารถในการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการสอนอย่างมีประสิทธิผล (Pedagogical technology integration) โดยงานวิจัยของ Tondeur et al. (2020) มีการรายงานจากการสำรวจผู้สอนในสาขา STEM ในหลายประเทศว่า แม้ผู้สอนส่วนใหญ่จะมีทักษะการใช้เทคโนโลยีในระดับพื้นฐานถึงปานกลาง แต่มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะที่ส่งเสริมการคิดขั้นสูงของผู้เรียนได้อย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม ช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลที่พบบ่อยที่สุดในกลุ่มผู้สอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประการหลัก ได้แก่ 1) ช่องว่างด้านความรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยของ Miao et al. (2021) พบว่าผู้สอนส่วนใหญ่ยังขาดความเข้าใจที่เพียงพอเกี่ยวกับหลักการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา ข้อจำกัดของเทคโนโลยี และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน 2) ช่องว่างด้านทักษะการออกแบบการเรียนรู้ที่บูรณาการเทคโนโลยี ซึ่ง Redecker (2017) อธิบายว่าเป็นทักษะที่ซับซ้อนและต้องการการฝึกฝนในบริบทจริง ไม่สามารถพัฒนาได้จากการอบรมเชิงทฤษฎีเท่านั้น และ 3) ช่องว่างด้านจริยธรรมดิจิทัล ที่ Holmes et al. (2022) สะท้อนให้เห็นว่าผู้สอนจำนวนมากยังไม่มีกรอบความคิดที่เพียงพอในการพิจารณาและสื่อสารประเด็นด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์กับผู้เรียน

ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษาวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ชี้ให้เห็นว่าช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนมีลักษณะเชิงรุ่น (Generational dimension) ที่ชัดเจน โดยผู้สอนรุ่นเก่าที่เข้าสู่วิชาชีพก่อนยุคดิจิทัลมักมีช่องว่างสมรรถนะกว้างกว่าผู้สอนรุ่นใหม่ ขณะที่ผู้สอนรุ่นใหม่มักมีทักษะการใช้เครื่องมือดิจิทัลที่ดีกว่าแต่ขาดประสบการณ์ทางการสอนที่จำเป็นสำหรับการบูรณาการเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิผล ความแตกต่างนี้ชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนจำเป็นต้องออกแบบให้ตอบสนองต่อความต้องการที่แตกต่างกันของผู้สอนในแต่ละช่วงวัยและระดับประสบการณ์

2.4.3 แนวทางและรูปแบบการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่มีประสิทธิผล

หลักฐานเชิงประจักษ์จากงานวิจัยในช่วงที่ผ่านมาชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่ประสบความสำเร็จมีลักษณะที่แตกต่างจากรูปแบบการอบรมแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ โดย Tondeur et al. (2020) สรุปจากการทบทวนงานวิจัยว่า รูปแบบการพัฒนาที่มีประสิทธิผลสูงสุดมีลักษณะร่วมกัน 5 ประการ ได้แก่ 1) การเชื่อมโยงกับบริบทการสอนจริงของผู้สอน 2) การฝึกปฏิบัติในชั้นเรียนควบคู่กับการสะท้อนคิด 3) การเรียนรู้แบบร่วมมือในหมู่เพื่อนร่วมวิชาชีพ 4) การได้รับการนิเทศและการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง และ 5) การกำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่เฉพาะเจาะจงและวัดได้ ซึ่งรูปแบบที่ได้รับการยืนยันว่ามีประสิทธิผลสูงในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ คือ การพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ (Professional learning community: PLC) ที่ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นสื่อกลาง โดย Miao et al. (2021) พบว่าเมื่อผู้สอนในสาขาเดียวกันมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ทดลองใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ร่วมกัน และสะท้อนคิดเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนของตนเองอย่างสม่ำเสมอ การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลเกิดขึ้นได้เร็วกว่าและยั่งยืนกว่าการเข้าร่วมการอบรมระยะสั้นที่ขาดการติดตาม รูปแบบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับหลักการเรียนรู้ของผู้สอนในฐานะผู้ใหญ่ที่ต้องการเห็นความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่เรียนกับงานที่ทำจริงอย่างชัดเจน

นอกจากนั้น การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในยุคของปัญญาประดิษฐ์ยังต้องการมิติใหม่ที่กรอบการพัฒนาแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถให้ความสำคัญเพียงพอ ได้แก่ การพัฒนาทักษะการประเมินเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์อย่างมีวิจารณญาณ ความสามารถในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผสมผสานการใช้ปัญญาประดิษฐ์กับการพัฒนาทักษะการคิดของผู้เรียนในเวลาเดียวกัน และความสามารถในการอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจข้อจำกัด ความเสี่ยง และมิติทางจริยธรรมของปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน อีกทั้งผลการศึกษาของ Baidoo-Anu & Ansah (2023) ได้เสนอว่า สถาบันการศึกษาควรออกแบบโปรแกรมพัฒนาผู้สอนที่ให้ผู้สอนได้ทดลองใช้ปัญญาประดิษฐ์ในฐานะผู้เรียนก่อน เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงประสบการณ์ที่จะนำไปสู่การออกแบบการเรียนการสอนที่มีคุณภาพได้อย่างแท้จริง

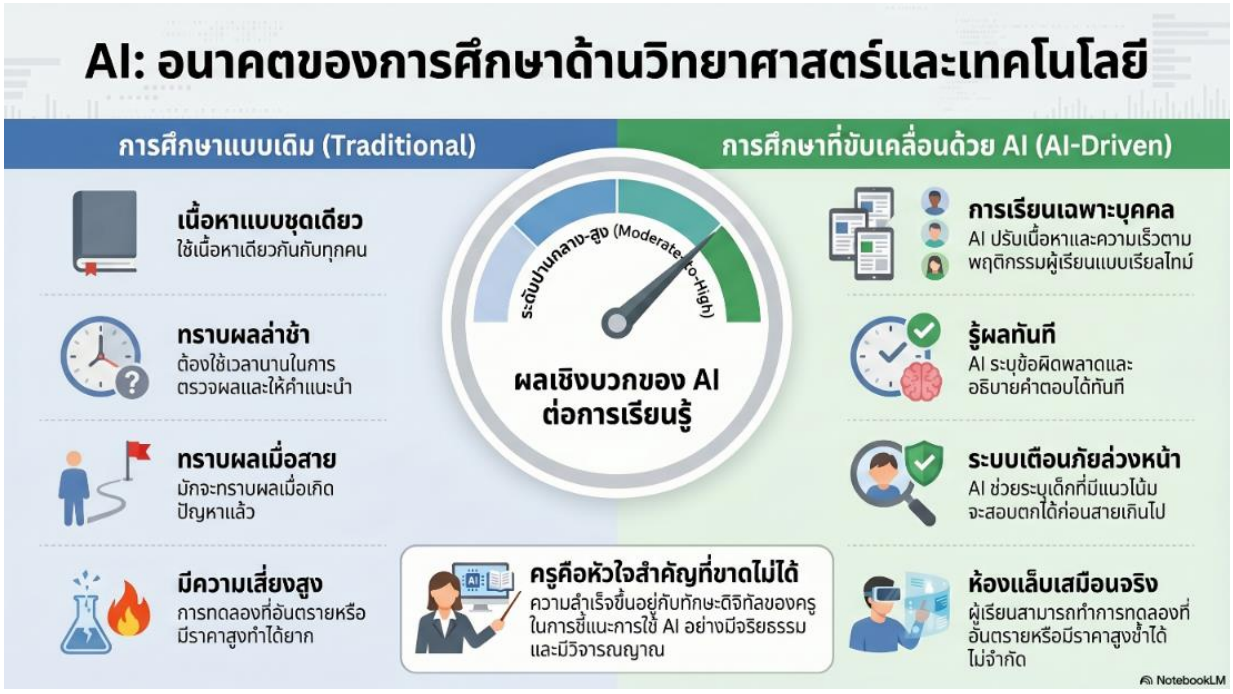
2.4.4 บทบาทของสถาบันการศึกษาและนโยบายในการส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน

การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเป็นความรับผิดชอบที่ไม่อาจปล่อยให้เป็นเรื่องของความคิดริเริ่มส่วนบุคคลเท่านั้น แต่ต้องการการสนับสนุนเชิงระบบจากสถาบันการศึกษาและนโยบายภาครัฐที่ออกแบบมาอย่างรอบคอบและมีพันธกิจที่ชัดเจน โดย UNESCO (2022) เน้นย้ำว่าสถาบันการศึกษาต้องสร้างสภาพแวดล้อมองค์กรที่เกื้อหนุนต่อการเรียนรู้และการทดลองนวัตกรรมของผู้สอน ซึ่งหมายถึงการจัดสรรเวลาและทรัพยากรสำหรับการพัฒนาวิชาชีพ การสร้างระบบการยกย่องและให้รางวัลแก่ผู้สอนที่ริเริ่มการบูรณาการเทคโนโลยีในชั้นเรียน และการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่มองความผิดพลาดจากการทดลองสิ่งใหม่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ มิใช่สิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง นอกจากนั้น ในระดับของนโยบาย World Economic Forum (2023) เสนอว่ารัฐบาลควรกำหนดให้สมรรถนะดิจิทัลเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานวิชาชีพครูและเกณฑ์การต่อใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ เพื่อสร้างแรงจูงใจเชิงระบบให้ผู้สอนพัฒนาสมรรถนะดังกล่าว

อย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการออกแบบหลักสูตรการผลิตครูในสถาบันอุดมศึกษาที่บูรณาการสมรรถนะดิจิทัลเข้าเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้หลัก ไม่ใช่วิชาเลือกเสริมที่ผู้เรียนครูหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Miao et al. (2021) ที่แนะนำให้ประเทศต่าง ๆ พัฒนายุทธศาสตร์ระดับชาติสำหรับการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่มีเป้าหมายชัดเจน งบประมาณที่เพียงพอ และกลไกการติดตามประเมินผลที่เป็นรูปธรรม

อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ผู้บริหารสถานศึกษาต้องตระหนักในการกำหนดนโยบายในด้านดังกล่าว คือความหลากหลายของบริบทสถาบันและบริบทบุคคลของผู้สอน โดย Tondeur et al. (2020) ได้ให้ข้อเสนอว่านโยบายแบบเดียวกันสำหรับทุกคน (One-size-fits-all policy) ในการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลมักไม่บรรลุผลตามที่ตั้งใจ เพราะผู้สอนมีระดับสมรรถนะเริ่มต้น ความต้องการ และบริบทการสอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนโยบายที่มีประสิทธิผลจึงต้องออกแบบให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะตอบสนองต่อความแตกต่างเหล่านี้ได้ โดยกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำที่ชัดเจนในระดับชาติ แต่เปิดพื้นที่ให้สถาบันและผู้สอนแต่ละคนสามารถกำหนดเส้นทางการพัฒนาที่เหมาะสมกับบริบทของตนเองได้ ซึ่งการออกแบบนโยบายในลักษณะนี้จะช่วยให้การส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึง ยั่งยืน และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่แท้จริงในคุณภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในที่สุด

เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับความแตกต่างเชิงโครงสร้างระหว่างการจัดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional education) และการจัดการเรียนการสอนที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI-Driven education) การทบทวนวรรณกรรมข้างต้นได้นำมาสู่การสังเคราะห์กรอบแนวคิดที่จำแนกลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 รูปแบบออกเป็น 4 มิติหลัก ได้แก่ รูปแบบการสอน การประเมินผล การเข้าถึงทรัพยากร และการพัฒนาทักษะของผู้เรียน ทั้งนี้ กรอบแนวคิดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าครูผู้สอนยังคงมีบทบาทสำคัญในฐานะตัวแปรเชื่อมโยงระหว่างการจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 รูปแบบดังกล่าว แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบการจัดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมกับการจัดการเรียนการสอนที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(**ที่มา :** อ้างอิงจากงานวิจัยของ Crompton & Burke, 2023; Holmes et al., 2022; Ouyang & Jiao, 2021)

3. การวิเคราะห์และอภิปรายผล

จากการทบทวนและสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผลที่ได้จากบทความวิชาการนี้สามารถจัดระเบียบออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความสำคัญต่อการออกแบบการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลจากการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นที่เกี่ยวกับลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียน Gen Z พบว่าผู้เรียนกลุ่มนี้มีอัตลักษณ์เฉพาะที่สร้างความไม่สอดคล้องอย่างเป็นระบบระหว่างสิ่งที่ผู้เรียนต้องการกับสิ่งที่การศึกษาแบบดั้งเดิมสามารถมอบให้ได้ ผลการสังเคราะห์ชี้ว่าผู้เรียน Gen Z มีลักษณะร่วมกัน 4 ประการที่มีนัยสำคัญต่อการจัดการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ 1) ความต้องการข้อมูลป้อนกลับที่รวดเร็วและเฉพาะเจาะจง 2) ความคาดหวังต่อประสบการณ์การเรียนรู้ที่ปรับให้เหมาะกับตนเอง 3) ความต้องการเห็นความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหากับบริบทชีวิตจริงอย่างชัดเจน และ 4) แนวโน้มในการเรียนรู้ของผู้เรียนแบบลงมือปฏิบัติผ่านสื่อดิจิทัลมากกว่าการรับสารผ่านการบรรยายแบบเดิม (Seemiller & Grace, 2018; Schwieger & Ladwig, 2018; McKinsey & Živković, 2025) ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Crompton & Burke (2023) ที่พบว่าผู้เรียนกลุ่มนี้ในสาขา STEM แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างโจทย์ปัญหาจากสถานการณ์จริงกับเทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ ซึ่งบ่งชี้ว่าช่องว่างระหว่างลักษณะของผู้เรียนกับรูปแบบการสอนแบบดั้งเดิมไม่ใช่เพียงความแตกต่างในด้านความชอบส่วนบุคคล แต่เป็นปัจจัยเชิงโครงสร้างที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิผลของการเรียนรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นัยสำคัญของผลการวิจัยนี้คือการยืนยันว่าการปรับรูปแบบการสอนให้สอดรับกับลักษณะของผู้เรียน Gen Z ไม่ใช่ทางเลือก แต่เป็นความจำเป็นเชิงการศึกษาที่มีพื้นฐานจากหลักฐานเชิงประจักษ์อย่างชัดเจน

3.2 ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์สะท้อนให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อจำกัดของการสอนแบบดั้งเดิมใน 3 มิติหลัก กล่าวคือ 1) ข้อจำกัดด้านความสามารถในการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล (Personalized learning) เนื่องจากการสอนแบบดั้งเดิมที่ผู้สอนหนึ่งคนต้องรับผิดชอบผู้เรียนจำนวนมากพร้อมกันทำให้แทบไม่สามารถออกแบบเนื้อหา ลำดับการเรียนรู้ และความเร็วในการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการและระดับความสามารถของผู้เรียนแต่ละคนได้อย่างแท้จริง 2) ข้อจำกัดด้านการให้ข้อมูลป้อนกลับที่ทันท่วงที เนื่องจากกระบวนการตรวจประเมินและส่งคืนผลงานในระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมมักใช้เวลานาน ส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้รับข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงการเรียนรู้ที่เหมาะสม และ 3) ข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงการสอน เนื่องจากผู้สอนมักขาดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการติดตามและวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนในเชิงลึก ทำให้การปรับรูปแบบการสอนเพื่อตอบสนองต่อปัญหาของผู้เรียนเป็นไปได้อย่างจำกัด ทั้ง 3 มิติดังกล่าวมีความเชื่อมโยงและส่งเสริมซึ่งกันและกันในลักษณะที่ข้อจำกัดในมิติหนึ่งมักส่งผลกระทบต่อมิติอื่น ๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบการจัดการศึกษาแบบดั้งเดิมและการจัดการศึกษาที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมืออย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างรูปแบบดั้งเดิมและใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือ

มิติการเปรียบเทียบ	การศึกษาแบบดั้งเดิม	การศึกษาที่ใช้ AI เป็นเครื่องมือ	แหล่งอ้างอิง
การปรับเนื้อหาให้เหมาะกับผู้เรียน	เนื้อหาและความเร็วในการสอนเดียวกันสำหรับผู้เรียนทุกคน ผู้เรียนต้องปรับตัวตามระบบ	ระบบปรับเนื้อหา ระดับความยาก และลำดับการเรียนรู้ตามพฤติกรรมและการตอบสนองของผู้เรียนแต่ละคนแบบเรียลไทม์	Crompton & Burke (2023); Miao et al. (2021)
ข้อมูลป้อนกลับ	มีความล่าช้า และมักจะให้หลังส่งงานหรือสอบ เป็นการสรุปรวม ขาดรายละเอียดเฉพาะบุคคล	ทันที เฉพาะเจาะจง อธิบายจุดบกพร่องและแนวทางแก้ไข ช่วยผู้เรียนแก้ความเข้าใจผิดได้ก่อนที่จะสะสม	Ouyang & Jiao (2021); Zawacki-Richter et al. (2019)
การตรวจจับความเสี่ยงด้านการเรียน	อาศัยการสังเกตของผู้สอนซึ่งมีข้อจำกัดด้านเวลาและจำนวนผู้เรียน มักพบปัญหาเมื่อสายเกินไป	วิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง สามารถระบุผู้เรียนที่มีความเสี่ยงได้ตั้งแต่ต้น ช่วยให้แทรกแซงได้ทันท่วงที	Crompton & Burke (2023); Chen et al. (2020)
การประเมินผล	เน้นการวัดผลสรุป (Summative) มักเกิดขึ้นเป็นระยะ สะท้อนผลลัพธ์ แต่ไม่ช่วยปรับกระบวนการในระหว่างเรียน	ผสมผสานการประเมินเชิงพัฒนาการ (Formative) ที่เกิดขึ้นต่อเนื่อง เชื่อมโยงผลการประเมินกับการปรับแผนการสอนอัตโนมัติ	Holmes et al. (2022); Imjai (2024)
ขนาดที่รองรับได้	คุณภาพของการสอนแบบเฉพาะบุคคลลดลงเมื่อจำนวนผู้เรียนเพิ่มขึ้น ผู้สอนหนึ่งคนมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการดูแลผู้เรียนจำนวนมาก	สามารถให้การเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนจำนวนมากพร้อมกันได้โดยไม่ลดคุณภาพ	Crompton & Burke (2023)
การพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง	เน้นการถ่ายทอดความรู้และการประยุกต์ใช้ตามขั้นตอนที่กำหนด ขาดกลไกส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์อย่างเป็นระบบ	สามารถออกแบบสภาพแวดล้อมที่กระตุ้นการคิดวิเคราะห์ผ่านการตั้งคำถามและการจำลองสถานการณ์ที่ซับซ้อน	Baidoo-Anu & Ansah (2023); Ouyang & Jiao (2021)
การทดลองและปฏิบัติการ	จำกัดอยู่กับอุปกรณ์และงบประมาณที่มีอยู่จริง ไม่สามารถจำลองสถานการณ์อันตรายหรือมีต้นทุนสูงได้	ใช้ห้องปฏิบัติการเสมือนและการจำลองสถานการณ์ที่ผู้เรียนสามารถทดลองซ้ำได้ไม่จำกัดโดยไม่มีความเสี่ยง	Zawacki-Richter et al. (2019)
ความพร้อมสำหรับผู้เรียน Gen Z	ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้เรียนที่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีดิจิทัลตั้งแต่กำเนิด	สอดรับกับลักษณะการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล ความต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว และการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียน Gen Z	Seemiller & Grace (2018); Živković et al. (2025)
ต้นทุนและทรัพยากร	ต้นทุนบุคลากรสูง แต่โครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพมีความคงทน เข้าใจง่าย และไม่ต้องการความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีจากผู้สอน	ต้องการการลงทุนด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลในช่วงแรก แต่สามารถลดต้นทุนต่อหัวในระยะยาวได้	Miao et al. (2021); World Economic Forum (2023)
ความเสี่ยงและข้อจำกัด	เสี่ยงต่อการไม่ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล แต่มีความเสี่ยงด้านจริยธรรมเทคโนโลยีต่ำ	มีความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ความเท่าเทียมในการเข้าถึง และการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป	Holmes et al. (2022); Williamson & Hogan (2020)

หมายเหตุ : การเปรียบเทียบข้างต้นอิงจากการสังเคราะห์งานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านการทบทวนวรรณกรรม

การอภิปรายเปรียบเทียบดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์อภิมานของ Crompton & Burke (2023) ที่รายงานขนาดผลเชิงบวกของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในสาขา STEM อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 1 อย่างเป็นระบบ จะพบรูปแบบที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1) ความได้เปรียบของปัญญาประดิษฐ์เหนือการสอนแบบดั้งเดิมมีความสม่ำเสมอในทั้ง 3 มิติหลัก มิใช่เพียงมิติใดมิติหนึ่ง ซึ่งบ่งชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือเสริมเฉพาะจุด หากแต่สามารถปรับเปลี่ยนพลวัตของการเรียนการสอนในเชิงโครงสร้างได้อย่างเป็นรูปธรรม 2) สิ่งที่น่าสังเกตเป็นพิเศษคือผลเชิงบวกของปัญญาประดิษฐ์มีแนวโน้มสูงกว่าในกลุ่มผู้เรียนระดับกลาง ซึ่งมักเป็นกลุ่มที่ได้รับประโยชน์น้อยที่สุดจากการสอนแบบบรรยายในชั้นเรียนขนาดใหญ่ (Chen et al., 2020) บ่งชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ไม่เพียงยกระดับผลสัมฤทธิ์โดยรวม แต่ยังมีศักยภาพในการลดความเหลื่อมล้ำภายในชั้นเรียนอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับที่ Baidoo-Anu & Ansah (2023) ชี้ให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลผ่านปัญญาประดิษฐ์ช่วยให้ผู้เรียนที่มีระดับความสามารถแตกต่างกันสามารถเรียนรู้ในอัตราและลำดับที่เหมาะสมกับตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ 3) ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างทั้ง 3 มิติในตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่ามิติเหล่านี้มิได้ดำเนินการอย่างเป็นอิสระจากกัน หากแต่เสริมพลังซึ่งกันและกัน กล่าวคือ การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนที่แม่นยำนำไปสู่การออกแบบการเรียนรู้เฉพาะบุคคลที่มีคุณภาพสูงขึ้น และการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันทีช่วยให้วงจรการเรียนรู้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังที่ Ouyang & Jiao (2021) อธิบายว่าความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างทั้ง 3 มิติเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนทัศน์ปัญญาประดิษฐ์เพื่อการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ทั้งนี้ ผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควรจะต้องตระหนักถึงผลการเปรียบเทียบนี้ภายใต้กรอบที่ว่าปัญญาประดิษฐ์ที่มีประสิทธิผลสูงสุด คือปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานร่วมกับผู้สอน ไม่ใช่ทำหน้าที่แทนที่ผู้สอน ดังที่ Holmes et al. (2022) ได้สรุปเอาไว้ นอกจากนั้นการศึกษาของ Mishra & Koehler (2006) ยังเน้นย้ำว่าความสำเร็จของการบูรณาการเทคโนโลยีใด ๆ ในชั้นเรียนล้วนขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สอนในการเชื่อมโยงความรู้ด้านเทคโนโลยีเข้ากับความรู้เชิงเนื้อหาและการสอนอย่างมีความหมายเป็นสำคัญ

3.3 ประเด็นด้านจริยธรรมที่ต้องการกรอบการจัดการในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นจริยธรรมชี้ให้เห็นว่าความท้าทายด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีลักษณะที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยมาตรการเฉพาะจุดเพียงอย่างเดียว โดยผลการสังเคราะห์พบความท้าทายหลัก 3 ประการที่มีความเร่งด่วนและความซับซ้อนในระดับสูง ได้แก่

1) ด้านความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลผู้เรียน โดยผลการทบทวนวรรณกรรมพบว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีแนวโน้มเก็บรวบรวมข้อมูลผู้เรียนในปริมาณและความลึกที่สูงกว่าสาขาอื่น เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้มักเกิดขึ้นผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสร้างความเสี่ยงต่อการนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์เชิงพาณิชย์ การเกิดการละเมิดข้อมูลและการสร้างประวัติถาวรของผู้เรียนที่อาจส่งผลต่อโอกาสในอนาคต (Williamson & Hogan, 2020; Holmes et al., 2022) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Miao et al. (2021) ที่พิสูจน์พบว่าสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังขาดนโยบายการจัดการข้อมูลผู้เรียนที่ครอบคลุมและบังคับใช้ได้จริง โดยเฉพาะในบริบทของการใช้บริการจากผู้ให้บริการเทคโนโลยีภายนอก

2) ด้านความเท่าเทียมในการเข้าถึงเทคโนโลยี ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมชี้ให้เห็นความขัดแย้งที่สำคัญ กล่าวคือ แม้ปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา

แต่ในทางปฏิบัติ เทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงมักกระจุกตัวอยู่ในสถาบันที่มีทรัพยากรสูงอยู่แล้ว (World Economic Forum, 2023) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาความเอนเอียงของอัลกอริทึมที่อาจผลิตซ้ำและขยายความเหลื่อมล้ำทางสังคมที่มีอยู่เดิม โดย Williamson & Hogan (2020) พบหลักฐานว่าระบบพยากรณ์ผลการเรียนที่ฝึกฝนด้วยข้อมูลที่ไม่หลากหลายมีแนวโน้มสร้างข้อสรุปที่ไม่เป็นธรรมต่อผู้เรียนจากกลุ่มที่ด้อยโอกาส

3) ด้านการพึ่งพาเทคโนโลยีและผลกระทบต่อการพัฒนาทักษะการคิด ผลการสังเคราะห์พบว่าประเด็นนี้ที่ได้รับการอภิปรายน้อยที่สุดในวรรณกรรม แต่มีความสำคัญอย่างสูงต่อการวางนโยบาย โดย Baidoo-Anu & Ansah (2023) พิสูจน์ได้ว่าเมื่อผู้เรียนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถพึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ในการแก้โจทย์ สรุปเนื้อหา หรือเขียนรายงานได้โดยง่าย ซึ่งผลการอภิปรายนี้มีความสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Ouyang & Jiao (2021) ที่พบว่าการออกแบบการเรียนรู้ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีเจตนาชัดเจนสามารถหลีกเลี่ยงความเสี่ยงได้ และในขณะเดียวกันยังคงประโยชน์ของเทคโนโลยีไว้ได้

การอภิปรายประเด็นจริยธรรมทั้ง 3 ประการในข้างต้นนั้นนำไปสู่ข้อสรุปที่สำคัญว่า การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีความรับผิดชอบจำเป็นต้องมีกรอบจริยธรรมที่ครอบคลุม 3 ระดับพร้อมกัน ได้แก่ ระดับนโยบายที่มีกฎหมายและมาตรฐานที่สามารถบังคับใช้ได้จริง ระดับสถาบันที่มีคณะกรรมการกำกับดูแลการใช้เทคโนโลยี และระดับห้องเรียนที่ผู้สอนมีสมรรถนะในการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรม (UNESCO, 2023; Miao et al., 2021) ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 4 ที่กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน

3.4 การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคปัญญาประดิษฐ์

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนยืนยันอย่างชัดเจนว่า ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาขึ้นอยู่กับสมรรถนะของผู้สอนในระดับที่สูงกว่าปัจจัยด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน การค้นพบนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tondeur et al. (2020) ที่รายงานว่าในสถาบันที่มีโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลเทียบเท่ากัน ความแตกต่างของผลลัพธ์การเรียนรู้ถูกอธิบายได้ด้วยระดับสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนมากกว่าประเภทหรือคุณภาพของซอฟต์แวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ นอกจากนั้น ผลการสังเคราะห์ชี้ให้เห็นช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 ประการหลัก ได้แก่ 1) ช่องว่างด้านความเข้าใจหลักการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ในระดับที่เพียงพอต่อการประเมินและเลือกใช้เครื่องมืออย่างมีวิจารณญาณ 2) ช่องว่างด้านทักษะการออกแบบการสอนที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงได้อย่างเหมาะสมและสมดุล 3) ช่องว่างด้านความสามารถในการสอนให้ผู้เรียนใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมและมีวิจารณญาณ (Redecker, 2017; UNESCO, 2022) ซึ่งทั้ง 3 ช่องว่างนี้เชื่อมโยงกับกรอบ DigComp-Edu ที่ระบุว่าสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่แท้จริงต้องครอบคลุมทั้งการใช้เทคโนโลยี การสอนด้วยเทคโนโลยี และการสอนเกี่ยวกับเทคโนโลยี

อย่างไรก็ตาม ในประเด็นรูปแบบการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลที่มีประสิทธิผล ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมพบหลักฐานที่สนับสนุนรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพแบบบูรณาการในบริบทจริงอย่างต่อเนื่องมากกว่าการอบรมระยะสั้นแบบแยกส่วน โดย Tondeur et al. (2020) รายงานว่ารูปแบบชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพที่ให้ผู้สอนในสาขาเดียวกันทดลองใช้ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกัน แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และสะท้อนความคิดอย่างมีโครงสร้างส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสอนที่ยั่งยืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการค้นพบนี้มีความสำคัญเชิงนโยบายอย่างยิ่ง เนื่องจากสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังคงลงทุนกับการอบรม

ระยะสั้นแบบครั้งเดียวเป็นหลัก ซึ่งหลักฐานเชิงประจักษ์สะท้อนให้ผลตอบแทนในระยะยาวต่ำกว่าที่คาดการณ์ นอกจากนี้ ผลการสังเคราะห์ยังพบข้อสังเกตุเชิงนโยบายที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1) การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องถูกออกแบบให้ตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลและบริบท โดย Mishra (2019) ชี้ว่ากรอบ TPACK ที่ปรับปรุงให้รวมมิติของปัญญาประดิษฐ์เข้าไปสามารถเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยช่องว่างสมรรถนะเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการออกแบบโปรแกรมพัฒนาที่ตรงจุดและประหยัดทรัพยากร 2) การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องได้รับการสนับสนุนจากทั้งระดับสถาบันและระดับนโยบาย โดย UNESCO (2022) และ World Economic Forum (2023) ต่างเน้นย้ำว่าการยกระดับสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องการการบูรณาการนโยบายที่ครอบคลุมตั้งแต่มาตรฐานวิชาชีพครู หลักสูตรครู ระบบการพัฒนาวิชาชีพต่อเนื่อง และวัฒนธรรมองค์กรที่เกื้อหนุนต่อการทดลองนวัตกรรม

4. บทสรุป

ปัญญาประดิษฐ์มีศักยภาพอย่างมากในการยกระดับคุณภาพการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะในด้านการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล การให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันที และการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงการสอน ซึ่งช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แรงจูงใจ และการมีส่วนร่วมของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสอดคล้องกับลักษณะและความคาดหวังของผู้เรียนยุค Gen Z ที่ต้องการการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล และเชื่อมโยงกับบริบทจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษายังมาพร้อมกับความท้าทายสำคัญ ทั้งด้านความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงเทคโนโลยี ความเอนเอียงของอัลกอริทึม และความเสี่ยงจากการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลต่อการพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์และความซื่อสัตย์ทางวิชาการของผู้เรียน ดังนั้น การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาจึงควรดำเนินควบคู่กับกรอบจริยธรรม นโยบายกำกับดูแลที่เหมาะสม และการคุ้มครองข้อมูลผู้เรียนอย่างรอบด้าน ขณะเดียวกันสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลทางการศึกษา ผู้สอนจำเป็นต้องมีความสามารถในการออกแบบ บูรณาการ และใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ตลอดจนสามารถส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรมแก่ผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม ในอนาคต ควรมีการศึกษาวิจัยเชิงทดลองและเชิงประยุกต์เพิ่มเติมในบริบทของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และแนวทางการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาที่สอดคล้องกับบริบททางสังคม วัฒนธรรม และโครงสร้างพื้นฐานของภูมิภาคอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

Baidoo-Anu, D., & Ansah, L. O. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, *7*(1), 52–62.

Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G. J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *1*, 100002.

Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *20*, 22.

Dabbagh, N., Fake, H., & Zhang, Z. (2019). Student perspectives of technology use for learning in higher education. *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, *22*(1), 127–152.

Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Shum, S. B., Santos, O. C., Rodrigo, M. T., Cukurova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. R. (2022). Ethics of AI in education: Towards a community-wide framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, *32*, 504–526.

Imjai, N., Aujirapongpan, S., Jutidharabongse, J., & Usman, B. (2024). Impacts of digital connectivity on Thailand's Generation Z undergraduates' social skills and emotional intelligence. *Contemporary Educational Technology*, *16*(1), Article ep487.

Miao, F., Holmes, W., Huang, R., & Zhang, H. (2021). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709

Mishra, P. (2019). Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *35*(2), 76–78.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, *108*(6), 1017–1054.

Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education: The three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, *2*, Article 100020.

Prensky, M. (2010). *Teaching digital natives: Partnering for real learning*. Corwin Press.

Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union.

Schwieger, D., & Ladwig, C. (2018). Reaching and retaining the next generation: Adapting to the expectations of Gen Z in the classroom. *Information Systems Education Journal*, *16*(3), 45–54.

Seemiller, C., & Grace, M. (2018). *Generation Z: A century in the making*. Routledge.

Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A mixed-method study. *Educational Technology Research and Development*, *68*, 319–343.

UNESCO. (2022). *K-12 AI curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula*.

UNESCO. (2023). *Technology in education: A tool on whose terms? Global education monitoring report*.

Williamson, B., & Hogan, A. (2020). *Commercialisation and privatisation in/of education in the context of Covid-19*. Education International. https://www.ei-ie.org/en/item/25251:commercialisation-and-privatisation-inof-education-in-the-context-of-covid-19

World Economic Forum. (2023). *Future of jobs report 2023*. https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023

Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education - Where are the

educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *16*, 39.

Živković, A., Adamek, A., & Brkić, A. (2025). Generation Z and the future of work: Expectations of a healthy workplace. *Proceedings of the International Academic Conference on Management and Economics*, *3*, 1–16.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26104)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26104)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

อิทธิพลของลูกแป้งพื้นบ้านต่อคุณภาพและการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำในภาคเหนือตอนล่าง

Influence of Traditional Starters on the Quality and Fermentation of Black Glutinous Rice Khao-Mak in Lower Northern Thailand

เกตุการ ดาจันทา* สิริกาญจน์ ธนบูรณ์ร้องคำ อุทัยวรรณ ฉัตรธง ชุติมา เลิศลักษมี และสุภัชญาพร นิตย์สุวัฒน์
Katekan Dajanta*, Sirikarn Thanaboonrongkom, Utaiwan Chattong, Chutima Lerdluksamee, and Supatchayaporn Nitsuwan

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000
Division of Food Science and Technology, Faculty of Food and Agricultural Technology,
Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000, Thailand

Received: 28-04-2026, Revised: 01-06-2026, Accepted: 01-06-2026, Published: 08-06-2026

บทคัดย่อ

ข้าวหมาก เป็นอาหารพื้นบ้านโบราณที่ยังคงได้รับความนิยมในพื้นที่ภาคเหนือตอนล่าง มีความหลากหลายของลูกแป้งที่นำมาใช้เป็นกล้าเชื้อหมักและส่งผลต่อคุณภาพของข้าวหมากในพื้นที่ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพทางเคมี (ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งที่ผลิตจากจังหวัดพิษณุโลก (อำเภอบางระกำ (BR-PL) และอำเภอพรหมพิราม (PP-PL)) พิจิตร (ตำบลเนินปอ (NP-PC) และตำบลกำแพงดิน (KD-PC) อำเภอสามง่าม) และสุโขทัย (อำเภอเมือง (MS-ST)) ผลการศึกษาพบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่ผลิตจากลูกแป้งต่างแหล่งผลิตมีคุณภาพทางเคมีแตกต่างกัน โดยมีเพียงข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้ง KD-PC ที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด แอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน มผช. 162/2546 และได้รับคะแนนความชอบจากการประเมินด้วยวิธี 9-point hedonic scale ในด้านความหวาน กลิ่นรสแอลกอฮอล์ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงกว่าข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งจากแหล่งอื่น โดยได้รับคะแนนความชอบรวมอยู่ในระดับชอบปานกลาง - ชอบมาก ด้วยคะแนน 7.17 คะแนน การใช้ลูกแป้งหมักข้าวหมากในปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0.40 – 1.00 โดยน้ำหนัก) ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวหมากข้าวเหนียวดำหลังการหมักนาน 3 วัน

คำสำคัญ : ข้าวหมากข้าวเหนียวดำ, ลูกแป้ง, ข้าวหมาก, ข้าวหมัก

Abstract

Khao Mak, fermented sweet rice, is a traditional Thai dessert that is still popular in the lower northern region. There are a variety of Look Pang, a traditional Thai fermentation starter, that are used as fermentation seedlings and affect the quality of fermented sweet rice in the area. The purpose of this study was to study the chemical quality (total soluble solids, alcohol, and pH value) and organoleptic properties of black glutinous rice fermented with Look Pang produced from Phitsanulok (Bang Rakam Districts (BR-PL) and Phrom Piram Districts (PP-PL)), Phichit (Noen Po Sub-districts (NP-PC) and Kamphaeng Din (KD-PC), Sam Ngam Districts) and Sukhothai (Mueang District, Sukhothai Province (MS-ST)). Only black glutinous rice fermented from Look Pang KD-PC with total soluble solids, alcohol and pH values is in line with the

*Corresponding author: katekan@psru.ac.th

standard of MPC 162/2003 and received a preference score based on the 9-point hedonic scale in terms of sweetness, alcohol flavor, texture, and overall preference higher than black glutinous rice fermented with Look Pang from other sources. The rating was included in the moderate - very liked level with a score of 7.17 points. The use of different amounts of Look Pang KD-PC (0.40 – 1.00%, w/w) did not cause a difference in the total amount of soluble solids, alcohol content and pH value of black glutinous rice Khao-Mak after 3 days of fermentation.

Keywords: Black glutinous rice Khao Mak, Look Pang, Khao Mak, Fermented rice

1. บทนำ

ข้าวหมาก เป็นอาหารหมักพื้นบ้านที่สะท้อนถึงภูมิปัญญาเทคโนโลยีชีวภาพระดับชุมชนของไทย มีลักษณะเป็นของหวานที่มีรสสัมผัสนุ่มนวล รสชาติหวานจัด และมีกลิ่นหอมของแอลกอฮอล์ในปริมาณต่ำ ได้จากการหมักข้าวเหนียวด้วยลูกแป้งข้าวหมากซึ่งเป็นแหล่งของกล้าเชื้อราและยีสต์ที่เหมาะสม กระบวนการหมักข้าวหมากเป็นแบบ multi-parallel fermentation โดยในช่วงแรกของการหมักเป็นบทบาทของเชื้อรา ในลูกแป้งข้าวหมาก เช่น *Amylomyces rouxii* และ *Rhizopus oryzae* สร้างเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และกลูโคอะไมเลสออกมาย่อยแป้งซึ่งเป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เรียกปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงนี้ว่า แซคคาริฟิเคชัน (saccharification) จากนั้นยีสต์ เช่น *Saccharomyces* sp., *Endomycopsis* sp. และ *Hansenula* sp. ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งของเชื้อรา ให้เป็นแอลกอฮอล์ผ่านกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ (alcoholic fermentation) บทบาทของยีสต์นอกจากสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์และยังสามารถผลิตเอนไซม์กลูโคอะไมเลสออกมาย่อยแป้งที่เหลือเป็นน้ำตาลได้อีกด้วย (มณชัย, 2546)

ปัจจุบันแนวโน้มการบริโภคอาหารเชิงหน้าที่ (Functional food) เพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้ข้าวเหนียวดำหรือข้าวก่ำเป็นวัตถุดิบหลักแทนข้าวเหนียวขาวในการหมักข้าวหมาก (วิไลลักษณ์, 2561) เนื่องจากมีคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สูงกว่า โดยเฉพาะรงควัตถุกลุ่มแอนโทไซยานิน (anthocyanins) เช่น ไซยานิดิน-3-กลูโคไซด์ (cyanidin-3-glucoside) และพีโอนิดิน-3-กลูโคไซด์ (peonidin-3-glucoside) ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ส่งผลดีต่อร่างกายโดยช่วยลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) และภาวะเครียดจากออกซิเดชัน (Yamuangmorn & Prom-u-thai, 2021; Pongnaratorn et al., 2024) นอกจากนี้ กระบวนการหมักยังช่วยปลดปล่อยสารประกอบฟีนอลิกให้อยู่ในรูปอิสระที่ร่างกายดูดซึมได้ง่ายขึ้น พร้อมทั้งสร้างจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ที่มีประโยชน์ต่อสมดุลของระบบทางเดินอาหาร และเสริมสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย (ยศพร, 2559)

หัวใจสำคัญของการกำหนดคุณภาพข้าวหมากคือ “ลูกแป้ง” ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ผสมที่ทำงานประสานกันในการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลและสร้างสารให้กลิ่นรส การผลิตลูกแป้งเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านซึ่งต้องอาศัยความชำนาญและมีสูตรของลูกแป้งที่สืบทอดกันมารุ่นสู่รุ่น (สุวินัย, 2558) ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนล่างซึ่งมีแหล่งผลิตสำคัญในจังหวัดพิษณุโลก พิจิตร และสุโขทัย ยังคงสืบทอดสูตรการทำลูกแป้งจากบรรพบุรุษ โดยใช้สมุนไพรท้องถิ่นหลากหลายชนิดซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพทางเคมี เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อระดับความพึงพอใจและการยอมรับของผู้บริโภค อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการวิจัยที่เปรียบเทียบคุณภาพของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งจากแหล่งผลิตต่างๆ

ในเขตภาคเหนือตอนล่างยังมีจำกัด การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาคุณภาพทางเคมีและประสาทสัมผัสเพื่อสร้างฐานข้อมูลมาตรฐานคุณภาพและเพิ่มมูลค่าเชิงเศรษฐกิจให้กับผลิตภัณฑ์อาหารพื้นถิ่นอย่างยั่งยืน

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

งานวิจัยนี้ใช้ข้าวเหนียวดำลืมผัวจากจากอำเภอเข้าค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ และลูกแป้งข้าวหมากได้รับจากผู้ผลิตพื้นบ้านจากจังหวัดพิษณุโลก 2 แหล่ง (อำเภอบางระกำ (BR-PL) และอำเภอพรหมพิราม (PP-PL)) จังหวัดพิจิตร 2 แหล่ง (ตำบลเนินปอ (NP-PC) และตำบลกำแพงดิน (KD-PC) อำเภอสามง่าม) และจังหวัดสุโขทัย 1 แหล่ง (อำเภอเมือง (MS-ST)) เป็นวัตถุดิบในการหมักข้าวหมาก

2.2 วิธีวิเคราะห์

2.2.1 ศึกษาคุณภาพของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งพื้นบ้านของภาคเหนือตอนล่าง

ทำการผลิตข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำด้วยลูกแป้งจาก 5 แหล่ง ของภาคเหนือตอนล่างตามวิธีของจิราภรณ์ (2554) โดยเริ่มจากการนำข้าวเหนียวดำ 1.5 กิโลกรัม มาแช่น้ำสะอาดนาน 12 ชั่วโมง จากนั้นนำมานึ่งให้สุกด้วยลังถึงและผึ่งข้าวให้เย็นตัวลง ล้างด้วยน้ำต้มสุกที่ปล่อยให้เย็นแล้วจนยางข้าวหมดและผึ่งเมล็ดข้าวให้สะเด็ดน้ำก่อน แบ่งข้าวออกเป็น 5 ส่วนๆ ละ 300 กรัม โรยผงลูกแป้งข้าวหมากจากแต่ละแหล่งลงในข้าวแต่ละส่วนในปริมาณ 3 กรัม (ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก) คลุกให้เข้ากันดี แบ่งบรรจุส่วนผสมใส่ในกล่องพลาสติก กล่องละ 100 กรัม บ่มในตู้บ่มเพาะที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 3 วัน ตรวจวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

ก. คุณภาพทางเคมี

1) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (total soluble solids) ของน้ำหมักข้าวหมาก วัดด้วย Hand refractometer (Atago, Japan)

2) ปริมาณแอลกอฮอล์ วัดด้วยเครื่อง Ebuliometer (Dujardin salleron, France)

3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง วัดด้วย pH meter (Seven Multi Mettler Toledo, Switzerland)

ข. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยประเมินคุณลักษณะ ความหวาน กลิ่นแอลกอฮอล์ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยผู้ทดสอบเป็นนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ชั้นปีที่ 4 จำนวน 30 คน ชาย 7 คน หญิง 23 คน ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน คัดเลือกลูกแป้งที่หมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำแล้วมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูง ปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำ และได้รับคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2.2.2 ต่อไป

2.2.2 ศึกษาผลของปริมาณลูกแป้งต่อคุณภาพของข้าวหมากข้าวเหนียวดำ

ทำการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำด้วยลูกแป้งที่คัดเลือกจากข้อ 2.2.1 โดยผันแปรปริมาณลูกแป้งที่ใช้ในการหมัก คือ ร้อยละ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 โดยน้ำหนัก บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างทุก 1 วัน จนครบ 3 วัน ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี คือ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธีการที่กล่าวในข้อ 2.2.1

2.3 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Least Significant Difference (LSD) Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p \leq 0.05$)

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 คุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งพื้นบ้านของภาคเหนือตอนล่าง

ข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งจากจังหวัดพิษณุโลก (BR-PL และ PP-PL) พิจิตร (NP-PC และ KD-PC) และสุโขทัย (MS-ST) มีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 42 - 45°Brix มีแอลกอฮอล์เป็นองค์ประกอบอยู่ในช่วงร้อยละ 0.53 – 0.77 และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 3.68 – 4.50 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งพื้นบ้านของภาคเหนือตอนล่าง

ลูกแป้ง	คุณภาพของข้าวหมากข้าวเหนียวดำ		
	ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	แอลกอฮอล์ (%)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง
BR-PL	43.00 ± 0.00^{c}	0.73 ± 0.06^{a}	3.92 ± 0.03^{c}
PP-PL	44.50 ± 0.00^{b}	0.67 ± 0.06^{a}	3.88 ± 0.00^{c}
NP-PC	44.00 ± 0.00^{b}	0.70 ± 0.00^{a}	4.40 ± 0.06^{b}
KD-PC	45.00 ± 0.00^{a}	0.53 ± 0.06^{b}	4.50 ± 0.04^{a}
MS-ST	42.00 ± 0.00^{d}	0.77 ± 0.06^{a}	3.68 ± 0.01^{d}

หมายเหตุ ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($n = 3$) และตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่ผลิตได้จากงานวิจัยนี้มีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (42 - 45°Brix) สอดคล้องตามเกณฑ์ของ มผช. 162/2546 ที่กำหนดให้ข้าวหมากต้องมีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ระหว่างร้อยละ 40 – 50 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด ได้แก่ น้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น น้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรักโตส กรดอินทรีย์และแร่ธาตุต่างๆ จากตารางที่ 1 พบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งจากสุโขทัย (MS-ST) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำที่สุด และข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งจากจังหวัดพิจิตร (KD-PC) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงที่สุด แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของกล้าเชื้อหรือจุลินทรีย์ที่มีในลูกแป้งแต่ละแหล่งที่แตกต่างกัน รายงานของภัณฑิรา และคณะ (2565) พบว่าในการหมักข้าวหมากในช่วง 24 ชั่วโมงแรก เกิดจากการหมักย่อยของเชื้อรา *Aspergillus* และ *Amylomyces* หลังจากนั้นเป็นการหมักร่วมกันของเชื้อราและยีสต์ และพบความแตกต่างของเชื้อราที่มีบทบาทสำคัญในระหว่างการหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้งของอำเภอพรหมพิรามและอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยตรวจพบรา *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Amylomyces* ในระหว่างการหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้งของอำเภอพรหมพิราม ขณะที่ข้าวหมากจากลูกแป้งของอำเภอบางระกำตรวจพบเฉพาะ *Aspergillus* และ *Amylomyces*

แอลกอฮอล์ของข้าวหมากข้าวเหนียวดำอยู่ระหว่างร้อยละ 0.53 – 0.77 โดยลูกแป้งจากจังหวัดพิจิตร KD-PC หมักข้าวหมากได้แอลกอฮอล์ต่ำที่สุด ตามมาตรฐานอาหารและกฎหมายการควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของไทย ข้าวหมากจัดอยู่ในประเภท “อาหารหมักหวานที่มีแอลกอฮอล์น้อย” โดยมีข้อกำหนดให้แอลกอฮอล์ไม่เกินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ดังนั้นอาจจำเป็นต้องควบคุมกระบวนการหมัก เช่น การลดระยะเวลาการหมักลงเพื่อให้สอดคล้องกับเกณฑ์มาตรฐานกฎหมาย แอลกอฮอล์ในข้าวหมากเกิดจากการหมักย่อยน้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ผ่านทางกระบวนการ alcohol fermentation ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งในช่วงแรกของการหมักข้าวหมากเป็นสภาวะที่มีออกซิเจนจึงเหมาะกับการเจริญของเชื้อรามากกว่ายีสต์ หลังจากมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากพอประกอบกับสภาวะความเป็นกรด ปริมาณน้ำตาลที่สูงขึ้น และการไร้ออกซิเจนจากการเจริญของเชื้อราทำให้ยีสต์มีบทบาทในการหมักและสร้างแอลกอฮอล์ได้อย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับรายงานของภัณฑิรา และคณะ (2565) ที่ตรวจพบยีสต์ในข้าวหมากช่วง 24 - 72 ชั่วโมงของการหมัก ความแตกต่างของปริมาณแอลกอฮอล์ที่ตรวจพบในรายงานนี้อาจเกิดจากความแตกต่างของชนิดและปริมาณของยีสต์ในลูกแป้งที่ผลิตจากต่างแหล่ง ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบยีสต์ *Saccharomyces* และ *Hansenula* ในการหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้งจากอำเภอพรหมพิราม ขณะที่ข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งของอำเภอบางระกำตรวจพบเฉพาะยีสต์ *Saccharomyces* เท่านั้น (ภัณฑิรา และคณะ, 2565)

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อใช้ลูกแป้งจากแหล่งผลิตที่ต่างกัน (3.68 – 4.50) ตามมาตรฐาน มผช.162/2546 กำหนดให้ข้าวหมากต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 4.0 – 4.5 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2546) ซึ่งข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งจากจังหวัดพิจิตร (NP-PC และ KD-PC) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด งานวิจัยนี้พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวเหนียวดำก่อนหมักมีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.20 (ไม่ได้แสดงค่าในตาราง) และมีค่าลดต่ำลงเป็น 3.68 – 4.50 หลังการหมักนาน 3 วัน ในระหว่างการหมักข้าวหมากของยีสต์และรามีการหมักย่อยน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์และกรดจึงส่งผลต่อการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mongkontanawat & Lertnimitmongkol, 2015; Surojanametakul et al., 2019) และอาจเป็นผลจากการเจริญของแบคทีเรียแลคติกที่อาจปนเปื้อนมาในลูกแป้ง โดยรายงานของ Sangpayung et al. (2019) สามารถคัดแยกแบคทีเรียแลคติกจากลูกแป้งข้าวหมากได้มากถึง 120 ไอโซเลต และมี 6 ไอโซเลตที่บ่งชี้ชนิดเป็น *Pediococcus pentosaceus* และมีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติก

ความแตกต่างของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และค่าความเป็นกรด-ด่างของข้าวหมากนี้เกิดจากชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ในลูกแป้ง โดยเฉพาะเชื้อรากลุ่ม *Amylomyces rouxii* และ *Rhizopus oryzae* ที่ผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสและกลูโคอะไมเลสเพื่อย่อยแป้งเป็นน้ำตาล ซึ่งหากลูกแป้งมีประสิทธิภาพการย่อยสูงจะทำให้ได้ข้าวหมากที่มีรสหวานจัดและค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูง สอดคล้องกับงานวิจัยของ วิไลลักษณ์ (2561) ที่ระบุว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดและแอลกอฮอล์จะแปรตามประสิทธิภาพของกล้าเชื้อและระยะเวลาการหมัก

แหล่งที่มาของลูกแป้งส่งผลต่อความแตกต่างของจุลินทรีย์ในลูกแป้งและคุณภาพของข้าวหมากอย่างมีนัยสำคัญ การหมักข้าวหมากเป็นการทำงานร่วมกันของราในลูกแป้งเกิดการหมักแบบแซคคาริฟิเคชันโดยการผลิตเอนไซม์อะไมเลสออกมาย่อยแป้งข้าวเหนียวให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวและโมเลกุลคู่ จากนั้นเกิดการหมักแอลกอฮอล์โดยยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลที่ได้ให้กลายเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ (Surojanametakul et al., 2019) และส่งผลต่อกลิ่นรสแอลกอฮอล์และความหวานของข้าวหมากหลังการหมัก งานวิจัยนี้ให้ผลสอดคล้องกับของรายงานของ กนกรัตน์ และคณะ (2567) ที่พบว่า ข้าวหมากข้าวเหนียวลืมผัวที่หมักจากลูกแป้งต่างแหล่งผลิต คือ จังหวัดน่าน แพร่ สุโขทัย และลำปาง มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลาย

ได้ทั้งหมด (11.40 – 13.27°Brix) ค่าพีเอช (3.91 – 4.32) และปริมาณแอลกอฮอล์ (6.20 – 7.07) แตกต่างกัน รายงาน Surojanametakul et al. (2019) พบว่าข้าวหมากที่หมักจากลูกแป้งต่างแหล่งผลิต (ลูกแป้งจากจังหวัดสมุทรสาครและปทุมธานี) มีการเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักที่แตกต่างกัน โดยการหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้งจากสมุทรสาครพบปริมาณราพุ่งสูงขึ้นในวันที่ 2 และลดลงเล็กน้อยในวันที่ 3 ขณะที่การหมักข้าวหมากด้วยลูกแป้งจากปทุมธานีพบว่าปริมาณยีสต์และจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 3 โดยมีจำนวนยีสต์สูงกว่าลูกแป้งจากสมุทรสาครอย่างชัดเจน และส่งผลให้ปริมาณน้ำตาล ค่าความเป็นกรด-ด่าง และแอลกอฮอล์ในข้าวหมากที่แตกต่างกันในที่สุด รายงานของ กุสุมาวดี และอรรถพร (2566) ระบุความหลากหลายของยีสต์และราในลูกแป้งที่ผลิตจากจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย โดยตรวจพบยีสต์ 68 ไอโซเลต และรา 32 ไอโซเลต และภัณฑิรา และคณะ (2565) พบว่าข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งจากอำเภอพรหมพิรามและบางระกำมีจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยพบเชื้อรา *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Amylomyces* และยีสต์ *Saccharomyces* และ *Hansenula* ในข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งจากอำเภอพรหมพิราม ขณะที่ข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งจากอำเภอบางระกำพบเพียงเชื้อรา *Aspergillus*, *Amylomyces* และยีสต์ *Saccharomyces* เท่านั้น

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมาก (ตารางที่ 2) พบว่า คะแนนความชอบของข้าวหมากที่หมักจากลูกแป้งทั้ง 5 แหล่ง มีคะแนนความชอบเฉลี่ยในแต่ละคุณลักษณะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีคะแนนความชอบด้านความหวาน กลิ่นรสแอลกอฮอล์ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 4.67 – 7.07, 4.83 – 6.53, 5.67 – 6.73 และ 5.40 – 7.17 คะแนน ตามลำดับ ข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้ง KD-PC ได้รับคะแนนความชอบมากที่สุดในทุกคุณลักษณะ คือ 6.53 คะแนน (ชอบเล็กน้อย - ชอบปานกลาง) ถึง 7.17 คะแนน (ชอบปานกลาง - ชอบมาก) ขณะที่ข้าวหมากที่หมักด้วย ลูกแป้ง BR-PL และ MS-ST ได้รับคะแนนความชอบต่ำที่สุดในทุกคุณลักษณะอยู่ในช่วง 4.67 คะแนน (ไม่ชอบเล็กน้อย- เฉยๆ) ถึง 5.67 คะแนน (เฉยๆ - ชอบเล็กน้อย)

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของข้าวหมากข้าวเหนียวดำหมักด้วยลูกแป้งพื้นบ้านของภาคเหนือตอนล่าง

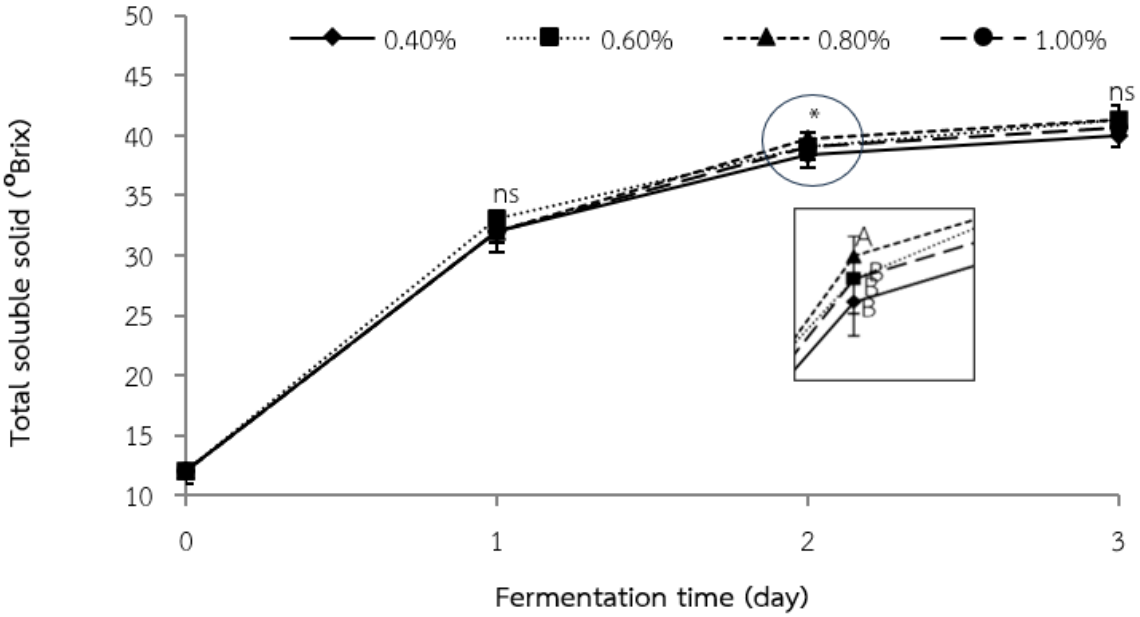
แหล่งของลูกแป้ง	คะแนนความชอบ			
	ความหวาน	กลิ่นรสแอลกอฮอล์	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
BR-PL	4.67 ± 1.56^{c}	4.83 ± 1.53^{c}	5.70 ± 1.09^{b}	5.67 ± 1.40^{bc}
PP-PL	5.40 ± 1.19^{b}	5.57 ± 1.07^{b}	6.20 ± 0.81^{b}	6.20 ± 1.00^{b}
NP-PC	5.60 ± 1.28^{b}	5.37 ± 1.27^{bc}	6.03 ± 0.93^{b}	5.90 ± 1.12^{bc}
KD-PC	7.07 ± 0.91^{a}	6.53 ± 0.68^{a}	6.73 ± 0.69^{a}	7.17 ± 0.75^{a}
MS-ST	4.87 ± 1.07^{c}	5.27 ± 1.14^{bc}	5.67 ± 1.18^{b}	5.40 ± 1.10^{c}

หมายเหตุ ประเมินความชอบด้วยวิธี 9-point hedonic scale (1 = ไม่ชอบมากที่สุด 9 = ชอบมากที่สุด) ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่กำกับค่าของข้อมูลในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้ง KD-PC มีคุณภาพทางเคมีที่สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐาน และได้รับคะแนนความชอบจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสมากที่สุด จึงนำลูกแป้ง KD-PC ไปใช้ในการศึกษาปริมาณของลูกแป้งที่เหมาะสมในการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำต่อไป

3.2 ผลของปริมาณลูกแป้งต่อคุณภาพทางเคมีระหว่างการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำ

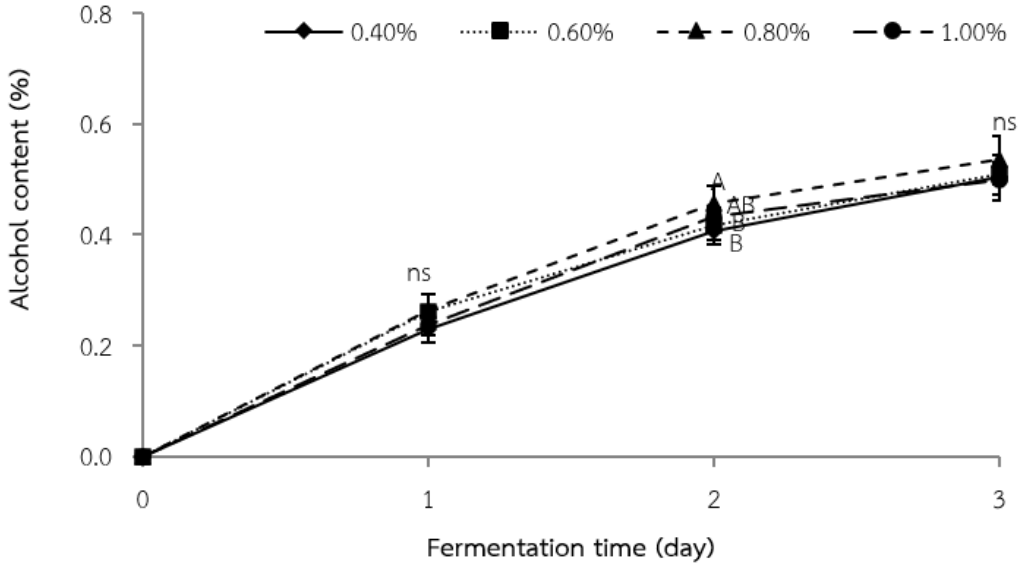
งานวิจัยนี้ได้ทำการหมักข้าวหมากโดยใช้ลูกแป้ง KD-PC ในปริมาณที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 โดยน้ำหนัก ผลการตรวจวิเคราะห์ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่ผ่านการหมัก 3 วัน แสดงได้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในระหว่างการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำด้วยลูกแป้ง KD-PC ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns แสดงความไม่แตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$))

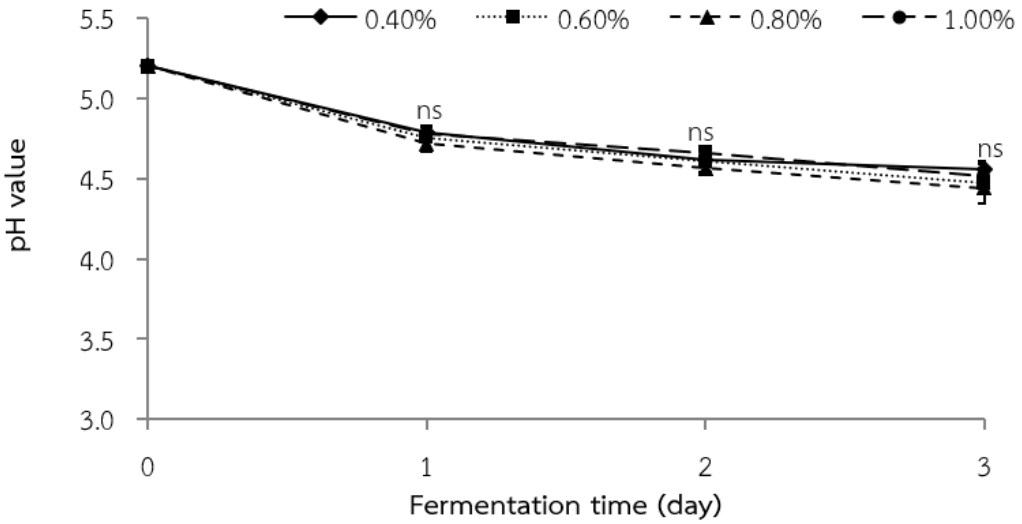
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรกของการหมัก หลังจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเกิดขึ้นช้าลงและค่อนข้างคงที่ โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นจากปริมาณเริ่มต้น 12°Brix เป็น 38.33 – 39.67°Brix หลังการหมักนาน 2 วัน และ 40.00 – 41.33°Brix หลังการหมักนาน 3 วัน การใช้ลูกแป้งหมักข้าวหมากในปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 0.40 – 1.00) ไม่ทำให้เกิดความแตกต่างของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในข้าวหมากหลังการหมักนาน 3 วัน ($p > 0.05$) ซึ่งเป็นระยะการหมักปกติที่ใช้ในการหมักข้าวหมาก (ภาพที่ 1) สอดคล้องกับรายงานของวิไลลักษณ (2561) ที่พบการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุง จากปริมาณเริ่มต้น 19 - 27°Brix เพิ่มขึ้นเป็น 30 - 40°Brix หลังสิ้นสุดการหมัก 3 วัน

ภาพที่ 2 แสดงปริมาณแอลกอฮอล์ ในข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งร้อยละ 0.40, 0.60, 0.80 และ 1.00 พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของแอลกอฮอล์อย่างต่อเนื่องระหว่างการหมัก และเมื่อสิ้นสุดการหมัก 3 วัน ข้าวหมากที่หมักด้วยลูกแป้งในปริมาณที่แตกต่างกันมีปริมาณแอลกอฮอล์ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.50 – 0.54



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณแอลกอฮอล์ในข้าวหมากข้าวเหนียวดำระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง KD-PC ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns แสดงความไม่แตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$))

ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งในปริมาณที่แตกต่างกันลดลงอย่างรวดเร็วหลังการหมักนาน 1 วัน โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงจาก 5.2 เป็น 4.72 – 4.79 หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงเล็กน้อย เมื่อสิ้นสุดการหมัก 3 วัน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากข้าวเหนียวดำที่หมักด้วยลูกแป้งในปริมาณร้อยละ 0.40 – 1.00 โดยน้ำหนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 4.44 – 4.55 ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากข้าวเหนียวดำระหว่างการหมักด้วยลูกแป้ง KD-PC ในปริมาณที่แตกต่างกัน (ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และ ns แสดงความไม่แตกต่างของข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$))

การเพิ่มขึ้นของแอลกอฮอล์และการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง ขึ้นกับระยะเวลาในการหมักข้าวหมากเช่นเดียวกับรายงานของวิไลลักษณ์ (2561) ที่พบการเพิ่มขึ้นของแอลกอฮอล์และการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง อย่างต่อเนื่องในการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุง โดยเมื่อสิ้นสุดการหมักข้าวหมาก 3 วันพบแอลกอฮอล์ในข้าวหมากข้าวเหนียวดำประมาณร้อยละ 1.0 และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำกว่า 4.0

ผลการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าการเพิ่มปริมาณลูกแป้งจากร้อยละ 0.40 เป็นร้อยละ 1.00 โดยน้ำหนัก ในการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำไม่ช่วยให้กระบวนการหมักเกิดเร็วขึ้น การใช้ระยะเวลาในการหมักข้าวหมากนาน 3 วัน ทำให้ได้ข้าวหมากที่มีค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ข้าวหมาก เป็นอาหารเชิงฟังก์ชั่นพื้นบ้านที่มีความสำคัญต่อวัฒนธรรมการบริโภคในประเทศไทยมาอย่างยาวนาน ในอดีตข้าวหมากจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มของหวาน แต่ในปัจจุบันการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ได้ชี้ให้เห็นถึงคุณค่าของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ส่งผลดีต่อสุขภาพนอกเหนือจากสารอาหารหลัก ส่งผลให้ข้าวหมากได้รับความสนใจในฐานะอาหารเพื่อสุขภาพ รายงานของ Wattanuruk et al. (2020) ตรวจพบการเพิ่มขึ้นของสารต้านออกซิเดชันกลุ่มสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และสารแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวลืมผัว โดยก่อนหมักมีปริมาณสารประกอบฟีนอล ฟลาโวนอยด์ และแอนโทไซยานิน อยู่ที่ 37.45 mg GAE/g, 35.64 mg RE/g และ 2.48 mg/g และหลังหมักมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 45.66 mg GAE/g, 39.35 mg RE/g และ 3.37 mg/g ตามลำดับ และพบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงเมื่อวัดด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity และข้าวหมากจัดเป็นอาหารโพรไบโอติกพื้นบ้าน โดยยีสต์ *S. cerevisiae* ในข้าวหมากนอกจากจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์สร้างรสชาติและเนื้อสัมผัสเฉพาะแล้วยังมีศักยภาพการเป็นโพรไบโอติก (probiotic) สูง (Adesokan et al., 2021) การบริโภคข้าวหมากจึงช่วยปรับสมดุลจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร การใช้ข้าวเหนียวดำซึ่งเป็นแหล่งสำคัญของสารต้านออกซิเดชันกลุ่มสารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินเป็นวัตถุดิบในการหมักข้าวหมากจึงช่วยเสริมฟังก์ชั่นเชิงหน้าที่ด้านสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเพิ่มมากขึ้น สภาวะที่เป็นกรดและเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักข้าวหมากจะช่วยปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเหล่านี้ออกจากพันธะเคมีภายในโครงสร้างของเมล็ดข้าว ทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น สารประกอบฟีนอลและแอนโทไซยานินมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพสูง ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคที่มีสาเหตุจากอนุมูลอิสระ (Yamuangmorn & Prom-u-thai, 2021; Pongnaratorn et al., 2024) ดังนั้นข้าวหมากพื้นบ้านไม่ได้เป็นเพียงมรดกทางภูมิปัญญาในการถนอมอาหารเท่านั้น แต่ยังเป็นนวัตกรรมอาหารเชิงหน้าที่ที่มีคุณค่าทางชีวภาพสูง การส่งเสริมให้มีการบริโภคและพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวหมากให้มีมาตรฐานความปลอดภัยและคงคุณสมบัติเชิงฟังก์ชั่นไว้ ผลงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางสำคัญในการยกระดับอาหารพื้นบ้านสู่ตลาดสุขภาพในระดับสากล

4. สรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบลูกแป้งพื้นบ้านจาก 5 แหล่งผลิตในภาคเหนือตอนล่าง (พิษณุโลก 2 แหล่ง, พิจิตร 2 แหล่ง และสุโขทัย 1 แหล่ง) พบว่าลูกแป้ง KD-PC จากจังหวัดพิจิตร มีความเหมาะสมมากที่สุดในการใช้เป็นกล้าเชื้อในการหมักข้าวหมากข้าวเหนียวดำ เนื่องจากให้ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงสุดที่ 45.00°Brix และมีปริมาณแอลกอฮอล์ต่ำเพียงร้อยละ 0.53 การเพิ่มปริมาณลูกแป้งจากร้อยละ 0.40

เป็นร้อยละ 1.00 ไม่ส่งผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของข้าวหมากหลังการหมักบ่มนาน 3 วัน ผลงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตข้าวหมากข้าวเหนียวดำให้มีคุณภาพสอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานของกฎหมายโดยการลดเวลาในการหมัก และสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์รูปแบบอื่นได้ต่อไป อย่างไรก็ตามกลไกการหมักข้าวหมากขึ้นกับชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ในลูกแป้งจึงควรมีการตรวจวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการหมักและคุณภาพการต้านออกซิเดชันเพื่อให้สามารถอภิปรายผลถึงการเปลี่ยนแปลงและประโยชน์จากการบริโภคข้าวหมากข้าวเหนียวลืมผัวได้อย่างชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ

เอกสารอ้างอิง

กนกรัตน์ เอี่ยมสะอาด, รัตนาภรณ์ ปิมิสา, กิตติศักดิ์ ธรรมพิทักษ์, ธวัชชัย สุ่มประดิษฐ, ศุภศิลป์ มณีรัตน์ และนรภัทร หวันเหล็ม. (2567). การคัดเลือกกล้าเชื้อและการศึกษาคุณสมบัติของแป้งข้าวหมากจากข้าวเหนียวลืมผัวเสริมโพรไบโอติก. *วารสารเกษตรนเรศวร*, *21*(1), 1-19.

กุสุมาวดี ฐานเจริญ และอรรถพร มลาศรี. (2566). ความหลากหลายของยีสตและราที่คัดแยกได้จากลูกแปง. *วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร*, *17*(1), 27-39.

จิราภรณ์ ยอดเถื่อน. (2554). *การพัฒนาเครื่องดื่มน้ำข้าวหมาก* [วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต]. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัณฑิรา ศรีดำ, เกตุการ ดาจันทา, และอุทัยวรรณ ฉัตรธง. (2565). ลักษณะทางสัณฐานของยีสต์และราในลูกแป้งพื้นบ้านที่มีบทบาทในกระบวนการหมักข้าวหมาก. ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติพิบูลสงครามวิจัย ครั้งที่ 7* (หน้า 1–8). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

มณชัย เดชสังกรานนท์. (2546). *การคัดแยกราและยีสต์จากลูกแป้งเพื่อใช้เป็นหัวเชื้อบริสุทธิ์สำหรับหมักข้าวหมาก* [รายงานวิจัย]. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

ยศพร พลายโถ. (2559). ฤทธิ์การป้องกันภาวะเครียดจากออกซิเดชันในเซลล์ลำไส้มนุษย์ของข้าวหมากจากข้าวเหนียวดำพันธุ์ลืมผัว. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 24*(5) (ฉบับพิเศษ), 814–830.

วิไลลักษณ์ กล่อมพงษ์. (2561). *ผลของข้าวเหนียวดำสายพันธุ์พื้นบ้านจังหวัดพัทลุงต่อคุณภาพของข้าวหมากในระหว่างกระบวนการหมัก* [รายงานวิจัย]. พัทลุง: มหาวิทยาลัยทักษิณ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2546). *มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวหมาก* (มผช. 162/2546). กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม.

สุวินัย เกิดทับทิม. (2558). การจัดการความรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นการทำลูกแป้งข้าวหมากในเขตภาคกลางของประเทศไทย. *วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร*, *10*(1), 57-75.

Adesokan, I. A., Sanni, A. I., & Kanwar, S. S. (2021). In vitro evaluation of probiotic properties of indigenous yeasts isolated from Nigerian fermented food products. *Asian Food Science Journal*, *20*(5), 75-85.

Mongkontanawat, N. & Lertnimitmongkol, W. (2015). Product development of sweet fermented rice (Khao-Mak) from germinated native black glutinous rice. *International Journal of Agricultural Technology*, *11*, 501-515.

Pongnaratorn, P., Kaewsoongnern, T., Nukulkit, C., Pakdee, N., Sriset , Y., & Ohnon, W. (2024). The effect of an 8-week germinated black rice extract consumption on cognitive functions in healthy middle-aged and elderly volunteers: A randomized controlled trial. *Trends in Sciences*, *21*(7), 7981.

Sangpayung, S., Charoenchai, S. S. C., & Ochaikul, D. (2019). Isolation and selection of probiotic bacteria from Thai traditional fermentation starter (Look-Pang-Khao-Mak). *The 31st Annual Meeting of the Thai Society for Biotechnology and International Conference*, November 10-12, 2019 Duangjitt Resort & Spa, Patong, Phuket, Thailand, 755-767.

Surojanametakul, V., Panthavee, W., Satmalee, P., Phomkaivon, N., & Yoshihashi, T. (2019). Effect of traditional dried starter culture on morphological, chemical and physicochemical properties of sweet fermented glutinous rice products. *Journal of Agricultural Science*, *11*(6), 43-51.

Wattanuruk, D., Phasuk, S., Nilsang, P., & Takolpuckdee, P. (2020). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activities of Khaow-Mak extracts from various colored rice. *Journal of Food Health and Bioenvironmental Science*, *13*(1), 10-18.

Yamuangmorn, S., & Prom-u-thai, C. (2021). The potential of high-anthocyanin purple rice as a functional ingredient in human health. *Antioxidants*, *10*(6), 833.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26105)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26105)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

การพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผงทดแทนน้ำตาลด้วยอิริทริทอล

Development of Red Jasmine Brown Rice Gel Food Supplemented with Cricket Powder and Sweetened with Erythritol

ชลธิชา มงคลสนธิ์[1] ศรัญญา สุวรรณอังกูร[2] และปัณณปภณ ใจฉกรรจ์[1,*]
Chonthicha Mongkhonson[1], Saranya Suwanangul[2], and Pannapapol Jaichakan[1,*]

[1]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และการจัดการเทคโนโลยีอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
[2]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ 50290

[1]Division of Food Science and Technology Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
[2]Program in Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University, Chiang Mai 50290, Thailand

Received: 28-05-2026, Revised: 07-06-2026, Accepted: 07-06-2026, Published: 08-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง โดยใช้อิริทริทอลทดแทนน้ำตาลบางส่วน เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกสำหรับผู้สูงอายุและผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ จึงทำการศึกษาผลของการเสริมจิ้งหรีดผงในระดับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของส่วนผสมทั้งหมดต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเจล ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดผงส่งผลให้ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของอาหารเจลลดลง ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) และค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) นอกจากนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง ในขณะที่ค่า pH ลดลงเล็กน้อย ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาพบว่าผลิตภัณฑ์ทุกสูตรมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และฟีคอลโคลิฟอร์มอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ปลอดภัยต่อการบริโภค ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน พบว่าสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมเท่ากับ 7.10±1.39 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้น การเสริมจิ้งหรีดผงในระดับร้อยละ 15 จึงเป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง เนื่องจากให้สมดุลที่ดีระหว่างคุณค่าทางโภชนาการ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุด ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการต่อยอดเป็นอาหารเชิงหน้าที่และอาหารทางเลือกสำหรับผู้สูงอายุในอนาคต

คำสำคัญ : ข้าวกล้องหอมมะลิแดง, จิ้งหรีดผง, อาหารเจล, อาหารผู้สูงอายุ, อิริทริทอล

Abstract

This research aimed to develop a gel food product from red jasmine brown rice supplemented with cricket powder using erythritol as a partial sugar substitute to enhance nutritional value and develop an alternative functional food for elderly consumers and health-conscious individuals. The effects of cricket powder supplementation at levels of 0, 5, 10, 15, and 20% of the total formulation on the physical, chemical, microbiological, and sensory

*Corresponding author: pannapapolj@gmail.com

properties of the gel product were investigated. The results demonstrated that increasing cricket powder levels significantly decreased lightness (L^*) and redness (a^*) values, while yellowness (b^*) and firmness values significantly increased ($P \leq 0.05$). In addition, total soluble solids tended to increase with increasing cricket powder content, whereas pH values slightly decreased. Microbiological analysis revealed that all formulations complied with food safety standards, with low levels of total viable count, yeast and mold, and fecal coliform bacteria. Sensory evaluation conducted by 50 untrained panelists indicated that the formulation containing 15% cricket powder received the highest scores for appearance, color, texture, and overall acceptability, with an overall liking score of 7.10 ± 1.39, corresponding to a moderate to high preference level. Therefore, supplementation with 15% cricket powder was considered the most suitable level for developing red jasmine brown rice gel food, as it provided a good balance between nutritional enhancement, product quality, and consumer acceptance. The developed product has potential for further application as a functional food and alternative food product for elderly consumers in the future.

Keywords: Red jasmine brown rice, Cricket powder, Gel food, Food for the Elderly, Erythritol

1. บทนำ

ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้ความต้องการผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุและผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอาหารที่มีลักษณะเนื้อนุ่ม เคี้ยวและกลืนได้ง่าย เพื่อช่วยลดความเสี่ยงต่อการสำลักและปัญหาการกลืนลำบาก (dysphagia) ซึ่งพบได้บ่อยในผู้สูงอายุ อาหารประเภทเจลได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจากมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีความคงตัว สามารถคงรูปได้ดี และมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมต่อการบริโภคของผู้สูงอายุ โครงสร้างของอาหารเจลเกิดจากระบบคอลลอยด์ที่มีการสร้างโครงข่ายสามมิติของสารก่อเจล ทำให้สามารถกักเก็บน้ำและคงลักษณะของผลิตภัณฑ์ไว้ได้ ทั้งนี้ สมบัติทางกายภาพของเจลขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารก่อเจล รวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในระบบอาหาร (Giura et al., 2023) นอกจากเนื้อสัมผัสที่เหมาะสมแล้ว อาหารสำหรับผู้สูงอายุยังจำเป็นต้องมีคุณค่าทางโภชนาการที่เพียงพอ โดยเฉพาะโปรตีน วิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงของภาวะขาดสารอาหารและการสูญเสียมวลกล้ามเนื้อในผู้สูงอายุ

ข้าวกล้องหอมมะลิแดงเป็นข้าวมีสีที่ได้รับความสนใจในฐานะวัตถุดิบอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากอุดมไปด้วยสารสำคัญทางชีวภาพหลายชนิด ได้แก่ แอนโทไซยานิน ฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และแกมมาโอไรซานอล ซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและช่วยลดความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหัวใจ เบาหวาน และมะเร็ง (Mbanjo et al., 2020; Yamuangmorn & Prom-u-Thai, 2021) นอกจากนี้ ข้าวมีสียังเป็นแหล่งของ วิตามินบี ธาตุเหล็ก สังกะสี และกรดไขมันจำเป็น ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาทและระบบภูมิคุ้มกัน อีกทั้งยังมีรายงานว่าการบริโภคข้าวมีสีสามารถช่วยลดภาวะเครียดออกซิเดชันและชะลอความเสื่อมของเซลล์ได้ (Tiozon et al., 2021) ด้วยคุณสมบัติด้านโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพดังกล่าว ข้าวกล้องหอมมะลิแดงจึงมีศักยภาพสูงในการนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่สำหรับผู้สูงอายุ

ในด้านแหล่งโปรตีน จิ้งหรีดจัดเป็นแมลงเศรษฐกิจที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเฉพาะปริมาณโปรตีนที่สูงถึงประมาณร้อยละ 55–70 ของน้ำหนักแห้ง อีกทั้งยังมีกรดอะมิโนจำเป็นครบถ้วน และเป็นแหล่งของวิตามินบี 12 ธาตุเหล็ก และแคลเซียมในปริมาณสูง (Orkusz, 2021) โปรตีนจากจิ้งหรีดยังมีความสามารถในการย่อยได้ดี

และมีศักยภาพในการใช้เป็นแหล่งโปรตีนทางเลือกสำหรับอาหารแห่งอนาคต (future food) เนื่องจากการผลิตแมลงใช้ทรัพยากรต่ำและปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการผลิตปศุสัตว์แบบดั้งเดิม (van Huis, 2020) ปัจจุบันจึงมีการนำผงจิ้งหรีดมาใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น พาสตา ขนมอบ และเครื่องดื่ม เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและโปรตีนในผลิตภัณฑ์ (Musika et al., 2024) นอกจากนี้ การใช้ผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์อาหารยังสอดคล้องกับแนวโน้มการบริโภคอาหารที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบัน ผู้บริโภคยังให้ความสำคัญกับการควบคุมปริมาณน้ำตาลและพลังงานในอาหารมากขึ้น โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคเบาหวาน และผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย อิริทริทอล (erythritol) เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่ให้พลังงานต่ำ มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำ และไม่ส่งผลต่อระดับน้ำตาลในเลือด จึงเหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพและอาหารสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน นอกจากนี้ อิริทริทอลยังมีรสหวานใกล้เคียงน้ำตาลทราย และไม่ก่อให้เกิดฟันผุ ทำให้สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Mazi & Stanhope, 2023)

จากข้อมูลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง โดยใช้อิริทริทอลทดแทนน้ำตาลบางส่วน เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของจิ้งหรีดผงต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี จุลชีววิทยา และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารเจลต้นแบบ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุและผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 การเตรียมน้ำข้าวกล้องหอมมะลิแดง

นำข้าวกล้องสายพันธุ์หอมมะลิแดง จากจังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาทำความสะอาดและบดด้วยเครื่องบดอเนกประสงค์ (รุ่น 800A, ประเทศจีน) จนได้ผงแป้งข้าวที่มีความละเอียดสม่ำเสมอ จากนั้นชั่งผงแป้งข้าวปริมาณ 100 กรัม ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:8 (น้ำหนักต่อปริมาตร) แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ (HOMEATE, ประเทศไทย) เป็นเวลา 25 นาที จนได้สารแขวนลอยของข้าวที่มีลักษณะเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเทใส่ภาชนะและปล่อยให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง ก่อนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเจล

2.2 การผลิตอาหารเจลผสมจิ้งหรีดผง

ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง แสดงดังตารางที่ 1 โดยเริ่มจากละลายแคปปา-คาราจีแนนในน้ำ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมอิริทริทอล น้ำตาลทราย และอินูลินลงไป พร้อมกวนอย่างต่อเนื่องและให้ความร้อนต่ออีก 2 นาที จนสารทั้งหมดละลายสมบูรณ์ หลังจากนั้นเติมผงจิ้งหรีดลงในสูตรทดลองที่ระดับแตกต่างกัน จำนวน 5 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด แล้วทำการกวนจนผงจิ้งหรีดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นเติมน้ำข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เตรียมไว้ลงไป และให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที โดยทำการกวนตลอดเวลาเพื่อป้องกันการตกตะกอนและช่วยให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อครบเวลาการให้ความร้อน นำผลิตภัณฑ์ที่ยังร้อนบรรจุลงในถ้วยพลาสติก ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นปิดฝาและนำไปเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเซ็ตตัว ก่อนนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

วัตถุดิบ	น้ำหนัก (กรัม)				
	ชุดควบคุม	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	ร้อยละ 15	ร้อยละ 20
ผงจิ้งหรีด	0	5	10	15	20
น้ำข้าวกล้องหอมมะลิแดง	25	25	25	25	25
แคปปา-คาราจีแนน (kappaKR®, อินโดเนเซีย)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำตาลทราย (มิตรผล, ประเทศไทย)	5	5	5	5	5
อิริทริทอล (ERYLITE, ฝรั่งเศส)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
อินูลิน (Orafti®, เบลเยี่ยม)	6	6	6	6	6
น้ำสะอาด	60	60	60	60	60

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

วิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างอาหารเจลด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE Lab* (Minolta Chroma Meter CR-300, Kyoto, Japan) โดยรายงานผลในรูปค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (b^*) ซึ่งค่า L^* แสดงระดับความสว่างของตัวอย่าง ค่า a^* แสดงค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) และสีเขียว ($-a^*$) ส่วนค่า b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) และสีน้ำเงิน ($-b^*$) ทำการวัดตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

วิเคราะห์ค่าความแน่นเนื้อ (firmness) ของอาหารเจลด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส Texture Analyzer (Brookfield CT3 10K, USA) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylindrical probe) ขนาด 25.4 มิลลิเมตร (TA11/1000) กำหนดค่า trigger load เท่ากับ 5 กรัม ความเร็วในการทดสอบ (test speed) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วในการคืนตัว (return speed) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยใช้ load cell ขนาด 1,000 กรัม ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างจำนวน 3 ซ้ำ และรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solids; TSS) ของตัวอย่างอาหารเจลด้วยเครื่องดิจิทัลรีแฟรกโตมิเตอร์ รุ่น N-10E Digital Refractometer (Atago, Japan) และรายงานผลเป็นองศาบริกซ์ (°Brix) วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น Sartorius PB-20 (Sartorius, Gottingen, Germany) โดยทำการปรับเทียบเครื่องด้วยสารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐานก่อนการวิเคราะห์ และวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่ไตเตรทได้ (total titratable acidity; TTA) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (2005) โดยรายงานผลในรูปของร้อยละกรดซิตริก (% citric acid)

2.5 การวิเคราะห์คุณภาพทางจุลชีววิทยา

วิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (total viable count) ยีสต์และรา (yeasts and molds) และฟีคอลโคลิฟอร์ม (fecal coliform) ของตัวอย่างอาหารเจล ตามวิธีมาตรฐานของ U.S. Food and Drug Administration (2001) โดยรายงานผลในรูปหน่วยโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (colony forming units per gram; CFU/g) การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดดำเนินการโดยวิธี pour plate technique บนอาหาร Plate Count Agar (PCA) และบ่มที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนการวิเคราะห์ยีสต์และราใช้ Potato Dextrose Agar (PDA) และบ่มที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน

ขณะที่การวิเคราะห์ฟีคอลโคลิฟอร์มใช้วิธีมาตรฐานบนอาหาร Violet Red Bile Agar (VRBA) และบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.6 การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

นำตัวอย่างอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผงมาทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสโดยผู้บริโภคทั่วไปจำนวน 50 คน อายุระหว่าง 45–60 ปี เนื่องจากเป็นกลุ่มประชากรที่กำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุและมีแนวโน้มเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการบริโภคอาหาร เช่น ประสิทธิภาพในการบดเคี้ยว การกลืนอาหาร และการรับรู้รสชาติที่ลดลงในอนาคต โดยทำการประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมด้วยวิธี 9-point hedonic scale ซึ่งกำหนดให้คะแนน 9 หมายถึง “ชอบมากที่สุด” คะแนน 5 หมายถึง “เฉย ๆ” และคะแนน 1 หมายถึง “ไม่ชอบมากที่สุด” ก่อนการทดสอบ ตัวอย่างทั้งหมดถูกเตรียมและเสิร์ฟในปริมาณเท่ากัน ภายใต้อุณหภูมิเดียวกัน และสุ่มรหัสตัวอย่างด้วยตัวเลข 3 หลัก เพื่อป้องกันอคติในการประเมิน ผู้ทดสอบได้รับน้ำดื่มสำหรับล้างปากระหว่างการทดสอบแต่ละตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลคะแนนที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป

2.7 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การทดลองในแต่ละขั้นตอนวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) โดยกำหนดจำนวนซ้ำสำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางจุลชีววิทยา จำนวน 3 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ทดสอบชิมเป็นบล็อก เพื่อลดความแปรปรวนที่เกิดจากความแตกต่างระหว่างบุคคล นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 23.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะปรากฏของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผงในระดับต่าง ๆ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดผงในสูตรผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ค่าสีของอาหารเจลมีแนวโน้มเข้มขึ้นอย่างชัดเจน และเนื้อเจลมีลักษณะแน่นขึ้นตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง และจากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณจิ้งหรีดผงมีผลต่อค่าสีและค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่าสี L^* ของอาหารเจลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มระดับการเสริมจิ้งหรีดผง โดยสูตรควบคุมมีค่าความสว่างสูงที่สุด (47.37±0.40) ขณะที่สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 มีค่าความสว่างต่ำที่สุด (40.46±0.17) แสดงให้เห็นว่าการเติมจิ้งหรีดผงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้น เนื่องจากผงจิ้งหรีดมีสีน้ำตาลเข้มซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน และปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างกระบวนการอบแห้ง (Maillard reaction) สอดคล้องกับรายงานของ Musika et al. (2024) ที่พบว่าการเสริมผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์พาสต้าจากข้าว Riceberry ส่งผลให้ค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในส่วนของค่าสี a^* พบว่าสูตรควบคุมมีค่า a^* สูงที่สุด และค่าดังกล่าวลดลงตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง ทั้งนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของเม็ดสีในระบบอาหาร รวมถึงการเจือจางของสารแอนโทไซยานินจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเมื่อมีการเติมผงจิ้งหรีดในปริมาณที่สูงขึ้น ขณะที่ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระดับการเสริมจิ้งหรีดผง โดยสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 มีค่าสี b^* สูงที่สุด

(12.84±0.35) ซึ่งอาจสัมพันธ์กับสีตามธรรมชาติของผงจิ้งหรีดและปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลระหว่างการให้ความร้อน



ภาพที่ 1 อาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผงที่ระดับต่าง ๆ

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

ปริมาณจิ้งหรีดผง	ค่าสี			ค่าความแน่นเนื้อ (g)
	*L**	*a**	*b**	
ชุดควบคุม	47.37±0.40^{a}	14.23±0.32^{a}	11.13±0.41^{b}	37.42±1.90^{d}
ร้อยละ 5	46.01±0.27^{b}	12.24±0.68^{b}	11.87±0.44^{b}	53.57±1.80^{c}
ร้อยละ 10	44.77±0.55^{c}	11.27±0.40^{c}	12.14±0.47^{b}	63.44±3.84^{b}
ร้อยละ 15	42.28±0.49^{d}	11.02±0.53^{c}	12.11±0.64^{b}	65.31±2.04^{ab}
ร้อยละ 20	40.46±0.17^{e}	10.10±0.20^{d}	12.84±0.35^{a}	68.20±2.77^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

นอกจากนี้ ผลการศึกษาดังกล่าวยังสอดคล้องกับรายงานของ Kim et al. (2019) ซึ่งพบว่าการเติมโปรตีนจากแมลงในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถส่งผลต่อคุณลักษณะด้านสีและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการลดลงของค่าความสว่างและการเพิ่มความแข็งของโครงสร้างอาหาร เนื่องจากองค์ประกอบของโปรตีนและเส้นใยจากแมลงสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับสารไฮโดรคอลลอยด์ในระบบอาหารได้ ขณะเดียวกัน Zhao et al. (2025) รายงานว่า ข้าวมีสีโดยเฉพาะข้าวสีแดงและข้าวสีม่วง มีองค์ประกอบของสารฟีนอลิกและแอนโทไซยานินสูง ซึ่งส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อาหารและสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนหรือเมื่อมีการเติมส่วนผสมที่มีโปรตีนสูง นอกจากนี้ สารประกอบฟีนอลิกยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับโปรตีน ส่งผลต่อความคงตัวของระบบเจลและคุณลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ได้

สำหรับค่าความแน่นเนื้อ พบว่า การเพิ่มระดับจิ้งหรีดผงส่งผลให้ค่าความแน่นเนื้อของอาหารเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุมมีค่าความแน่นเนื้อต่ำที่สุด (37.42±1.90 กรัม) ขณะที่สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 มีค่าความแน่นเนื้อสูงที่สุด (68.20±2.77 กรัม) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโปรตีนจากจิ้งหรีดสามารถเกิดปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้างของแคปปา-คาราจีแนน ส่งผลให้โครงข่ายเจลมีความแข็งแรงและหนาแน่นมากขึ้น นอกจากนี้ อินูลินที่ใช้ในสูตรยังอาจมีส่วนช่วยเสริมความคงตัวของโครงสร้างเจลและเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์อีกด้วย การเพิ่มขึ้นของค่าความแน่นเนื้อในสูตรที่มีการเสริมจิ้งหรีดผงอาจอธิบายได้จากความสามารถของโปรตีนในการสร้างโครงข่ายร่วมกับแคปปา-คาราจีแนน ซึ่งช่วยเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างเจล สอดคล้องกับรายงานของ Melini et al. (2017) ที่พบว่า การเสริมโปรตีนทางเลือกในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้าง เนื้อสัมผัส

และความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ได้ โดยเฉพาะในระบบอาหารกึ่งแข็งและอาหารเจล อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดผงจะช่วยเพิ่มความแน่นเนื้อของอาหารเจล แต่ระดับที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อคุณลักษณะด้านสีและการยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้น การเลือกปริมาณจิ้งหรีดผงที่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเจลที่มีทั้งคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดี

3.2 คุณภาพทางเคมีของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

จากตารางที่ 3 แสดงคุณภาพทางเคมีของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง พบว่า ปริมาณจิ้งหรีดผงมีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง โดยสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดสูงที่สุด (12.77±0.00°Brix) รองลงมาคือสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15, 10, 5 และชุดควบคุม ตามลำดับ ขณะที่สูตรควบคุมและสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 5 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากจิ้งหรีดผงประกอบด้วยสารที่สามารถละลายน้ำได้หลายชนิด เช่น โปรตีนเปปไทด์ กรดอะมิโน น้ำตาล และแร่ธาตุ เมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับรายงานของ Kim et al. (2019) ที่พบว่าการเติมโปรตีนจากแมลงในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ และส่งผลต่อสมบัติทางเคมีของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ Orkusz (2021) รายงานว่า จิ้งหรีดเป็นแหล่งโปรตีนและสารอาหารที่มีองค์ประกอบของสารประกอบที่ละลายน้ำได้ในระดับสูง ซึ่งสามารถส่งผลต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารได้โดยตรง

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

ปริมาณจิ้งหรีดผง	ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้ทั้งหมด (°Brix)	pH
ชุดควบคุม	8.00±0.00^{d}	7.78±0.01^{a}
ร้อยละ 5	8.27±0.23^{d}	7.71±0.00^{a}
ร้อยละ 10	10.40±0.00^{c}	7.63±0.02^{b}
ร้อยละ 15	11.33±0.23^{b}	7.49±0.03^{c}
ร้อยละ 20	12.77±0.00^{a}	7.11±0.09^{d}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

สำหรับค่า pH พบว่า ค่า pH ของอาหารเจลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณจิ้งหรีดผง โดยสูตรควบคุมมีค่า pH สูงที่สุด (7.78±0.01) ขณะที่สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 มีค่า pH ต่ำที่สุด (7.11±0.09) แสดงให้เห็นว่าการเติมจิ้งหรีดผงมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากองค์ประกอบของกรดอะมิโน กรดอินทรีย์ และสารประกอบไนโตรเจนที่พบในจิ้งหรีดผง ซึ่งสามารถส่งผลต่อสมดุลกรด-ด่างของระบบอาหารได้ ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Musika et al. (2024) ซึ่งพบว่าการเติมผงจิ้งหรีดในผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวมีสีสามารถส่งผลให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลดลง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนจากแมลงและปฏิสัมพันธ์ระหว่างโปรตีนกับองค์ประกอบอื่นในระบบอาหาร นอกจากนี้ การลดลงของค่า pH อาจส่งผลดีต่อความคงตัวทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสภาวะที่มีความเป็นกรดเพิ่มขึ้นสามารถช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดได้

3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

จากตารางที่ 4 แสดงผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง โดยผู้ทดสอบชิมทั่วไปจำนวน 50 คน อายุระหว่าง 45–60 ปี ประเมินคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบว่า การเพิ่มจิ้งหรีดผงจากร้อยละ 0 เป็นร้อยละ 5 และ 10 ไม่ได้ส่งผลให้คะแนนการยอมรับในทุกคุณลักษณะเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการเสริมจิ้งหรีดผงในระดับร้อยละ 5-10 ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์และผู้บริโภคยังคงให้การยอมรับได้ในระดับใกล้เคียงกับสูตรพื้นฐาน แต่อย่างไรก็ตาม ผลการประเมินด้านลักษณะปรากฏและสี พบว่า สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15 ได้คะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 6.93±1.43 คะแนน และ 6.77±1.33 คะแนน ตามลำดับ และมีความแตกต่างจากสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมจิ้งหรีดผงในระดับที่เหมาะสมช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีสีและลักษณะปรากฏที่น่าสนใจ ขณะที่การเติมในระดับสูงเกินไปอาจทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มมากเกินไป ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส พบว่า สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15 ได้คะแนนสูงที่สุด (6.67±1.87 คะแนน) และแตกต่างจากสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจสัมพันธ์กับค่าความแน่นเนื้อของผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง โดยสูตรที่เสริมในระดับสูงมากอาจมีเนื้อสัมผัสที่แน่นเกินไปสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ ส่งผลให้คะแนนการยอมรับลดลง ในส่วนของคุณลักษณะด้านกลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวม พบว่า ทุกสูตรมีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในช่วง 6.37–7.10 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในระดับ “ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง” แสดงให้เห็นว่าการเสริมจิ้งหรีดผงในผลิตภัณฑ์อาหารเจลไม่ได้ส่งผลกระทบเชิงลบต่อการยอมรับของผู้บริโภคอย่างชัดเจน โดยเฉพาะสูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด (7.10±1.39 คะแนน)

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

ปริมาณจิ้งหรีดผง	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น^{ns}	รสชาติ^{ns}	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม^{ns}
ชุดควบคุม	6.30±1.51^{ab}	6.40±1.33^{ab}	6.50±1.43	6.27±1.57	6.17±1.86^{ab}	6.37±1.65
ร้อยละ 5	6.23±1.38^{ab}	6.50±1.41^{ab}	6.60±1.50	6.33±1.32	6.17±1.78^{ab}	6.50±1.61
ร้อยละ 10	6.27±1.61^{ab}	6.53±1.40^{ab}	6.60±1.42	6.57±1.67	6.50±1.65^{ab}	6.57±1.65
ร้อยละ 15	6.93±1.43^{a}	6.77±1.33^{a}	6.93±1.28	7.00±1.41	6.67±1.87^{a}	7.10±1.39
ร้อยละ 20	6.00±1.66^{b}	5.97±1.45^{b}	6.40±1.52	6.17±1.62	5.57±2.02^{b}	6.57±1.65

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)
ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Orkusz (2021) ที่พบว่าการใช้โปรตีนจากแมลงในผลิตภัณฑ์อาหารสามารถได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค หากมีการปรับสูตรและคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสให้เหมาะสม นอกจากนี้ Kim et al. (2019) รายงานว่า ระดับการเสริมโปรตีนจากแมลงที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการโดยไม่ส่งผลกระทบต่อความชอบของผู้บริโภคมากนัก โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์ที่มีการปรับแต่ง

เนื้อสัมผัสและรสชาติอย่างเหมาะสม ดังนั้น จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสสามารถสรุปได้ว่า การเสริมจิ้งหรีดผงในระดับร้อยละ 15 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดง เนื่องจากให้คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

3.4 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

จากตารางที่ 5 แสดงคุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และฟีคอลโคลิฟอร์มของผลิตภัณฑ์ทุกสูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 2.18×10^2 ถึง 7.04×10^2 CFU/g ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกระบวนการให้ความร้อนระหว่างการผลิตที่อุณหภูมิ 80±3 องศาเซลเซียส สามารถช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบอาหารได้ นอกจากนี้ การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส ยังช่วยชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย ในส่วนของยีสต์และรา พบว่าทุกสูตรมีปริมาณน้อยกว่า 100 CFU/g ขณะที่ปริมาณฟีคอลโคลิฟอร์มมีค่าน้อยกว่า 10 CFU/g ในทุกสูตร แสดงให้เห็นว่ากระบวนการผลิตมีสุขลักษณะที่ดี

ตารางที่ 5 คุณภาพด้านจุลชีววิทยาของอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง

ปริมาณจิ้งหรีดผง	จำนวนจุลินทรีย์ (CFU/g)		
	จุลินทรีย์ทั้งหมด^{ns}	ยีสต์และรา^{ns}	ฟีคอลโคลิฟอร์ม^{ns}
ชุดควบคุม	$7.04\pm2.12\times10^2$	<100	<10
ร้อยละ 5	$5.65\pm2.34\times10^2$	<100	<10
ร้อยละ 10	$6.67\pm4.31\times10^2$	<100	<10
ร้อยละ 15	$5.32\pm2.18\times10^2$	<100	<10
ร้อยละ 20	$4.33\pm1.23\times10^2$	<100	<10

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

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Kim et al. (2019) ที่พบว่าการใช้ผงโปรตีนจากแมลงในผลิตภัณฑ์อาหารที่ผ่านกระบวนการให้ความร้อนอย่างเหมาะสม ไม่ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงด้านจุลชีววิทยาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ van Huis (2020) รายงานว่า แมลงที่ผ่านกระบวนการอบแห้งและแปรรูปอย่างถูกสุขลักษณะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างปลอดภัย หากมีการควบคุมกระบวนการผลิตและการเก็บรักษาที่เหมาะสม อีกทั้ง การใช้แคปปา-คาราจีแนนและอินูลินในสูตรผลิตภัณฑ์อาจมีส่วนช่วยเพิ่มความคงตัวของระบบอาหารและลดการแยกตัวของน้ำในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถช่วยลดโอกาสในการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดได้ นอกจากนี้ ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ที่ลดลงเมื่อเพิ่มระดับจิ้งหรีดผงอาจส่งผลช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางกลุ่ม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีเสถียรภาพทางจุลชีววิทยาที่ดี ดังนั้น ผลการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยาแสดงให้เห็นว่า การเสริมจิ้งหรีดผงในอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยทางจุลชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้มีคุณภาพด้านความปลอดภัยเหมาะสมต่อการบริโภค

4. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงเสริมจิ้งหรีดผง โดยใช้อิริทริทอลทดแทนน้ำตาลบางส่วน เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกสำหรับผู้สูงอายุและผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่า การเสริมจิ้งหรีดผงมีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของอาหารเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อาหารเจลจากข้าวกล้องหอมมะลิแดงที่เสริมจิ้งหรีดผงในระดับสูงขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าสี L^* ลดลง ขณะที่ค่าสี b^* และค่าความแน่นเนื้อเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามระดับการเสริมจิ้งหรีดผง ในขณะที่ค่า pH มีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า สูตรที่เสริมจิ้งหรีดผงร้อยละ 15 ได้รับคะแนนการยอมรับสูงที่สุดในด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า การเสริมจิ้งหรีดผงในระดับร้อยละ 15 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำได้และค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเกิดโครงสร้างเจล ส่งผลให้ได้รับคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขณะที่การเสริมในระดับร้อยละ 20 แม้จะเพิ่มองค์ประกอบทางโภชนาการมากขึ้น แต่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่มากเกินไป จนส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการต่อยอดเป็นอาหารเชิงหน้าที่สำหรับผู้สูงอายุ ผู้ป่วยหรือผู้บริโภคที่ต้องการอาหารโปรตีนสูงและมีคุณค่าทางสุขภาพในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ตลอดจนให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุน คำแนะนำ และเป็นกำลังใจในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้จนประสบผลสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

AOAC. (2005). *Official methods of analysis* (18th ed.). Association of Official Analytical Chemists.

Giura, L., Urtasun, L., Ansorena, D., & Astiasaran, I. (2023). Comparison between the use of hydrocolloids (xanthan gum) and high-pressure processing to obtain a texture-modified puree for dysphagia. *Food Research International*, *170*, 112975.

Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, Y. B., Kim, H. W., & Choi, Y. S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, *39*(4), 521–540.

Mazi, T. A., & Stanhope, K. L. (2023). Erythritol: An in-depth discussion of its potential to be a beneficial dietary component. *Nutrients*, *15*(1), 204.

Mbanjo, E. G. N., Kretzschmar, T., Jones, H., Ereful, N., Blanchard, C., Boyd, L. A., & Sreenivasulu, N. (2020). The genetic basis and nutritional benefits of pigmented rice grain. *Frontiers in Genetics*, *11*, 229.

Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2017). Current and forward-looking approaches to technological and nutritional improvements of gluten-free bread with legume flours: A critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *16*(5), 1101–1122.

Musika, J., Kapcum, C., Itthivadhanapong, P., Musika, T., Hanmontree, P., & Piayura, S. (2024). Enhancing nutritional and functional properties of gluten-free Riceberry rice pasta supplemented with cricket powder using D-optimal mixture design. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *8*, 1417045.

Orkusz, A. (2021). Edible insects versus meat-Nutritional comparison: Knowledge of their composition is the key to good health. *Nutrients*, *13*(4), 1207.

Tiozon, R. J. N., Sartagoda, K. J. D., Fernie, A. R., & Sreenivasulu, N. (2021). The nutritional profile and human health benefit of pigmented rice and the impact of post-harvest processes and product development on nutritional components: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *63*(6), 1–22.

U.S. Food and Drug Administration. (2001). *Bacteriological analytical manual (BAM)*. U.S. Department of Health and Human Services.

van Huis, A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: A review. *Journal of Insects as Food and Feed*, *6*(1), 27–44.

Yamuangmorn, S., & Prom-u-Thai, C. (2021). The potential of high-anthocyanin purple rice as a functional ingredient in human health. *Antioxidants*, *10*(6), 833.

Zhao, M., Xiao, X., Jin, D., Zhai, L., Li, Y., Yang, Q., Xing, F., Qiao, W., Yan, X., & Tang, Q. (2025). Composition and Biological Activity of Colored Rice—A Comprehensive Review. *Foods*, *14*(8), 1394.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26106)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26106)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

ศักยภาพของไส้เดือนทะเล *Prionospio membranacea* ในการบำบัดทางชีวภาพของดินตะกอนอินทรีย์สารสูงใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่ บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี

Potential of the Spionid Polychaete *Prionospio membranacea* for Bioremediation of Organically Enriched Sediments Beneath Green Mussel Rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน[1,*] และอลงกต อินทรชาติ[2]
Natthakitt To-orn[1,*] and Alongot Intarachart[2]

[1]คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
[2]สถานีวิจัยประมงศรีราชา คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดชลบุรี 20110
[1]Faculty of Agricultural Technology and Agro Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
[2]Sriracha Fisheries Research Station, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Chon Buri 20110, Thailand

Received: 09-06-2026, Revised: 17-06-2026, Accepted: 17-06-2026, Published: 24-06-2026

บทคัดย่อ

การสะสมอินทรีย์สารในดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่เป็นปัญหาสำคัญของระบบเพาะเลี้ยงชายฝั่ง เนื่องจากอาจทำให้เกิดสภาพดินตะกอนเสื่อมโทรม การสะสมของซัลไฟด์ และการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสัตว์ทะเลหน้าดิน การบำบัดทางชีวภาพโดยใช้สิ่งมีชีวิตท้องถิ่นจึงเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของไส้เดือนทะเล *Prionospio membranacea* ในการบำบัดทางชีวภาพของดินตะกอนอินทรีย์สารสูงใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่บริเวณอ่าวศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยเก็บรวบรวมไส้เดือนทะเลตัวเต็มวัยจากดินตะกอนที่มีอินทรีย์สารสูง กระตุ้นให้สืบพันธุ์ในห้องปฏิบัติการ และเพาะเลี้ยงในปริมาณมากจนได้ระยะ early benthic stage จากนั้นปล่อยลงในดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่ที่ความหนาแน่น 400 ตัวต่อตารางเมตร เปรียบเทียบกับพื้นที่ควบคุมที่ไม่มีการเติมไส้เดือนทะเล และติดตามผลเป็นเวลา 30 วัน โดยประเมินการเจริญเติบโต การเพิ่มมวลชีวภาพ ปริมาณอินทรีย์สาร ปริมาณซัลไฟด์ และความชุกชุมของสัตว์ทะเลหน้าดิน ผลการศึกษาพบว่า *P. membranacea* สามารถดำรงชีวิต เจริญเติบโต เพิ่มมวลชีวภาพ และสร้างกลุ่มประชากรในดินตะกอนใต้แพเลี้ยงหอยแมลงภู่ได้ โดยพื้นที่ที่เติมไส้เดือนทะเลมีปริมาณอินทรีย์สารลดลง 38.53–46.05% และปริมาณซัลไฟด์ลดลง 6.29–16.18% ในระยะเวลา 30 วัน พื้นที่ที่ไม่มีการคลุมตาข่ายมีแนวโน้มให้ประสิทธิภาพการลดอินทรีย์สารและซัลไฟด์สูงกว่าพื้นที่ที่คลุมตาข่าย ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า *P. membranacea* มีศักยภาพเป็นสิ่งมีชีวิตท้องถิ่นสำหรับใช้บำบัดทางชีวภาพในระบบเพาะเลี้ยงหอยแมลงภู่ชายฝั่ง อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาซ้ำในหลายฤดูกาล เพิ่มระยะเวลาการทดลอง และทดสอบความหนาแน่นของการปล่อยไส้เดือนทะเลในหลายระดับ เพื่อพัฒนาแนวทางการประยุกต์ใช้ในระดับพื้นที่จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : *Prionospio membranacea*, การบำบัดทางชีวภาพ, ดินตะกอนอินทรีย์สารสูง, แพเลี้ยงหอยแมลงภู่, อ่าวศรีราชา

[*]Corresponding author: natthakitt.t@rmutsb.ac.th

Abstract

Organic enrichment in sediments beneath green mussel rafts is an important environmental problem in coastal aquaculture areas because it can lead to sediment deterioration, sulfide accumulation, and changes in benthic faunal communities. Bioremediation using native benthic organisms is therefore a promising approach for reducing environmental impacts in coastal culture systems. This study aimed to evaluate the potential of the polychaete *Prionospio membranacea* for bioremediation of organically enriched sediments beneath green mussel rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province, Thailand. Adult polychaetes were collected from organic-rich coastal sediments, induced to spawn under laboratory conditions, and mass-cultured until the early benthic stage. The early benthic stages were then released into sediments beneath green mussel rafts at a density of 400 individuals/m² and compared with a control area without polychaete addition. Bioremediation performance was evaluated after 30 days based on growth, biomass increase, organic matter content, sulfide concentration, and benthic faunal abundance. The results showed that *P. membranacea* exhibited apparent recovery and establishment, grew, increased biomass, and established a population in sediments beneath green mussel rafts. The addition of *P. membranacea* reduced organic matter content by 38.53–46.05% and sulfide concentration by 6.29–16.18% within 30 days. Non-netted plots tended to show higher reduction efficiency than netted plots. These findings indicate that *P. membranacea* has potential as a native bioremediation organism for improving organically enriched sediments in coastal mussel culture areas. Further studies under different seasons, longer experimental periods, and varying stocking densities are recommended to optimize its practical application in coastal aquaculture management.

Keywords: *Prionospio membranacea*, bioremediation, organically enriched sediment, green mussel raft, Sriracha Bay

1. Introduction

Coastal aquaculture plays a vital role in supporting local economies and ensuring food security in coastal communities. In Thailand, green mussel (*Perna viridis*) culture is widely practiced in several coastal areas. However, intensive coastal aquaculture may affect marine environmental quality through the accumulation of organic matter derived from mussel biodeposits, settled plankton, and other organic materials beneath culture areas. Excessive organic enrichment in sediments can lead to sediment deterioration, oxygen depletion, sulfide accumulation, and changes in benthic faunal communities, which are important indicators of coastal ecosystem degradation (Pearson & Rosenberg, 1978; Diaz & Rosenberg, 1995; Rosenberg, 2001).

Sriracha Bay, Chon Buri Province, is a coastal area that supports multiple human activities, including coastal fisheries, urban development, industrial activities, and green mussel raft culture. Organic matter accumulation beneath green mussel rafts has been observed in

this area, where sediments are often characterized by fine muddy texture, dark color, unpleasant odor, and high organic content. Under such conditions, some benthic fauna may decline, whereas tolerant taxa, particularly certain polychaetes, often become dominant in organically enriched sediments.

Bioremediation has received increasing attention as an environmentally friendly approach for reducing the impacts of organic enrichment in marine ecosystems and aquaculture systems. This approach relies on the biological activities of organisms that can utilize organic matter, enhance decomposition processes, and modify sediment conditions through movement, burrowing, tube construction, and sediment reworking. These activities can improve oxygen exchange and promote biogeochemical processes in organically enriched sediments (Alexander, 1994; Rosenberg, 2001; Gifford et al., 2007).

Polychaetes, particularly deposit-feeding species, are considered promising organisms for sediment bioremediation. Polychaetes in the families Capitellidae, Nereididae, and Spionidae are commonly found in organically enriched areas and play important roles in organic matter decomposition and sediment bioturbation. Previous studies have demonstrated that *Capitella* spp. can effectively reduce organic matter accumulation in sediments affected by fish farming and coastal aquaculture activities (Tsutsumi et al., 1990; Tsutsumi et al., 2002; Tsutsumi et al., 2005; Kinoshita et al., 2008). Nevertheless, the selection of organisms for bioremediation should prioritize native species that are locally available, well adapted to organic-rich conditions, and unlikely to create ecological risks associated with the introduction of non-native species.

The polychaete *Prionospio membranacea* Imajima, 1990, formerly referred to as *Prionospio (Prionospio) membranacea* Imajima, 1990, belongs to the family Spionidae and is commonly found in organically enriched coastal sediments in Sriracha Bay, particularly beneath green mussel rafts and in areas influenced by domestic wastewater. Previous work also indicated that *Prionospio* spp., particularly *P. membranacea,* were abundant in high-organic-content sediments beneath green mussel rafts, supporting their potential use as locally available organisms for sediment bioremediation (To-orn, 2016). This species possesses several biological characteristics suitable for bioremediation, including local occurrence, a relatively short life cycle, the ability to reproduce and increase in abundance under organic-rich sediment conditions, and feeding behavior associated with surface sediment organic particles and suspended particles near the sediment-water interface (Fauchald & Jumars, 1979; Dauer et al., 1981; To-orn, 2016).

A recent review on polychaete aquaculture has emphasized the increasing global interest in culturing polychaetes for industrial aquaculture, alternative feed resources, biotechnology products, and applications in integrated aquaculture and bioremediation systems (Herrera-Perez & Ferrando, 2026). In this context, the development of mass-culture techniques for locally available polychaete species is important for supporting practical applications in environmental management. Previous laboratory-based studies have shown that spionid polychaetes of the genus Prionospio, particularly *P. membranacea*, have potential

for the bioremediation of organically enriched sediments beneath green mussel rafts by converting sedimentary organic matter into biomass and reducing organic matter content in sediment (To-orn, 2016; To-orn & Paphavasit, 2017). However, To-orn & Paphavasit (2017) focused mainly on a laboratory-based experiment under controlled conditions, whereas the present study extends this previous work to a field application using mass-cultured early benthic stages of *P. membranacea* under actual green mussel raft conditions. Therefore, the novelty of the present study lies in its field-based evaluation of mass-cultured *P. membranacea,* considering not only polychaete biomass and sediment organic matter reduction, but also sulfide concentration and benthic faunal composition after field application. This study aimed to evaluate the potential of *P. membranacea* for bioremediation of organically enriched sediments beneath green mussel rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province, Thailand.

2. Materials and methods

2.1 Study area and experimental organism

This study was conducted from November to December 2016 in Sriracha Bay, Sriracha District, Chon Buri Province, Thailand, a coastal area where green mussel (*Perna viridis*) raft culture has been continuously practiced. The experimental site was located beneath green mussel rafts approximately 800 m from the shoreline. Prior to the field experiment, baseline conditions of the study area were recorded, including sediment appearance, sediment texture, total organic matter, sulfide concentration, and benthic faunal composition. Basic water quality conditions during the study period were also recorded, with water temperature ranging from 27.11 to 27.70°C, salinity from 30.95 to 31.26, water pH from 8.18 to 8.55, dissolved oxygen from 3.95 to 5.56 mg/L, and water depth from 4.80 to 5.51 m. The sediments beneath the rafts were characterized by fine muddy texture, yellowish-green to dark coloration, and an odor associated with the accumulation of organic matter from mussel culture activities.

The experimental organism used for bioremediation was the spionid polychaete *P. membranacea* Imajima, 1990, which belongs to the phylum Annelida, class Polychaeta, and family Spionidae. This species is commonly found in organically enriched coastal sediments in Sriracha Bay. Species identification was confirmed based on diagnostic morphological characteristics following Imajima (1990) and To-orn (2016), particularly the branchial arrangement and chaetal characteristics of *P. membranacea*. Adult polychaetes were collected from organic-rich coastal sediments and selected as broodstock for laboratory mass culture prior to field application.

2.2 Mass culture of polychaetes

Mature individuals of *P. membranacea* were sexed, and reproductively mature males and females were selected for induced spawning under laboratory conditions. The mass-culture procedure followed the approach previously developed for *Prionospio* polychaetes by To-orn (2016). After fertilization, the larvae were collected and reared continuously for

approximately 30 days until they reached the early benthic stage, which was considered suitable for release into sediments beneath green mussel rafts for bioremediation purposes. In this study, the "early benthic stage" refers to post-larval *P. membranacea* that had completed the planktonic larval phase, settled onto the substrate, and begun a benthic mode of life. At this stage, the individuals were capable of crawling or remaining on the sediment surface and were considered suitable for field release.

The apparent recovery and establishment of *P. membranacea* in the experimental plots were evaluated 30 days after release based on the abundance of *P. membranacea* recorded in the treatment plots in relation to the initial release density of 400 individuals/m², the pre-experimental baseline, and the control raft. Because *P. membranacea* naturally occurs in Sriracha Bay and the released individuals were not individually marked, the abundance recorded after the experiment was not interpreted as a true survival rate of released individuals alone.

2.3 Field experimental design

The field experiment was conducted beneath three green mussel rafts. Each raft covered an approximate sediment area of 1,600 m². Raft A was designated as the control area without polychaete addition, whereas rafts B and C were used as experimental areas where *P. membranacea* was added to the sediments beneath the mussel rafts.

Rafts B and C were selected as separate experimental rafts located within the same green mussel culture area and were subjected to the same field treatment. These rafts were used to represent field treatment areas under comparable raft-culture conditions rather than fully independent randomized replicates.

Each treatment raft was divided into two field plots of approximately 800 m² each. In raft B, plot B1 was assigned as the non-netted plot, whereas plot B2 was assigned as the netted plot covered with a 1.0-mm mesh net over the sediment surface. Similarly, in raft C, plot C1 was assigned as the non-netted plot, whereas plot C2 was assigned as the netted plot (Figure 1). The distance among rafts was approximately 20 m. No formal buffer strips were established within each raft; however, the non-netted and netted plots were arranged as separate halves of the sediment area beneath each raft to reduce direct interference between treatments. The field layout was constrained by the raft structure, diver accessibility, and sediment conditions beneath the green mussel rafts.

The netted plots were established to reduce predator access and to evaluate whether physical protection could enhance the establishment and apparent recovery of the released *P. membranacea* under field conditions. Potential predators or organisms that may disturb the released polychaetes in the study area included predatory polychaetes, such as *Nereis* sp. and *Diopatra* sp., nemerteans, amphipods, and other mobile benthic or demersal organisms that may consume or disturb small benthic polychaetes. A netted control plot without polychaete addition was not included because the main objective of the study was to evaluate the field application of mass-cultured *P. membranacea* with and without net

protection. However, it is acknowledged that netting itself may influence water circulation, oxygen exchange, sediment deposition, predator access, and sediment conditions. Therefore, the effects observed in the netted plots should be interpreted as the combined effects of *P. membranacea* addition and net protection, rather than the effect of polychaete addition alone.

Early benthic stages of *P. membranacea* were released into the sediments by scuba diving at an initial density of 400 individuals/m². The initial release density of 400 individuals/m² was selected based on previous laboratory findings and field observations of spionid polychaetes in Sriracha Bay. Previous studies reported that *P. membranacea* naturally occurred in organically enriched sediments in Sriracha Bay, with densities ranging from 13 to 655 individuals/m^2, and that a density equivalent to 400 individuals/m^2 showed high potential for organic matter reduction and biomass production under laboratory conditions (To-orn & Paphavasit, 2017). Therefore, this stocking density was selected for the present field application trial.

Because each treatment plot covered approximately 800 m², the estimated number of polychaetes released into each plot was approximately 320,000 individuals. Therefore, approximately 320,000 individuals were released into each of B1, B2, C1, and C2, corresponding to approximately 640,000 individuals per treatment raft and approximately 1,280,000 individuals in total across all treatment plots. The experiment was monitored for one month after release.

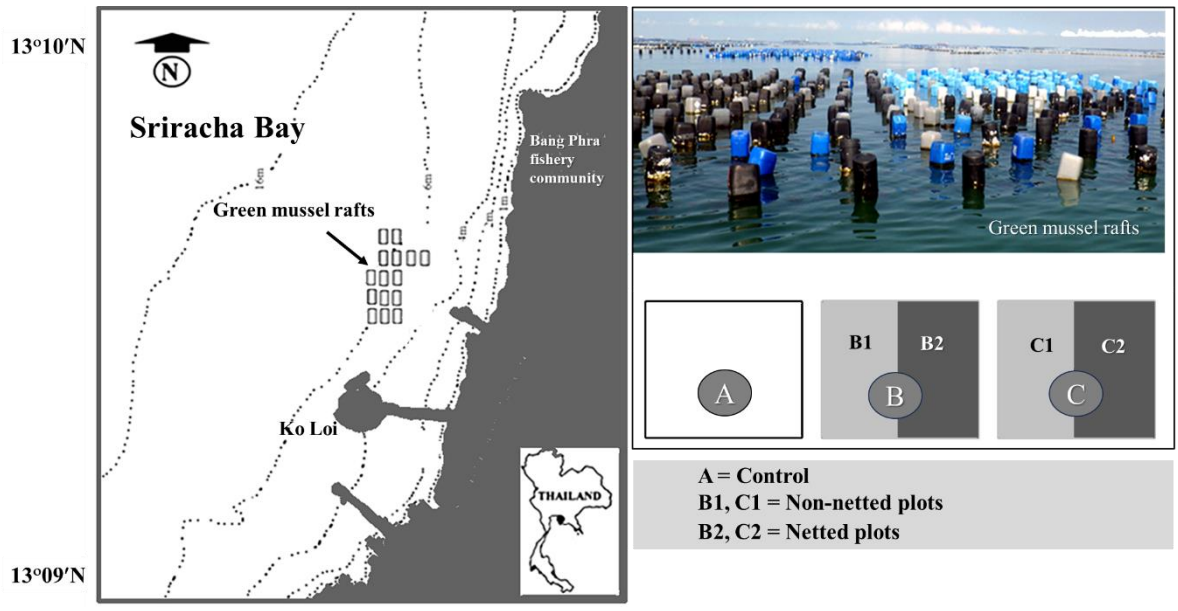


Figure 1 Study area and schematic diagram of the field experimental design beneath green mussel rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province. A = control raft without polychaete addition; B and C = treatment rafts receiving *Prionospio membranacea* addition; B1 and C1 = non-netted plots; B2 and C2 = netted plots covered with a 1.0-mm mesh net over the sediment surface. Adapted from To-orn and Intarachart (2016).

2.4 Sediment and benthic fauna sampling

Sediment and benthic fauna samples were collected from the control and experimental areas before the experiment to establish baseline conditions. Sampling was repeated after one month to compare changes in sediment quality and benthic faunal communities. Sediment and benthic fauna samples were collected using an Ekman grab with an opening size of 15 × 15 cm, corresponding to a sampling area of 225 cm^2 or 0.0225 m^2. Initial observations indicated that the sediments beneath the control and experimental rafts were generally comparable in terms of muddy texture, organic enrichment, sulfide accumulation, and dominance of deposit-feeding polychaetes. However, because the experiment was conducted under actual green mussel raft conditions and included limited raft-level replication, baseline comparability among rafts was interpreted descriptively rather than as evidence from a fully randomized experimental design.

For benthic fauna analysis, three grab samples were collected from each sampling area. The collected sediments were sieved through a 0.5-mm mesh sieve to retain macrobenthic organisms. The retained organisms were preserved in 10% neutral formalin and transported to the laboratory for further analysis. In the laboratory, benthic fauna samples were sorted, washed, counted, and identified to appropriate taxonomic groups under a stereomicroscope. Benthic faunal abundance was calculated as individuals per square meter by dividing the number of individuals collected in each grab sample by the sampling area of the Ekman grab (0.0225 m^2), and the results were expressed as individuals/m^2.

For sediment quality analyses, three additional grab samples were collected from each sampling area. Surface sediment from the upper approximately 3 cm of each grab sample was subsampled and used for the analysis of total organic matter and acid volatile sulfide. Sediment subsamples were placed in clean containers and transported to the laboratory for subsequent analysis. Acid volatile sulfide (AVS) was analyzed using an AVS Test Column following the manufacturer's procedure for sediment sulfide analysis. Wet sediment subsamples were placed into the test column, and sulfide concentration was determined according to the reading procedure provided with the test kit. AVS concentrations were calculated on a dry-weight basis and expressed as mg/g dry weight. The composition and abundance of benthic fauna, as well as sediment quality variables, were then evaluated before and after the experiment.

2.5 Analysis of organic matter and sulfide in sediment

Total organic matter (TOM) in sediment was analyzed using the ignition loss method following Nelson and Sommers (1982). Prepared sediment samples were dried and combusted at high temperature, and the loss in sample weight after combustion was calculated as the percentage of total organic matter in the sediment. Sediment sulfide was assessed as acid volatile sulfide (AVS), which was used as an indicator of sediment conditions affected by organic matter accumulation and reducing conditions. Changes in TOM and AVS before and after the experiment were used to evaluate the bioremediation efficiency of *P. membranacea.*

2.6 Growth and biomass assessment

After 30 days, *P. membranacea* individuals were collected from the experimental plots to evaluate apparent recovery, establishment, growth, and biomass increase. Body length and body width were measured, the number of chaetigers was counted, and body weight or biomass was assessed for polychaetes collected from each experimental plot. These parameters were used as indicators of population establishment and utilization of organic matter in sediments beneath green mussel rafts.

2.7 Evaluation of bioremediation efficiency

The bioremediation efficiency of *P. membranacea* was evaluated using four main indicators: (1) increases in body length, body width, number of chaetigers, and biomass of the polychaetes; (2) reduction in total organic matter (TOM) in the sediment; (3) reduction in sediment sulfide concentration; and (4) changes in the composition and abundance of benthic fauna. The use of multiple indicators allowed the assessment of bioremediation performance in terms of both sediment quality improvement and benthic faunal response.

2.8 Statistical analysis

Quantitative data, including body length, body width, number of chaetigers, polychaete biomass, total organic matter, sulfide concentration, and benthic faunal abundance, were presented as mean ± standard deviation (mean ± SD). Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics version 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). For statistical analyses, sampling plots within each raft were treated as field sampling units for comparing sediment quality and benthic faunal responses among the control and treatment areas. However, because the field design included one control raft and two treatment rafts without randomized raft-level replication, these sampling plots should not be interpreted as fully independent experimental units at the raft level. Therefore, the results should be interpreted as a field application trial rather than a fully replicated randomized experiment.

Data from B1 and C1, as well as B2 and C2, were not pooled as single replicated treatment groups for statistical inference. Instead, these plots were presented separately to show the response patterns of the non-netted plots (B1 and C1) and the netted plots (B2 and C2) under comparable treatment conditions. Because the field experiment was conducted under actual green mussel raft conditions and did not include fully randomized raft-level replication, pooling data from different rafts could overestimate the degree of replication. Therefore, comparisons were interpreted cautiously as trends observed in a field application trial rather than as results from fully independent pooled experimental replicates.

Differences in variables were analyzed separately for relevant comparisons, including comparisons between the control and experimental areas and comparisons between pre- and post-experimental conditions within the limitations of the field design. When data satisfied the assumptions of normality and homogeneity of variance, one-way analysis of variance (ANOVA)

was applied, followed by Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) test for post-hoc multiple comparisons. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

Two-way ANOVA or repeated measures analysis was not applied because the experimental design was not a fully balanced factorial design with randomized raft-level replication, and the before–after observations were not structured as repeated measurements of fully independent experimental units at the raft level. Therefore, the statistical results were used as supporting evidence for evaluating the field application of *P. membranacea* rather than as inference from a fully replicated factorial or repeated-measures experiment.

3. Results and discussion

3.1 Growth and biomass increase of *Prionospio membranacea* in sediments beneath green mussel wafts

The results showed that, after the release of early benthic stages of *P. membranacea* into sediments beneath green mussel rafts for 30 days, the polychaetes were able to establish, grow, and increase their biomass in both non-netted and netted sediment plots. Body length, body width, number of chaetigers, and body weight significantly increased after the experiment compared with the initial values ($p < 0.05$) (Figure 2). The growth responses were presented according to plot condition, with B1 and C1 representing non-netted plots and B2 and C2 representing netted plots. The average increase in body length ranged from 11.30 to 11.32 mm, while body width increased by 0.365–0.370 mm. The number of chaetigers increased by 37–38 chaetigers, and body weight increased by 0.0020–0.0022 g within 30 days.

When comparing non-netted and netted plots, the growth parameters showed similar increasing trends. This indicates that sediment conditions beneath green mussel rafts in both treatments were suitable for the growth of *P. membranacea* individuals recorded after release. These results suggest that this polychaete species can utilize organic matter accumulated in the sediment as a food source and convert it into its own biomass, which is an important characteristic of benthic deposit feeders.

The increase in the number of chaetigers, together with increases in body length, body width, and body weight, indicates that *P. membranacea* established after release and continued to grow, maintain its presence, and increase biomass in the experimental areas within 30 days. This characteristic is important for its potential use as a bioremediation organism, as biomass increase in polychaetes is associated with the removal of organic matter from sediments through feeding, growth, and sediment-reworking activities. These processes are further linked to the reduction of organic matter and sulfide concentrations in the following sections.

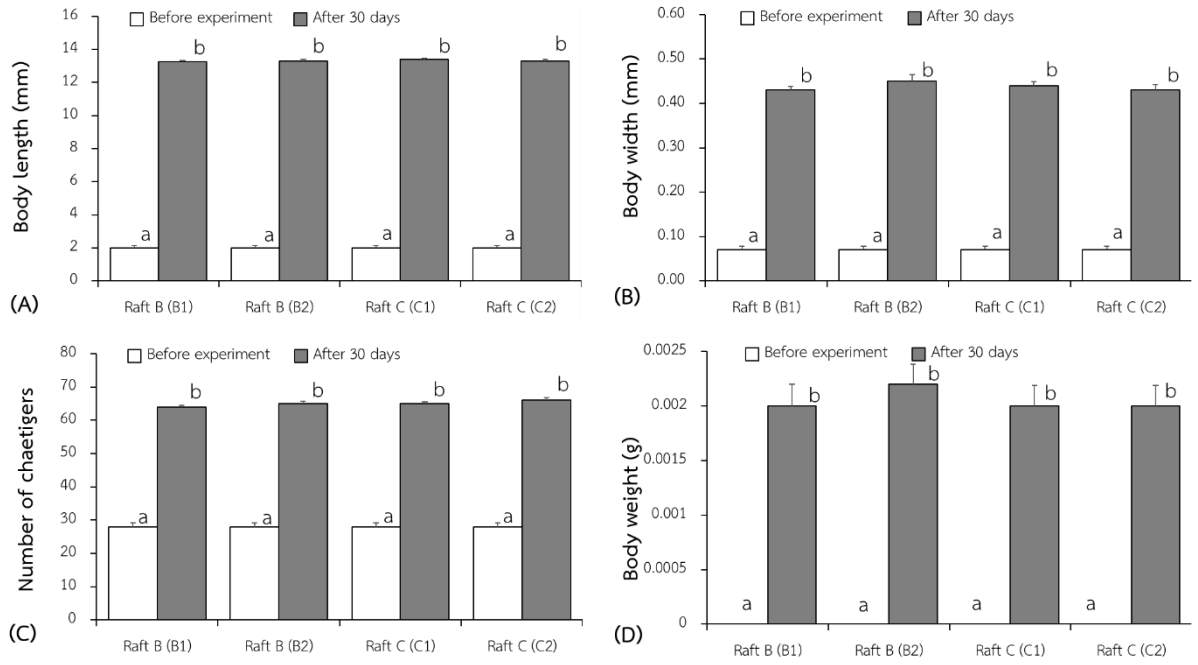


Figure 2 Growth and biomass increase of *Prionospio membranacea* after 30 days in sediments beneath green mussel rafts: (A) body length, (B) body width, (C) number of chaetigers, and (D) body weight in plots B1, B2, C1, and C2 before the experiment and after 30 days. B1 and C1 represent non-netted plots, whereas B2 and C2 represent netted plots. Values are presented as mean ± SD. Different letters above bars indicate significant differences between before experiment and after 30 days within each plot ($p < 0.05$).

At the end of the 30-day field experiment, the abundance of *P. membranacea* in the treatment plots indicated apparent recovery and establishment after release. Because *P. membranacea* occurs naturally in Sriracha Bay and the released individuals were not individually marked, the observed abundance after the experiment should not be interpreted as a true survival rate of released individuals alone. Instead, the establishment of *P. membranacea* was interpreted in relation to the initial stocking density, the pre-experimental baseline, and the control raft. Although the apparent recovery under field conditions was not high, the individuals recorded in the treatment plots were able to grow and increase biomass during the experimental period.

3.2 Reduction of organic matter content in sediments beneath green mussel rafts

The mean organic matter content in sediments beneath green mussel rafts before the experiment was 5.25 ± 0.04%. After 30 days, the control raft without the addition of *P. membranacea* (raft A) had a mean organic matter content of 4.63 ± 0.06%, which was not significantly different from the initial value ($p > 0.05$). In contrast, the experimental rafts B and C, where *P. membranacea* was added, showed a significant reduction in sediment organic matter content after 30 days ($p < 0.05$) (Figure 3A). The organic matter contents in B1, B2, C1, and C2 were 2.45 ± 0.23%, 2.80 ± 0.24%, 2.32 ± 0.21%, and 2.72 ± 0.19%, respectively,

corresponding to reductions of 44.01%, 38.53%, 46.05%, and 39.78%, respectively. These results indicate that the addition of *P. membranacea* was associated with a reduction of organic matter in sediments beneath green mussel rafts within 30 days. The non-netted plots tended to show greater reductions in organic matter content than the netted plots.

The reduction in organic matter content may be attributed to the feeding activity, movement, and sediment-reworking behavior of the polychaetes. These activities can increase contact between organic particles, oxygen, and sediment-associated microorganisms, thereby enhancing organic matter decomposition in the sediment (Fauchald & Jumars, 1979; Alexander, 1994; Rosenberg, 2001). The present findings are consistent with previous studies by Tsutsumi et al. (2002), Tsutsumi et al. (2005), and Kinoshita et al. (2008), which reported that deposit-feeding polychaetes can reduce organic matter accumulation in aquaculture sediments.

3.3 Reduction of sulfide concentration in sediments beneath green mussel rafts

The mean sulfide concentration in sediments beneath green mussel rafts before the experiment was 0.37 ± 0.01 mg/g dry weight. After 30 days, the control raft without the addition of *P. membranacea* (raft A) had a mean sulfide concentration of 0.34 ± 0.06 mg/g dry weight, which was not significantly different from the initial value ($p > 0.05$). In contrast, the experimental rafts B and C, where *P. membranacea* was added, showed a significant reduction in sediment sulfide concentration after 30 days ($p < 0.05$) (Figure 3B). The sulfide concentrations in B1, B2, C1, and C2 were 0.28 ± 0.01, 0.31 ± 0.01, 0.29 ± 0.01, and 0.32 ± 0.01 mg/g dry weight, respectively, corresponding to reductions of 16.18%, 8.09%, 14.38%, and 6.29%, respectively. These results indicate that the addition of *P. membranacea* was associated with a reduction in sulfide concentration in sediments beneath green mussel rafts within 30 days. The non-netted plots tended to show greater reductions in sulfide

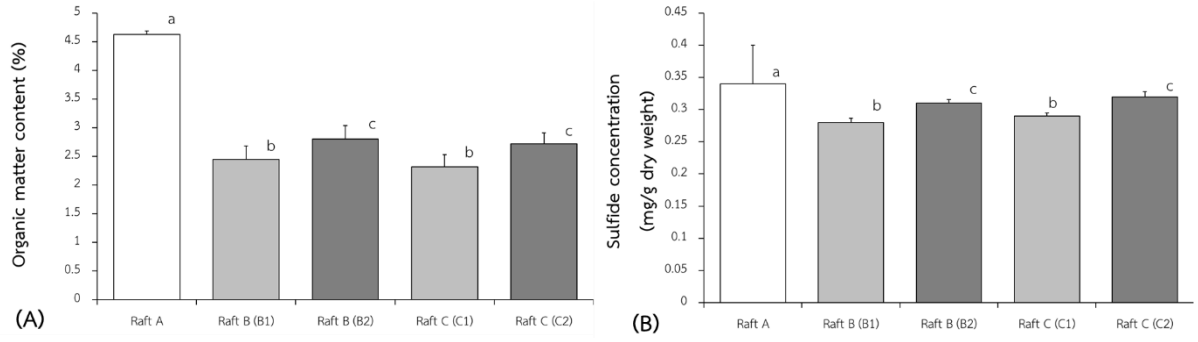


Figure 3 Changes in sediment quality beneath green mussel rafts after bioremediation using mass-cultured *P. membranacea*: (A) organic matter content in sediment (%) and (B) sulfide concentration in sediment (mg/g dry weight). A = control; B1 and C1 = non-netted plots; B2 and C2 = netted plots. Values are presented as mean ± SD. Different letters above bars indicate significant differences among sampling areas after 30 days ($p < 0.05$).

concentration than the netted plots, which was consistent with the trend observed for sediment organic matter reduction.

The initial sediment organic matter content in this study was 5.25 ± 0.04%, suggesting substantial accumulation of organic material in the muddy sediments beneath green mussel rafts. Because sediment organic matter thresholds vary among coastal environments, sediment types, and analytical methods, the organic matter value was interpreted together with sediment appearance, odor, sulfide concentration, and benthic faunal composition. The initial sulfide concentration was 0.37 ± 0.01 mg/g dry weight, indicating sulfide accumulation in the organically enriched muddy sediments. When interpreted together with sediment characteristics, organic matter content, and benthic faunal composition, the sediments beneath the green mussel rafts in the present study can be interpreted as organically enriched and moderately sulfide-accumulated sediments rather than severely degraded sediments. The reductions in organic matter and sulfide concentrations after the addition of *P. membranacea* suggest that this species was associated with sediment quality improvement under organically enriched conditions.

Excessive organic matter accumulation in sediments can increase microbial oxygen consumption and promote hypoxic or anoxic conditions. Under such conditions, anaerobic sulfate reduction may lead to the production and accumulation of hydrogen sulfide, which is toxic to many benthic organisms. These changes can alter benthic community structure by reducing sensitive taxa and favoring tolerant or opportunistic deposit feeders. Therefore, the reductions in organic matter and sulfide concentrations observed after the addition of *P. membranacea* may represent an improvement in sediment conditions and benthic habitat quality beneath green mussel rafts.

The reduction in sulfide concentration after the addition of *P. membranacea* may be associated with the burrowing, movement, and bioirrigation activities of the polychaetes. These activities can enhance oxygen diffusion from the sediment surface into deeper sediment layers. Increased oxygen penetration can reduce strongly reducing conditions in the sediment, thereby decreasing sulfide accumulation. In organically enriched sediments, sulfide is mainly produced through microbial sulfate reduction under anaerobic conditions, where organic matter serves as an important substrate for microbial decomposition. The burrowing and bioirrigation activities of *P. membranacea* may enhance the transport of oxygenated water into the sediment, thereby promoting the re-oxidation of reduced sulfur compounds such as sulfide to more oxidized sulfur forms. At the same time, the reduction of organic matter may limit the substrate available for anaerobic sulfate reduction. These processes suggest that *P. membranacea* may contribute to sulfur cycling in the sediment by reducing sulfide production and enhancing sulfide oxidation through bioturbation and bioirrigation. These mechanisms are consistent with the roles of deposit-feeding and burrowing polychaetes in improving sediment conditions through bioturbation, bioirrigation, and changes in sediment redox conditions (Pearson & Rosenberg, 1978; Hutchings, 1998; Rosenberg, 2001).

The present findings are consistent with previous laboratory-based studies on spionid polychaetes, particularly *P. membranacea* and *P. pulchra*, which demonstrated their ability to convert sedimentary organic matter into biomass and reduce organic matter content in organically enriched sediments beneath green mussel rafts (To-orn & Paphavasit, 2017). These findings support the role of spionid polychaetes as surface or interface deposit feeders that can utilize organic particles in sediments and contribute to sediment reworking. In addition, spionid feeding and burrowing activities may influence sediment conditions through particle reworking, tube construction, and bioirrigation, although direct evidence for sulfide reduction by spionid polychaetes remains limited. Therefore, the reduction in sulfide concentration observed in the present field trial may be indirectly related to the combined effects of organic matter reduction, sediment reworking, and enhanced oxygen penetration associated with the activity of *P. membranacea*. Previous studies on other deposit-feeding polychaetes, particularly *Capitella* spp., have also shown that polychaete biological activities can reduce the impacts of organic matter accumulation and improve sediment chemical characteristics in aquaculture systems (Chareonpanich et al., 1993; Tsutsumi et al., 2002; Kinoshita et al., 2008). However, the percentage reduction in sulfide concentration in this study was lower than the reduction in organic matter content, suggesting that sulfide may respond more slowly to changes in sediment redox conditions, oxygen availability, and anaerobic decomposition processes. Therefore, longer monitoring periods and further studies focusing specifically on sulfur dynamics are required to clearly evaluate sediment improvement through *P. membranacea*-mediated bioremediation.

3.4 Abundance of benthic fauna beneath green mussel rafts

The abundance of benthic fauna beneath green mussel rafts was examined before and after the application of mass-cultured *P. membranacea* for bioremediation. The benthic faunal community in the study area reflected organically enriched sediment conditions, with deposit-feeding polychaetes being the dominant group. The major taxa included *P. membranacea*, *Scoloplos* sp., *Aricidea* sp., *Cirratulus* sp., and *Notomastus* sp. Predatory polychaetes, such as *Nereis* sp. and *Diopatra* sp., as well as other benthic fauna, including Nemertea, Amphipoda, and bivalves, were present in relatively low abundance.

Before the experiment, the total abundance of benthic fauna beneath the green mussel rafts was 1,439 individuals/m^2, and the community was dominated by several polychaete taxa, particularly *P. membranacea*, *Scoloplos* sp., and *Aricidea* sp. In terms of benthic faunal diversity, the community was composed mainly of several polychaete taxa with different feeding and ecological functions, including deposit-feeding spionids, orbiniids, cirratulids, and capitellids, together with predatory polychaetes and other benthic invertebrates. Although deposit-feeding polychaetes were dominant, the occurrence of multiple taxa indicates that the sediments beneath green mussel rafts still supported a benthic faunal assemblage composed of both tolerant and opportunistic groups.

Because *P. membranacea* occurs naturally in Sriracha Bay, the individuals recorded after the experiment may have included both naturally occurring individuals and released individuals that established in the treatment plots. Therefore, the abundance of *P. membranacea* was interpreted in relation to the pre-experimental baseline and the control raft, rather than as the survival of released individuals alone.

After 30 days, the control raft without *P. membranacea* addition (raft A) had a total benthic faunal abundance of 1,567 individuals/m^2. In contrast, the experimental plots B1, B2, C1, and C2 had total abundances of 2,983, 1,733, 2,883, and 1,717 individuals/m^2, respectively (Figure 4). When *P. membranacea* was considered separately, its abundance clearly increased in the plots where the polychaetes were added. The abundances of *P. membranacea* in B1, B2, C1, and C2 were 1,583, 1,417, 1,750, and 1,333 individuals/m^2, respectively, whereas only 267 individuals/m^2 were recorded in the control raft. The increase in total benthic abundance was mainly associated with the establishment and growth of *P. membranacea* in the treatment plots, while other benthic taxa remained present at lower abundance. This pattern suggests that the bioremediation treatment was associated with increased abundance of the target deposit-feeding polychaete without completely replacing the existing benthic faunal assemblage.

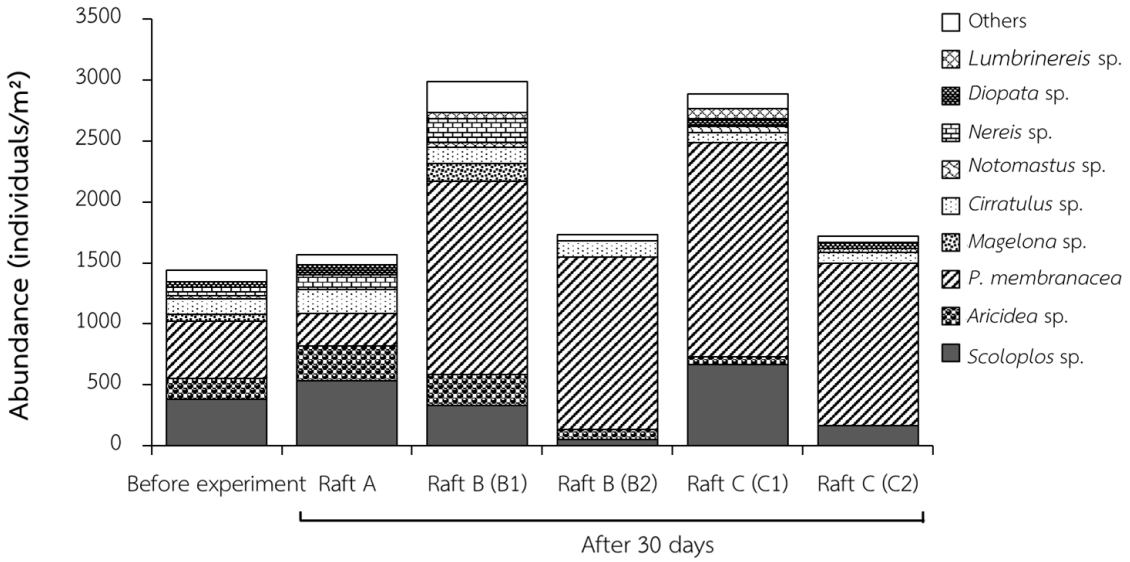


Figure 4 Abundance and composition of benthic fauna beneath green mussel rafts before the experiment and after 30 days of bioremediation using mass-cultured *Prionospio membranacea*. A = control raft; B1 and C1 = non-netted plots; B2 and C2 = netted plots. Abundance is expressed as individuals/m^2.

These results indicate that mass-cultured *P. membranacea* showed apparent establishment, increased abundance, and growth in sediments beneath green mussel rafts within 30 days. In addition, the non-netted plots, B1 and C1, tended to show higher total benthic faunal abundance and higher abundance of *P. membranacea* than the netted plots, B2 and C2. This pattern may be related to better water circulation and oxygen exchange in

the non-netted plots, which may have provided more favorable conditions for the establishment and biological activities of the polychaetes in the sediment.

The composition of benthic fauna observed in this study was consistent with the characteristics of organically enriched habitats, where opportunistic polychaetes and deposit feeders often become dominant (Pearson & Rosenberg, 1978; Dauer, 1993; Diaz & Rosenberg, 1995). In particular, *P. membranacea*, *Scoloplos* sp., and *Aricidea* sp. are taxa that can tolerate organic-rich sediment conditions. Some of these taxa have also been reported from coastal areas of Sriracha Bay affected by organic matter accumulation in sediments (To-orn & Paphavasit, 2003). The increase in *P. membranacea* in the experimental plots therefore supports the potential of this species as a native benthic organism capable of utilizing sedimentary organic matter and contributing to bioremediation beneath green mussel culture systems.

However, the changes in benthic faunal communities observed in this study should be interpreted as short-term responses within a 30-day field application trial. This period was sufficient to detect initial changes in the abundance and establishment of *P. membranacea*, as well as associated reductions in sediment organic matter and sulfide concentrations. Nevertheless, it was not long enough to evaluate long-term bioremediation performance, population persistence, seasonal variation, or successional changes in benthic community structure. Longer-term monitoring over several months and across different seasons is therefore needed to determine whether the increase in *P. membranacea*, together with reductions in organic matter and sulfide, can lead to sustained sediment quality improvement and broader recovery of benthic community structure beneath green mussel rafts.

3.5 Overall bioremediation efficiency and mechanisms of *Prionospio membranacea*

The overall results indicate that the biological activities of *P. membranacea* were associated with reductions in organic matter and sulfide concentrations in sediments beneath green mussel rafts. The bioremediation efficiency appeared to be related to the increase in abundance, apparent establishment, and biomass of this species in the experimental plots. After the addition of *P. membranacea*, the experimental rafts B and C showed reductions in sediment organic matter and sulfide concentrations relative to the control raft A, where no polychaetes were added ($p < 0.05$). These results suggest that the establishment of *P. membranacea* in the sediment may enhance bioremediation processes under field conditions.

Relative to the control raft A, the non-netted plot in raft B (B1) showed 1.89-fold and 1.21-fold reductions in organic matter and sulfide concentrations, respectively, whereas the netted plot (B2) showed 1.65-fold and 1.05-fold reductions, respectively. In raft C, the non-netted plot (C1) showed 2.00-fold and 1.17-fold reductions in organic matter and sulfide concentrations, respectively, whereas the netted plot (C2) showed 1.70-fold and 1.01-fold reductions, respectively. These results are consistent with the trends observed in the previous sections, in which non-netted plots tended to show higher reduction efficiency than netted plots. This pattern may be related to better water exchange and oxygen availability at the

sediment surface, as well as less restriction on polychaete movement and sediment-reworking activities in the non-netted plots.

The main mechanisms underlying the bioremediation potential of *P. membranacea* are likely related to its feeding activity, movement, burrowing behavior, and tube construction in the sediment. Deposit-feeding polychaetes can utilize organic particles in sediments as food and convert part of the sedimentary organic matter into their own biomass. At the same time, their movement and burrowing activities promote sediment bioturbation and bioirrigation, which enhance oxygen exchange between the sediment surface and deeper sediment layers. These processes can stimulate microbial activity associated with organic matter decomposition and reduce strongly reducing conditions that favor sulfide accumulation in the sediment (Fauchald & Jumars, 1979; Dauer et al., 1981; Rosenberg, 2001).

The present field study is consistent with previous laboratory findings, which demonstrated that *P. membranacea* was more efficient than *Prionospio pulchra* in converting organic waste from enriched sediments into biomass and had potential as a bioremediator for organically enriched sediments beneath green mussel rafts (To-orn & Paphavasit, 2017). Therefore, the present study provides additional field-based evidence for the potential application of mass-cultured *P. membranacea* under actual green mussel raft conditions in Sriracha Bay.

When bioremediation efficiency was evaluated in relation to the apparent recovery, establishment, and growth of *P. membranacea* in the experimental plots, the initial stocking density of 400 individuals/m² resulted in the occurrence and increased abundance of *P. membranacea* after 30 days. Because *P. membranacea* naturally occurs in Sriracha Bay and the released individuals were not individually marked, the abundance recorded after the experiment should not be interpreted as a true survival rate of released individuals alone. Instead, the abundance of *P. membranacea* after the experiment was interpreted in relation to the pre-experimental baseline and the control raft. Under these field conditions, sediment organic matter decreased by 38.53–46.05%, while sulfide concentration decreased by 6.29–16.18% in the experimental plots. Although the apparent recovery of *P. membranacea* under field conditions was not high, the individuals recorded in the treatment plots were able to grow, increase biomass, and perform biological activities that contributed to sediment improvement. The relatively low apparent recovery may be associated with several field-related factors, including predation, movement or dispersal of individuals away from the release plots, hydrodynamic disturbance beneath the rafts, and variation in sediment conditions. These findings suggest that *P. membranacea* has potential as a native bioremediator for organically enriched sediments beneath green mussel rafts.

Nevertheless, the practical application of *P. membranacea* at the field scale should consider several factors, including apparent recovery, establishment success, stocking density, season, water circulation, thickness of the organic-rich sediment layer, and the abundance of predators or benthic organisms that may interfere with population establishment. Future studies should evaluate different stocking densities, extend the monitoring period beyond 30

days, and compare seasonal conditions in order to optimize the use of *P. membranacea* as a sediment management tool for coastal green mussel culture systems.

It should be noted that the present study was conducted as a field-based application trial under actual green mussel raft conditions. The experimental design had limitations in terms of raft-level replication and randomization, as one raft was used as the control area and two rafts were used as treatment areas receiving *P. membranacea* addition. Therefore, some degree of pseudoreplication may be present, and the plots within each raft should be interpreted as field sampling plots within the same raft environment rather than fully independent randomized replicates. Although the observed reductions in sediment organic matter and sulfide concentration, together with the increase in *P. membranacea* abundance and biomass, provide useful field-based evidence on the potential of mass-cultured *P. membranacea* for improving organically enriched sediments beneath green mussel rafts, the results should be interpreted with caution. Further studies with greater raft-level replication, randomized treatment allocation, and repeated trials across different seasons and environmental conditions are needed to confirm the effectiveness and broader applicability of this bioremediation approach.

Another limitation of the field design was the absence of a netted control plot without *P. membranacea* addition. The netted plots were intended to reduce access by potential predators or disturbing organisms, including predatory polychaetes such as *Nereis* sp. and *Diopatra* sp., nemerteans, amphipods, and other mobile benthic or demersal organisms. However, netting may also affect water circulation, oxygen exchange, sediment deposition, and sediment redox conditions. Therefore, the responses observed in the netted plots may reflect the combined effects of polychaete addition and net protection, as well as possible changes in sediment conditions caused by the net itself. Future studies should include both netted and non-netted controls to separate the effects of netting from those of *P. membranacea* bioremediation.

4. Conclusion

This study demonstrated that the mass-cultured polychaete *P. membranacea* has potential as a bioremediation organism for organically enriched sediments beneath green mussel rafts in Sriracha Bay, Chon Buri Province. The polychaetes showed apparent recovery and establishment, grew, and increased biomass in the sediments within 30 days after release. The initial stocking density of 400 individuals/m² was associated with reductions in sediment organic matter and sulfide concentrations in the experimental plots. The non-netted plots tended to show higher bioremediation efficiency than the netted plots, although this pattern should be interpreted with caution because a netted control plot without *P. membranacea* addition was not included. These findings suggest that the feeding, movement, burrowing, and sediment-reworking activities of *P. membranacea* were associated with the improvement of sediment quality beneath green mussel culture systems. Therefore, this species may be considered for application as a native benthic organism for managing environmental impacts

from coastal aquaculture. However, because this study was conducted as a field application trial with limited raft-level replication and without randomized treatment allocation, the findings should be interpreted with caution. Further replicated and randomized field studies across different seasons and environmental conditions, longer monitoring periods, and varying stocking densities are recommended to confirm the bioremediation potential of *P. membranacea* and support its practical application beneath green mussel rafts.

Acknowledgements

The authors would like to express their sincere gratitude to the Environmental Development Section, PTT Public Company Limited, for providing research funding for this study. The authors also gratefully acknowledge all individuals who assisted with fieldwork and data collection, which contributed to the successful completion of this research.

References

Alexander, M. (1994). *Biodegradation and bioremediation*. Academic Press, San Diego, California.

Chareonpanich, C., Montani, S., Tsutsumi, H., & Matsuoka, S. (1993). Modification of chemical characteristics of organically enriched sediment by *Capitella* sp. I. *Marine Pollution Bulletin*, *26*(7), 375–379.

Dauer, D. M. (1993). Biological criteria, environmental health and estuarine macrobenthic community structure. *Marine Pollution Bulletin*, *26*(5), 249–257.

Dauer, D. M., Maybury, C. A., & Ewing, R. M. (1981). Feeding behavior and general ecology of several spionid polychaetes from the Chesapeake Bay. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *54*(1), 21–38.

Diaz, R. J., & Rosenberg, R. (1995). Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, *33*, 245–303.

Fauchald, K., & Jumars, P. A. (1979). The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, *17*, 193–284.

Gifford, S., Dunstan, R. H., O'Connor, W., Koller, C. E., & MacFarlane, G. R. (2007). Aquatic zooremediation: Deploying animals to remediate contaminated aquatic environments. *Trends in Biotechnology, 25*(2), 60–65.

Herrera-Perez, M., & Ferrando, A. (2026). Polychaetes aquaculture: Global successes and opportunities for development in Latin America. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, *6*(2), e70208.

Imajima, M. (1990). Spionidae (Annelida, Polychaeta) from Japan IV. The genus *Prionospio (Prionospio*). *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series A, 16*(3), 105–140.

Kinoshita, K., Tamaki, S., Yoshioka, M., Srithonguthai, S., Kunihiro, T., Hama, D., Ohwada, K., & Tsutsumi, H. (2008). Bioremediation of organically enriched sediment deposited below fish farms with artificially mass-cultured colonies of a deposit-feeding polychaete *Capitella* sp. I. *Fisheries Science*, *74*, 77–87.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982). Total carbon, organic carbon and organic matter. In Methods of soil analysis Part 2. *Agronomy Monographs 9* (pp. 539–579). ASA and SSSA, Madison, WI.

Pearson, T. H., & Rosenberg, R. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, *16*, 229–311.

Rosenberg, R. (2001). Marine benthic faunal successional stages and related sedimentary activity. *Scientia Marina*, *65*(Suppl. 2), 107–119.

To-orn, N. (2016). *Use of spionid polychaetes genus Prionospio in bioremediation of organically enriched sediment under green mussel rafts*. Doctoral dissertation, Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University.

To-orn, N., & Intarachart, A. (2016). *Use of the marine polychaete Prionospio (Prionospio) membranacea for bioremediation of organically enriched sediment in the coastal area of Sriracha, Chon Buri Province*. Final research report submitted to the Environmental Development Section, PTT Public Company Limited.

To-orn, N., & Paphavasit, N. (2003). *Use of marine polychaetes as indicators for environmental quality assessment in the coastal area of Sriracha Bay, Chonburi Province*. In Proceedings of the Conference on Aquatic Natural Resources and Environment: Integrated Coastal Pollution Management (pp. 124–133). Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment.

To-orn, N., & Paphavasit, N. (2017). Bioremediation of organically enriched sediment under green mussel rafts using spionids genus *Prionospio* (Polychaeta: Spionidae). *EnvironmentAsia*, *10*(1), 17–24.

Tsutsumi, H., Fukunaga, S., Fujita, N., & Sumida, M. (1990). Relationship between growth of *Capitella* sp. and organic enrichment of the sediment. *Marine Ecology Progress Series*, *63*, 157–162.

Tsutsumi, H., Kinoshita, K., Srithongouthai, S., Sato, A., Nagata, S., Inoue, A., Yoshioka, M., Ohwada, K., & Hama, D. (2005). Treatment of the organically enriched sediment below the fish farm with the biological activities of artificially mass-cultured colonies of a small deposit feeding polychaete, *Capitella* sp. I. *Benthos Research*, *60*, 25–38.

Tsutsumi, H., Montani, S., & Kobe, H. (2002). Bioremediation of organic matter loaded on the sediment in outdoor pools with a polychaete, *Capitella* sp. I. *Fisheries Science*, *68*, 613–616.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26107)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26107)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

ระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะบนสถาปัตยกรรมเว็บสมัยใหม่ด้วยปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์

An Intelligent Resume Builder based on Modern Web Architecture using Generative Artificial Intelligence

อนัญญา สุภากรณ์ ปียดา กำแก้ว และรัตนาวดี พานทอง*
Ananya Supakorn, Peeyada Kamkaew, and Rattanawadee Panthong*

สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
Department of Information Technology, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand

Received: 26-05-2026, Revised: 19-06-2026, Accepted: 19-06-2026, Published: 24-06-2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะที่สามารถปรับเนื้อหาให้สอดคล้องกับลักษณะงานที่ต้องการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ากับสถาปัตยกรรม Serverless Edge Computing ระบบพัฒนาด้วย Next.js, Tailwind CSS, Hono Framework บน Cloudflare Workers และ Cloudflare D1 พร้อมประยุกต์ใช้ Gemini 2.5 Flash API สำหรับวิเคราะห์ แนะนำ และสรุปเนื้อหาเรซูเม่อัตโนมัติ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถรองรับกระบวนการสร้างเรซูเม่ได้อย่างครบวงจร ตั้งแต่การกรอกข้อมูล การเลือกเทมเพลต การประมวลผลด้วย AI จนถึงการส่งออกไฟล์ PDF และสามารถตอบสนองต่อการใช้งานได้อย่างรวดเร็วผ่าน Cloudflare Edge Network ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 3.94, S.D. = 1.00) โดยรายการประเมินที่มีคะแนนสูงสุดคือการเลือกใช้สี โทนหน้าเว็บ และขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม ($\overline{x}$ = 4.38, S.D. = 0.83) รองลงมาคือเว็บแอปพลิเคชันตอบสนองการใช้งานได้อย่างรวดเร็ว ($\overline{x}$ = 4.22, S.D. = 0.94) และการแสดงผลตัวอย่างเรซูเม่ได้อย่างถูกต้อง ($\overline{x}$ = 4.19, S.D. = 1.00) ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดทำเรซูเม่ และแสดงศักยภาพของการประยุกต์ใช้ AI ร่วมกับเว็บแอปพลิเคชันสมัยใหม่ในการพัฒนาระบบอัจฉริยะในอนาคต

คำสำคัญ : เรซูเม่, ระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะ, ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์, สถาปัตยกรรมเว็บสมัยใหม่

Abstract

This research aims to develop and evaluate an intelligent resume generation system capable of adapting content to specific job requirements by integrating artificial intelligence with a serverless edge computing architecture. The system was developed using Next.js, Tailwind CSS, Hono Framework on Cloudflare Workers, and Cloudflare D1, together with the Gemini 2.5 Flash API for automated resume content analysis, recommendation, and summarization. The results indicate that the proposed system successfully supports the complete resume creation process, including information input, template selection, AI-assisted processing, and PDF export. The system also demonstrated fast response performance through the Cloudflare Edge Network. Overall performance evaluation was at a high level ($\overline{x}$ = 3.94, S.D. = 1.00) The highest-rated item was the appropriateness of colors, web tone, and font sizes ($\overline{x}$ = 4.38, S.D. = 0.83), followed by the rapid response of the web application ($\overline{x}$ = 4.22, S.D. = 0.94), and the accurate real-time resume preview ($\overline{x}$ = 4.19, S.D. = 1.00). The findings demonstrate that the developed system can significantly enhance resume creation efficiency and highlight the

*Corresponding author: rattanawadee.pa@up.ac.th

potential of integrating artificial intelligence with modern web applications for future intelligent system development.

Keywords: Resume, Intelligent Resume Builder, Generative Artificial Intelligence, Modern Web Architecture

1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่การแข่งขันในตลาดแรงงานมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เรซูเม่จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการสื่อสารศักยภาพ ประสบการณ์ และความสามารถของผู้สมัครงานไปยังนายจ้าง อย่างไรก็ตาม ผู้ใช้งานจำนวนมากยังประสบปัญหาในการจัดทำเรซูเม่ให้มีประสิทธิภาพ เนื่องจากขาดทักษะด้านการจัดโครงสร้างเนื้อหา การเลือกใช้ถ้อยคำ และการปรับรูปแบบเอกสารให้เหมาะสมกับตำแหน่งงาน ขณะเดียวกันตลาดแรงงานยังได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการจ้างงาน ผู้สมัครงานจึงจำเป็นต้องพัฒนาทักษะควบคู่กับการยกระดับการนำเสนอความสามารถของตนเอง (สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย, 2561)

แม้ว่าวิธีการจัดทำเรซูเม่แบบดั้งเดิมจะได้รับความนิยม แต่แพลตฟอร์มสร้างเรซูเม่ออนไลน์ หรือ Resume Builder ที่มีอยู่ในตลาดปัจจุบันส่วนใหญ่มักเน้นเพียงการให้บริการเทมเพลตสำเร็จรูป (Template-based) ซึ่งผู้ใช้งานต้องคิดและเขียนเนื้อหาด้วยตนเองทั้งหมด ระบบเหล่านี้ขาดความสามารถในการปรับแต่งเนื้อหาให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคล (AI Personalization) และไม่รองรับการปรับแต่งเพื่อให้สอดคล้องกับระบบคัดกรองอัตโนมัติ (ATS Optimization) ซึ่งเป็นช่องว่างงานวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญ เนื่องจากผู้สมัครงานต้องการมากกว่าแค่รูปแบบที่สวยงาม แต่ต้องการระบบผู้ช่วยอัจฉริยะที่สามารถแนะนำ เรียบเรียงเนื้อหาและวิเคราะห์ความสอดคล้องกับตำแหน่งงานได้

นอกจากนี้ เรซูเม่ที่สร้างจากโปรแกรมกราฟิกมักมีโครงสร้างไฟล์ที่ซับซ้อนและไม่สอดคล้องกับมาตรฐานของระบบคัดกรองใบสมัครอัตโนมัติ หรือ ATS (Applicant Tracking System) (Mungi, 2022; Yelubolu et al., 2026) โดยระบบ ATS คือซอฟต์แวร์ที่องค์กรใช้เพื่อสแกนและสกัดข้อความค้นหาคีย์เวิร์ด (Keywords) ทักษะและประสบการณ์ที่ตรงกับรายละเอียดตำแหน่งงาน หากเรซูเม่มีรูปแบบไฟล์ที่ระบบไม่สามารถอ่านได้ หรือขาดคีย์เวิร์ดที่ตรงกัน เรซูเม่นั้นอาจถูกคัดออกโดยอัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของสำนักงานสถิติแห่งชาติ (2569) ทำให้ข้อมูลสำคัญของผู้สมัครอาจไม่ถูกอ่าน

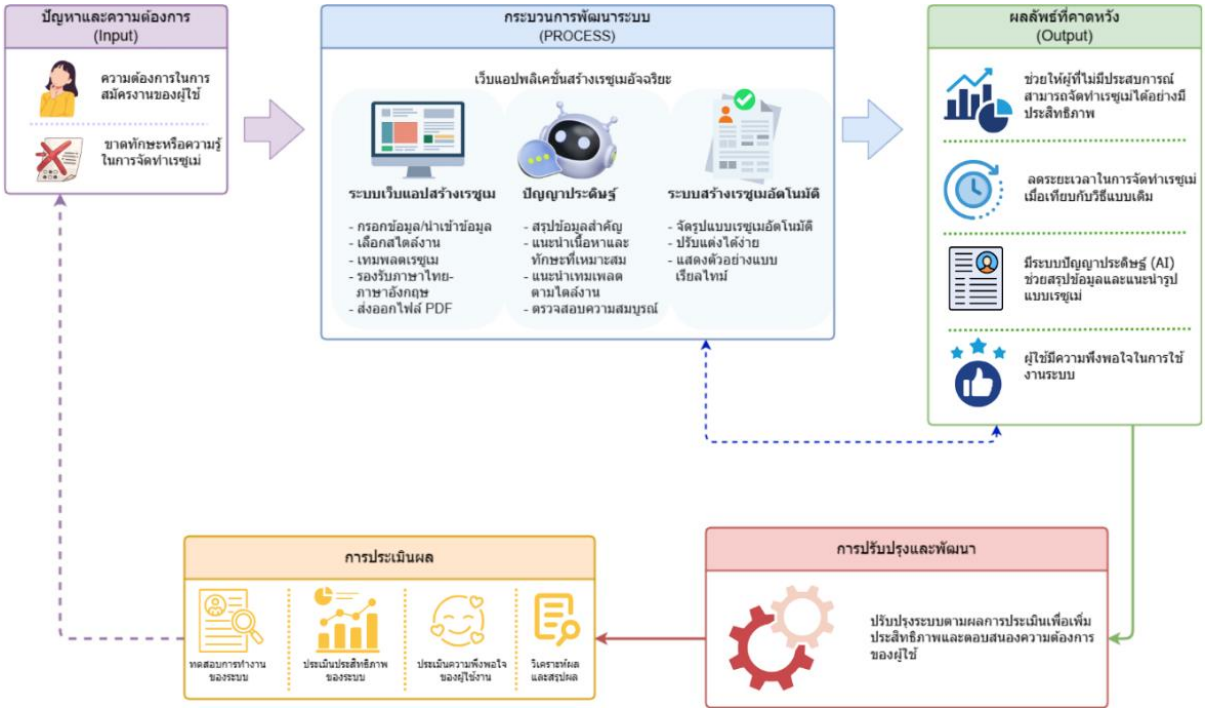
จากข้อจำกัดดังกล่าว ปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) จึงได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบจัดทำเอกสารสมัครงาน โดยเฉพาะการทำงานร่วมกับโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (LLMs) (Brown et al., 2020; Min et al., 2023) ส่งผลให้ระบบสามารถช่วยเรียบเรียงประวัติและสร้างเนื้อหาได้อย่างอัตโนมัติ ช่วยยกระดับจากเครื่องมือจัดรูปแบบทั่วไป ไปสู่การเป็นผู้ช่วยอัจฉริยะ (Jadhav et al., 2025)

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเว็บสมัยใหม่และสถาปัตยกรรมแบบไร้เซิร์ฟเวอร์ (Serverless Architecture) มีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาระบบอัจฉริยะที่ตอบสนองรวดเร็วและมีเสถียรภาพ (Mardan, 2017; Jonas et al., 2019; Vercel, 2024) ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย Frontend ที่พัฒนาด้วย Next.js และ Tailwind CSS (Riva, 2022) ขณะที่ Backend พัฒนาด้วย Hono Framework บน Cloudflare Workers พร้อมใช้ Cloudflare D1 สำหรับจัดเก็บข้อมูลแบบไร้เซิร์ฟเวอร์ (Cloudflare, 2024) ในส่วนของการประมวลผลประยุกต์ใช้ Gemini 2.5 Flash API เพื่อวิเคราะห์และสร้างเนื้อหาเรซูเม่อัตโนมัติ (Flanagan, 2020; Anil et al., 2024)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะที่สามารถปรับเนื้อหาให้สอดคล้องกับลักษณะงานที่ต้องการ โดยบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เข้ากับสถาปัตยกรรม Serverless Edge

Computing และ 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความสามารถในการประมวลผลการตอบสนองของระบบ และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

กรอบแนวคิดในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ข้อมูลนำเข้า (Input) กระบวนการ (Process) และผลลัพธ์ (Output) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยในส่วนของข้อมูลนำเข้านั้น มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ปัญหาและความต้องการของผู้สมัครงาน อาทิ ความจำเป็นในการมีเรซูเม่ที่มีคุณภาพ การขาดทักษะและความรู้ในการจัดทำเรซูเม่อย่างเป็นมืออาชีพ ตลอดจนข้อจำกัดของเครื่องมือสร้างเรซูเม่แบบดั้งเดิม สำหรับในส่วนของกระบวนการ จะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสร้างเรซูเม่อัจฉริยะด้วยการบูรณาการเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การประมวลผลและสรุปเนื้อหาด้วย AI โดยมีความเชื่อมโยงระหว่างฟังก์ชันของ AI Summary ช่วยให้ได้ประวัติย่อที่กระชับและเป็นมืออาชีพ ฟังก์ชัน AI Rewrite และ Translate ช่วยยกระดับคุณภาพของภาษาที่ใช้ ฟังก์ชัน AI Match Template และ Custom Template ช่วยให้ได้รูปแบบเรซูเม่ที่เหมาะสม และการทำงานร่วมกับระบบวิเคราะห์ ATS ช่วยให้เรซูเม่มีโอกาสผ่านการคัดกรองจากระบบอัตโนมัติสูงขึ้น ต่อจากนั้นคือการทดสอบฟังก์ชันการทำงานของระบบและการทดลองใช้งานจริงกับกลุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 เครื่องมือและเทคโนโลยีที่ใช้ในการวิจัย

ระบบพัฒนาด้วยภาษา TypeScript ทั้งในส่วน Frontend และ Backend เพื่อให้โครงสร้างของระบบมีมาตรฐานเดียวกัน โครงสร้างส่วนของ Frontend พัฒนาด้วย Next.js เวอร์ชัน 16 ร่วมกับ React เวอร์ชัน 19 โดยใช้ Zustand เวอร์ชัน 5 ในการจัดการสถานะของระบบ ใช้ HTML5 สำหรับโครงสร้างหน้าเว็บ และ Tailwind CSS v4 สำหรับออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ (Tailwind Labs, 2024) ในส่วนของ Backend พัฒนาด้วย Hono Framework เวอร์ชัน 4 สำหรับพัฒนา REST API (Hono contributors, 2024) ทำงานบนโครงสร้างพื้นฐานของ Cloudflare Workers (Cloudflare, 2024) ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มแบบ Serverless บนเครือข่ายส่วนขอบ (Edge Network) โดยมี Cloudflare D1 ซึ่งประมวลผลด้วยระบบจัดการฐานข้อมูล

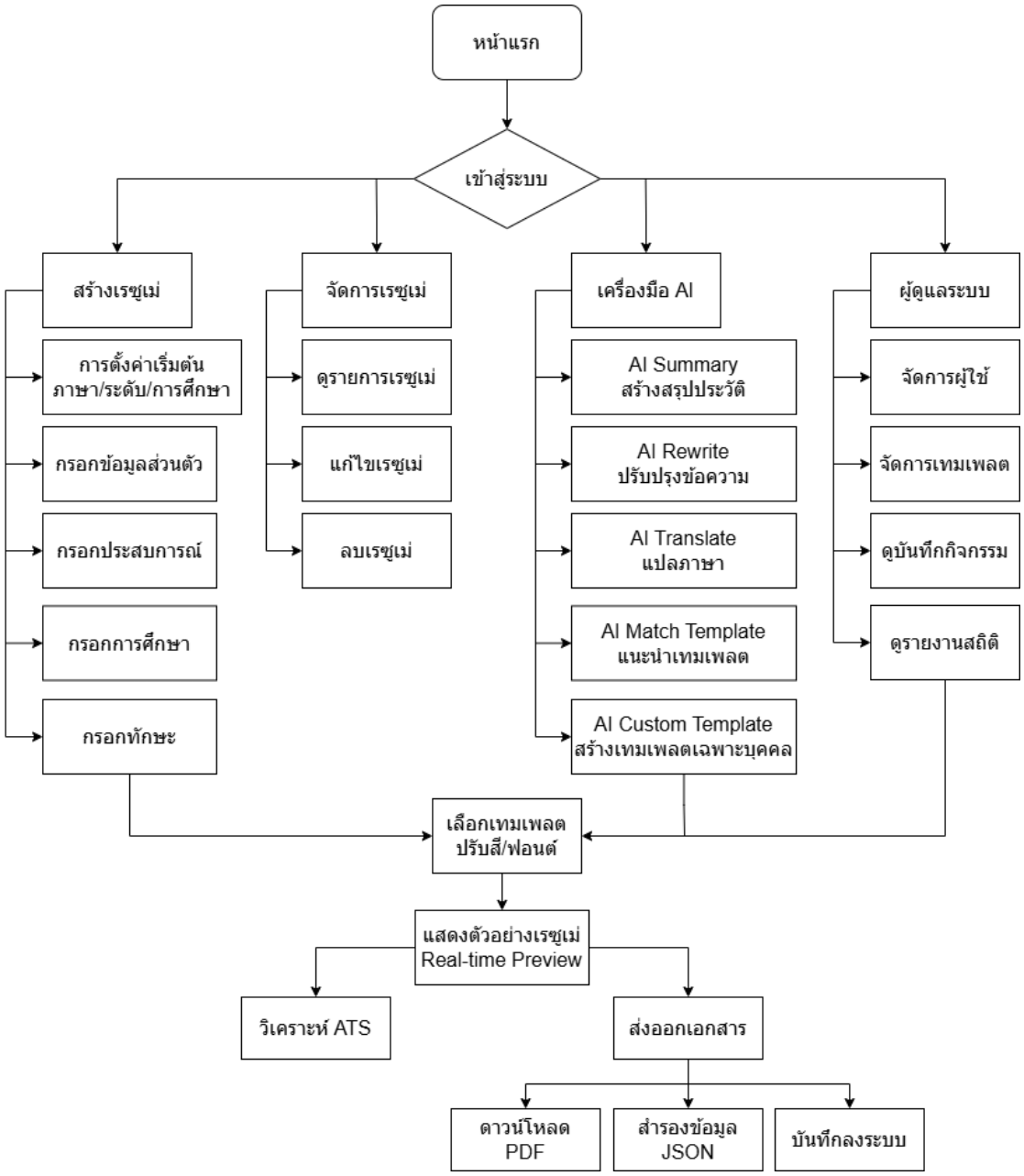
SQLite (Hipp, 2024) ทำหน้าที่เป็นระบบฐานข้อมูลหลัก ด้านความปลอดภัยของข้อมูล (Security and Privacy) ระบบได้ให้ความสำคัญกับความเป็นส่วนตัวของผู้สมัครโดยข้อมูลส่วนบุคคลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บอย่างปลอดภัยบนระบบฐานข้อมูลที่มีการเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption) ทั้งในขณะจัดเก็บและระหว่างการส่งผ่านข้อมูล นอกจากนี้ข้อมูลที่ส่งไปยัง Gemini API เพื่อการประมวลผลจะถูกจำกัดเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นและผ่านกระบวนการลดทอนการระบุตัวตน (Anonymization) ในส่วนที่อ่อนไหว เพื่อป้องกันการรั่วไหลของข้อมูล

สำหรับการจัดการสถาปัตยกรรม การเลือกใช้ Serverless Edge Computing ช่วยลดระยะเวลาแฝง (Latency) ในการโหลดหน้าเว็บพื้นฐาน อย่างไรก็ตาม ในการสื่อสารกับ Gemini API ระบบได้ออกแบบการจัดการความล่าช้า (API Latency Handling) โดยใช้เทคนิคการประมวลผลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Processing) ร่วมกับการแสดงผลสถานะโหลด (Loading States/Progress Indicators) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบถึงสถานะทำงาน และป้องกันปัญหาการส่งคำขอซ้ำซ้อนขณะที่ AI กำลังประมวลผล

ผังการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันสร้างเรซูเม่อัจฉริยะดังแสดงในภาพที่ 2 ถูกออกแบบให้รองรับกระบวนการสร้างเรซูเม่อย่างเป็นลำดับขั้น โดยเริ่มตั้งแต่การเข้าสู่ระบบ การจัดการข้อมูล การประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์ ไปจนถึงการส่งออกเอกสาร

กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากการยืนยันตัวตนและเข้าสู่ระบบ (Authentication and Access Control) ที่หน้าแรก (Landing Page) ซึ่งผู้ใช้งานต้องดำเนินการสมัครสมาชิกหรือเข้าสู่ระบบผ่านการตรวจสอบสิทธิ์เพื่อความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูล ภายหลังจากเข้าสู่ระบบสำเร็จ ผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่กระบวนการสร้างเรซูเม่ (Resume Creation Process) โดยเริ่มจากการกำหนดค่าเริ่มต้น อาทิ ภาษา ระดับประสบการณ์ และระดับการศึกษา จากนั้นจึงดำเนินการกรอกข้อมูลตามลำดับขั้น ได้แก่ ข้อมูลส่วนบุคคล ประสบการณ์การทำงาน ประวัติการศึกษา และทักษะ เพื่อให้ระบบสามารถรวบรวมและจัดโครงสร้างได้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ ระบบยังรองรับการจัดการข้อมูลเรซูเม่ (Resume Management) ที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถดูรายการเรซูเม่ แก้ไข หรือลบข้อมูลที่ไม่ต้องการได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความยืดหยุ่นในการจัดการเอกสารหลายรูปแบบภายในบัญชีผู้ใช้งานเดียว

ในด้านการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Integration) ระบบได้บูรณาการเทคโนโลยีผ่าน Gemini API เพื่อสนับสนุนการจัดทำเรซูเม่อย่างอัจฉริยะ ครอบคลุมฟังก์ชันการสร้างสรุปประวัติอัตโนมัติ (AI Summary) การปรับปรุงข้อความ (AI Rewrite) การแปลภาษา (AI Translate) การแนะนำเทมเพลต (AI Match Template) และการสร้างเทมเพลตเฉพาะบุคคล (AI Custom Template) หลังจากกรอกข้อมูลและผ่านการประมวลผลด้วยปัญญาประดิษฐ์แล้ว ผู้ใช้งานสามารถเข้าสู่ขั้นตอนการเลือกเทมเพลตและการแสดงผลแบบเวลาจริง (Template Selection and Real-time Preview) เพื่อปรับแต่งสี ฟอนต์ และรูปแบบการจัดวางเอกสาร พร้อมตรวจสอบความถูกต้องก่อนการส่งออก ยิ่งไปกว่านั้น ระบบยังรองรับการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับระบบ ATS (ATS Analysis and Export Process) เพื่อประเมินความเหมาะสมของเนื้อหาก่อนนำไปใช้งานจริง โดยสามารถส่งออกเอกสารในรูปแบบ PDF สำรองข้อมูลในรูปแบบ JSON และบันทึกข้อมูลลงฐานระบบ ท้ายที่สุด ระบบได้ออกแบบส่วนจัดการสำหรับผู้ดูแลระบบ (Administrative Module) เพื่อใช้ในการควบคุม จัดการข้อมูลผู้ใช้งาน จัดการเทมเพลต ตรวจสอบบันทึกกิจกรรม และดูรายงานสถิติการใช้งาน ซึ่งช่วยสนับสนุนการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2 แผนผังการทำงานของระบบ

2.2 ขั้นตอนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

ผู้วิจัยแบ่งกระบวนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันออกเป็น 4 ระยะหลัก ได้แก่

1. การพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ (Frontend Development): จัดเตรียมโครงสร้างด้วย Next.js พัฒนาหน้าเว็บหลัก ระบบสมาชิก หน้าจัดการเรซูเม่ และระบบสร้างเรซูเม่แบบ Wizard จำนวน 5 ขั้นตอน รวมถึงหน้าผู้ดูแลระบบ และใช้ Zustand จัดการสถานะข้อมูล

2. การพัฒนาเซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล (Server and Database Architecture): พัฒนา REST API ด้วย Hono Framework และใช้ Cloudflare D1 เป็นฐานข้อมูล โดยออกแบบตารางข้อมูลหลัก เช่น user, resume, experience เป็นต้น และแบ่งกลุ่ม API ออกเป็น 4 กลุ่มหลัก

3. การเชื่อมต่อระบบปัญญาประดิษฐ์ (AI Integration): เชื่อมต่อกับ Gemini 2.5 Flash API รองรับ 5 ฟังก์ชัน ได้แก่ AI Summary, AI Match Template, AI Custom Template, AI Rewrite และ AI Translate โดยประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคำสั่ง เพื่อควบคุมทิศทางและคุณภาพของผลลัพธ์ เช่น ในฟังก์ชัน AI Summary

ระบบจะส่งคำสั่งเบื้องหลังในลักษณะ “ทำหน้าที่เป็นผู้เชี่ยวชาญด้านทรัพยากรบุคคล (HR Expert) จงเขียนสรุปประวัติการทำงานความยาว 3-4 บรรทัด โดยดึงจุดเด่นจากประสบการณ์ทำงานและทักษะที่มี เพื่อใช้สมัครในตำแหน่งที่ต้องการ ด้วยภาษาทางการและน่าเชื่อถือ” ซึ่งช่วยให้ AI สร้างเนื้อหาที่นำไปใช้ได้จริง

4. การทดสอบระบบ (System Testing): ก่อนนำระบบไปทดลองใช้งานจริง ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบอย่างเป็นขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การทดสอบระดับระบบ (System Testing) เพื่อตรวจสอบการทำงานของฟังก์ชันย่อย 2) การทดสอบการทำงานร่วมกัน (Integration Testing) เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่าง Frontend, Backend และ Gemini API และ 3) การทดสอบการยอมรับของผู้ใช้ (User Acceptance Testing: UAT) ผ่านผู้ใช้งานทดลอง เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์และแก้ไขข้อบกพร่องก่อนเปิดใช้งานจริง

2.3 กลุ่มตัวอย่างและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บุคคลทั่วไปที่มีความต้องการจัดทำเรซูเม่เพื่อใช้ในการสมัครงาน โดยกลุ่มตัวอย่างมีจำนวนทั้งสิ้น 33 คน ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบไม่อาศัยความน่าจะเป็น (Non-Probability Sampling) ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบประเมินประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชันและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งมีลักษณะเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยแบ่งประเด็นการประเมินออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ ประกอบด้วย 1) ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ 2) ด้านความถูกต้องและเหมาะสมของเนื้อหา ส่วนที่ 2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ได้แก่ ด้านความง่ายต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน

ทั้งนี้ เครื่องมือที่ใช้ได้ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศจำนวน 2 ท่าน ทำการประเมินดัชนีความสอดคล้อง (Item-Objective Congruence: IOC) สำหรับข้อคำถามจำนวน 16 ข้อ ซึ่งผลการประเมินพบว่าข้อคำถามมีค่า IOC อยู่ระหว่าง 0.50 – 1.00 โดยมีค่า IOC เฉลี่ยรวมอยู่ที่ 0.94 ถือว่าเครื่องมือมีความเที่ยงตรงและเหมาะสม สามารถนำไปใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจริงได้

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพื้นฐาน โดยเทียบเกณฑ์การแปลผลตามแนวทางของ ชูศรี วงศ์รัตนะ (2564) (ระดับ 4.50-5.00 = มากที่สุด, 3.50-4.49 = มาก, 2.50-3.49 = ปานกลาง, 1.50-2.49 = น้อย, 1.00-1.49 = น้อยที่สุด)

1. ค่าเฉลี่ย (Mean: $\overline{x}$) ใช้สำหรับหาค่ากลางของคะแนนการประเมินประสิทธิภาพของระบบเว็บแอปพลิเคชัน และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

$$\overline{x} = \frac{\sum x}{n}$$

2. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) ใช้สำหรับวัดการกระจายตัวของข้อมูล

$$\text{S. D.} = \sqrt{\frac{\sum (x - \overline{x})^2}{n - 1}}$$

3. ค่าร้อยละ (Percentage) ใช้สำหรับแสดงสัดส่วนข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

$$Percentage = \left(\frac{f}{n}\right) \times 100$$

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

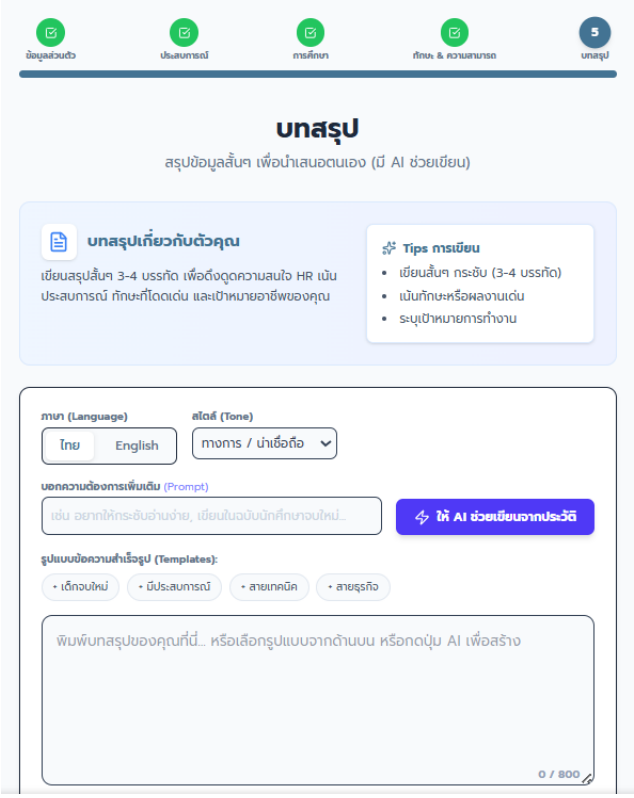
ผลการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสร้างเรซูเม่อัจฉริยะ พบว่าระบบสามารถรองรับการจัดทำเอกสารสมัครงานได้อย่างครบถ้วน ประกอบด้วยองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่



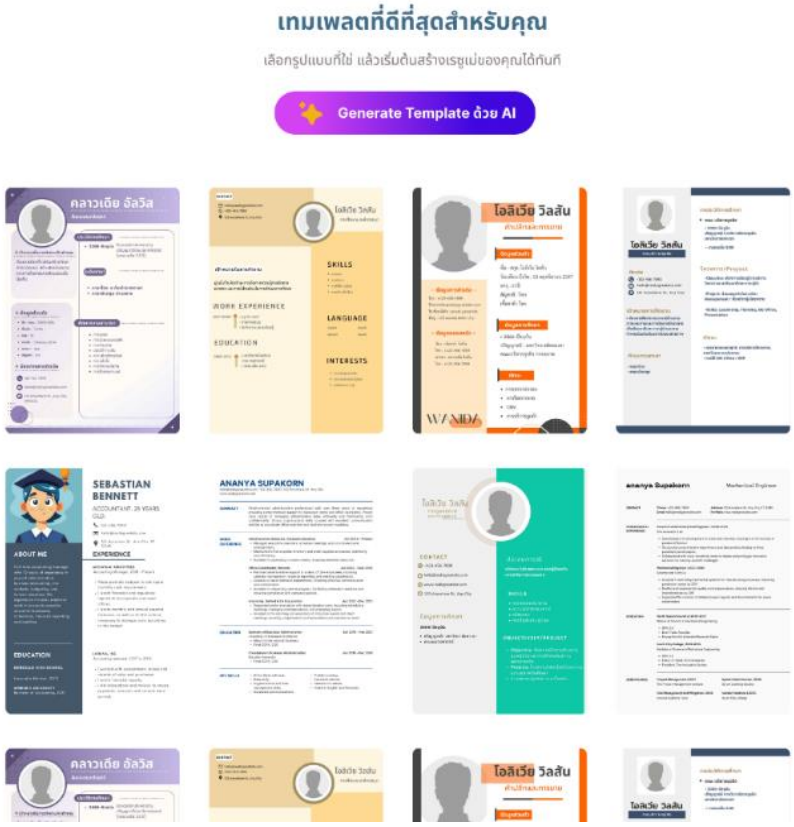
ภาพที่ 3 หน้าจอตั้งค่าเริ่มต้นสำหรับสร้างเรซูเม่



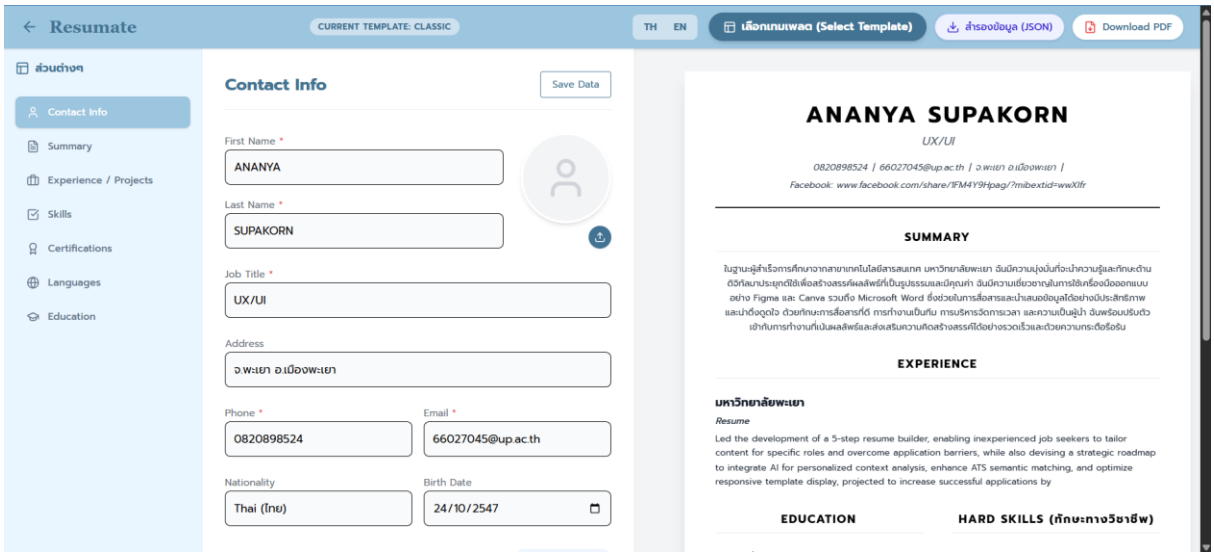
ภาพที่ 4 หน้าจอการเริ่มต้นสร้างเรซูเม่และขั้นตอนการกรอกข้อมูลส่วนตัว



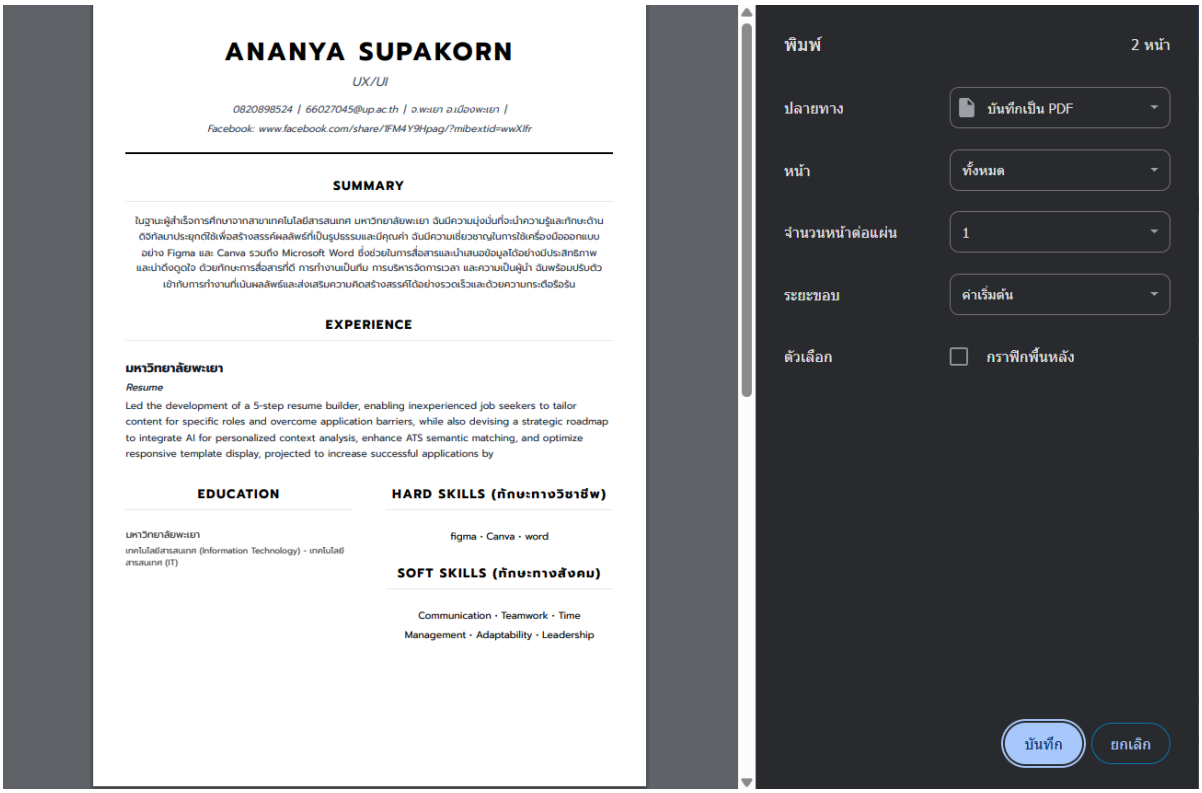
ภาพที่ 5 หน้าจอการทำงานของระบบปัญญาประดิษฐ์ช่วยเขียนสรุปประวัติ



ภาพที่ 6 หน้าจอคลังเทมเพลตเรซูเม่และระบบแนะนำเทมเพลตด้วยปัญญาประดิษฐ์



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการใช้งานระบบจริง แสดงการป้อนข้อมูลผู้ใช้งานร่วมกับการแสดงผลเรซูเม่แบบเวลาจริง



ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงขั้นตอนการส่งออกเอกสารเรซูเม่ในรูปแบบไฟล์ PDF เพื่อนำไปใช้งาน

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจ

ผลการทดสอบการใช้งานกับกลุ่มตัวอย่าง 33 คน พบว่าได้รับการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชัน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับผลการประเมิน
ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบ			
1. เว็บแอปพลิเคชันสามารถบันทึกและจัดการข้อมูลเรซูเม่ของผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง	4.09	0.82	มาก
2. เว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลตัวอย่างเรซูเม่ ได้อย่างถูกต้อง	4.19	1.00	มาก
3. ปัญญาประดิษฐ์ (AI) สามารถช่วยปรับปรุงข้อความ และแปลภาษาได้	3.88	1.07	มาก
4. เว็บแอปพลิเคชันสามารถวิเคราะห์ความสอดคล้องของเรซูเม่กับระบบ ATS ได้	3.81	1.12	มาก
5. เว็บแอปพลิเคชันสามารถสร้างเทมเพลตและส่งออกไฟล์เรซูเม่ได้อย่างสมบูรณ์	4.06	0.95	มาก
6. ระบบสามารถนำเข้าข้อมูลและส่งออกเรซูเม่เป็นไฟล์ PDF ตลอดจนบันทึกข้อมูลสำรองในรูปแบบ JSON ได้อย่างสมบูรณ์	4.06	0.88	มาก
รวมเฉลี่ยทั้งหมด	4.02	0.97	มาก
ด้านความถูกต้องและเหมาะสมของเนื้อหา			
1. รูปแบบและโครงสร้างของเรซูเม่มีความเป็นมืออาชีพ และเหมาะสมกับการสมัครงาน	3.84	0.88	มาก
2. เนื้อหาเรซูเม่ที่ได้จากการช่วยประมวลผลของ AI นำไปใช้งานได้จริงอย่างถูกต้อง	3.72	1.08	มาก
3. ฟังก์ชันการวิเคราะห์ ATS ของระบบตรงตามหลักเกณฑ์การคัดกรองเรซูเม่ขององค์กร	3.66	1.21	มาก
4. เทมเพลตที่ระบบจัดไว้ใช้มีความสอดคล้องกับลักษณะสายงานของผู้สมัคร	3.69	1.03	มาก
รวมเฉลี่ยทั้งหมด	3.73	1.05	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการประเมินด้านการทำงานตามฟังก์ชันของระบบโดยรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันของระบบมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.02) และความเหมาะสมของเนื้อหามีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.73) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ออกแบบไว้

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับผลการประเมิน
1. การเลือกใช้สี โทน หน้าเว็บ และขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม	4.38	0.83	มาก
2. การใช้ไอคอนและสัญลักษณ์ มีความเหมาะสม	3.84	1.08	มาก
3. การเลือกใช้ข้อความอธิบายฟังก์ชันต่าง ๆ เพื่อสื่อความหมายมีความเหมาะสม	3.94	1.05	มาก
4. การออกแบบเว็บแอปพลิเคชันมีความสวยงามและง่ายต่อการใช้งาน	3.78	1.01	มาก
5. เว็บแอปพลิเคชันตอบสนองการใช้งาน	4.22	0.94	มาก
6. การแบ่งขั้นตอนกรอกข้อมูล 5 ขั้นตอน เสนอเนื้อหาเข้าใจง่ายและปฏิบัติตามได้	3.81	1.03	มาก
รวมเฉลี่ยทั้งหมด	4.00	0.99	มาก

จากตารางที่ 2 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานด้านความง่ายต่อการใช้งานเว็บแอปพลิเคชันภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.00) โดยผู้ใช้งานมีความพึงพอใจสูงสุดในเรื่องของการเลือกใช้สี โทนหน้าเว็บและขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม ($\bar{x}$ = 4.38, S.D. = 0.83) รองลงมา คือ แอปพลิเคชันตอบสนองการทำงานได้อย่างรวดเร็ว ($\bar{x}$ = 4.22, S.D. = 0.94) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการออกแบบการติดต่อผู้ใช้งานมีความสวยงาม เหมาะสม และตอบโจทย์ประสบการณ์ของผู้ใช้งานได้อย่างดี

3.3 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า เว็บแอปพลิเคชันสร้างเรซูเม่อัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนกระบวนการจัดทำเอกสารสมัครงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความรวดเร็ว ความถูกต้องของรูปแบบเอกสาร และการช่วยเรียบเรียงเนื้อหาให้อยู่ในรูปแบบที่กระชับและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง จากผลการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ชี้ให้เห็นว่าระบบสามารถแก้ไขปัญหาและเติมเต็มช่องว่างงานวิจัยที่ระบุไว้ในบทนำอย่างเป็นรูปธรรม กล่าวคือ ระบบก้าวข้ามข้อจำกัดของแพลตฟอร์มเรซูเม่แบบเดิมที่เน้นการใช้งานเทมเพลตแบบสำเร็จรูปโดยการบูรณาการความสามารถของ Generative AI เข้ากับกระบวนการสร้างเรซูเม่ ทำให้เกิดระบบที่มีความเฉพาะเจาะจงกับผู้ใช้งานแต่ละบุคคล ช่วยลดข้อจำกัดทักษะด้านการออกแบบและการเขียนข้อความเชิงวิชาชีพได้อย่างแท้จริง

ผลการประเมินความพึงพอใจยังสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้และประสบการณ์การใช้งาน โดยด้านการเลือกใช้สี โทนหน้าเว็บ และขนาดตัวอักษรมีความเหมาะสม และใช้งานง่ายได้รับคะแนนเฉลี่ยสูงสุด ($\overline{x}$ = 4.38, S.D. = 0.83) จุดเด่นสำคัญที่ทำให้ระบบนี้มีความโดดเด่นและตอบโจทย์กว่าแพลตฟอร์มอื่น คือการผสานระบบแสดงผลตัวอย่างแบบเวลาจริง (Real-time Preview) ควบคู่ไปกับการกรอกข้อมูล ซึ่งตอบสนองต่อพฤติกรรมของผู้ใช้งานที่ต้องการเห็นการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบและเนื้อหาในทันที ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Norman (2013) ที่อธิบายว่าการออกแบบระบบให้สอดคล้องกับพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้ใช้งานสามารถช่วยลดภาระทางความคิด และส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อวิเคราะห์เจาะลึกผลคะแนนประเมินพบว่า คะแนนเฉลี่ยด้านความถูกต้องและเหมาะสมของเนื้อหา ($\overline{x}$ = 3.73) มีค่าน้อยกว่าด้านความง่ายต่อการใช้งาน ($\overline{x}$ = 4.00) สาเหตุหลักเป็นเพราะคุณภาพเนื้อหาที่ AI สร้างขึ้นนั้นยังต้องพึ่งพาข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งานหลัก หากผู้ใช้ป้อนข้อมูลเบื้องต้นน้อยเกินไปหรือไม่ชัดเจน AI จะไม่สามารถดึงจุดเด่นออกมาได้อย่างเต็มที่ ต่างจากด้านการใช้งานที่ได้ออกแบบตาม UX/UI สมัยใหม่ซึ่งมอบประสบการณ์ที่ตรงไปตรงมา นอกจากนี้ในฟังก์ชันการวิเคราะห์ความสอดคล้องของระบบ ATS กลับได้คะแนนประเมินต่ำสุดในกลุ่ม ($\overline{x}$ = 3.66) สาเหตุเป็นเพราะระบบ ATS ที่ใช้ในองค์กรต่าง ๆ มีความหลากหลายและใช้หลักเกณฑ์การสกัดคำที่แตกต่างกัน การที่ระบบประเมินว่าสอดคล้องในระดับหนึ่งอาจยังไม่เพียงพอต่อความคาดหวังของผู้ใช้งานที่ต้องการความมั่นใจสูงสุดว่าจะต้องผ่านทุกระดับคัดกรอง ประกอบกับการแสดงผลข้อแนะนำการปรับปรุงในบางครั้งอาจลักษณะเป็นศัพท์เทคนิคเกินไปสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป

ในด้านการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ ระบบมีความโดดเด่นในการใช้แบบจำลองภาษาขนาดใหญ่เพื่อช่วยสร้างสรุปประวัติและปรับปรุงข้อความอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม ยังพบความท้าทายและข้อจำกัดที่สำคัญ คือ ปัญหาอาการหลอนของโมเดล และความลำเอียง ในบางกรณีพบ AI อาจพยายามเติมเนื้อหาโดยสร้างข้อมูลทักษะหรือประสบการณ์ที่ผู้สมัครไม่ได้มีอยู่จริงเพื่อให้ดูสอดคล้องกับตำแหน่งงาน หรืออาจเลือกถ้อยคำที่สะท้อนความลำเอียงทางวิชาชีพบางประการ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ระบบต้องให้ความสำคัญผู้ใช้งานจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบและทบทวนเนื้อหาอย่างละเอียดด้วยตนเอง ก่อนนำเรซูเม่ไปใช้งานจริงเสมอ ข้อค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tayal et al. (2024) และ Jadhav et al. (2025) ที่ระบุว่าปัญญาประดิษฐ์สามารถช่วยยกระดับคุณภาพของเรซูเม่ได้ แต่ประสิทธิภาพของผลลัพธ์ยังขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลและบริบทที่ผู้ใช้งานป้อนเข้าสู่ระบบ

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มุ่งเน้นการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อคัดกรองผู้สมัครจากมุมมองขององค์กรหรือฝ่ายทรัพยากรมนุษย์ (Gan et al., 2024) งานวิจัยนี้มีจุดแตกต่างอย่างชัดเจน โดยมุ่งเน้นการออกแบบระบบในลักษณะผู้สมัครเป็นศูนย์กลาง (User-Centric Approach) กล่าวคือ ผู้ใช้งานสามารถใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อช่วยสร้าง ปรับแต่ง และประเมินความเหมาะสมของเรซูเม่ได้ด้วยตนเอง

ก่อนเข้าสู่กระบวนการสมัครงาน แนวทางดังกล่าวช่วยส่งเสริมบทบาทเชิงรุกของผู้สมัครในการเตรียมเอกสารและช่วยลดข้อจำกัดของผู้ที่ยังขาดประสบการณ์ในการจัดทำเรซูเม่

นอกจากนี้การเลือกใช้สถาปัตยกรรมการประมวลผลแบบไร้เซิร์ฟเวอร์บนเครือข่ายส่วนขอบ (Serverless Edge Computing) ยังเป็นจุดเด่นทางเทคนิคที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองของระบบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงและประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินและข้อเสนอแนะด้านรูปแบบแม่แบบที่พบว่าการแสดงผลในบางความละเอียดหน้าจอ (Resolution) ยังมีความคลาดเคลื่อนสะท้อนให้เห็นว่าระบบยังต้องเพิ่มความยืดหยุ่นในการปรับแต่งรูปแบบ เช่น การปรับขนาดกล่องข้อมูลให้พอดีกับตัวอักษร ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบในอนาคต โดยภาพรวมระบบที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง และสามารถช่วยสนับสนุนการเตรียมความพร้อมด้านการสมัครงานในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านการลดระยะเวลา การเพิ่มคุณภาพของเรซูเม่ และการส่งเสริมโอกาสในการเข้าสู่ตลาดแรงงานของผู้ใช้งานได้อย่างเป็นธรรม

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบสร้างเรซูเม่อัจฉริยะที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับสถาปัตยกรรม Serverless Edge Computing เพื่อให้ผู้สมัครงานปรับเนื้อหาได้สอดคล้องกับลักษณะงาน โดยระบบสามารถรองรับการสร้างเรซูเม่ผ่านกระบวนการ 5 ขั้นตอนได้อย่างสมบูรณ์ ผลการประเมินพบว่าระบบตอบสนองได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพการใช้งานโดยรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในศูนย์แนะแนวอาชีพของสถาบันการศึกษา เพื่อช่วยแก้ปัญหาและลดข้อจำกัดสำหรับผู้ที่ขาดทักษะหรือยังไม่มีประสบการณ์ในการทำเอกสารสมัครงาน สำหรับแนวทางในอนาคตควรพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ให้สามารถวิเคราะห์บริบทเฉพาะบุคคลได้ลึกซึ้งยิ่งขึ้น ควบคู่กับการยกระดับการวิเคราะห์ความสอดคล้องกับระบบคัดกรองอัตโนมัติ (ATS) เชิงความหมาย รวมถึงการเพิ่มความยืดหยุ่นของการแสดงผลเทมเพลตในแต่ละความละเอียดหน้าจอให้สมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ชูศรี วงศ์รัตนะ. (2564). *เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย* (พิมพ์ครั้งที่ 15). กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย. (2561). *ปรับทิศทางเศรษฐกิจไทยให้พร้อมสู่ยุคแห่งความปั่นป่วนทางเทคโนโลยี* (TDRI Report ฉบับที่ 142). เข้าถึงได้จาก : https://tdri.or.th/wp-content/uploads/2018/09/wb142.pdf (สืบค้นเมื่อ : 9 พฤศจิกายน 2568).

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2569). *สรุปผลการสำรวจภาวะการทำงานของประชากร ไตรมาสที่ 4 พ.ศ. 2568.* กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. เข้าถึงได้จาก : https://www.nso.go.th/nsoweb/storage/survey_detail/2026/20260223141532_13518.pdf (สืบค้นเมื่อ : 9 มีนาคม 2569).

Anil, R., Borgeaud, S., Wu, Y., Cai, J.-F., Firat, O., Zhong, L., ... & Gemini Team. (2024). Gemini: A family of highly capable multimodal models. arXiv preprint arXiv:2312.11805.

Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J. D., Dhariwal, P., & Amodei, D. (2020). Language models are few-shot learners. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *33*, 1877–1901.

Cloudflare. (2024). *Cloudflare Workers and D1*. Available at: https://developers.cloudflare.com (Accessed: 9 December 2025).

Flanagan, D. (2020). JavaScript: The Definitive Guide: Master the World's Most-Used Programming Language. O'Reilly Media.

Gan, C., Zhang, Q., & Mori, T. (2024). Application of LLM agents in recruitment: A novel framework for resume screening. arXiv preprint arXiv:2401.08315.

Google. (2024). *Gemini API*. Available at: https://ai.google.dev (Accessed: 12 October 2025).

Hipp, R. (2024). *SQLite*. Available at: https://www.sqlite.org (Accessed: 30 October 2025).

Hono contributors. (2024). *Hono*. Available at: https://hono.dev (Accessed: 8 December 2025).

Jadhav, P., Deshmukh, A., & Kulkarni, S. (2025). CLEVERCV: Gen-AI Driven Resume Builder Enhancing Resume Creation and ATS Optimization. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT), 13*(1), 458–467.

Jonas, E., Schleier-Smith, J., Sreekanti, V., Tsai, C.-C., Khandelwal, A., Pu, Q., & Patterson, D. A. (2019). Cloud programming simplified: A Berkeley view on serverless computing. arXiv preprint arXiv:1902.03383.

Mardan, A. (2017). *React and React Native*. Apress.

Min, B., Ross, H., Sulem, E., Veyseh, A. P. B., Nguyen, T. H., Sainz, O., & Roth, D. (2023). Recent advances in natural language processing via large pre-trained language models: A survey. *ACM Computing Surveys*, *56*(2), 1–40.

Mungi, N. V. S. R. (2022). Resume Screening Using Machine Learning. *Journal of Engineering Sciences*, *13*(09), 23–28.

Norman, D. (2013). *The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition*. Basic Books.

Riva, M. (2022). Real-World Next.js: Build Scalable, High-Performance, and Modern Web Applications Using Next.js. Packt Publishing.

Tailwind Labs. (2024). *Tailwind CSS*. Available at: https://tailwindcss.com (Accessed: 5 February 2026).

Tayal, S., Sharma, T., Singhal, S., & Thakur, A. (2024). Resume Screening using Machine Learning. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, *10*(2), 182–189.

Torvalds, L., & Git contributors. (2024). *Git*. Available at: https://git-scm.com/ (Accessed: 24 March 2026).

Vercel. (2024). *Next.js Documentation*. Available at: https://nextjs.org/docs (Accessed: 15 January 2026).

Yelubolu, S. C., Vinay, T., Mahesh, D. Y. S. R., Lukeshbabu, P., Surya, D. N. V. S., & Krishna, O. S. R. (2026). Automated ATS-Optimized Resume Builder with Dynamic Templates. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, *14*(3), 115–124.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26108)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26108)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร

Development of an Information System for Online Classroom Management at Sribangsai School

สิริญญา โกษะ[1] และอธิบ โพทอง[2,*]
Siriya Kosa[1] and Atip Phothong[2,*]

[1]โรงเรียนศรีบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13190
[2]คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
[1]Sri Bangsai School, Phranakhon Si Ayutthaya 13190, Thailand
[2]Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 03-06-2026, Revised: 23-06-2026, Accepted: 23-06-2026, Published: 26-06-2026

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการชั้นเรียนในสถานศึกษายังคงประสบปัญหาในการติดตามการมาเรียน การจัดเก็บข้อมูลนักเรียน การบันทึกคะแนน และการจัดการกิจกรรมต่าง ๆ ภายในชั้นเรียน ส่งผลให้ครูและบุคลากรทางการศึกษามีภาระงานด้านเอกสารและการบริหารข้อมูลเพิ่มขึ้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร ประเมินประสิทธิภาพของระบบ และศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยประยุกต์ใช้กระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศตามแนวทาง System Development Life Cycle (SDLC) ในการวิเคราะห์ ออกแบบ พัฒนา ทดสอบ และประเมินผลระบบ ระบบถูกพัฒนาในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันโดยใช้ Google Apps Script ร่วมกับ Google Sheets เพื่อรองรับการจัดการข้อมูลนักเรียน การเช็คชื่อ การติดตามการมาเรียน การจัดการตารางสอน การบันทึกคะแนนพฤติกรรม การบันทึกข้อมูลสุขภาพนักเรียน และการรายงานผลสารสนเทศ ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรองรับการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการประเมินคุณภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน พบว่าระบบมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.23, S.D. = 0.26) และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 60 คน พบว่ามีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.18, S.D. = 0.48) โดยผู้ใช้งานมีความพึงพอใจสูงต่อการออกแบบระบบ ความง่ายในการใช้งาน และความสามารถในการสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียน ผลการศึกษาสรุปได้ว่าระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการข้อมูลภายในชั้นเรียน ลดภาระงานด้านเอกสาร และสนับสนุนการติดตามข้อมูลนักเรียนได้อย่างเป็นระบบ อันเป็นแนวทางสำคัญในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อพัฒนาการบริหารจัดการสถานศึกษาในยุคดิจิทัล

คำสำคัญ : ระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์, ระบบสารสนเทศทางการศึกษา, การบริหารจัดการชั้นเรียน, Google Apps Script

Abstract

Traditional classroom management in Thai schools often faces challenges in monitoring student attendance, recording academic performance, and managing classroom activities, which can reduce the efficiency of teaching and administrative processes. This study aimed to develop an online classroom management system for Sribangsai School, evaluate its performance, and investigate user satisfaction with the developed system. The research

*Corresponding author: atip@aru.ac.th

adopted the System Development Life Cycle (SDLC) approach, including system analysis, design, development, testing, deployment, and evaluation. The system was developed as a web-based application using Google Apps Script and Google Sheets to support student information management, attendance tracking, class scheduling, behavioral score recording, student health monitoring, savings records, and report generation. The results indicated that the developed system effectively supported classroom management and educational administration. Evaluation by three information technology experts revealed that the overall system quality was at a high level ($\bar{x}$ = 4.23, *S.D.* = 0.26). In addition, the satisfaction assessment of 60 users showed a high level of overall satisfaction ($\bar{x}$ = 4.18, S.D. = 0.48), particularly in terms of system design, ease of use, and functionality. The findings demonstrate that the developed system is suitable for practical implementation and can enhance the efficiency of classroom management, reduce administrative workload, and improve access to student information. In conclusion, the online classroom management system developed in this study provides an effective digital solution for classroom administration and supports the integration of information technology into educational management. Future development should focus on improving system performance and expanding interoperability with other educational information systems.

Keywords: Online Classroom Management System, Educational Information System, Classroom Management, Google Apps Script

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีดิจิทัลส่งผลให้สถานศึกษามีการนำระบบสารสนเทศและเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการและพัฒนากระบวนการเรียนการสอนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการบริหารจัดการชั้นเรียน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน การติดตามพฤติกรรม การประเมินผล และการสื่อสารระหว่างครู นักเรียน และผู้ปกครอง การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูล ลดภาระงานด้านเอกสาร และสนับสนุนการตัดสินใจของครูและผู้บริหารสถานศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Nguyen et al., 2023) แม้ว่าปัจจุบันจะมีการนำระบบออนไลน์และระบบจัดการเรียนรู้ (Learning Management System: LMS) มาใช้ในสถานศึกษาอย่างแพร่หลาย แต่การบริหารจัดการข้อมูลภายในชั้นเรียนในหลายโรงเรียนยังคงดำเนินการผ่านเอกสารหรือโปรแกรมที่แยกส่วนกัน เช่น การเช็คชื่อ การบันทึกคะแนน การติดตามพฤติกรรม และการจัดเก็บข้อมูลกิจกรรมประจำวัน ส่งผลให้เกิดความซ้ำซ้อนของข้อมูล การสืบค้นข้อมูลทำได้ยาก และเพิ่มภาระงานให้แก่ครูผู้สอน นอกจากนี้ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพในการติดตามผลการเรียนรู้และพัฒนาการของผู้เรียนในระยะยาว งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้ระบบออนไลน์สามารถช่วยเพิ่มการมีส่วนร่วมของผู้เรียนและสนับสนุนการติดตามผลการเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Tekir, 2025) ขณะที่ Thitiapinan et al. (2023) รายงานว่าการพัฒนาระบบที่รวบรวมข้อมูลด้านการเรียนการสอนไว้ในแพลตฟอร์มเดียวสามารถช่วยลดภาระงานของครูและเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการชั้นเรียนได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังมุ่งเน้นการจัดการเรียนการสอนหรือการพัฒนาเว็บไซต์เพื่อสนับสนุนการเรียนรู้เป็นหลัก ขณะที่การบูรณาการข้อมูลด้านการมาเรียน ตารางสอน คะแนนพฤติกรรม กิจกรรม

ประจำวัน และข้อมูลนักเรียนไว้ในระบบเดียว พร้อมทั้งประเมินทั้งประสิทธิภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งานในบริบทของโรงเรียนระดับการศึกษาขั้นพื้นฐานยังมีการศึกษาไม่มากนัก

โรงเรียนศรีบางไทร ตำบลบางไทร อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ประสบปัญหาในการจัดเก็บและบริหารจัดการข้อมูลชั้นเรียน เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ถูกจัดเก็บในหลายรูปแบบและหลายแหล่งข้อมูล ทำให้การติดตามผล การสืบค้นข้อมูล และการจัดทำรายงานเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเป็นไปอย่างล่าช้า ดังนั้น การพัฒนาระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์ที่สามารถรวบรวมข้อมูลสำคัญไว้ในระบบเดียวและสามารถเข้าถึงได้ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจึงเป็นแนวทางที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการชั้นเรียนและลดภาระงานของครูได้อย่างเป็นรูปธรรม จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทรโดยใช้แนวทาง System Development Life Cycle (SDLC) เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียน การติดตามผลการเรียน และการจัดทำรายงานสารสนเทศอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบและศึกษาความพึงพอใจของครูและบุคลากรทางการศึกษาที่มีต่อการใช้งานระบบที่พัฒนาขึ้น

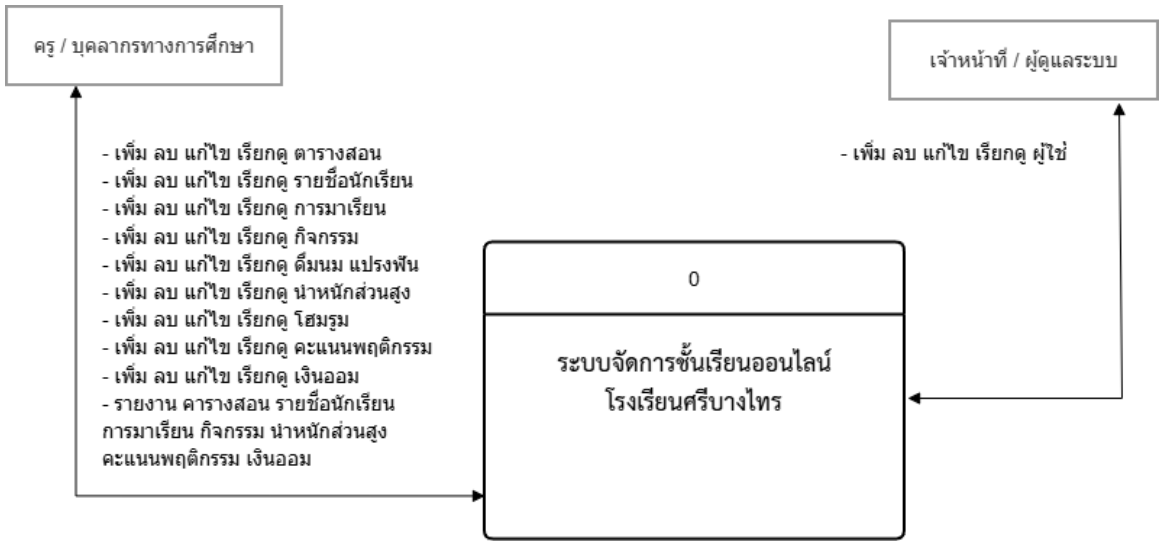
2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร โดยประยุกต์ใช้กระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศตามแนวทาง SDLC ประกอบด้วยการวิเคราะห์ความต้องการ การออกแบบระบบ การพัฒนาระบบ การทดสอบระบบ การนำระบบไปใช้งาน และการประเมินผล

2.1 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ผู้วิจัยศึกษาปัญหาและความต้องการของผู้ใช้งานจากครู นักเรียน และผู้บริหารโรงเรียน โดยใช้การสัมภาษณ์และการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการดำเนินงานเดิม เพื่อนำมาวิเคราะห์ความต้องการของระบบ (System Requirement Analysis) และกำหนดขอบเขตการทำงานของระบบ จากนั้นจึงออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล กระบวนการทำงาน และส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface: UI) ให้สอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้

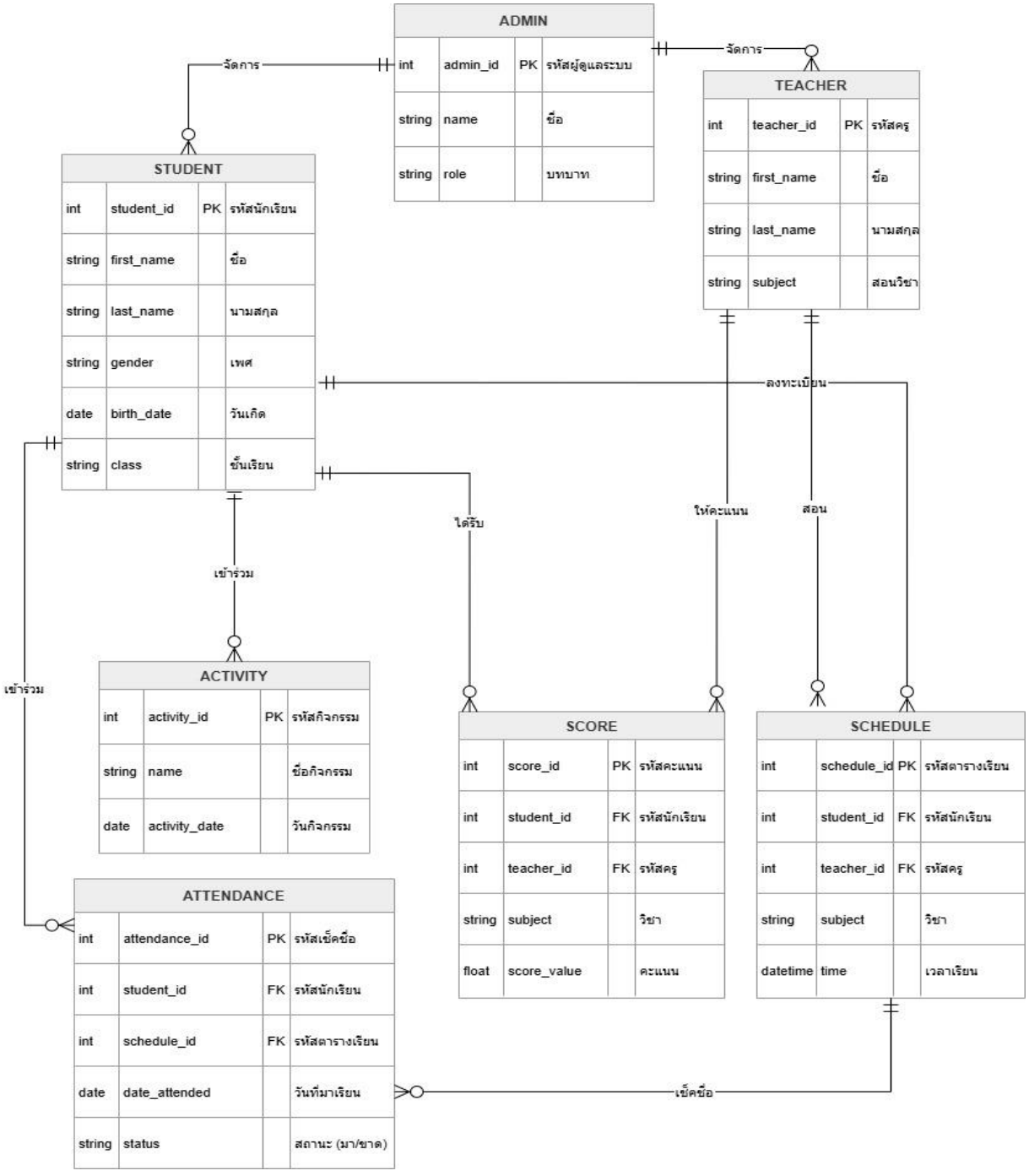
ระบบถูกออกแบบให้รองรับการจัดการข้อมูลนักเรียน การบันทึกการมาเรียน การจัดการตารางสอน การบันทึกคะแนนพฤติกรรม การจัดกิจกรรมประจำวัน และการรายงานผลสารสนเทศ โดยจัดทำแผนภาพบริบท (Context Diagram) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานและระบบ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Context Diagram ของระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์โรงเรียนศรีบางไทร

จากภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานและระบบ โดยครูและบุคลากรทางการศึกษาเป็นผู้บันทึกและเรียกใช้ข้อมูลภายในระบบ ได้แก่ ตารางสอน รายชื่อนักเรียน การมาเรียน กิจกรรมประจำวัน ข้อมูลสุขภาพนักเรียน และคะแนนพฤติกรรม ซึ่งระบบทำหน้าที่รวบรวม ประมวลผล และรายงานสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียน

ภายหลังการกำหนดขอบเขตการทำงานของระบบ ผู้วิจัยได้ออกแบบฐานข้อมูลด้วยแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี (Entity Relationship Diagram: ERD) เพื่อกำหนดโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลภายในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 Entity Relationship Diagram ของระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์โรงเรียนศรีบางไทร

จากภาพที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ของฐานข้อมูลภายในระบบ ประกอบด้วยเอนทิตีหลัก ได้แก่ ADMIN, TEACHER, STUDENT, ACTIVITY, SCORE, SCHEDULE และ ATTENDANCE ซึ่งเชื่อมโยงกันเพื่อรองรับการจัดเก็บข้อมูล การประมวลผล และการรายงานผลสารสนเทศอย่างเป็นระบบ

2.2 การพัฒนาระบบ

ระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์ได้รับการพัฒนาในรูปแบบ Web Application โดยใช้ Google Apps Script เป็นเครื่องมือหลักในการพัฒนาฟังก์ชันการทำงานของระบบ และใช้ Google Sheets เป็นฐานข้อมูลสำหรับจัดเก็บข้อมูลนักเรียน ครู และกิจกรรมต่าง ๆ ภายในระบบ ระบบประกอบด้วยโมดูลหลัก ได้แก่ ระบบจัดการข้อมูลนักเรียน ระบบเช็คชื่อและติดตามการมาเรียน ระบบจัดการตารางสอน ระบบบันทึกคะแนนพฤติกรรม ระบบบันทึกกิจกรรมประจำวัน และระบบรายงานผลสารสนเทศ โดยออกแบบให้สามารถใช้งานได้ผ่านคอมพิวเตอร์ แท็บเล็ต และสมาร์ตโฟน

2.3 การทดสอบและประเมินระบบ

หลังจากพัฒนาระบบเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบการทำงานของระบบในสภาพแวดล้อมจริง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ความสมบูรณ์ของการประมวลผล และความสามารถในการใช้งานของแต่ละโมดูล การประเมินคุณภาพของระบบดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน โดยใช้แบบประเมินมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ซึ่งประยุกต์จากแนวคิด DeLone and McLean Information Systems Success Model สำหรับการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ดำเนินการกับครูและบุคลากรทางการศึกษา จำนวน 60 คน ภายหลังการใช้งานระบบจริง โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ครอบคลุมด้านเนื้อหาข้อมูล ด้านการออกแบบระบบ และด้านความสามารถในการทำงานของระบบ

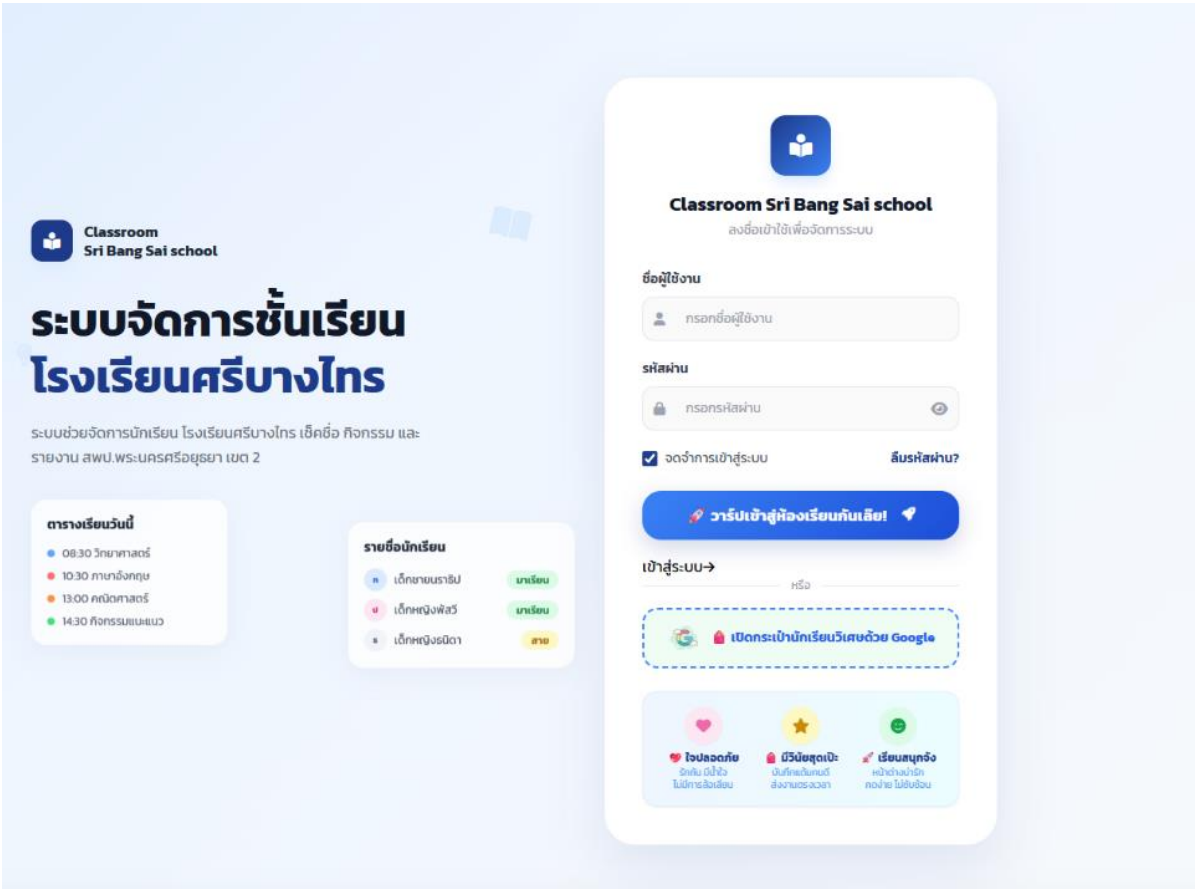
2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณภาพของระบบและความพึงพอใจของผู้ใช้งานถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, S.D.) เพื่ออธิบายระดับคุณภาพของระบบและระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

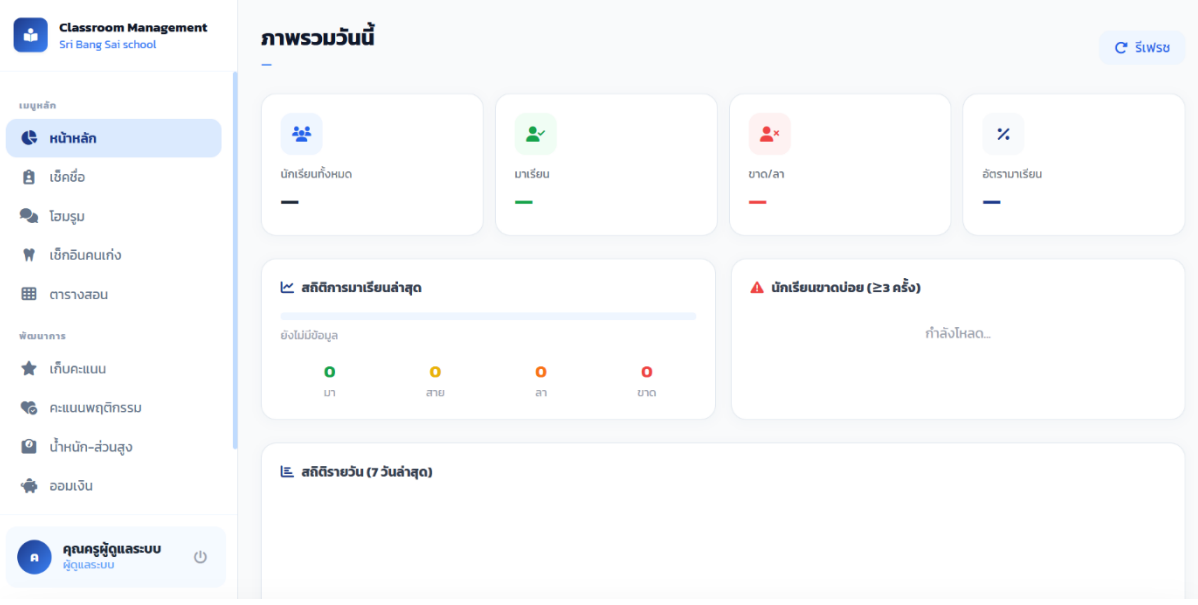
3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการพัฒนาระบบ

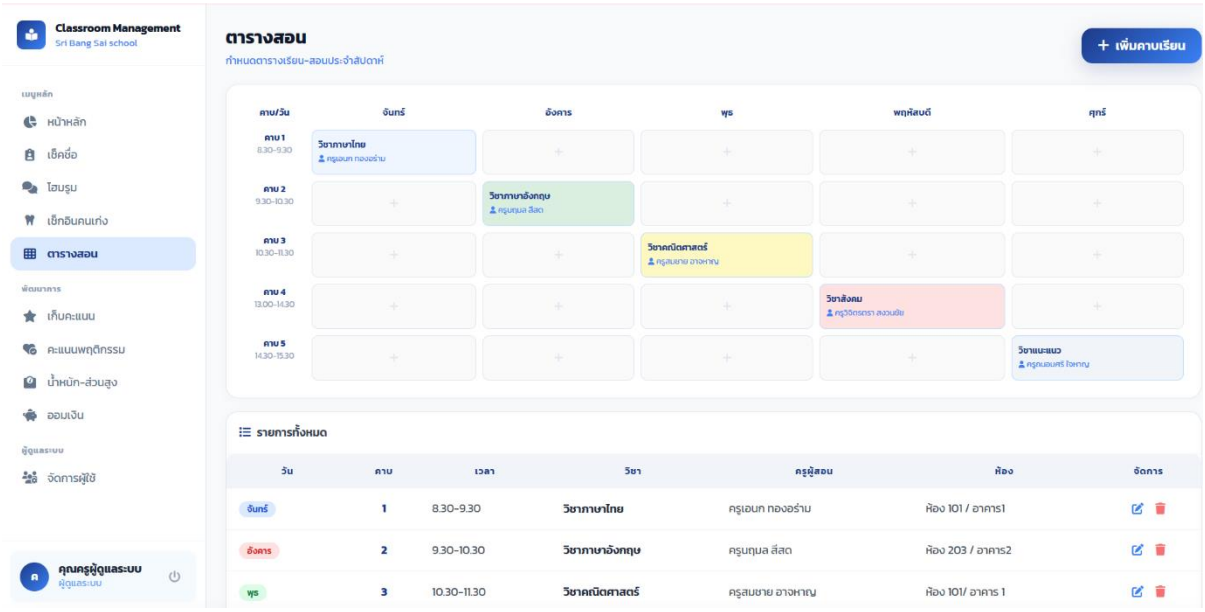
ผลการพัฒนาระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร พบว่าระบบสามารถสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างครบวงจรผ่านระบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบผ่านอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ทุกประเภท ระบบได้รับการออกแบบให้รองรับการใช้งานของครูผู้ดูแลระบบและครูประจำชั้น โดยมีการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตามบทบาทของผู้ใช้งาน



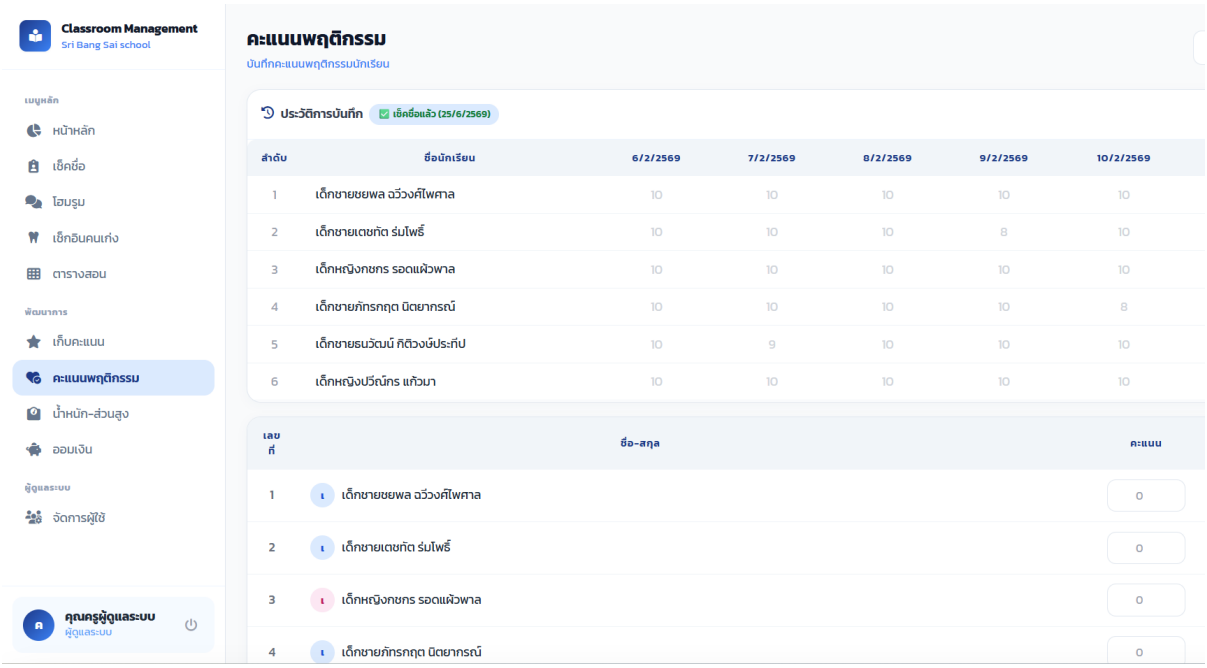
ภาพที่ 3 หน้าจอเข้าสู่ระบบ (Login Page)



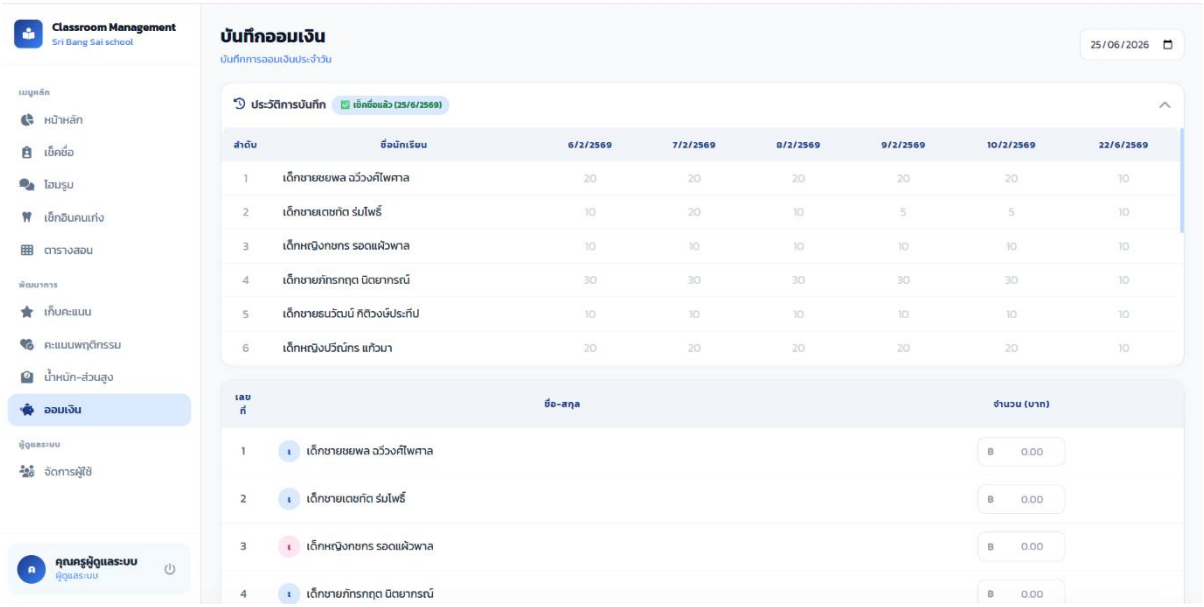
ภาพที่ 4 หน้าหลักของระบบและแดชบอร์ดสรุปข้อมูลการมาเรียน



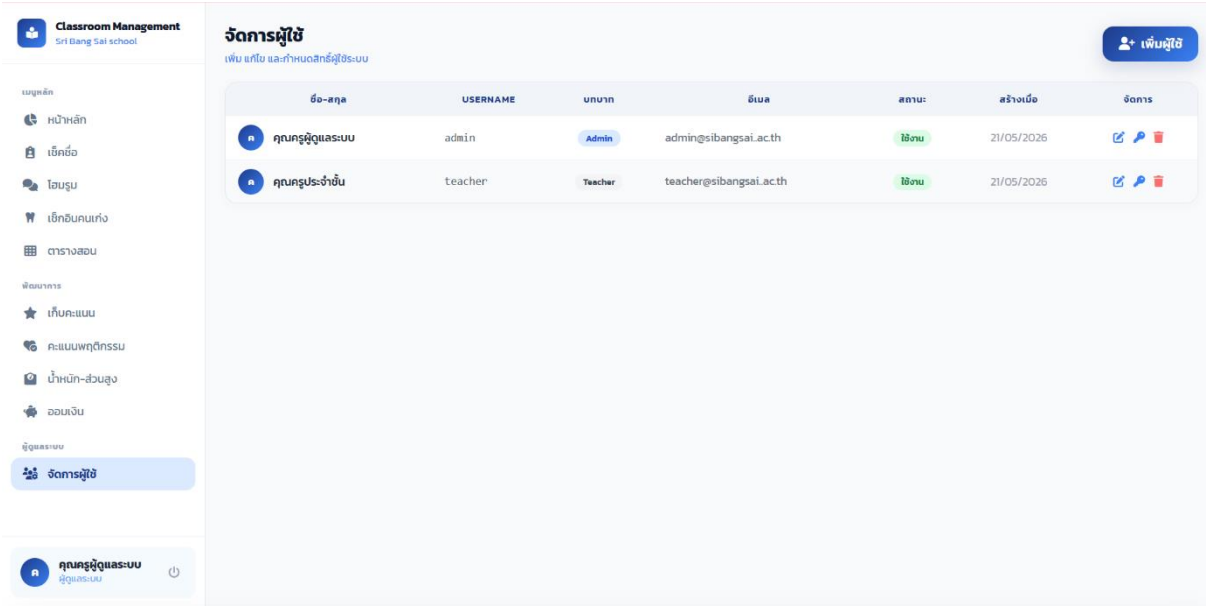
ภาพที่ 5 หน้าจัดการตารางสอนประจำสัปดาห์



ภาพที่ 6 หน้าบันทึกคะแนนพฤติกรรมของนักเรียน



ภาพที่ 7 หน้าบันทึกข้อมูลการออมเงินของนักเรียน



ภาพที่ 8 หน้าจัดการผู้ใช้งานและกำหนดสิทธิ์การเข้าถึงระบบ

ระบบประกอบด้วยโมดูลหลัก ได้แก่ ระบบเข้าสู่ระบบ (Login System) ระบบจัดการข้อมูลนักเรียน ระบบเช็คชื่อและติดตามการมาเรียน ระบบจัดการตารางสอน ระบบบันทึกคะแนนพฤติกรรม ระบบบันทึกข้อมูลสุขภาพนักเรียน ระบบบันทึกการออมเงิน และระบบจัดการผู้ใช้งาน ซึ่งช่วยให้ครูสามารถจัดเก็บและติดตามข้อมูลนักเรียนได้อย่างเป็นระบบ รวมทั้งสามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังและสรุปผลสารสนเทศเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ระบบยังมีหน้าสรุปผลการดำเนินงาน (Dashboard) ที่แสดงข้อมูลสำคัญในรูปแบบสารสนเทศ เช่น สถิติการมาเรียนล่าสุด จำนวนนักเรียนที่ขาดเรียนบ่อย อัตราการมาเรียนรายบุคคล และข้อมูลย้อนหลังรายวัน ซึ่งช่วยให้ครูสามารถติดตามพฤติกรรมและพัฒนาการของนักเรียนได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ตัวอย่างหน้าจอการทำงานของระบบประกอบด้วยหน้าจอเข้าสู่ระบบดังแสดงในภาพที่ 3 หน้าหลักของระบบ (Dashboard) ดังแสดงในภาพที่ 4 หน้าจัดการตารางสอน ดังแสดง

ในภาพที่ 5 หน้าบันทึกคะแนนพฤติกรรม ดังแสดงในภาพที่ 6 หน้าบันทึกการออมเงิน ดังแสดงในภาพที่ 7 และหน้าจัดการผู้ใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 8

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์โดยผู้เชี่ยวชาญ (*n* = 3)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านความสามารถของระบบตรงต่อความต้องการของผู้ใช้	4.28	0.46	มาก
2. ด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ	4.00	0.19	มาก
3. ด้านการใช้งานใช้ระบบ	4.47	0.12	มาก
4. ด้านการประมวลผลของระบบ	4.13	0.32	มาก
5. ด้านการตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูล	4.27	0.23	มาก
รวม	**4.23**	**0.26**	**มาก**

3.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน พบว่า ระบบมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.23, S.D. = 0.26) แสดงให้เห็นว่าระบบมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริงในบริบทของการบริหารจัดการชั้นเรียน เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการใช้งานระบบมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{x}$ = 4.47, S.D. = 0.12) รองลงมา ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบตรงต่อความต้องการของผู้ใช้ ($\bar{x}$ = 4.28, S.D. = 0.46) ด้านการตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูล ($\bar{x}$ = 4.27, S.D. = 0.23) ด้านการประมวลผลของระบบ ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.32) และด้านผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ ($\bar{x}$ = 4.00, S.D. = 0.19) ตามลำดับ โดยทุกด้านอยู่ในระดับมาก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์โรงเรียนศรีบางไทรโดยผู้ใช้งาน (*n* = 60)

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1. ด้านเนื้อหาข้อมูล	**4.18**	**0.60**	**มาก**
1.1 มีความชัดเจน ถูกต้องแม่นยำ	4.17	0.48	มาก
1.2 ระบบมีความเหมาะสม น่าสนใจ	4.20	0.50	มาก
1.3 การจัดลำดับเนื้อหาเป็นขั้นตอนมีความต่อเนื่อง อ่านแล้วเข้าใจ	4.17	0.48	มาก
2. ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบระบบ	**4.23**	**0.35**	**มาก**
2.1 การจัดรูปแบบง่ายต่อการอ่าน	4.26	0.37	มาก
2.2 หน้าการใช้งานหลักมีความสวยงาม ทันสมัย	4.23	0.31	มาก
2.3 สีสันการออกแบบมีความเหมาะสม	4.20	0.37	มาก
2.4 ขนาดตัวอักษร และรูปแบบตัวอักษรมีความสวยงามและอ่านได้ง่าย	4.13	0.35	มาก
3. ด้านความสามารถในการทำงาน	**4.13**	**0.60**	**มาก**
3.1 ระบบมีความถูกต้องในการประมวลผล	4.14	0.60	มาก
3.2 ความเร็วในการประมวลผล	4.11	0.61	มาก
3.3 ระบบสามารถใช้งานง่าย	4.14	0.59	มาก
รวม	**4.18**	**0.48**	**มาก**

3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์สำหรับโรงเรียนศรีบางไทร จำนวน 60 คน พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$= 4.18, S.D. = 0.48) แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานและสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านการออกแบบและจัดรูปแบบระบบมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{x}$ = 4.23, S.D. = 0.35) รองลงมา ได้แก่ ด้านเนื้อหาข้อมูล ($\bar{x}$ = 4.18, S.D. = 0.60) และด้านความสามารถในการทำงาน ($\bar{x}$ = 4.13, S.D. = 0.60) ตามลำดับ สำหรับผลการประเมินในระดับรายข้อ พบว่า การจัดรูปแบบง่ายต่อการอ่านมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ($\bar{x}$ = 4.26, S.D. = 0.37) รองลงมา ได้แก่ ความสวยงามและความทันสมัยของหน้าจอหลัก ($\bar{x}$ = 4.23, S.D. = 0.31) และความเหมาะสมของระบบ ($\bar{x}$ = 4.20, S.D. = 0.50) สะท้อนให้เห็นว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานและการนำเสนอข้อมูลของระบบ ในด้านความสามารถในการทำงาน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อความถูกต้องในการประมวลผล ($\bar{x}$ = 4.14, S.D. = 0.60) ความเร็วในการประมวลผล ($\bar{x}$ = 4.11, S.D. = 0.61) และความง่ายต่อการใช้งานของระบบ ($\bar{x}$ = 4.14, S.D. = 0.59) อยู่ในระดับมากทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถรองรับการใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ผลการประเมินโดยรวมสะท้อนว่าระบบได้รับการยอมรับจากผู้ใช้งานในระดับที่น่าพึงพอใจ ดังแสดงในตารางที่ 2

3.4 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการของครูและบุคลากรทางการศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระบบได้รับการออกแบบให้รองรับกระบวนการบริหารจัดการชั้นเรียนที่สำคัญ ได้แก่ การบันทึกการมาเรียน การจัดการตารางสอน การติดตามพฤติกรรม การบันทึกข้อมูลสุขภาพนักเรียน การออมเงิน และการรายงานผลสารสนเทศแบบรวมศูนย์ ส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นได้สะดวก รวดเร็ว และลดความซ้ำซ้อนของการจัดเก็บข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับการดำเนินงานในรูปแบบเอกสารหรือการใช้โปรแกรมหลายระบบร่วมกัน ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของระบบจัดการเรียนรู้ (LMS) ที่มุ่งสนับสนุนการบริหารจัดการข้อมูลและการจัดการเรียนรู้ผ่านระบบดิจิทัลแบบบูรณาการ ซึ่งช่วยลดภาระงานด้านเอกสารและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลทางการศึกษา (Nguyen et al., 2023)

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่าระบบมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยด้านการใช้งานระบบได้รับคะแนนสูงที่สุด สะท้อนให้เห็นว่าระบบได้รับการออกแบบให้มีความง่ายต่อการเรียนรู้และการใช้งาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของระบบสารสนเทศ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่เรียบง่าย การจัดวางเมนูที่สอดคล้องกับลักษณะงานของครู และการรวมฟังก์ชันสำคัญไว้ในระบบเดียว ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลและดำเนินงานได้อย่างสะดวก ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดของ DeLone and McLean (2003) ที่ระบุว่าคุณภาพของระบบ (System Quality) และคุณภาพของสารสนเทศ (Information Quality) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อการยอมรับและความสำเร็จของระบบสารสนเทศ รวมถึงสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Çelik and Ayaz (2022) ที่พบว่าคุณภาพของระบบสารสนเทศทางการศึกษามีความสัมพันธ์โดยตรงกับการใช้งานและการยอมรับของผู้ใช้

ในส่วนของความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก โดยด้านการออกแบบและจัดรูปแบบระบบได้รับคะแนนสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานที่มีความชัดเจน ใช้งานง่าย และมีรูปแบบที่เหมาะสม สามารถส่งเสริมประสบการณ์การใช้งานและสร้างการยอมรับต่อระบบได้เป็นอย่างดี ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับแนวคิดด้านการออกแบบ UI/UX และทฤษฎีการยอมรับ

เทคโนโลยี (Technology Acceptance Model: TAM) ที่ระบุว่าความง่ายในการใช้งาน (Perceived Ease of Use) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อทัศนคติและความตั้งใจในการใช้งานเทคโนโลยีของผู้ใช้

นอกจากนี้ ผลการประเมินด้านความสามารถในการทำงานของระบบยังอยู่ในระดับมาก โดยเฉพาะความถูกต้องในการประมวลผลข้อมูลและความเร็วในการประมวลผล ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้ Google Apps Script ในการพัฒนาระบบสารสนเทศทางการศึกษาสำหรับสถานศึกษาขนาดเล็กถึงขนาดกลาง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานหรือปริมาณข้อมูลในอนาคตอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ ดังนั้น การปรับปรุงโครงสร้างฐานข้อมูล การเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผล และการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสารสนเทศทางการศึกษาอื่น ๆ จึงเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาระบบให้สามารถรองรับการใช้งานในระดับที่กว้างขึ้นต่อไป

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถสนับสนุนการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครอบคลุมฟังก์ชันสำคัญ ได้แก่ การเช็คชื่อ การติดตามการมาเรียน การจัดการตารางสอน การบันทึกคะแนน พฤติกรรม การบันทึกข้อมูลสุขภาพนักเรียน การออมเงิน และการรายงานผลสารสนเทศ โดยระบบสามารถใช้งานผ่านเว็บแอปพลิเคชันและรองรับการเข้าถึงข้อมูลได้อย่างสะดวก ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 คน พบว่าระบบมีคุณภาพโดยรวมอยู่ในระดับมาก ขณะที่ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 60 คน พบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก สะท้อนให้เห็นว่าระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการชั้นเรียนได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น ระบบจัดการชั้นเรียนออนไลน์ที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการข้อมูลภายในชั้นเรียน ลดภาระงานด้านเอกสาร และเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามข้อมูลนักเรียนได้อย่างเป็นระบบ อันจะนำไปสู่การยกระดับการบริหารจัดการสถานศึกษาในยุคดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิผล สำหรับการพัฒนาในอนาคต ควรเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลของระบบ พัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสารสนเทศทางการศึกษาอื่น ๆ และรองรับการใช้งานในระดับสถานศึกษาหลายแห่ง เพื่อเพิ่มศักยภาพในการนำระบบไปประยุกต์ใช้ในวงกว้างต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Çelik, K., & Ayaz, A. (2022). Validation of the Delone and McLean information systems success model: a study on student information system. *Education and Information Technologies, 27*, 4709–4727.

DeLone, W. H., & McLean, E. R. (2003). The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update. *Journal of Management Information Systems, 19*(4), 9–30.

Nguyen, L. T., Kanjug, I., Lowatcharin, G., Manakul, T., Poonpon, K., Sarakorn, W., Somabut, A., Srisawasdi, N., Traiyarach, S., & Tuamsuk, K. (2023). Digital learning ecosystem for classroom teaching in Thailand high schools. *Sage Open, 13*(1).

Tekir, S. (2025). Strategies for Effective Classroom Management in Online Teaching: A Post-Pandemic Review of Empirical Studies. *Sage Open, 15*(3).

Thitiapinan, T., Kaewlaew, M., Yothasiri, T., Yuenying, W., & Potisarn, N. (2023). Development Online Classroom Website for Subject of Special Issues in Digital Technology for Business and Service. *Journal of Computer and Creative Technology, 1*(3), 9–16.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26109)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26109)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) ACADEMIC ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

สัตว์หน้าดินกับการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา : บทเรียนสังเคราะห์จากแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Benthic Fauna and Environmental Quality Assessment of Water Bodies in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province: A Synthetic Review from Natural Waters, Community Areas, and Aquaculture Systems

ณัฐกิตท์ โตอ่อน*
Natthakitt To-orn*

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
Faculty of Agricultural Technology and Agro-Industry, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Phra Nakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 07-06-2026, Revised: 24-06-2026, Accepted: 24-06-2026, Published: 26-06-2026

บทคัดย่อ

สัตว์หน้าดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนิเวศแหล่งน้ำที่สามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำได้ เนื่องจากมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับพื้นท้องน้ำและดินตะกอน มีการเคลื่อนที่จำกัด และมีระดับความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้สัตว์หน้าดินในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากกรณีศึกษาในแหล่งน้ำ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยครอบคลุมแหล่งน้ำย่อยสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำสายหลัก แหล่งชุมชนเมือง คลองเกษตรกรรม พื้นที่รับน้ำ การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมถึงแหล่งน้ำชุมชนในท้องถิ่น ผลการสังเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าแหล่งน้ำแต่ละประเภทได้รับแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ส่งผลให้องค์ประกอบ ความชุกชุม และบทบาทของสัตว์หน้าดินในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำแตกต่างกันอย่างชัดเจน กลุ่มสัตว์หน้าดินที่ทนต่ออินทรียสารสูง เช่น ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae รวมทั้งตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae มักพบเด่นในบริเวณที่ได้รับแรงกดดันจากน้ำเสียชุมชน เกษตรกรรม และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ขณะที่กลุ่มหอยน้ำจืด กุ้งฝอย และตัวอ่อนแมลงน้ำบางกลุ่มสามารถบ่งชี้สภาพถิ่นอาศัยที่ยังคงเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตหลายกลุ่มหรือคุณภาพน้ำระดับพอใช้ การใช้สัตว์หน้าดินร่วมกับดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ข้อมูลคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และการมีส่วนร่วมของชุมชน สามารถพัฒนาเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำต้นทุนต่ำที่เหมาะสมกับชุมชนท้องถิ่น และสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่ได้อย่างเป็นระบบ ทั้งนี้ ควรต่อยอดเป็นแนวทางติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับจังหวัด เพื่อใช้ประกอบการกำหนดพื้นที่เสี่ยงและการวางแผนจัดการแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ : สัตว์หน้าดิน, ดัชนีชีวภาพ, คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ, การจัดการแหล่งน้ำ, พระนครศรีอยุธยา

Abstract

Benthic fauna are important components of aquatic ecosystems. They can be used as biological indicators of the environmental quality of water bodies because they are closely associated with bottom substrates and sediments, have limited mobility, and exhibit different tolerance levels to environmental changes. This academic article aims to synthesize knowledge on the application of benthic fauna for assessing the environmental quality of

*Corresponding author: natthakitt.t@rmutsb.ac.th

water bodies in Phra Nakhon Si Ayutthaya Province, Thailand, based on case studies from three major groups of water bodies: natural waters, community areas, and aquaculture systems. These groups covered major subtypes of water bodies, including main rivers, urban community waters, agricultural canals, retention areas, river cage aquaculture, earthen ponds and aquaculture areas, and local community ponds and water bodies. The synthesis indicates that different types of water bodies are exposed to different environmental pressures, resulting in distinct patterns of benthic faunal composition, abundance, and roles in indicating environmental quality. Pollution-tolerant benthic fauna, particularly aquatic oligochaetes in the families Tubificidae and Naididae, together with chironomid larvae in the family Chironomidae, tend to dominate areas affected by domestic wastewater, agricultural activities, and aquaculture systems. In contrast, some freshwater mollusks, freshwater shrimps, and aquatic insect larvae may indicate habitats that remain suitable for several groups of aquatic organisms or moderate water quality. The integration of benthic fauna with benthic fauna indices, specifically the BMWPthai Score and ASPTthai, together with water quality data, sediment characteristics, and community participation, can provide a practical and low-cost biomonitoring tool suitable for local communities and systematically support local-scale water body management. This approach should be further developed as part of provincial-level environmental monitoring to identify risk areas and guide continuous water body management planning.

Keywords: Benthic fauna, Biological indicator, Environmental quality of water bodies, Water body management, Phra Nakhon Si Ayutthaya

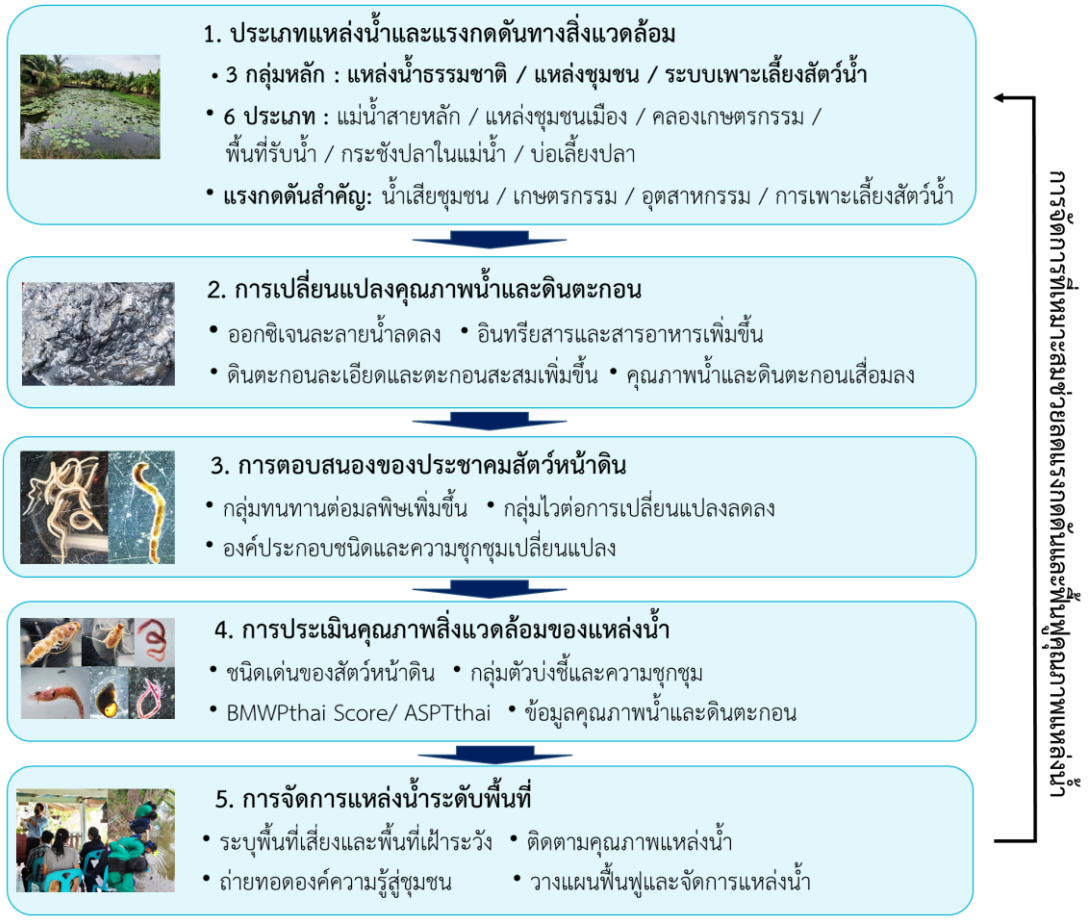
1. บทนำ

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำสำคัญของภาคกลางตอนล่างที่มีแหล่งน้ำหลายประเภท ทั้งแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายรอง คลองธรรมชาติ คลองชลประทาน พื้นที่รับน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม และแหล่งน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แหล่งน้ำเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการอุปโภคบริโภค การเกษตร การประมงพื้นบ้าน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การคมนาคมทางน้ำ และการรักษาสมดุลของระบบนิเวศท้องถิ่น (Ward, 1998; Dudgeon, 2000; Tockner & Stanford, 2002) ในขณะเดียวกันการขยายตัวของชุมชน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และกิจกรรมเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ทำให้แหล่งน้ำหลายบริเวณได้รับแรงกดดันจากน้ำทิ้งชุมชน สารอินทรีย์ ดินตะกอนละเอียด ของเสียจากกิจกรรมมนุษย์ และการสะสมของอินทรียสารในดินตะกอน ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และโครงสร้างประชาคมสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999; Merritt et al., 2008) การประเมินคุณภาพน้ำโดยใช้ตัวแปรทางกายภาพและเคมี เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด–ด่าง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความโปร่งแสง ความนำไฟฟ้า และปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน เป็นแนวทางที่ใช้กันแพร่หลายในการติดตามสถานภาพแหล่งน้ำ แม้ว่าวิธีดังกล่าวจะมีประโยชน์ต่อการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง แต่อาจยังไม่ครอบคลุมผลกระทบสะสมของมลภาวะหรือการเปลี่ยนแปลงในระยะยาวได้ (Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006) ด้วยเหตุนี้การใช้สิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพจึงเป็นแนวทางสำคัญในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ซึ่งอาศัยอยู่บริเวณดินตะกอนพื้นท้องน้ำ พืชน้ำ หรือวัตถุใต้น้ำ มีการเคลื่อนที่จำกัด และมีระดับความทนทานต่อสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน สัตว์หน้าดิน

จึงสามารถบ่งชี้ทั้งสภาพแวดล้อมปัจจุบันและผลกระทบสะสมที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำได้ (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999; Mustow, 2002)

การประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพแหล่งน้ำในประเทศไทยมีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้ดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ซึ่งอาศัยระดับความทนทานของสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์ต่อสภาวะมลพิษเป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ดัชนีดังกล่าวสามารถใช้ประเมินคุณภาพน้ำเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่หรือช่วงเวลา และเหมาะต่อการพัฒนาเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังคุณภาพน้ำระดับพื้นที่เมื่อใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอน งานวิจัยในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่ผ่านมาได้ศึกษาสัตว์หน้าดินในแหล่งน้ำหลายประเภท เช่น แม่น้ำป่าสัก คลองบางบาล แม่น้ำน้อยบริเวณกระชังปลา พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชนในอำเภอเสนา (ณัฐกิตติ์, 2558; ณัฐกิตติ์, 2561; ณัฐกิตติ์, 2564; ณัฐกิตติ์, 2565; ณัฐกิตติ์, 2566; ณัฐกิตติ์, 2567ก; ณัฐกิตติ์, 2567ข; สันติภาพ และณัฐกิตติ์, 2567) ผลการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินสามารถตอบสนองต่อผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันตามประเภทของแหล่งน้ำ และมีศักยภาพในการใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในระดับพื้นที่ แม้งานวิจัยเกี่ยวกับสัตว์หน้าดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาจะครอบคลุมระบบนิเวศแหล่งน้ำหลายประเภท แต่ส่วนใหญ่ยังเป็นการศึกษาเฉพาะพื้นที่หรือเฉพาะประเด็น เช่น โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดิน การใช้ดัชนีชีวภาพในแหล่งน้ำเฉพาะแห่ง ผลของน้ำเสียชุมชน ผลของการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ และองค์ประกอบสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงปลา จึงยังขาดการสังเคราะห์ภาพรวมระดับจังหวัดที่เชื่อมโยงระหว่างประเภทแหล่งน้ำ แรงกดดันทางสิ่งแวดล้อม สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น บทบาทในการบ่งชี้คุณภาพน้ำ และแนวทางประยุกต์ใช้เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำระดับพื้นที่ ในบทความนี้กรณีศึกษาที่นำมาใช้สังเคราะห์ถูกจัดอยู่ภายใต้แหล่งน้ำ 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยครอบคลุมแหล่งน้ำย่อย 6 ประเภท ได้แก่ แม่น้ำสายหลัก แหล่งชุมชนเมือง คลองเกษตรกรรม พื้นที่รับน้ำ การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ และบ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมถึงแหล่งน้ำชุมชนในท้องถิ่น การจัดกลุ่มดังกล่าวช่วยให้การสังเคราะห์บทเรียนจากงานวิจัยเดิมมีความเชื่อมโยงกับสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำแต่ละประเภท

บทความวิชาการนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวม วิเคราะห์ และสังเคราะห์องค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้สัตว์-หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จากกรณีศึกษาในแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ รวมทั้งเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ร่วมกับดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ข้อมูลคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อสนับสนุนการติดตามและจัดการคุณภาพน้ำระดับพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องกรอบแนวคิดของบทความนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อม การเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและดินตะกอน การตอบสนองของประชาคมสัตว์หน้าดิน การประเมินด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ และการนำผลการประเมินไปใช้เพื่อการจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่ ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยแรงกดดันจากน้ำเสียชุมชน เกษตรกรรม และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอาจทำให้ปริมาณอินทรียสาร สารอาหาร และตะกอนสะสมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้กลุ่มสัตว์หน้าดินที่ทนต่อสภาพเสื่อมโทรม เช่น ไส้เดือนน้ำและตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดมีแนวโน้มพบเด่นขึ้น ขณะที่กลุ่มที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอาจลดลง ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินจึงสามารถใช้บ่งชี้สภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำ และสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำในระดับพื้นที่ได้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการใช้สัตว์หน้าดินในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำและการจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่

2. แนวคิดการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพบ่งชี้คุณภาพน้ำ

2.1 ความหมายและบทบาทของสัตว์หน้าดิน

สัตว์หน้าดิน (benthos) โดยเฉพาะสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินขนาดใหญ่ (benthic macroinvertebrates) เป็นกลุ่มสัตว์ที่อาศัยอยู่บริเวณดินตะกอนพื้นท้องน้ำ ผิวดินตะกอน พืชน้ำ รากพืชน้ำ หรือวัตถุใต้น้ำ ทั้งในระบบนิเวศแหล่งน้ำไหล แหล่งน้ำกึ่งนิ่ง และแหล่งน้ำค่อนข้างนิ่ง กลุ่มที่พบได้ทั่วไป ได้แก่ ไส้เดือนน้ำ โพลีคีต หอยฝาเดียว หอยสองฝา ครัสเตเชียน และตัวอ่อนแมลงน้ำ สัตว์เหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยเป็นทั้งแหล่งอาหารของปลาและสัตว์น้ำอื่น ผู้บริโภคเศษซากอินทรีย์ที่ช่วยเร่งการย่อยสลายอินทรียสาร (detritivores) ตัวรบกวนและพลิกกลับดินตะกอน (bioturbators) และองค์ประกอบสำคัญในกระบวนการหมุนเวียนธาตุอาหารระหว่างดินตะกอนกับมวลน้ำ (Johnson et al., 1993; Merritt et al., 2008) สัตว์หน้าดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของสายใยอาหารในแหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถเปลี่ยนอินทรียสารเศษซากพืช สาหร่ายหน้าดิน และจุลินทรีย์ให้เป็นมวลชีวภาพ (biomass) ที่สัตว์น้ำระดับสูงกว่าใช้ประโยชน์ได้ โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินยังบ่งชี้ความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำ คุณภาพดินตะกอน และความแตกต่างของถิ่นอาศัยในระดับพื้นที่ งานวิจัยในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาพบสัตว์หน้าดินในแหล่งน้ำหลายประเภท เช่น แม่น้ำ คลอง แหล่งชุมชนเมือง กระชังปลา บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชน โดยกลุ่มสัตว์หน้าดินที่พบบ่อยในหลายแหล่งน้ำ ได้แก่ ไส้เดือนน้ำ หอยน้ำจืด ครัสเตเชียน โพลีคีตบางกลุ่ม และตัวอ่อนแมลงน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินมีบทบาททั้งในด้านองค์ประกอบของระบบนิเวศและตัวบ่งชี้สภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำในระดับพื้นที่ (ณัฐกิตติ์, 2558; ณัฐกิตติ์, 2561; ณัฐกิตติ์, 2566; สันติภาพ และณัฐกิตติ์, 2567)

2.2 เหตุผลที่สัตว์หน้าดินเหมาะสมเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

สัตว์หน้าดินมีความเหมาะสมต่อการใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ เนื่องจากมีถิ่นอาศัยสัมพันธ์ใกล้ชิดกับดินตะกอนพื้นท้องน้ำ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการสะสมของอินทรียสาร ดินตะกอนละเอียด สารอาหาร และมลสารจากกิจกรรมต่าง ๆ ในแหล่งน้ำ การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำและดินตะกอน เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด–ด่าง อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ลักษณะอนุภาคดินตะกอน และปริมาณสารอินทรีย์ในดินตะกอน จึงส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบ ความหนาแน่น ความหลากหลายของชนิด และการกระจายของสัตว์หน้าดิน (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999) ลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่ง คือสัตว์หน้าดินมีการเคลื่อนที่จำกัดเมื่อเทียบกับปลาและสัตว์น้ำที่ว่ายน้ำได้ดี จึงสามารถบ่งชี้สภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ได้ค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณที่ได้รับแรงกดดันจากน้ำเสียชุมชน น้ำที่ระบายออกจากพื้นที่เกษตรกรรม การสะสมอินทรียสารบริเวณใต้กระชังเลี้ยงปลาหรือการสะสมอินทรียสารในบ่อเลี้ยงปลา เมื่อสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลงกลุ่มสัตว์ที่ไวต่อมลภาวะมักลดจำนวนลง ขณะที่กลุ่มทนต่ออินทรียสารสูงและออกซิเจนละลายน้ำต่ำมักเพิ่มความชุกชุม โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินจึงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการประเมินผลกระทบสะสมของแหล่งน้ำได้ (ณัฐกิตติ์, 2561; ณัฐกิตติ์, 2564; ณัฐกิตติ์, 2566; Johnson et al., 1993; Mustow, 2002) แนวคิดดังกล่าวเป็นพื้นฐานของการพัฒนาดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดิน เช่น BMWPthai Score และ ASPTthai ซึ่งใช้ระดับความทนทานของสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์เป็นเกณฑ์ในการประเมินคุณภาพน้ำ กลุ่มที่ไวต่อมลภาวะจะได้รับคะแนนสูงส่วนกลุ่มที่ทนต่อมลภาวะสูงจะได้รับคะแนนต่ำ การใช้ดัชนีลักษณะนี้ช่วยแปลข้อมูลองค์ประกอบสัตว์หน้าดินให้เป็นค่าที่สามารถเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่หรือช่วงเวลาได้ และเหมาะสำหรับใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอนในการติดตามแหล่งน้ำระดับท้องถิ่น (Barbour et al., 1999; Mustow, 2002) งานวิจัยในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น แม่น้ำป่าสัก และคลองบางบาล แสดงให้เห็นว่าดัชนีดังกล่าวสามารถใช้บ่งชี้สถานภาพคุณภาพน้ำและแรงกดดันจากอินทรียสารในแหล่งน้ำได้ (ณัฐกิตติ์, 2565; ณัฐกิตติ์, 2567ก)

2.3 สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นและบทบาทในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

การแปลผลจากประชาคมสัตว์หน้าดินควรพิจารณาทั้งชนิดหรือวงศ์ที่พบ ความชุกชุม สัดส่วนของกลุ่มสัตว์ที่ทนทานและกลุ่มที่ไวต่อมลภาวะ ลักษณะถิ่นอาศัยและปัจจัยสิ่งแวดล้อมร่วมกัน กลุ่มที่มีบทบาทชัดเจนในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ ได้แก่ ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae เช่น *Tubifex* sp., *Branchiura* sp., *Branchiodrilus* sp. และ *Dero* sp. ซึ่งมักสัมพันธ์กับดินตะกอนที่มีปริมาณอินทรียสารสูงและออกซิเจนละลายน้ำต่ำ รวมถึงตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae เช่น *Chironomus* sp. ซึ่งพบได้บ่อยในแหล่งน้ำที่ได้รับแรงกดดันจากอินทรียสารสูง (ณัฐกิตติ์, 2561; ณัฐกิตติ์, 2564; ณัฐกิตติ์, 2566; Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999) กลุ่มสัตว์เหล่านี้พบเด่นในหลายพื้นที่ของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น แหล่งชุมชนเมือง กระชังปลา พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และบ่อเลี้ยงปลา ขณะที่สัตว์หน้าดินบางกลุ่ม เช่น กุ้งฝอยน้ำจืด *Macrobrachium lanchesteri* หอยขม *Filopaludina martensi* หอยเจดีย์ *Melanoides tuberculata* และตัวอ่อนแมลงน้ำบางวงศ์ อาจบ่งชี้แหล่งน้ำที่ยังมีความแตกต่างของถิ่นอาศัยหรือมีคุณภาพน้ำระดับพอใช้ ทั้งนี้การพบสัตว์กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งไม่ควรนำมาใช้เป็นข้อสรุปเพียงลำพัง เนื่องจากการกระจายของสัตว์หน้าดินอาจได้รับอิทธิพลจากฤดูกาล พืชน้ำ ชนิดของดินตะกอน กระแสน้ำ ความลึก และถิ่นอาศัยย่อย (microhabitat) การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำจึงควรใช้ข้อมูลหลายด้านประกอบกัน ได้แก่ องค์ประกอบชนิด ความชุกชุม กลุ่มสัตว์หน้าดินที่เป็นตัวบ่งชี้ ค่าดัชนีชีวภาพ คุณภาพน้ำ และคุณภาพดินตะกอน (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006) จากแนวคิดดังกล่าวสามารถจัดกลุ่มสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นออกตามบทบาทในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นและบทบาทในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น	ตัวอย่างวงศ์/สกุล	บริเวณที่พบบ่อย	บทบาทในการบ่งชี้	ข้อควรระวังในการแปลผล
ไส้เดือนน้ำ (aquatic oligochaetes)	Tubificidae, Naididae, *Branchiura* sp., *Tubifex* sp., *Branchiodrilus* sp., *Dero* sp.	บ่อเลี้ยงปลา คลอง แหล่งชุมชนเมือง และบริเวณกระชังเลี้ยงปลา	บ่งชี้สภาวะอินทรียสารสูง ดินตะกอนมีอินทรียสารสะสม และออกซิเจนละลายน้ำต่ำ	ควรพิจารณาร่วมกับออกซิเจนละลายน้ำ สารอินทรีย์ในดินตะกอน และลักษณะดินตะกอน
ตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืด	Chironomidae, *Chironomus* sp.	แหล่งน้ำที่ได้รับผลกระทบจากอินทรียสารสูง	ทนต่อมลพิษอินทรีย์และออกซิเจนละลายน้ำต่ำ	บางชนิดพบได้ในหลายระดับคุณภาพน้ำ จึงควรแปลผลร่วมกับกลุ่มสัตว์อื่น
โพลีคีตน้ำจืด/น้ำกร่อย	Nephtyidae, Nereididae	แม่น้ำ คลอง และบริเวณที่ดินตะกอนมีลักษณะเฉพาะ	บ่งชี้ดินตะกอนที่มีอินทรียสารสะสม ถิ่นอาศัยที่มีความเฉพาะ และอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมเฉพาะพื้นที่	ควรพิจารณาความเค็ม อิทธิพลน้ำกร่อย และลักษณะดินตะกอนร่วมด้วย
หอยฝาเดียว	Viviparidae, Thiaridae	บ่อเลี้ยงปลา คลอง และแหล่งน้ำชุมชน	บ่งชี้คุณภาพน้ำระดับปานกลางถึงมีอินทรียสารระดับปานกลาง	บางชนิดมีความทนทานสูง และมีการแพร่กระจายกว้าง จึงไม่ควรใช้แปลผลเพียงลำพัง
หอยสองฝา	Corbiculidae, Amblemidae	แม่น้ำและคลอง	บ่งชี้พื้นท้องน้ำที่ยังมีถิ่นอาศัยเหมาะสมและมีอนุภาคอาหารในน้ำ	การกระจายอาจได้รับอิทธิพลจากชนิดของดินตะกอน กระแสน้ำ และความลึกของน้ำ
กุ้งฝอย/ครัสเตเชียน	Palaemonidae, *Macrobrachium lanchesteri*	แหล่งน้ำคุณภาพพอใช้ถึงค่อนข้างดี หรือบริเวณที่มีพืชน้ำและที่หลบซ่อน	บ่งชี้ถิ่นอาศัยที่มีออกซิเจนและความแตกต่างของถิ่นอาศัย	อาจได้รับอิทธิพลจากพืชน้ำ ความโปร่งแสง และโครงสร้างถิ่นอาศัยย่อย การใช้ BMWPthai Score และ ASPTthai ในแหล่งน้ำนิ่งควรแปลผลร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และลักษณะถิ่นอาศัย เนื่องจากดัชนีนี้เหมาะกับแหล่งน้ำไหลมากกว่า)
ตัวอ่อนแมลงน้ำที่ไวต่อสภาวะมลพิษ	Ephemeridae	แหล่งน้ำคุณภาพพอใช้ถึงค่อนข้างดี หรือบริเวณที่มีถิ่นอาศัยเหมาะสม	บ่งชี้คุณภาพน้ำและถิ่นอาศัยที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับพื้นที่เสื่อมโทรม	อาจพบเฉพาะฤดูกาลหรือเฉพาะถิ่นอาศัยย่อย จึงควรใช้ร่วมกับข้อมูลอื่น

หมายเหตุ : สังเคราะห์จากแนวคิดการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพ (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999; Mustow, 2002; Bonada et al., 2006) และงานวิจัยสัตว์หน้าดินในพื้นที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

3. ลักษณะของแหล่งน้ำและแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

จังหวัดพระนครศรีอยุธยาเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลางที่ประกอบด้วยแหล่งน้ำหลายประเภท ทั้งแม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายรอง คลองธรรมชาติ คลองเกษตรกรรม พื้นที่รับน้ำ แหล่งชุมชนเมือง การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชน แหล่งน้ำเหล่านี้สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ แหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยแหล่งน้ำธรรมชาติครอบคลุมแม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายรอง แหล่งชุมชนครอบคลุมแหล่งชุมชนเมือง คลองเกษตรกรรม พื้นที่รับน้ำ และแหล่งน้ำชุมชนในท้องถิ่น ส่วนระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำครอบคลุมการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การจัดหมวดหมู่ดังกล่าวช่วยให้การอธิบายลักษณะแหล่งน้ำและแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมมีโครงสร้างชัดเจนและเชื่อมโยงแหล่งน้ำย่อยทั้ง 6 ประเภทที่ใช้ในการสังเคราะห์เข้ากับกลุ่มหลักของบทความได้อย่างเป็นระบบ แหล่งน้ำเหล่านี้มีบทบาทสำคัญต่อการอุปโภคบริโภค การเกษตร การประมงพื้นบ้าน การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการดำรงชีวิตของประชาชนในพื้นที่ ขณะเดียวกันลักษณะของระบบนิเวศและรูปแบบการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำที่แตกต่างกันก็ทำให้แต่ละพื้นที่ได้รับแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน เช่น น้ำทิ้งจากชุมชน น้ำระบายจากพื้นที่เกษตรกรรม การสะสมของอินทรียสารจากการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ การเพิ่มขึ้นของอินทรียสารในบ่อเลี้ยงปลา และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างถิ่นอาศัยบริเวณริมฝั่ง แรงกดดันดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และองค์ประกอบของสัตว์หน้าดิน ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการประเมินสถานภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำแต่ละประเภทได้เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะพื้นที่ คุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และรูปแบบการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ

3.1 แหล่งน้ำธรรมชาติและแม่น้ำสายหลัก

แม่น้ำสายหลักและแม่น้ำสายรองในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น แม่น้ำป่าสัก และแม่น้ำน้อย เป็นระบบแหล่งน้ำที่มีบทบาทสำคัญต่อชุมชน การเกษตร การประมง การคมนาคม และกิจกรรมทางเศรษฐกิจริมฝั่ง แหล่งน้ำประเภทนี้มักได้รับแรงกดดันจากหลายแหล่งกำเนิดพร้อมกัน ได้แก่ น้ำทิ้งจากชุมชน การระบายน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม กิจกรรมอุตสาหกรรมริมฝั่ง การเดินเรือ และการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นที่ริมฝั่ง แรงกดดันเหล่านี้อาจส่งผลให้เกิดการสะสมของดินตะกอนละเอียดและอินทรียสารบริเวณพื้นท้องน้ำ รวมทั้งทำให้คุณภาพน้ำและถิ่นอาศัยของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลง งานศึกษาในแม่น้ำป่าสักแสดงให้เห็นว่าแม่น้ำสายหลักยังคงมีความแตกต่างของถิ่นอาศัย แต่ในขณะเดียวกันก็ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมมนุษย์หลายรูปแบบ ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำ (ณัฐกิตติ์, 2558; ณัฐกิตติ์, 2565)

3.2 แหล่งชุมชนเมือง

แหล่งน้ำในเขตชุมชนเมืองเป็นพื้นที่ที่ได้รับแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการระบายน้ำทิ้งจากบ้านเรือน ตลาด อาคารพาณิชย์ และกิจกรรมบริการลงสู่แม่น้ำหรือคลอง น้ำเสียชุมชนมักมีสารอินทรีย์สูงทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลงและเกิดการสะสมของอินทรียสารบริเวณพื้นท้องน้ำ สภาพดังกล่าวมีผลโดยตรงต่อองค์ประกอบและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินโดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของกลุ่มที่ทนต่ออินทรียสารสูงและการลดลงของกลุ่มที่ไวต่อมลภาวะ การศึกษาบริเวณแม่น้ำป่าสักในเขตชุมชนเมืองเป็นตัวอย่างที่แสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินสามารถใช้บ่งชี้แรงกดดันจากน้ำเสียชุมชนและความแตกต่างของสภาพถิ่นอาศัยตามระยะห่างจากแหล่งปล่อยน้ำทิ้งได้ (ณัฐกิตติ์, 2564)

3.3 คลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำ

คลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เนื่องจากเชื่อมโยงระหว่างแม่น้ำสายหลัก ชุมชน พื้นที่เกษตรกรรมและระบบการระบายน้ำในช่วงฤดูฝนหรือช่วงน้ำหลาก แหล่งน้ำประเภทนี้มักได้รับแรงกดดันจากน้ำทิ้งชุมชน น้ำระบายจากพื้นที่เกษตรกรรม ดินตะกอนละเอียด สารอาหาร และอินทรียสารจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ที่ดินริมคลอง บริเวณคลองบางบาล อำเภอบางบาล เป็นตัวอย่างของคลองที่มีบทบาททั้งด้านชุมชน การเกษตร และการรองรับน้ำในพื้นที่ลุ่มต่ำ แรงกดดันหลายด้านที่เกิดขึ้นพร้อมกันทำให้คลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำมีความซับซ้อนในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อม การใช้สัตว์หน้าดินร่วมกับดัชนีชีวภาพ เช่น BMWPthai Score และ ASPTthai จึงเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการบ่งชี้สถานภาพคุณภาพน้ำและแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำประเภทนี้ (ณัฐกิตติ์, 2567ก)

3.4 การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ

การเลี้ยงปลาในกระชังเป็นรูปแบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่พบได้ในแม่น้ำหลายสายของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยเฉพาะบริเวณแม่น้ำน้อยซึ่งเป็นแม่น้ำสายรองของแม่น้ำเจ้าพระยา กิจกรรมนี้เป็นการใช้ประโยชน์จากการไหลเวียนของน้ำตามธรรมชาติและเป็นอาชีพสำคัญของชุมชนริมแม่น้ำ อย่างไรก็ตาม หากมีการเลี้ยงอย่างหนาแน่นหรือมีการให้อาหารเกินความต้องการของปลา อาหารเหลือ มูลปลา และของเสียอินทรีย์จะตกสะสมลงสู่พื้นท้องน้ำบริเวณใต้กระชังและพื้นที่ใกล้เคียง ส่งผลให้ปริมาณอินทรียสารในดินตะกอนเพิ่มขึ้น และอาจทำให้เกิดภาวะออกซิเจนต่ำบริเวณพื้นท้องน้ำ งานศึกษาบริเวณกระชังเลี้ยงปลาในแม่น้ำน้อยแสดงให้เห็นว่าสัตว์หน้าดินสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้แรงกดดันเฉพาะจุดจากการเลี้ยงปลาในกระชังได้ โดยเฉพาะการติดตามบริเวณใต้กระชัง พื้นที่ใกล้เคียง และพื้นที่อ้างอิงที่ได้รับแรงกดดันน้อยกว่า (ณัฐกิตติ์, 2561)

3.5 บ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะอำเภอเสนาเป็นพื้นที่สำคัญด้านการเลี้ยงสัตว์น้ำของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ครอบคลุมทั้งแม่น้ำ คลอง และบ่อเลี้ยงปลา แหล่งน้ำในพื้นที่นี้ได้รับอิทธิพลจากกิจกรรมเกษตรกรรม การเลี้ยงปลาในกระชัง การเลี้ยงปลาในบ่อดินและการใช้ประโยชน์น้ำของชุมชน ลักษณะดังกล่าวทำให้พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีแนวโน้มเกิดการสะสมของอินทรียสารในน้ำและดินตะกอนโดยเฉพาะบริเวณที่มีการให้อาหารสัตว์น้ำ การใส่ปุ๋ยอินทรีย์หรือการหมักวัสดุพืชเพื่อสร้างอาหารธรรมชาติในบ่อ สัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจึงมีบทบาทสองด้านคือเป็นตัวบ่งชี้การสะสมอินทรียสารในดินตะกอนและเป็นส่วนหนึ่งของอาหารธรรมชาติในระบบบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ การประเมินสัตว์หน้าดินในแหล่งน้ำประเภทนี้จึงควรเชื่อมโยงทั้งมิติคุณภาพสิ่งแวดล้อมและการจัดการระบบการผลิตสัตว์น้ำ (ณัฐกิตติ์, 2566; สันติภาพ และณัฐกิตติ์, 2567)

3.6 แหล่งน้ำชุมชน

แหล่งน้ำชุมชนในท้องถิ่นเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญต่อการใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน การเรียนรู้และการสร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อมของประชาชนในพื้นที่ การประเมินคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทนี้จึงไม่ควรมุ่งเน้นเฉพาะผลทางวิทยาศาสตร์เท่านั้น แต่ควรให้ความสำคัญกับกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน การถ่ายทอดองค์ความรู้ และการพัฒนาเครื่องมือเฝ้าระวังคุณภาพน้ำที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริงโดยผู้ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ กรณีศึกษาแหล่งน้ำชุมชนในพื้นที่โรงเรียนสาคลีวิทยา อำเภอเสนา แสดงให้เห็นว่า

การใช้สัตว์หน้าดินและดัชนีชีวภาพร่วมกับเยาวชนและชุมชน สามารถพัฒนาเป็นแนวทางการติดตามคุณภาพน้ำด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพที่มีต้นทุนต่ำ เข้าใจง่าย และเหมาะสมกับการเรียนรู้ระดับท้องถิ่น (ณัฐกิตติ์, 2567ข)

4. บทเรียนสังเคราะห์จากการเปรียบเทียบข้ามระบบแหล่งน้ำ

การสังเคราะห์บทเรียนจากงานวิจัยสัตว์หน้าดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา จำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างประเภทของแหล่งน้ำ แรงกดดันทางสิ่งแวดล้อม กลไกการสะสมอินทรียสาร คุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และการตอบสนองของประชาคมสัตว์หน้าดิน มากกว่าการพิจารณาผลการศึกษาแยกเป็นรายพื้นที่เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบข้ามระบบแหล่งน้ำพบว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน คลองเกษตรกรรม การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชน มีแหล่งกำเนิดแรงกดดันและกลไกการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน ส่งผลให้สัตว์หน้าดินกลุ่มเด่นและความหมายของการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำแตกต่างกันด้วย การศึกษาสัตว์หน้าดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า แหล่งน้ำแต่ละประเภทได้รับแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน และความแตกต่างดังกล่าวมีผลต่อองค์ประกอบ ความชุกชุม และบทบาทของสัตว์หน้าดินในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำอย่างชัดเจน แม่น้ำสายหลักมักได้รับแรงกดดันจากกิจกรรมมนุษย์หลายรูปแบบ แหล่งชุมชนเมืองได้รับอิทธิพลจากน้ำเสียและการเพิ่มขึ้นของอินทรียสาร คลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำได้รับแรงกดดันจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและการระบายน้ำ ส่วนระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำโดยเฉพาะการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำและบ่อเลี้ยงปลามีลักษณะเด่นคือการสะสมของอาหารเหลือ มูลสัตว์น้ำ และตะกอนอินทรีย์บริเวณพื้นท้องน้ำ ซึ่งในภาพรวมของงานวิจัยเหล่านี้ให้บทเรียนสำคัญว่าสัตว์หน้าดินสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำได้ เมื่อพิจารณาร่วมกับลักษณะพื้นที่ คุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และรูปแบบการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ รายละเอียดของงานวิจัยที่ใช้ประกอบการสังเคราะห์แสดงในตารางที่ 2

4.1 บทเรียนจากแหล่งน้ำธรรมชาติ

แหล่งน้ำธรรมชาติและแม่น้ำสายหลักในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น แม่น้ำป่าสัก เป็นระบบนิเวศน้ำไหลที่มีความสำคัญต่อชุมชน เกษตรกรรม ประมงพื้นบ้าน การคมนาคม และการระบายน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง แหล่งน้ำประเภทนี้มักได้รับแรงกดดันจากกิจกรรมมนุษย์หลายรูปแบบพร้อมกัน ทั้งน้ำทิ้งจากชุมชน การระบายน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม กิจกรรมริมฝั่ง และการสะสมของดินตะกอนละเอียดบริเวณพื้นท้องน้ำ งานวิจัยด้านโครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดินในแม่น้ำป่าสักพบสัตว์หน้าดินหลายกลุ่ม ได้แก่ ไส้เดือนน้ำ โพลีคีต หอยฝาเดียว หอยสองฝา ครัสเตเชียน และตัวอ่อนแมลงน้ำ โดยเฉพาะกลุ่มไส้เดือนน้ำซึ่งพบค่อนข้างชุกชุมและกระจายกว้างในหลายสถานีศึกษา (ณัฐกิตติ์, 2558) บทเรียนสำคัญจากแหล่งน้ำธรรมชาติคือแม่น้ำสายหลักที่ได้รับแรงกดดันจากหลายแหล่งกำเนิดมักมีประชาคมสัตว์หน้าดินที่ประกอบด้วยทั้งกลุ่มทนทานต่ออินทรียสารสูงและกลุ่มที่บ่งชี้ถิ่นอาศัยที่ยังคงเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตหลายกลุ่ม การพบไส้เดือนน้ำมีความชุกชุมสูงอาจบ่งชี้การสะสมของอินทรียสารหรือสภาพดินตะกอนที่เหมาะสมต่อกลุ่มทนทาน ขณะที่การพบหอย ครัสเตเชียน และตัวอ่อนแมลงน้ำบางกลุ่มอาจบ่งชี้ว่าบางบริเวณของแม่น้ำยังมีถิ่นอาศัยย่อยที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์หน้าดิน เช่น มีออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอ มีลักษณะพื้นท้องน้ำที่เหมาะต่อการเกาะอาศัยหรือฝังตัว และมีพืชน้ำหรือโครงสร้างถิ่นอาศัยที่เป็นแหล่งหลบซ่อน ดังนั้น การประเมินแหล่งน้ำธรรมชาติจึงไม่ควรพิจารณาจากสัตว์หน้าดินกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น แต่ควรพิจารณาร่วมกับองค์ประกอบประชาคมสัตว์หน้าดินโดยรวม ดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai คุณภาพน้ำ และลักษณะดินตะกอน เพื่อแปลผลสถานภาพคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำและสนับสนุนการติดตามคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลักได้ชัดเจนมากขึ้น (ณัฐกิตติ์, 2565)

ตารางที่ 2 งานวิจัยสัตว์หน้าดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์องค์ความรู้

พื้นที่ศึกษา	ประเภทแหล่งน้ำ	ประเด็นหลักของงานวิจัย	กลุ่มสัตว์หน้าดินเด่น	บทเรียนที่นำมาใช้สังเคราะห์	งานวิจัยอ้างอิง
แม่น้ำป่าสัก	แม่น้ำสายหลัก	โครงสร้างประชาคมสัตว์หน้าดิน	Oligochaetes, Gastropods, Polychaetes	แสดงภาพรวมสัตว์หน้าดินในแม่น้ำสายหลัก	ณัฐกิตติ์ (2558)
แม่น้ำป่าสัก บริเวณชุมชนเมือง	แหล่งชุมชนเมือง	ผลของน้ำเสียชุมชน	Tubificidae, Naididae, Chironomidae	บ่งชี้ผลของอินทรีย-สารจากน้ำเสียชุมชน	ณัฐกิตติ์ (2564)
คลองบางบาล	คลองเกษตรกรรมและชุมชน	การใช้ BMWPthai และ ASPTthai	Tubificidae, Naididae, Chironomidae	ใช้ดัชนีชีวภาพประเมินสถานภาพคุณภาพน้ำ	ณัฐกิตติ์ (2567ก)
แม่น้ำน้อย บริเวณกระชังปลา	การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ	ผลของกระชังปลา	Tubificidae, Naididae, Nephtyidae, Chironomidae	บ่งชี้ผลจากอาหารเหลือ มูลปลา และของเสียอินทรีย์	ณัฐกิตติ์ (2561)
พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอำเภอเสนา	พื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	การกระจายของไส้เดือนน้ำ	*Branchiura* sp., *Branchiodrilus* sp., *Tubifex* sp., *Dero* sp.	ไส้เดือนน้ำเป็นตัวบ่งชี้การสะสมอินทรียสารในดินตะกอน	ณัฐกิตติ์ (2566)
บ่อเลี้ยงปลาอำเภอเสนา	บ่อเลี้ยงปลา	องค์ประกอบสัตว์หน้าดินและอาหารธรรมชาติ	*Branchiura* sp., *Branchiodrilus* sp., *Tubifex* sp., *Dero* sp., *Tarebia granifera*	เชื่อมโยงการจัดการดินตะกอนในบ่ออาหารธรรมชาติและแนวคิด BCG Model	สันติภาพและณัฐกิตติ์ (2567)
ชุมชนในพื้นที่อำเภอเสนา	แหล่งน้ำชุมชน	การประเมินร่วมกับชุมชน	*Melanoides tuberculata*, *Macrobrachium lanchesteri*, *Filopaludina martensi*	แนวทางการติดตามคุณภาพน้ำทางชีวภาพโดยชุมชน	ณัฐกิตติ์ (2567ข)

4.2 บทเรียนจากแหล่งชุมชนเมือง

แหล่งชุมชนเมืองเป็นพื้นที่ที่ได้รับแรงกดดันจากน้ำเสียค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะบริเวณที่มีการปล่อยน้ำทิ้งจากบ้านเรือน ตลาด อาคารพาณิชย์ หรือกิจกรรมบริการลงสู่แม่น้ำและคลอง น้ำเสียชุมชนมักมีสารอินทรีย์สูงทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่งผลให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลงและเกิดการสะสมของอินทรียสารบริเวณดินตะกอนพื้นท้องน้ำ งานศึกษาบริเวณแม่น้ำป่าสักในเขตชุมชนเมืองพบว่าสัตว์หน้าดินกลุ่มทนต่ออินทรียสาร เช่น ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae รวมทั้งตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae เป็นกลุ่มเด่นบริเวณใกล้จุดปล่อยน้ำทิ้ง (ณัฐกิตติ์, 2564) บทเรียนจากแหล่งชุมชนเมืองคือแรงกดดันจากน้ำเสียชุมชนมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอินทรียสารในน้ำและดินตะกอน ซึ่งเอื้อต่อการเพิ่มจำนวนของสัตว์หน้าดินกลุ่มที่ทนต่อสภาพอินทรียสารสูงและออกซิเจนต่ำ การเพิ่มขึ้นของไส้เดือนน้ำและตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดในบริเวณที่รับน้ำทิ้งโดยตรงสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้แรงกดดันจากน้ำเสียชุมชนได้ ทั้งนี้การแปลผลไม่ควรพิจารณาจากชนิดเด่นเพียงอย่างเดียวแต่ควรพิจารณา

ร่วมกับระยะห่างจากจุดปล่อยน้ำทิ้ง ลักษณะดินตะกอน อัตราการไหลของน้ำ พืชน้ำและคุณภาพน้ำ เพื่อแยกผลจากมลภาวะออกจากความแตกต่างตามธรรมชาติของถิ่นอาศัยได้ชัดเจนขึ้น

4.3 บทเรียนจากคลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำ

คลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำ เช่น คลองบางบาล เป็นแหล่งน้ำที่ได้รับแรงกดดันร่วมจากชุมชน เกษตรกรรม การระบายน้ำ และการสะสมของดินตะกอนละเอียด แหล่งน้ำประเภทนี้มีลักษณะเด่น คือเป็นพื้นที่เชื่อมโยงระหว่างแม่น้ำสายหลัก พื้นที่เกษตรกรรม ชุมชน และระบบระบายน้ำในช่วงฤดูฝนหรือช่วงน้ำหลาก จึงมักได้รับอิทธิพลจากน้ำทิ้งชุมชน น้ำที่ระบายออกจากพื้นที่เกษตรกรรม สารอาหาร อินทรียสารและดินตะกอนละเอียดพร้อมกัน งานศึกษาคลองบางบาลพบว่าสัตว์หน้าดินกลุ่มทนต่ออินทรียสารสูง เช่น ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae และตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae พบเด่นร่วมกับหอยและครัสเตเชียนบางกลุ่ม ขณะที่การใช้ดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ช่วยประเมินสถานภาพคุณภาพน้ำในภาพรวมได้ (ณัฐกิตติ์, 2567ก) บทเรียนจากคลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำคือแหล่งน้ำประเภทนี้มักได้รับแรงกดดันหลายด้านพร้อมกัน ทำให้การตอบสนองของประชาคมสัตว์หน้าดินมีความซับซ้อนกว่าพื้นที่ที่ได้รับแรงกดดันจากแหล่งกำเนิดเดียว การพบกลุ่มทนต่ออินทรียสารร่วมกับหอยและครัสเตเชียนบางกลุ่มบ่งชี้ว่า คลองเกษตรกรรมอาจมีทั้งบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากการสะสมอินทรียสารและบริเวณที่ยังคงมีถิ่นอาศัยย่อยเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบางกลุ่ม ดังนั้น การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในคลองเกษตรกรรมและพื้นที่รับน้ำจึงควรใช้การประเมินแบบบูรณาการ โดยพิจารณาสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น ดัชนีชีวภาพ คุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน ลักษณะถิ่นอาศัย และรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินร่วมกัน เพื่อให้สามารถจำแนกพื้นที่เสี่ยงและวางแผนจัดการแหล่งน้ำได้เหมาะสมมากขึ้น

4.4 บทเรียนจากการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ

การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำเป็นกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง และสามารถก่อให้เกิดแรงกดดันเฉพาะจุดบริเวณใต้กระชังและพื้นที่ใกล้เคียง โดยเฉพาะจากอาหารเหลือ มูลปลา และของเสียอินทรีย์ที่ตกสะสมลงสู่ดินตะกอนพื้นท้องน้ำ กลไกดังกล่าวแตกต่างจากแรงกดดันในแหล่งชุมชนเมืองหรือคลองเกษตรกรรม เนื่องจากแหล่งกำเนิดอินทรียสารมีตำแหน่งค่อนข้างชัดเจนและมักเกิดการสะสมบริเวณพื้นท้องน้ำใต้กระชังเป็นหลัก งานศึกษาบริเวณกระชังเลี้ยงปลาในแม่น้ำน้อยพบว่าสัตว์หน้าดินกลุ่มทนต่ออินทรียสารสูง เช่น ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae โพลีคีตวงศ์ Nephtyidae และตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae มีความเด่นชัดบริเวณกระชังและพื้นที่ใกล้เคียง (ณัฐกิตติ์, 2561) บทเรียนสำคัญจากการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำคือสัตว์หน้าดินสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพเพื่อติดตามแรงกดดันเฉพาะจุดจากการเลี้ยงปลาในกระชังได้ดี เนื่องจากของเสียอินทรีย์มักสะสมบริเวณพื้นท้องน้ำก่อนที่การเปลี่ยนแปลงจะปรากฏชัดในมวลน้ำ การเพิ่มขึ้นของกลุ่มทนต่ออินทรียสารบริเวณใต้กระชังหรือพื้นที่ใกล้เคียงจึงช่วยบ่งชี้ขอบเขตของผลกระทบจากอาหารเหลือ มูลปลา และดินตะกอนที่มีอินทรียสารสูงได้ อย่างไรก็ตามการแปลผลควรเปรียบเทียบตามระยะห่างจากกระชัง เช่น บริเวณใต้กระชัง พื้นที่ใกล้เคียง และพื้นที่อ้างอิงที่ได้รับแรงกดดันน้อยกว่า ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน ความลึก กระแสน้ำ และความหนาแน่นของกระชัง เพื่อสนับสนุนการจัดการปริมาณการให้อาหาร ความหนาแน่นของกระชัง และการฟื้นฟูพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบได้อย่างมีเป้าหมาย

4.5 บทเรียนจากบ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

บ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชนเมือง และการเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ เนื่องจากอินทรียสารในบ่อเลี้ยงปลาไม่ได้เป็นเพียงปัจจัยที่ก่อให้เกิด

ความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำและดินตะกอนเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับการสร้างความอุดมสมบูรณ์ของบ่อ การหมุนเวียนธาตุอาหาร และการผลิตอาหารธรรมชาติของสัตว์น้ำด้วย งานศึกษาพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอำเภอเสนาพบว่าไส้เดือนน้ำสกุล *Branchiura* sp. และ *Tubifex* sp. เป็นกลุ่มเด่นและสัมพันธ์กับดินตะกอนที่มีอินทรียสารสะสมในแหล่งน้ำเพาะเลี้ยง (ณัฐกิตติ์, 2566) ขณะที่การศึกษาในบ่อเลี้ยงปลาอำเภอเสนาพบสัตว์หน้าดินหลายกลุ่มโดยเฉพาะไส้เดือนน้ำสกุล *Branchiura* sp., *Tubifex* sp., *Dero* sp. และหอยเจดีย์ปุ่มยอดแหลม *Tarebia granifera* ซึ่งบ่งชี้ทั้งการสะสมของอินทรียสารในดินตะกอนและบทบาทของสัตว์หน้าดินในการเป็นอาหารธรรมชาติของปลา (สันติภาพ และณัฐกิตติ์, 2567) บทเรียนจากบ่อเลี้ยงปลาและพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำคือการแปลผลสัตว์หน้าดินควรพิจารณาทั้งด้านคุณภาพดินตะกอนและบทบาทในระบบการผลิตสัตว์น้ำ หากดินตะกอนมีปริมาณอินทรียสารอยู่ในระดับที่เหมาะสมพวกสัตว์หน้าดินสามารถช่วยสนับสนุนผลผลิตสัตว์น้ำ การใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติ และการหมุนเวียนธาตุอาหารในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ แต่หากมีการสะสมของอินทรียสารมากเกินไปก็นำไปสู่ภาวะออกซิเจนต่ำ การเสื่อมโทรมของคุณภาพดินตะกอน และการเพิ่มขึ้นของสัตว์หน้าดินกลุ่มทนทานต่ออินทรียสารสูงมากเกินไป ดังนั้น การประเมินสัตว์หน้าดินในบ่อเลี้ยงปลาจึงควรเชื่อมโยงกับการจัดการบ่อ ปริมาณอาหารที่ให้ การจัดการดินตะกอน การใช้ประโยชน์จากอาหารธรรมชาติ และแนวคิด BCG Model หรือโมเดลเศรษฐกิจชีวภาพ–เศรษฐกิจหมุนเวียน–เศรษฐกิจสีเขียว (Bio-Circular-Green Economy Model) เพื่อสนับสนุนการผลิตสัตว์น้ำที่ลดของเสีย ใช้ทรัพยากรในระบบบ่ออย่างคุ้มค่า และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมของระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

4.6 บทเรียนจากการมีส่วนร่วมของชุมชน

การประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์หน้าดินสามารถพัฒนาเป็นเครื่องมือเรียนรู้และติดตามคุณภาพแหล่งน้ำระดับชุมชนได้ เนื่องจากสัตว์หน้าดินบางกลุ่มสามารถเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน จำแนกในระดับกลุ่มหรือวงศ์ได้และแปลผลเบื้องต้นด้วยดัชนีชีวภาพที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชนเมือง คลองเกษตรกรรม หรือระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แหล่งน้ำชุมชนมีจุดเด่นคือสามารถเชื่อมโยงผลการประเมินทางชีวภาพเข้ากับกระบวนการเรียนรู้ การมีส่วนร่วมของผู้ใช้ประโยชน์ในพื้นที่ และการเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำในชีวิตประจำวันได้โดยตรง กรณีศึกษาแหล่งน้ำชุมชนในพื้นที่อำเภอเสนาแสดงให้เห็นว่าเยาวชนและชุมชนสามารถมีส่วนร่วมในการเก็บตัวอย่าง จำแนกสัตว์หน้าดิน และใช้ดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai เพื่อประเมินคุณภาพน้ำได้ (ณัฐกิตติ์, 2567ข) บทเรียนจากการมีส่วนร่วมของชุมชนคือการใช้สัตว์หน้าดินร่วมกับชุมชนมีคุณค่ามากกว่าการประเมินคุณภาพน้ำทางวิชาการเพียงอย่างเดียว เพราะสามารถใช้สร้างความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม พัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ในท้องถิ่น ส่งเสริมการคืนข้อมูลวิจัยสู่ชุมชน และต่อยอดเป็นระบบติดตามคุณภาพแหล่งน้ำด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโดยชุมชน หรือ community-based biomonitoring ได้ แนวทางนี้มีความเหมาะสมกับการพัฒนานวัตกรรมระดับพื้นที่ เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ เข้าใจง่าย และสามารถเชื่อมโยงโรงเรียน ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานวิชาการเข้าด้วยกัน การมีส่วนร่วมดังกล่าวยังช่วยให้ข้อมูลสัตว์หน้าดินไม่ได้หยุดอยู่ที่การประเมินสถานภาพแหล่งน้ำ แต่สามารถนำไปใช้ประกอบการสื่อสารความเสี่ยง การกำหนดพื้นที่เฝ้าระวัง และการวางแผนจัดการแหล่งน้ำระดับท้องถิ่นได้อย่างต่อเนื่อง

4.7 ภาพรวมบทเรียนสังเคราะห์

จากการพิจารณางานวิจัยสัตว์หน้าดินในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยรวมจะพบว่าแหล่งน้ำแต่ละประเภทได้รับแรงกดดันทางสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน และสัตว์หน้าดินมีรูปแบบการตอบสนองที่สัมพันธ์กับลักษณะของแหล่งน้ำ แหล่งกำเนิดแรงกดดัน และการใช้ประโยชน์พื้นที่ แหล่งน้ำธรรมชาติและแม่น้ำ

สายหลักมักมีประชาคมสัตว์หน้าดินหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันทั้งกลุ่มทนต่ออินทรียสารและกลุ่มที่บ่งชี้ถิ่นอาศัยย่อยที่ยังเหมาะสม ขณะที่แหล่งชุมชนเมือง คลองเกษตรกรรม การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำและบ่อเลี้ยงปลามักพบกลุ่มสัตว์หน้าดินที่ทนต่ออินทรียสารสูงเพิ่มขึ้น โดยกลไกการสะสมอินทรียสารในแหล่งน้ำแต่ละประเภทมีลักษณะแตกต่างกัน เช่น น้ำเสียชุมชนทำให้สารอินทรีย์และสารอาหารเพิ่มขึ้นในพื้นที่รับน้ำทิ้ง การเลี้ยงปลาในกระชังทำให้เกิดการสะสมของอาหารเหลือและมูลปลาเฉพาะบริเวณใต้กระชัง ส่วนบ่อเลี้ยงปลามีอินทรียสารที่เกี่ยวข้องทั้งกับการสร้างอาหารธรรมชาติและความเสี่ยงต่อการเสื่อมโทรมของดินตะกอน ซึ่งบทเรียนสำคัญคือการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำด้วยสัตว์หน้าดินไม่ควรพิจารณาจากชนิดเด่นเพียงอย่างเดียวแต่ควรใช้ข้อมูลหลายด้านร่วมกัน ได้แก่ องค์ประกอบชนิด ความชุกชุม กลุ่มสัตว์หน้าดินที่เป็นตัวบ่งชี้ ดัชนีชีวภาพ คุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน ลักษณะถิ่นอาศัย และรูปแบบการใช้ประโยชน์แหล่งน้ำ การสังเคราะห์ข้ามระบบดังกล่าวช่วยให้เข้าใจความแตกต่างของกลไกการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำแต่ละประเภท และสามารถนำผลการประเมินไปใช้สนับสนุนการติดตาม กำหนดพื้นที่เสี่ยงและจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่ได้อย่างเหมาะสม

5. การประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินเพื่อการติดตามและจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับพื้นที่

การใช้สัตว์หน้าดินเพื่อการติดตามและจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับพื้นที่เป็นแนวทางที่เชื่อมโยงองค์ความรู้ทางนิเวศวิทยากับการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากสัตว์หน้าดินสามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และถิ่นอาศัยได้ดีกว่าการตรวจวัดตัวแปรทางกายภาพและเคมีเพียงช่วงเวลาเดียว แนวทางการประเมินด้วยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพโดยใช้สัตว์หน้าดินจึงเหมาะสำหรับพื้นที่ที่ได้รับแรงกดดันจากชุมชน เกษตรกรรม อุตสาหกรรม และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยเฉพาะจังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งมีแหล่งน้ำหลายประเภทและมีการใช้ประโยชน์ในหลายรูปแบบ การประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินในระดับพื้นที่ควรดำเนินการร่วมกับดัชนีชีวภาพ ข้อมูลคุณภาพน้ำ ข้อมูลดินตะกอน และกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน เพื่อให้ผลการประเมินสามารถนำไปใช้สนับสนุนการติดตาม เฝ้าระวัง และวางแผนจัดการแหล่งน้ำได้อย่างเหมาะสม (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999; Bonada et al., 2006)

5.1 การใช้สัตว์หน้าดินร่วมกับดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai

ดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับแปลผลข้อมูลสัตว์หน้าดินให้เป็นระดับสถานภาพคุณภาพน้ำ เนื่องจากใช้หลักการให้คะแนนตามระดับความทนทานของสัตว์หน้าดินในระดับวงศ์ต่อสภาวะมลภาวะ โดยกลุ่มที่ไวต่อมลภาวะจะมีคะแนนสูงส่วนกลุ่มที่ทนต่อมลภาวะจะมีคะแนนต่ำ การใช้ดัชนีดังกล่าวช่วยเปลี่ยนข้อมูลองค์ประกอบสัตว์หน้าดินให้เป็นค่าที่สามารถเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่และช่วงเวลาได้ง่ายขึ้น (Mustow, 2002) ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา งานศึกษาในแม่น้ำป่าสักและคลองบางบาลแสดงให้เห็นว่า BMWPthai Score และ ASPTthai สามารถใช้บ่งชี้สถานภาพคุณภาพน้ำและแรงกดดันจากอินทรียสารในแหล่งน้ำได้อย่างเป็นระบบ (ณัฐกิตติ์, 2565; ณัฐกิตติ์, 2567ก)

5.2 การใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอน

ดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินแม้จะช่วยสรุปผลทางนิเวศวิทยาได้ดีแต่การแปลผลจะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอน เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด–ด่าง อุณหภูมิ ความโปร่งแสง ความนำไฟฟ้า ลักษณะอนุภาคดินตะกอน และปริมาณอินทรียสารในดินตะกอน ตัวแปรเหล่านี้ช่วยอธิบายสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงประชาคมสัตว์หน้าดิน เช่น การพบไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae มีความชุกชุมสูงร่วมกับออกซิเจนละลายน้ำต่ำและปริมาณ

อินทรียสารในดินตะกอนสูง สามารถบ่งชี้การสะสมของมลภาวะอินทรียสารบริเวณพื้นท้องน้ำได้ชัดเจนขึ้น การใช้ข้อมูลหลายด้านร่วมกันจึงช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยเฉพาะถิ่น เช่น ชนิดของดินตะกอน กระแสน้ำ พืชน้ำ ความลึก และฤดูกาล (Barbour et al., 1999) ทั้งนี้ในทางปฏิบัติหน่วยงานท้องถิ่นสามารถพัฒนา “ดัชนีรวมเพื่อประเมินความเสี่ยงของแหล่งน้ำ” โดยนำข้อมูลสัตว์หน้าดิน ดัชนี BMWPthai Score หรือ ASPTthai คุณภาพน้ำ และคุณภาพดินตะกอนมาพิจารณาร่วมกัน ตัวอย่างเกณฑ์อย่างง่ายอาจประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ 1) ค่าดัชนีชีวภาพจากสัตว์หน้าดิน 2) ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ 3) ปริมาณอินทรียสารในดินตะกอน และ 4) การพบสัตว์หน้าดินกลุ่มทนต่ออินทรียสารสูง เช่น ไส้เดือนน้ำและตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืด หากแหล่งน้ำใดมีค่าดัชนีชีวภาพต่ำ ออกซิเจนละลายน้ำต่ำ อินทรียสารในดินตะกอนสูง และพบกลุ่มทนทานเด่นร่วมกัน อาจจัดเป็นพื้นที่ที่ควรเฝ้าระวังเป็นพิเศษ การใช้ดัชนีรวมลักษณะนี้ช่วยให้การแปลผลไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเพียงอย่างเดียว และสามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับพื้นที่ได้

5.3 การกำหนดพื้นที่เสี่ยง

การติดตามสัตว์หน้าดินสามารถนำไปใช้ระบุพื้นที่เสี่ยงต่อการเสื่อมโทรมของคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำได้ โดยเฉพาะบริเวณที่ได้รับแรงกดดันเฉพาะจุด เช่น จุดปล่อยน้ำเสียชุมชน พื้นที่ใต้กระชังเลี้ยงปลา คลองเกษตรกรรมที่รับน้ำระบาย บริเวณน้ำไหลช้า และบ่อเลี้ยงปลาที่มีการสะสมของอินทรียสาร การพบสัตว์หน้าดินกลุ่มทนต่ออินทรียสารสูง เช่น ไส้เดือนน้ำวงศ์ Tubificidae และ Naididae และตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดวงศ์ Chironomidae ร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอน สามารถใช้เป็นสัญญาณเตือนของพื้นที่ที่ควรได้รับการเฝ้าระวังหรือจัดการก่อน พื้นที่เสี่ยงเหล่านี้สามารถนำไปสู่การกำหนดมาตรการเฉพาะ เช่น ลดการปล่อยน้ำเสีย ปรับปรุงการให้อาหารปลาในกระชัง จัดการดินตะกอนในบ่อเลี้ยงปลา และฟื้นฟูพืชริมน้ำหรือถิ่นอาศัยของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ ผลการประเมินจากสัตว์หน้าดินและข้อมูลสิ่งแวดล้อมสามารถนำมาจัดทำแผนที่ความเสี่ยงของแหล่งน้ำอย่างง่าย เพื่อใช้เป็นสัญญาณเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับหน่วยงานท้องถิ่นได้โดยอาจแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงต่ำ พื้นที่เฝ้าระวัง และพื้นที่เสี่ยงสูง โดยพื้นที่เสี่ยงต่ำคือบริเวณที่ยังพบสัตว์หน้าดินหลายกลุ่มร่วมกัน มีค่า BMWPthai Score หรือ ASPTthai อยู่ในระดับเหมาะสม และคุณภาพน้ำไม่แสดงภาวะเสื่อมโทรมชัดเจน พื้นที่เฝ้าระวังคือบริเวณที่เริ่มพบกลุ่มทนต่ออินทรียสารเพิ่มขึ้นหรือมีแนวโน้มออกซิเจนละลายน้ำลดลง ส่วนพื้นที่เสี่ยงสูงคือบริเวณที่พบไส้เดือนน้ำหรือตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืดเด่นร่วมกับออกซิเจนละลายน้ำต่ำและอินทรียสารในดินตะกอนสูง การจัดทำแผนที่ดังกล่าวช่วยให้ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถระบุพื้นที่เป้าหมายสำหรับการติดตาม ฟื้นฟู หรือควบคุมแหล่งกำเนิดมลภาวะได้เร็วขึ้น

5.4 การพัฒนาระบบติดตามคุณภาพน้ำโดยชุมชน

การใช้สัตว์หน้าดินมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นระบบติดตามคุณภาพแหล่งน้ำโดยชุมชน เนื่องจากสามารถเก็บตัวอย่างได้ด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน ใช้คู่มือจำแนกอย่างง่าย และแปลผลเบื้องต้นด้วยกลุ่มสัตว์บ่งชี้หรือดัชนีชีวภาพที่ไม่ซับซ้อนมากนัก กรณีแหล่งน้ำชุมชนในพื้นที่อำเภอเสนาแสดงให้เห็นว่าเยาวชนและชุมชนสามารถมีส่วนร่วมในการเก็บตัวอย่าง จำแนกสัตว์หน้าดิน และประเมินคุณภาพน้ำด้วย BMWPthai Score และ ASPTthai ได้ (ณัฐกิตติ์, 2567ข) แนวทางนี้สามารถต่อยอดไปสู่กิจกรรมการเรียนรู้ในท้องถิ่น การสร้างเครือข่ายเยาวชนเฝ้าระวังแหล่งน้ำ การพัฒนา citizen science และการทำงานร่วมกันระหว่างชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานวิชาการ

5.5 แนวทางการจัดการระดับพื้นที่

การจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับพื้นที่โดยใช้สัตว์หน้าดินควรดำเนินการในลักษณะบูรณาการ โดยเริ่มจากการกำหนดจุดติดตามที่เป็นตัวแทนของแหล่งน้ำแต่ละประเภท เช่น แม่น้ำสายหลัก แม่น้ำสายรอง คลองชุมชน คลองเกษตรกรรม พื้นที่กระชังปลา บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชน ควรติดตามอย่างน้อยตามฤดูกาล เช่น ฤดูแล้ง และฤดูฝน เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และประชาคมสัตว์หน้าดินอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ควรจัดทำฐานข้อมูลสัตว์หน้าดินระดับท้องถิ่น บันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอนร่วมกัน และคืนข้อมูลให้ชุมชนในรูปแบบที่เข้าใจง่าย เช่น แผนที่พื้นที่เสี่ยง ตารางระดับคุณภาพน้ำ ภาพตัวอย่างสัตว์หน้าดินกลุ่มบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อม และข้อเสนอแนวทางจัดการเฉพาะพื้นที่ แนวทางประยุกต์ใช้ในแหล่งน้ำแต่ละประเภทสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แนวทางประยุกต์ใช้สัตว์หน้าดินเพื่อการติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับพื้นที่

ประเภทแหล่งน้ำ/พื้นที่ใช้ประโยชน์	วิธีดำเนินการ	ตัวบ่งชี้ที่ใช้	ผู้มีส่วนร่วม	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
คลองชุมชน	เก็บตัวอย่างบริเวณริมตลิ่ง พืชน้ำ และพื้นท้องน้ำในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่	ชนิดเด่น BMWPthai Score และ ASPTthai	โรงเรียน ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	เฝ้าระวังผลกระทบจากน้ำเสียชุมชนและติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพแหล่งน้ำ
พื้นที่เกษตรกรรม	ติดตามก่อนและหลังฤดูเพาะปลูก หรือช่วงที่มีการระบายน้ำจากพื้นที่เกษตรกรรม	สัตว์หน้าดินกลุ่มทนทาน ออกซิเจนละลายน้ำ ลักษณะดินตะกอน	เกษตรกร องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นักวิจัย	ประเมินผลกระทบจากน้ำระบายเกษตรกรรม และวางแผนลดการปนเปื้อนในแหล่งน้ำ
การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ	เก็บตัวอย่างตามระยะห่างจากกระชัง เช่น ใต้กระชัง พื้นที่ใกล้เคียง และพื้นที่อ้างอิง	Tubificidae, Chironomidae, ปริมาณอินทรียสารในดินตะกอน	เกษตรกร ประมง หน่วยงานประมง นักวิชาการ	ลดผลกระทบจากอาหารเหลือ มูลปลา และของเสียอินทรีย์ใต้กระชัง
บ่อเลี้ยงปลา	ตรวจประเมินดินตะกอนและสัตว์หน้าดินในบ่อระหว่างรอบการเลี้ยงและหลังการเลี้ยง	ไส้เดือนน้ำ มวลชีวภาพของสัตว์หน้าดิน อินทรียสารในดินตะกอน	เกษตรกร ผู้เลี้ยงปลา นักวิชาการ หน่วยงานส่งเสริมประมง	จัดการอาหารธรรมชาติ ควบคุมการสะสมอินทรียสาร และวางแผนฟื้นฟูดินตะกอนพื้นบ่อ
แหล่งน้ำชุมชน	ฝึกอบรมการเก็บตัวอย่าง การจำแนกสัตว์หน้าดิน และการแปลผลคุณภาพน้ำอย่างง่าย	แบบประเมินภาคสนาม กลุ่มสัตว์บ่งชี้คุณภาพน้ำ ASPTthai	ครู นักเรียน ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น	พัฒนาการเรียนรู้ท้องถิ่น สร้าง citizen science และส่งเสริมการมีส่วนร่วมในการดูแลแหล่งน้ำ

6. ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะสำหรับการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพ

การใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพมีศักยภาพสูงในการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ เนื่องจากสามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ ดินตะกอน และผลกระทบสะสมที่เกิดขึ้นในแหล่งน้ำได้ ทั้งนี้การนำไปใช้ในระดับพื้นที่ยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณา ได้แก่ ความถูกต้องของการจำแนกสัตว์หน้าดิน ความแปรปรวนตามฤดูกาล ความลึกของน้ำและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามฤดูกาล ลักษณะถิ่นอาศัยย่อย และความเหมาะสมของดัชนีชีวภาพต่อสภาพแหล่งน้ำแต่ละประเภท โดยข้อจำกัดประการแรกคือการจำแนก

สัตว์หน้าดินจำเป็นต้องอาศัยความรู้พื้นฐานด้านอนุกรมวิธานและนิเวศวิทยาของสัตว์น้ำ แม้ว่าดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai จะใช้ข้อมูลในระดับวงศ์ซึ่งง่ายกว่าการจำแนกถึงระดับชนิดแต่ผู้ปฏิบัติงานยังต้องสามารถแยกกลุ่มสัตว์หน้าดินหลัก เช่น ไส้เดือนน้ำ ตัวอ่อนแมลงน้ำ หอย ครัสเตเชียน และโพลีคีตได้อย่างถูกต้อง การจำแนกผิดอาจทำให้ค่าดัชนีคลาดเคลื่อนและส่งผลต่อการแปลผลคุณภาพน้ำ ดังนั้นจึงควรมีคู่มือจำแนกสัตว์หน้าดินที่เหมาะสมกับพื้นที่ การฝึกอบรมผู้เก็บตัวอย่างและการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลอย่างสม่ำเสมอ (Barbour et al., 1999) ข้อจำกัดประการที่สองคือ ฤดูกาล ความลึกของน้ำ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ และถิ่นอาศัยย่อยมีผลต่อชนิดและความชุกชุมของสัตว์หน้าดิน แหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาได้รับอิทธิพลจากฤดูแล้ง ฤดูฝน และช่วงน้ำหลากซึ่งอาจส่งผลต่อความลึกของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ การพัดพาดินตะกอนละเอียด และความคงตัวของถิ่นอาศัย นอกจากนี้พื้นที่ที่มีพืชน้ำ ดินตะกอนละเอียด กระแสน้ำไหลช้า หรือโครงสร้างถิ่นอาศัยแตกต่างกัน อาจพบสัตว์หน้าดินต่างกลุ่มกันได้แม้อยู่ในแหล่งน้ำเดียวกัน การเปรียบเทียบผลระหว่างพื้นที่หรือช่วงเวลาจึงควรกำหนดวิธีเก็บตัวอย่างให้เป็นมาตรฐานและบันทึกลักษณะถิ่นอาศัยย่อยทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง (Johnson et al., 1993; Barbour et al., 1999) และข้อจำกัดประการที่สามคือดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ไม่ควรใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินเพียงอย่างเดียว เนื่องจากสัตว์หน้าดินตอบสนองต่อปัจจัยหลายด้านทั้งคุณภาพน้ำ ปริมาณอินทรียสาร ลักษณะดินตะกอน พืชน้ำ กระแสน้ำ และฤดูกาล การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำจึงควรใช้ดัชนีชีวภาพร่วมกับข้อมูลกายภาพและเคมีของน้ำ เช่น ออกซิเจนละลายน้ำ ความเป็นกรด–ด่าง อุณหภูมิ ความโปร่งแสง และความนำไฟฟ้า รวมถึงข้อมูลดินตะกอน เช่น ปริมาณอินทรียสารและสัดส่วนอนุภาคดินตะกอนละเอียดเพื่อให้การแปลผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (Barbour et al., 1999; Mustow, 2002) จากข้อจำกัดดังกล่าวการใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชีวภาพในจังหวัดพระนครศรีอยุธยาควรพัฒนาใน 4 แนวทางสำคัญ ได้แก่

1) จัดทำคู่มือจำแนกสัตว์หน้าดินระดับท้องถิ่น

ควรพัฒนาคู่มือจำแนกสัตว์หน้าดินที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยเน้นกลุ่มที่พบได้บ่อยและมีความสำคัญต่อการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ เช่น ไส้เดือนน้ำ ตัวอ่อนแมลงริ้นน้ำจืด หอยน้ำจืด กุ้งฝอย ครัสเตเชียน และตัวอ่อนแมลงน้ำบางกลุ่ม เพื่อสนับสนุนการจำแนกในภาคสนามและลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

2) กำหนดจุดติดตามถาวรในแหล่งน้ำแต่ละประเภท

ควรกำหนดจุดติดตามคุณภาพแหล่งน้ำระยะยาวในแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน คลองเกษตรกรรม พื้นที่รับน้ำ การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และแหล่งน้ำชุมชน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสัตว์หน้าดิน คุณภาพน้ำ และดินตะกอนระหว่างพื้นที่และช่วงเวลาได้อย่างเป็นระบบ

3) ติดตามอย่างน้อยปีละ 2 ครั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน

ควรดำเนินการติดตามสัตว์หน้าดินอย่างน้อยปีละ 2 ครั้ง เพื่อครอบคลุมความแตกต่างระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน เนื่องจากความลึกของน้ำ กระแสน้ำ การพัดพาดินตะกอน และลักษณะถิ่นอาศัยย่อยสามารถเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และมีผลต่อองค์ประกอบและความชุกชุมของสัตว์หน้าดิน

4) จัดทำฐานข้อมูลสัตว์หน้าดินร่วมกับข้อมูลสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ

ควรพัฒนาฐานข้อมูลสัตว์หน้าดินที่เชื่อมโยงกับข้อมูลคุณภาพน้ำ ดินตะกอน ลักษณะถิ่นอาศัย และรูปแบบการใช้ประโยชน์พื้นที่ เพื่อใช้ติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำ ระบุพื้นที่เสี่ยง และสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่อย่างต่อเนื่อง

ทั้งนี้ แนวทางดังกล่าวจะช่วยให้การใช้สัตว์หน้าดินเป็นเครื่องมือเฝ้าระวังคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำมีความแม่นยำ ต่อเนื่องและเหมาะสมกับสภาพพื้นที่มากขึ้น รวมทั้งสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำระดับจังหวัดและระดับชุมชนได้อย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง

7. บทสรุป

สัตว์หน้าดินเป็นกลุ่มสิ่งมีชีวิตที่มีศักยภาพในการใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เนื่องจากสามารถตอบสนองต่อแรงกดดันจากน้ำเสียชุมชน เกษตรกรรม การเลี้ยงปลาในกระชังแม่น้ำ บ่อเลี้ยงปลา และการเปลี่ยนแปลงของดินตะกอนพื้นท้องน้ำได้อย่างชัดเจน การสังเคราะห์บทเรียนจากแหล่งน้ำธรรมชาติ แหล่งชุมชน และระบบเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ชี้ให้เห็นว่าการใช้สัตว์หน้าดินร่วมกับดัชนี BMWPthai Score และ ASPTthai ข้อมูลคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอน และลักษณะถิ่นอาศัย สามารถช่วยให้การประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำมีความรอบด้านกว่าการใช้ข้อมูลกายภาพและเคมีของน้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งทิศทางสำคัญในอนาคตคือการพัฒนาระบบติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำระดับจังหวัดที่ใช้สัตว์หน้าดินเป็นองค์ประกอบหนึ่งของการเฝ้าระวังระยะยาว โดยควรกำหนดจุดติดตามถาวรในแหล่งน้ำแต่ละประเภท จัดทำฐานข้อมูลสัตว์หน้าดินร่วมกับข้อมูลคุณภาพน้ำและดินตะกอน พัฒนาคู่มือจำแนกสัตว์หน้าดินสำหรับพื้นที่ และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของโรงเรียน ชุมชน องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นและหน่วยงานวิชาการ ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ระบุพื้นที่เสี่ยง จัดทำแผนที่ความเสี่ยงของแหล่งน้ำและใช้เป็นสัญญาณเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับการจัดการแหล่งน้ำระดับพื้นที่ ทั้งนี้ในระดับนโยบายควรผลักดันให้การติดตามสัตว์หน้าดินและดัชนีชีวภาพเป็นส่วนหนึ่งของแนวทางติดตามคุณภาพสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา และเชื่อมโยงกับแผนด้านสิ่งแวดล้อมหรือแผนพัฒนาจังหวัด เพื่อสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำอย่างต่อเนื่อง ใช้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ประกอบการตัดสินใจและสร้างระบบเฝ้าระวังที่เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ การพัฒนาดังกล่าวจะช่วยยกระดับการใช้สัตว์หน้าดินจากงานวิจัยเฉพาะพื้นที่ไปสู่เครื่องมือสนับสนุนการจัดการแหล่งน้ำระดับจังหวัดอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2558). โครงสร้างประชาคมของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิจัยรามคำแหง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, *18*(2), 13–28.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2561). การใช้สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมทางน้ำ: กรณีศึกษาบริเวณกระชังเลี้ยงปลาในแม่น้ำน้อย จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *26*(8 ฉบับเสริม), 1365–1380.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2564). ผลของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทางน้ำต่อสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่: กรณีศึกษาแม่น้ำป่าสัก บริเวณชุมชนเมือง จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *13*(25), 26–38.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2565). การใช้สัตว์หน้าดินขนาดใหญ่เป็นดัชนีชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพแหล่งน้ำบริเวณแม่น้ำป่าสัก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *30*(3), 33–46.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2566). การกระจายและความชุกชุมของไส้เดือนน้ำบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *28*(3), 1946–1963.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2567ก). การประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินประเมินคุณภาพแหล่งน้ำ: กรณีศึกษาคลองบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *29*(1), 55–73.

ณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2567ข). การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำด้วยดัชนีชีวภาพสัตว์หน้าดินร่วมกับชุมชน: กรณีศึกษาโรงเรียนสาคลีวิทยา อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, *16*(32), Article 252371, 1–14.

สันติภาพ บุญมีป้อม และณัฐกิตติ์ โตอ่อน. (2567). องค์ประกอบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในบ่อเลี้ยงปลา อำเภอเสนา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, *29*(2), 527–542.

Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish* (2nd ed.). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water.

Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: A comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, *51*, 495–523.

Dudgeon, D. (2000). The ecology of tropical Asian rivers and streams in relation to biodiversity conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *31*, 239–263.

Johnson, R. K., Wiederholm, T., & Rosenberg, D. M. (1993). *Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates*. In D. M. Rosenberg & V. H. Resh (Eds.), Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates (pp. 40–158). Chapman & Hall.

Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (Eds.). (2008). *An introduction to the aquatic insects of North America* (4th ed.). Kendall/Hunt Publishing Company.

Mustow, S. E. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand: Use and adaptation of the BMWP score. *Hydrobiologia*, *479*, 191–229.

Tockner, K., & Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, *29*(3), 308–330.

Ward, J. V. (1998). Riverine landscapes: biodiversity patterns, disturbance regimes, and aquatic conservation. *Biological Conservation*, *83*(3), 269–278.

วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์และนวัตกรรม ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2569 (บทความเลขที่ 26110)
Journal of Applied Science and Innovation Vol. 1, No. 1, January – June 2026 (Article No. 26110)
ISSN : xxxx-xxxx (Online) RESEARCH ARTICLE
Journal Homepage: https://li02.tci-thaijo.org/index.php/jasi

การพัฒนาคุกกี้เนยโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลี

Development of Butter Cookies with Partial Wheat Flour Substitution by Sacha Inchi Press Cake and Supplementation of Banana Blossom Powder

ธีรเดช รัศมีคม[1] จรัสสินี สุวีรานนท์[1] และศุภวัฒน์ นามคำ[2,*]
Theeradech Rassameekom[1], Jaratsinee Suweeranon[1], and Supawat Namkham[2,*]

[1]สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000
[2]สาขาวิชาการโรงแรม คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120
[1]Division of Home Economics, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
[2]Division of Hospitality, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120, Thailand

Received: 29-05-2026, Revised: 07-06-2026, Accepted: 09-06-2026, Published: 26-06-2026

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสูตรพื้นฐานของคุกกี้เนย ศึกษาปริมาณการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา และศึกษาปริมาณการเสริมผงหัวปลีที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้จากวัตถุดิบทางเลือกที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การคัดเลือกสูตรพื้นฐานของคุกกี้เนย การศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 15, 30 และ 45 และการศึกษาการเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของสูตรผลิตภัณฑ์ ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบแบบไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน และวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ ผลการศึกษาพบว่า สูตรพื้นฐานที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่ 3 การทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 8.16±1.07 และการเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 8.20±0.88 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะกรอบร่วน กลิ่นหอม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่ากากถั่วดาวอินคาและผงหัวปลีสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยได้ โดยยังคงรักษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในระดับสูง

คำสำคัญ : กากถั่วดาวอินคา, ผงหัวปลี, คุกกี้เนย, วัตถุดิบทางเลือก, การยอมรับทางประสาทสัมผัส

Abstract

This research aimed to investigate the appropriate formulation of butter cookies incorporating Sacha inchi press cake and banana blossom powder as alternative ingredients. The study consisted of three experimental stages, including the selection of a standard butter cookie formulation, the substitution of wheat flour with Sacha inchi press cake at levels of 15%, 30%, and 45%, and the supplementation of banana blossom powder at levels of 5%, 10%, 15%, and 20% of the formulation. Sensory evaluation was conducted using a 9-point hedonic scale to assess appearance, color, aroma, taste, texture, and overall acceptability.

*Corresponding author: supawat.n@mail.rmutk.ac.th

Fifty untrained panelists participated in the sensory evaluation, and the data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and Duncan's New Multiple Range Test at a significance level of $p \leq 0.05$. The results revealed that the third standard butter cookie formulation received the highest overall acceptability score. Substitution of wheat flour with 15% Sacha inchi press cake provided the highest scores for taste, texture, and overall acceptability, with an overall liking score of 8.16 ± 1.07. In addition, supplementation with 5% banana blossom powder resulted in the highest overall acceptability score of 8.20 ± 0.88. The developed product exhibited a desirable crispy and crumbly texture, pleasant aroma, and high consumer acceptance at the level of "liked very much" to "liked extremely". The findings suggest that Sacha inchi press cake and banana blossom powder can be utilized as alternative ingredients in butter cookie production while maintaining favorable sensory characteristics and consumer acceptance.

Keywords: Sacha inchi press cake, Banana blossom powder, Butter cookie, Alternative ingredients, Sensory quality

1. บทนำ

ในปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพและการเลือกรับประทานอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อาหารที่มีองค์ประกอบของโปรตีนและใยอาหารสูง ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมสุขภาพระบบทางเดินอาหาร ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลและไขมันในเลือด รวมถึงลดความเสี่ยงของการเกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (Non-communicable diseases; NCDs) เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน และโรคหัวใจและหลอดเลือด (กมลวรรณ พงษ์กุล, 2565) ด้วยเหตุนี้ อุตสาหกรรมอาหารจึงมีแนวโน้มพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ (Functional foods) ที่สามารถตอบสนองทั้งด้านคุณค่าทางโภชนาการและความพึงพอใจของผู้บริโภค

คุกกี้ (Cookies) เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีรสชาติหลากหลาย สะดวกต่อการบริโภค และสามารถเก็บรักษาได้นาน อย่างไรก็ตาม คุกกี้ทั่วไปมักมีส่วนประกอบหลักเป็นแป้งสาลี น้ำตาล และไขมัน ซึ่งให้พลังงานสูง แต่มีปริมาณโปรตีนและใยอาหารค่อนข้างต่ำ การบริโภคในปริมาณมากอาจส่งผลต่อภาวะน้ำหนักเกินและเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคไม่ติดต่อเรื้อรังได้ (ชยานันท์ เจริญรัตน์ และณัฐนรี สมิตร, 2563) ดังนั้น จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เสริมคุณค่าทางโภชนาการจากวัตถุดิบทางเลือก เช่น โปรตีนจากพืช ธัญพืช และใยอาหาร เพื่อเพิ่มมูลค่าทางโภชนาการ และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ เป็นต้น

ถั่วดาวอินคา (Sacha inchi; *Plukenetia volubilis* L.) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยเมล็ดอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะโอเมก้า 3, 6 และ 9 หลังจากกระบวนการสกัดน้ำมันจะได้ผลพลอยได้ คือ "กากถั่วดาวอินคา" (Sacha inchi press cake) ซึ่งยังคงมีโปรตีนในปริมาณสูง รวมทั้งมีกรดอะมิโนจำเป็นหลายชนิด จึงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อาหาร (Srisuk et al., 2025) นอกจากนี้ การนำกากถั่วดาวอินคามาใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรียังเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน (upcycling food ingredients)

หัวปลีหรือปลีกล้วย (Banana blossom) เป็นส่วนดอกของกล้วยที่พบได้ทั่วไปในประเทศไทย และมีต้นทุนต่ำ หัวปลีเป็นแหล่งของใยอาหารและสารประกอบฟีนอลิกที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ อีกทั้งยังมีรายงาน

ว่าสามารถช่วยส่งเสริมระบบขับถ่ายและช่วยเพิ่มความอิ่มได้ดี (Vasupen et al., 2025) การนำหัวปลีมาแปรรูปเป็นผงและใช้เสริมในผลิตภัณฑ์เบเกอรีจึงเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มปริมาณใยอาหารและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ใยอาหารยังมีบทบาทต่อคุณลักษณะทางเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี เช่น ความกรอบและความร่วนของคุกกี้ (Tasnim et al., 2020)

แม้ว่าจะมีรายงานการใช้วัตถุดิบจากพืชหลายชนิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เบเกอรี แต่การใช้กากถั่วดาวอินคาร่วมกับผงหัวปลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้ยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด โดยเฉพาะในด้านการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค กากถั่วดาวอินคาเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันที่มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ขณะที่ผงหัวปลีเป็นวัตถุดิบจากพืชที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์เบเกอรีได้ อย่างไรก็ตาม การใช้วัตถุดิบทั้งสองชนิดในระดับที่แตกต่างกันอาจส่งผลต่อสี กลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาระดับการใช้ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยโดยการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลี โดยศึกษาปริมาณการใช้วัตถุดิบทั้งสองชนิดที่เหมาะสมต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้วัตถุดิบทางเลือกและเพิ่มมูลค่าให้กับผลพลอยได้ทางการเกษตรในผลิตภัณฑ์เบเกอรี

ตารางที่ 1 สูตรส่วนผสมของคุกกี้เนยพื้นฐาน

ส่วนผสม	สูตร 1 (กรัม)	สูตร 2 (กรัม)	สูตร 3 (กรัม)
แป้งสาลีอเนกประสงค์	150	280	480
แป้งข้าวโพด	30	-	-
ไข่ไก่	50	50	50
น้ำตาลไอซิง	-	-	-
เนยสด	150	200	360
นมผง	10	-	-
ผงฟู	-	2	7.5
โซดาไบคาร์บอเนต	-	5	-
เกลือป่น	-	2	2.5
ผงวานิลลา	-	2	5
น้ำตาลทรายเบเกอรี	80	140	240
นมสด	-	-	30

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย

2.1 การศึกษาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

ทำการคัดเลือกสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยจำนวน 3 สูตร ซึ่งดัดแปลงจากสูตรที่มีการเผยแพร่ทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยนำส่วนผสมแต่ละสูตรมาผลิตเป็นคุกกี้เนยตามกรรมวิธีการผลิตที่แสดงในภาพที่ 1 การทดลองผลิตคุกกี้แต่ละสูตรดำเนินการจำนวน 3 ซ้ำ ภายใต้สภาวะเดียวกันตลอดการทดลอง กระบวนการผลิตเริ่มจากการตีเนยสดให้ขึ้นฟู เติมน้ำตาลทรายและไข่ไก่ จากนั้นเติมส่วนผสมของแห้ง ได้แก่ แป้งสาลี ผงฟู และส่วนผสมอื่น ๆ ลงผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วขึ้นรูปคุกกี้ให้มีน้ำหนักประมาณ 10 กรัมต่อชิ้น ก่อนนำไปอบด้วยเตาอบไฟบน–ล่างที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากอบเสร็จ นำผลิตภัณฑ์พักให้เย็นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และเก็บในภาชนะปิดสนิทจนกว่าจะนำไปประเมินคุณลักษณะ

ทางประสาทสัมผัส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม เพื่อคัดเลือกสูตรพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับสูงสุดสำหรับใช้ในการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาในขั้นตอนต่อไป



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการผลิตคุกกี้เนย

2.2 การศึกษาปริมาณกากถั่วดาวอินคาที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

นำสูตรพื้นฐานที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองในข้อ 2.1 มาศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 15, 30 และ 45 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2 กากถั่วดาวอินคาที่ใช้ในการทดลองได้รับจากวิสาหกิจชุมชนสมุนไพรเพื่อสุขภาพบ้านโพธิ์รังนก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันถั่วดาวอินคา โดยมีรายงานว่าสามารถใช้เป็นวัตถุดิบทางเลือกในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากมีองค์ประกอบของโปรตีนและสารอาหารที่น่าสนใจ (Srisuk et al., 2025) กากถั่วดาวอินคาถูกนำมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ก่อนนำไปใช้ในการผลิตคุกกี้ ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยจากกากถั่วดาวอินคาถูกผลิตตามกรรมวิธีเดียวกับสูตรพื้นฐาน โดยขึ้นรูปคุกกี้ให้มีน้ำหนักประมาณ 10 กรัมต่อชิ้น และอบด้วยเตาอบไฟบน–ล่างที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากอบเสร็จนำผลิตภัณฑ์พักให้เย็นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้อง และเก็บในภาชนะปิดสนิทจนกว่าจะนำไปประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 2 สูตรส่วนผสมของคุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา

ส่วนผสม	กากถั่วดาวอินคา (กรัม)			
	สูตรควบคุม	ร้อยละ 15	ร้อยละ 30	ร้อยละ 45
แป้งสาลีอเนกประสงค์	480	408	336	264
ไข่ไก่	50	50	50	50
เนยสด	360	360	360	360
ผงฟู	7.5	7.5	7.5	7.5
เกลือป่น	2.5	2.5	2.5	2.5
ผงวานิลลา	5	5	5	5
น้ำตาลทรายป่น	240	240	240	240
นมสด	30	30	30	30
กากถั่วดาวอินคา	0	72	144	216

หมายเหตุ การทดแทนกากถั่วดาวอินคาคำนวณจากปริมาณแป้งสาลีอเนกประสงค์ทั้งหมดในสูตรพื้นฐาน

ตารางที่ 3 สูตรส่วนผสมของคุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมใยอาหารจากผงหัวปลี

ส่วนผสม	คุกกี้เนยทดแทนกากถั่วดาวอินคาและใยอาหารผงหัวปลี (กรัม)				
	สูตรควบคุม	ร้อยละ 5	ร้อยละ 10	ร้อยละ15	ร้อยละ 20
แป้งสาลีอเนกประสงค์	408	408	408	408	408
ไข่ไก่	50	50	50	50	50
เนย	360	360	360	360	360
ผงฟู	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
เกลือป่น	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
ผงวานิลลา	5	5	5	5	5
น้ำตาลทรายป่น	240	240	240	240	240
นมสด	30	30	30	30	30
กากถั่วดาวอินคา	72	72	72	72	72
ผงหัวปลี	0	24	48	72	96

2.3 การศึกษาปริมาณผงหัวปลีที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

เลือกสูตรคุกกี้เนยที่ได้รับการยอมรับสูงสุดจากการทดลองการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคามาศึกษาการเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของสูตรผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 3 ผงหัวปลีถูกเตรียมโดยการนำหัวปลีสดมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้นบาง และอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ก่อนนำไปใช้ในการผลิตคุกกี้ ผงหัวปลีได้รับความสนใจในการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมีรายงานว่าเป็นแหล่งของใยอาหารและสารประกอบฟีนอลิกตามธรรมชาติ (Tasnim et al., 2020; Vasupen et al., 2025) ผงหัวปลีถูกเติมเพิ่มเข้าสูตรผลิตภัณฑ์ โดยไม่ได้ทดแทนแป้งสาลีหรือส่วนประกอบอื่นในสูตร ทั้งนี้ ระดับการเสริมร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 คำนวณจากปริมาณแป้งสาลีในสูตรที่ได้รับการคัดเลือก (408 กรัม) คิดเป็นปริมาณผงหัวปลี 24, 48, 72 และ 96 กรัม ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยเสริมผงหัวปลีถูกผลิตตามกรรมวิธีเดียวกับสูตรพื้นฐาน

โดยขึ้นรูปคุกกี้ให้มีน้ำหนักประมาณ 10 กรัมต่อชิ้น และอบด้วยเตาอบไฟบน–ล่างที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากอบเสร็จนำผลิตภัณฑ์พักให้เย็นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้อง และเก็บในภาชนะปิดสนิทจนกว่าจะนำไปประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

2.4 การประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์คุกกี้ที่ได้จากการทดลองทุกสูตรถูกนำมาประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้แก่ ลักษณะที่ปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ด้วยวิธี 9-Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบไม่ผ่านการฝึกฝน (Untrained panelists) จำนวน 50 คน ซึ่งเป็นผู้บริโภคทั่วไปที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ไม่มีประวัติการแพ้อาหารที่เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ และยินยอมเข้าร่วมการทดสอบโดยสมัครใจ การประเมินใช้ระดับคะแนนตั้งแต่ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด โดยทำการประเมินในห้องปฏิบัติการประเมินทางประสาทสัมผัส ภายใต้สภาวะที่มีแสงสว่างและอุณหภูมิเหมาะสม ทั้งนี้ ผู้ทดสอบได้รับน้ำดื่มสำหรับล้างปากระหว่างการทดสอบตัวอย่าง การศึกษานี้เป็นการประเมินการยอมรับผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไปที่มีความเสี่ยงต่ำ ไม่มีการเก็บข้อมูลส่วนบุคคลที่มีความอ่อนไหว ไม่มีการแทรกแซงทางการแพทย์ และผู้เข้าร่วมสามารถยุติการทดสอบได้ทุกเมื่อ จึงดำเนินการภายใต้หลักการเข้าร่วมโดยสมัครใจและการรักษาความลับของข้อมูลผู้ทดสอบ

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design; RCBD) โดยกำหนดให้ผู้ทดสอบทางประสาทสัมผัสเป็นบล็อก ข้อมูลที่ได้จากการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $p \leq 0.05$ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ตารางที่ 4 คุณลักษณะเชิงพรรณาของคุกกี้เนยสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร

สูตร	คุณลักษณะ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
1	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมเนย	หวานน้อย	กรอบ ร่วน
2	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลือง	กลิ่นหอมเนย	หวานน้อย	กรอบ ร่วน
3	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองอ่อน	กลิ่นหอมเนย	หวานพอดี	กรอบ ร่วน

หมายเหตุ: ข้อมูลได้จากการสังเกตและจดบันทึก



ภาพที่ 2 ลักษณะของคุกกี้เนยสูตรพื้นฐาน

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

ผลการประเมินคุณลักษณะเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า คุกกี้เนยทุกสูตรมีลักษณะทรงกลม นูน หน้าเรียบ และมีกลิ่นหอมของเนยใกล้เคียงกัน โดยสูตรที่ 1 มีสีเหลืองออกน้ำตาล สูตรที่ 2 มีสีเหลือง และสูตรที่ 3 มีสีเหลืองอ่อน ด้านรสชาติพบว่าสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีรสหวานน้อย ในขณะที่สูตรที่ 3 มีรสชาติหวานพอดี ส่วนด้านเนื้อสัมผัสพบว่าทุกสูตรมีลักษณะกรอบและร่วน

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยสูตรพื้นฐานทั้ง 3 สูตร แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า คะแนนด้านลักษณะที่ปรากฏ สี และกลิ่นของคุกกี้ทั้ง 3 สูตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับชอบมาก แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของส่วนผสมในแต่ละสูตรไม่ส่งผลต่อการยอมรับด้านลักษณะภายนอกและกลิ่นของผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุด เท่ากับ 7.90, 7.90 และ 8.24 ตามลำดับ รองลงมาคือสูตรที่ 2 และสูตรที่ 1

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

สูตร	คะแนนความชอบ (n = 50)					
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	สี^{ns}	กลิ่น^{ns}	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	7.69±1.18	7.61±1.27	7.41±1.32	6.76±1.77^{b}	7.14±1.51^{b}	7.39±1.37^{b}
2	7.86±0.95	7.80±1.11	7.64±1.17	7.42±1.50^{a}	7.58±1.46^{ab}	7.90±1.09^{a}
3	7.66±1.22	7.82±1.12	7.84±1.17	7.90±1.34^{a}	7.90±1.46^{a}	8.24±0.92^{a}

หมายเหตุ : อักษร a-b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
อักษร ns หมายถึง ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด อาจเนื่องจากมีสัดส่วนของเนยและน้ำตาลที่เหมาะสม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติกลมกล่อมและเนื้อสัมผัสกรอบร่วนมากกว่าสูตรอื่น นอกจากนี้ ปริมาณไขมันจากเนยยังมีส่วนช่วยในการสร้างโครงสร้างของคุกกี้ให้มีความร่วนและให้กลิ่นหอมที่ผู้บริโภคยอมรับได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Garvey et al. (2020) ที่พบว่าองค์ประกอบของไขมันและน้ำตาลมีผลต่อความกรอบและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เบเกอรี จากผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกสูตรที่ 3 เป็นสูตรพื้นฐานสำหรับใช้ในการพัฒนาคุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลีในขั้นตอนต่อไป

3.2 ผลการศึกษาปริมาณการใช้กากถั่วดาวอินคาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

จากผลการศึกษาสูตรพื้นฐานของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย พบว่าสูตรที่ 3 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงนำมาใช้เป็นสูตรพื้นฐานในการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 0, 15, 30 และ 45 ของปริมาณแป้งสาลีทั้งหมด

ผลการประเมินคุณลักษณะเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 6 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาในสูตรผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้สีของคุกกี้มีความเข้มมากขึ้น และมีกลิ่นเฉพาะของกากถั่วดาวอินคาชัดเจนขึ้น โดยการทดแทนในระดับร้อยละ 30 และ 45

พบลักษณะหน้าแตกของผลิตภัณฑ์ รวมถึงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งและแน่นมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการทดแทนในระดับสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรสขมเล็กน้อย

ตารางที่ 6 คุณลักษณะเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา

ปริมาณผงกากถั่วดาวอินคา (ร้อยละ)	คุณลักษณะ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
0	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองอ่อน	กลิ่นหอมเนย	หวานน้อย	กรอบ ร่วน
15	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อย	หวานน้อย, มีความมันของกากถั่ว	กรอบ ร่วน
30	ทรงกลม นูน หน้าแตก	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมของกากถั่วเพื่อมากขึ้น	ไม่หวานออกขมปลายลิ้น	กรอบ ร่วนและแข็ง
45	ทรงกลม นูน หน้าแตก	สีน้ำตาลอ่อน	มีกลิ่นเฉพาะของกากถั่วดาวอินคาชัดเจน	มีรสขมเล็กน้อย	แน่นและแข็ง

หมายเหตุ : ข้อมูลได้จากการสังเกต การจดบันทึก และการชิมผลิตภัณฑ์

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา แสดงดังตารางที่ 7 พบว่า การทดแทนกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 8.02, 8.04 และ 8.16 ตามลำดับ โดยอยู่ในระดับชอบมาก



ภาพที่ 3 คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยจากกากถั่วดาวอินคาทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภคคุกกี้เนยจากกากถั่วดาวอินคาทดแทนแป้งสาลีบางส่วน

ปริมาณผงกากถั่วดาวอินคา (ร้อยละ)	คะแนนความชอบ (n = 50)					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.82 ± 1.02^{a}	7.52 ± 0.95^{ab}	7.98 ± 0.86^{a}	7.94 ± 0.99^{a}	7.94 ± 0.95^{a}	7.96 ± 0.92^{a}
15	7.80 ± 1.03^{a}	7.74 ± 1.12^{a}	7.92 ± 1.22^{a}	8.02 ± 1.11^{a}	8.04 ± 1.08^{a}	8.16 ± 1.07^{a}
30	7.46 ± 1.11^{b}	7.78 ± 1.13^{a}	7.48 ± 1.24^{b}	7.38 ± 1.15^{b}	7.48 ± 1.21^{b}	7.62 ± 1.06^{b}
45	6.88 ± 1.22^{c}	7.28 ± 1.32^{b}	6.90 ± 1.16^{c}	6.62 ± 1.19^{c}	7.10 ± 1.16^{c}	7.08 ± 1.20^{c}

หมายเหตุ : อักษร a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ด้านลักษณะที่ปรากฏ พบว่า การทดแทนกากถั่วดาวอินคาในระดับสูงส่งผลให้คะแนนการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเฉพาะที่ร้อยละ 45 ซึ่งผู้ทดสอบให้คะแนนต่ำที่สุด อาจเนื่องจากผลิตภัณฑ์มีลักษณะหน้าแตกและสีเข้มมากขึ้น ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ด้านสี พบว่า ทุกสูตรได้รับคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับชอบมาก โดยการทดแทนกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 30 ได้คะแนนสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณกากถั่วดาวอินคาเป็นร้อยละ 45 คะแนนด้านสีลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) และการเข้มของสีจากองค์ประกอบของโปรตีนและน้ำตาลในกากถั่วดาวอินคา

สำหรับด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส พบว่าการทดแทนกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 15 ได้รับคะแนนสูงที่สุด และไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการทดแทนกากถั่วดาวอินคาในระดับดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ในทางตรงกันข้าม การทดแทนกากถั่วดาวอินคาในระดับร้อยละ 30 และ 45 ส่งผลให้คะแนนด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสูตรและลักษณะเฉพาะของกากถั่วดาวอินคา ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็ง แน่น และมีกลิ่นหรือรสชาติที่แตกต่างจากสูตรควบคุม อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพ เช่น ความชื้นหรือค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ จึงไม่สามารถระบุสาเหตุที่แท้จริงของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้อย่างชัดเจน

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยจึงเลือกการทดแทนกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 15 สำหรับใช้ในการศึกษาปริมาณผงหัวปลีที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และยังคงลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติที่ผู้บริโภคยอมรับได้ดี

ตารางที่ 8 คุณลักษณะเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลี

ปริมาณผงหัวปลี (ร้อยละ)	คุณลักษณะ				
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส
0	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองอ่อน	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อย	หวานน้อย มีความมันของกากถั่ว	กรอบ, ร่วน
5	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อยและผงหัวปลีเล็กน้อย	หวานน้อย มีความมันของกากถั่ว	กรอบ, ร่วน
10	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อยและผงหัวปลีเล็กน้อย	หวานน้อย มีความมันของกากถั่ว	กรอบ, ร่วน
15	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีเหลืองออกน้ำตาล	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อยและผงหัวปลีเล็กน้อย	หวานน้อย มีความมันของกากถั่ว	กรอบ, ร่วน
20	ทรงกลม นูน หน้าเรียบ	สีน้ำตาลเข้ม	กลิ่นหอมเนยและกากถั่วเล็กน้อยและผงหัวปลีมากขึ้น	หวานน้อย มีความมันของกากถั่ว	กรอบ, ร่วน

หมายเหตุ: ข้อมูลได้จากการสังเกต การจดบันทึก และการชิมผลิตภัณฑ์

3.3 ผลการศึกษาปริมาณการเสริมผงหัวปลีที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์คุกกี้เนย

จากผลการศึกษาการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคา พบว่าการทดแทนในระดับร้อยละ 15 ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงนำสูตรดังกล่าวมาศึกษาการเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 ของสูตรผลิตภัณฑ์ ผลการประเมินคุณลักษณะเชิงพรรณนาของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยเสริมผงหัวปลี

แสดงดังตารางที่ 8 พบว่า ทุกสูตรมีลักษณะทรงกลม นูน หน้าเรียบ และมีเนื้อสัมผัสกรอบร่วนใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณผงหัวปลีในระดับสูงขึ้น สีของผลิตภัณฑ์มีความเข้มมากขึ้น โดยสูตรที่เสริมผงหัวปลีร้อยละ 20 มีสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นของผงหัวปลีชัดเจนกว่าสูตรอื่น

ผลการประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยเสริมผงหัวปลี แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า การเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 5 ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด เท่ากับ 8.02, 8.22, 8.26 และ 8.20 ตามลำดับ โดยอยู่ในระดับชอบมากที่สุด



ภาพที่ 4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยจากกากถั่วดาวอินคาทดแทนแป้งสาลีบางส่วนและเสริมใยอาหารจากหัวปลี

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยคะแนนคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาและเสริมผงหัวปลี

ปริมาณผงหัวปลี (ร้อยละ)	คะแนนความชอบ (n = 50)					
	ลักษณะที่ปรากฏ	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
0	7.46±1.03^{b}	7.44±1.12^{ab}	7.52±1.09^{b}	7.44±1.01^{bc}	7.54±0.97^{b}	7.50±0.93^{bc}
5	7.92±1.02^{a}	7.82±1.10^{a}	8.02±1.04^{a}	8.22±0.93^{a}	8.26±0.92^{a}	8.20±0.88^{a}
10	7.70±1.01^{ab}	7.56±1.12^{a}	7.28±1.16^{b}	7.32±1.07^{b}	7.36±1.13^{bc}	7.48±1.03^{bc}
15	7.70±0.94^{ab}	7.56±1.16^{a}	7.54±1.18^{b}	7.66±0.98^{b}	7.66±1.22^{b}	7.62±1.02^{b}
20	7.10±1.05^{c}	7.10±1.05^{c}	7.20±1.01^{b}	7.22±0.99^{bc}	7.02±1.11^{c}	7.20±1.05^{c}

หมายเหตุ : อักษร a-c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ด้านลักษณะที่ปรากฏ พบว่า การเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงที่สุด และแตกต่างจากการเสริมร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการเสริมผงหัวปลีในระดับสูงส่งผลให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มขึ้น จึงส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ด้านสี พบว่า สูตรที่เสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงที่สุด ขณะที่การเสริมในระดับร้อยละ 20 ได้คะแนนต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและใยอาหารในผงหัวปลีที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดสีเข้มมากขึ้นระหว่างกระบวนการอบ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดและการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิก

ด้านกลิ่น รสชาติ และเนื้อสัมผัส พบว่า การเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงที่สุดและแตกต่างจากระดับร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้ อาจเนื่องจากการเสริมผงหัวปลีในระดับต่ำช่วยเพิ่มกลิ่นเฉพาะและเพิ่มความน่าสนใจของผลิตภัณฑ์ โดยไม่ส่งผลต่อรสชาติและเนื้อสัมผัสมากนัก อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณผงหัวปลีในระดับสูงขึ้น อาจทำให้เกิดกลิ่นเฉพาะที่เด่นชัดเกินไป รวมถึงส่งผล

ให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้นจากปริมาณใยอาหารที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับรายงานของ Grigor et al. (2016) ที่พบว่าการเสริมใยอาหารในผลิตภัณฑ์เบเกอรีส่งผลต่อสี เนื้อสัมผัส และการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค โดยการเสริมในระดับที่เหมาะสมสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรีได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ด้านความชอบโดยรวม พบว่า การเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 ได้รับคะแนนสูงที่สุด เท่ากับ 8.20 ซึ่งอยู่ในระดับชอบมากที่สุด และแตกต่างจากสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แสดงให้เห็นว่าการเสริมผงหัวปลีในระดับดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้ได้โดยยังคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคยอมรับได้ดี

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกการเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 เป็นสูตรที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยเสริมโปรตีนจากกากถั่วดาวอินคาและใยอาหารจากผงหัวปลี เนื่องจากได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด และมีลักษณะเนื้อสัมผัสกรอบร่วน กลิ่นหอม และสีของผลิตภัณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ดี ผงหัวปลีเป็นวัตถุดิบที่มีรายงานว่าเป็นแหล่งของใยอาหารและสารประกอบฟีนอลิกตามธรรมชาติ การนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์คุกกี้อาจส่งผลต่อสี กลิ่น และเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น ความชื้นหรือค่าความแข็ง จึงไม่สามารถอธิบายกลไกของการเปลี่ยนแปลงด้านเนื้อสัมผัสได้โดยตรง ทั้งนี้ การเสริมผงหัวปลีในระดับร้อยละ 5 ยังคงได้รับการยอมรับในระดับสูงจากผู้บริโภค

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า สูตรพื้นฐานคุกกี้เนยที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรที่ 3 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด การทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 15 ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด ขณะที่การเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 เป็นระดับที่เหมาะสมที่สุด โดยผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบร่วน กลิ่นหอม และได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับชอบมากถึงชอบมากที่สุด ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยกากถั่วดาวอินคาร้อยละ 15 ร่วมกับการเสริมผงหัวปลีร้อยละ 5 สามารถนำมาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คุกกี้เนยได้ โดยยังคงคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคในระดับสูง อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ผลพลอยได้ทางการเกษตรและวัตถุดิบทางเลือกเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคเป็นหลัก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมี คุณค่าทางโภชนาการ และคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อสนับสนุนการประยุกต์ใช้กากถั่วดาวอินคาและผงหัวปลีในผลิตภัณฑ์อาหารในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบทางประสาทสัมผัสและให้ความร่วมมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กมลวรรณ พงษ์กุล. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อแนวโน้มและข้อแนะนำการบริโภคอาหารคลีนเพื่อสุขภาพในทศวรรษ 2020. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*, *2*(2), AA1–AA9.

ชยานันท์ เจริญรัตน์ และณัฐนรี สมิตร. (2563). การเลือกบริโภคผลิตภัณฑ์เบเกอรี่โฮมเมดของผู้สูงอายุในกรุงเทพมหานคร. *วารสารวิทยาลัยดุสิตธานี, 14*(3), 385–401.

Srisuk, N., Yuenyongputtakal, W., Chaikham, P., & Jirasatid, S. (2025). Enhancement of nutritional and functional properties of sacha inchi meal by solid-state fermentation. *Applied Food Research*, *5*(2), 101469.

Tasnim, T., Das, P. C., Begum, A. A., Nupur, A. H., & Mazumder, M. A. R. (2020). Nutritional, textural and sensory quality of plain cake enriched with rice rinsed water treated banana blossom flour. *Journal of Agriculture and Food Research*, *2*, 100071.

Vasupen, E., Toommuangpak, W., Nawong, S., Khotsakdee, J., Yuthachit, P., Kachenpukdee, N., & Thaiwong, N. (2025). Extraction solvent effects on banana blossom bioactive compounds: Enhanced bioaccessibility via gastrointestinal digestion. *Trends in Sciences*, *23*(4), 12055.

Garvey, E. C., O'Sullivan, M. G., Kerry, J. P., & Kilcawley, K. N. (2020). Factors influencing the sensory perception of reformulated baked confectionary products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *60*(7), 1160–1188.

Aydogdu, A., Sumnu, G., & Sahin, S. (2018). Effects of addition of different fibers on rheological characteristics of cake batter and quality of cakes. *Journal of Food Science and Technology*, *55*(2), 667–677.

Prieto-Vázquez Del Mercado, P., Mojica, L., & Morales-Hernández, N. (2022). Protein ingredients in bread: Technological, textural and health implications. *Foods*, *11*(16), 2399.

Grigor, J. M., Brennan, C. S., Hutchings, S. C., & Rowlands, D. S. (2016). The sensory acceptance of fibre-enriched cereal foods: A meta-analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, *51*(1), 3–13.

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับ สำหรับบทความวิจัย

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)
(ขนาด 18 pt, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)
ชื่อเรื่องควรกระชับ ชัดเจน สะท้อนวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย
Title (English)
(Bold, 18 pt, Centered)
Concise and clearly reflecting the research objective

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย)

ชื่อ–นามสกุล[1]*, ชื่อ–นามสกุล[2] และชื่อ–นามสกุล[3]

Author(s) (English)

First name Last name[1]*, First name Last name[2], and First name Last name[3]

[1]สังกัดหน่วยงาน (ภาษาไทย)

สาขาวิชา/ภาควิชา/โปรแกรม xxxxxxx คณะ xxxxxxxx มหาวิทยาลัย xxxxxxxx จังหวัด xxxxxx

รหัสไปรษณีย์ xxxxxx

[1]Affiliation (English)

Division/Department/Program of xxxxxxx, Faculty of xxxxxxxx, xxxxxxxx University, Province xxxx zip code xxxxxxx

Corresponding author: email@xxxx.xxx

บทคัดย่อ (Abstract ภาษาไทย)

ความยาว 200–300 คำ ควรประกอบด้วยความเป็นมาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ วิธีการหลัก ผลการทดลองที่สำคัญ และข้อสรุปสำคัญ

คำสำคัญ: ไม่เกิน 3–5 คำ (เรียงจากเฉพาะไปทั่วไป)

Abstract (English)

200–300 words including: Background, Objective, Methodology, Key findings, and Conclusion

Keywords: 3–5 keywords

1. บทนำ (Introduction)

ควรประกอบด้วย:

- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (อ้างอิงแบบชื่อ–ปี เช่น AOAC, 2000; Chaikham et al., 2016)
- ช่องว่างขององค์ความรู้ (Research gap)
- วัตถุประสงค์การวิจัย (ท้ายบทนำ)
- รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหา

    ภาษาไทย: (สุธาสินี, 2554)

    ภาษาอังกฤษ: (AOAC, 2000)

    หลายแหล่ง: (Hiemori et al., 2009; Sumczynski et al., 2016)

2. วัสดุและวิธีการทำวิจัย (Materials and Methods)

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี (Raw Materials and Chemicals)

ระบุ:

- แหล่งที่มา
- รุ่นเครื่องมือ / ประเทศผู้ผลิต
- ความบริสุทธิ์สารเคมี

2.2 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

- รูปแบบการทดลอง (CRD, RCBD ฯลฯ)
- จำนวนซ้ำ
- ตัวแปรต้น–ตัวแปรตาม

2.3 วิธีวิเคราะห์ (Analytical Methods)

- Proximate analysis (AOAC, 2000)
- Total phenolic content (Folin–Ciocalteu method)
- DPPH assay

ฯลฯ

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis)

- โปรแกรมที่ใช้
- ระดับนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)
- วิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย (DMRT, Tukey, LSD)

3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย (Results and Discussion)

ควร:

- แสดงผลเป็นตาราง/รูป
- อภิปรายเชื่อมโยงกับงานวิจัยก่อนหน้า

- ไม่เขียนซ้ำข้อมูลในตาราง
- เปรียบเทียบเชิงกลไก (mechanistic explanation)

<u>รูปแบบตาราง (Table format)</u>

ตารางที่ 1 ชื่อเรื่องตาราง (ภาษาไทย)

Table 1 Title (English)

หมายเหตุ:

- ค่าเฉลี่ย ± SD
- อักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติ

<u>รูปแบบภาพ (Figure format)</u>

ภาพที่ 1 ชื่อภาพ (ภาษาไทย)

Figure 1 Caption (English)

- ความละเอียด ≥ 300 dpi
- ใส่คำอธิบายใต้ภาพ

4. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

- สรุปผลสำคัญ
- ตอบวัตถุประสงค์
- ระบุประโยชน์เชิงประยุกต์
- เสนอแนวทางวิจัยในอนาคต

(ความยาว 1 ย่อหน้า หรือ 5–8 บรรทัด)

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ระบุแหล่งทุน เลขที่ทุน หน่วยงานสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง (References)

- ใช้ระบบชื่อ–ปี (Author–Year Style)
- เรียงตามตัวอักษร ก-ฮ, A–Z

ตัวอย่างรูปแบบอ้างอิง

หนังสือ

สุธาสินี นิลแสง. (2554). ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากจุลินทรีย์. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). AOAC International.

บทความวารสาร

นิสากร ศรีธัญรัตน์. (2551). สมบัติของเอนไซม์โปรตีเนสในเนื้อปลาโมงบด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16(3), 45–56.

อังคนา ชมพูมิ่ง, ตะวันฉัตร สูงเนิน และธวัชชัย ชัยธวัชวิถี. (2553). การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาส้มด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. วารสารเกษตร, 26(2), 112–125.

Chaikham, P., Prangthip, P., & Seesuriyachan, P. (2016). Ultra-sonication effects on quality attributes of maoberry juice. Food Science and Technology Research, 22(5), 647–654.

Hiemori, M., Koh, E., & Mitchell, A. E. (2009). Influence of cooking on anthocyanins in black rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5), 1908–1914.

เว็บไซต์

กรมวิชาการเกษตร. (2549). พันธุ์ข้าวหอมและมาตรฐานข้าวหอมของไทย. เข้าถึงได้จาก: http://xxxx (สืบค้นเมื่อ: 25 กุมภาพันธ์ 2569).

World Health Organization. (2023). Food safety. World Health Organization. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety (Accessed: 25 February 2026).

คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับ สำหรับบทความวิชาการ

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)
(ขนาด 18 pt, ตัวหนา, จัดกึ่งกลาง)
เน้นภาพรวมและประเด็นสำคัญ
Title (English)
(Bold, 18 pt, Centered)
Concise and clearly reflecting the research objective

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย)

ชื่อ–นามสกุล[1]*, ชื่อ–นามสกุล[2] และชื่อ–นามสกุล[3]

Author(s) (English)

First name Last name[1]*, First name Last name[2], and First name Last name[3]

[1]สังกัดหน่วยงาน (ภาษาไทย)

สาขาวิชา/ภาควิชา/โปรแกรม xxxxxxx คณะ xxxxxxxx มหาวิทยาลัย xxxxxxxx จังหวัด xxxxxx

รหัสไปรษณีย์ xxxxxx

[1]Affiliation (English)

Division/Department/Program of xxxxxxx, Faculty of xxxxxxxx, xxxxxxxx University, Province xxxx zip code xxxxxxx

Corresponding author: email@xxxx.xxx

บทคัดย่อ (Abstract ภาษาไทย)

ความยาว 200–300 คำ ควรประกอบด้วยวัตถุประสงค์ ขอบเขต สรุปแนวโน้ม/ประเด็นสำคัญ ช่องว่างความรู้ และแนวโน้มอนาคต

คำสำคัญ: ไม่เกิน 3–5 คำ (เรียงจากเฉพาะไปทั่วไป)

Abstract (English)

200–300 words including: Background, Objective, Scope / approach, Key findings (synthesized, not data), and Conclusion & future trends

Keywords: 3–5 keywords

1. บทนำ (Introduction)

ควรประกอบด้วย:

- ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (อ้างอิงแบบชื่อ–ปี เช่น AOAC, 2000; Chaikham et al., 2016)
- ช่องว่างขององค์ความรู้ (Research gap)
- วัตถุประสงค์ของการเขียนบทความวิชาการ (ท้ายบทนำ)
- รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหา

    ภาษาไทย: (สุธาสินี, 2554)

    ภาษาอังกฤษ: (AOAC, 2000)

    หลายแหล่ง: (Hiemori et al., 2009; Sumczynski et al., 2016)

2. เนื้อเรื่อง (แสดงสาระสำคัญที่ต้องการนำเสนอตามลำดับ)

รูปแบบตาราง (Table format)

ตารางที่ 1 ชื่อเรื่องตาราง (ภาษาไทย)

Table 1 Title (English)

หมายเหตุ:

- ค่าเฉลี่ย ± SD
- อักษรกำกับแสดงความแตกต่างทางสถิติ

รูปแบบภาพ (Figure format)

ภาพที่ 1 ชื่อภาพ (ภาษาไทย)

Figure 1 Caption (English)

- ความละเอียด ≥ 300 dpi
- ใส่คำอธิบายใต้ภาพ

3. เนื้อเรื่อง.....

4. เนื้อเรื่อง.....(จำนวนหัวข้อเนื้อหาทั้งหมดควรมีอย่างน้อย 3 หัวข้อขึ้นไป)

5. บทสรุป (Conclusion)

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ระบุแหล่งทุน เลขที่ทุน หน่วยงานสนับสนุน (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References)

- ใช้ระบบชื่อ–ปี (Author–Year Style)
- เรียงตามตัวอักษร ก-ฮ, A–Z

ตัวอย่างรูปแบบอ้างอิง

หนังสือ

สุธาสินี นิลแสง. (2554). ผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากจุลินทรีย์. ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์.

AOAC. (2000). Official methods of analysis (17th ed.). AOAC International.

บทความวารสาร

นิสากร ศรีธัญรัตน์. (2551). สมบัติของเอนไซม์โปรตีเนสในเนื้อปลาโมงบด. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 16(3), 45–56.

อังคนา ชมพูมิ่ง, ตะวันฉัตร สูงเนิน และธวัชชัย ชัยธวัชวิถี. (2553). การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ปลาส้มด้วยกระบวนการทางชีวภาพ. วารสารเกษตร, 26(2), 112–125.

Chaikham, P., Prangthip, P., & Seesuriyachan, P. (2016). Ultra-sonication effects on quality attributes of maoberry juice. Food Science and Technology Research, 22(5), 647–654.

Hiemori, M., Koh, E., & Mitchell, A. E. (2009). Influence of cooking on anthocyanins in black rice. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 57(5), 1908–1914.

เว็บไซต์

กรมวิชาการเกษตร. (2549). พันธุ์ข้าวหอมและมาตรฐานข้าวหอมของไทย. เข้าถึงได้จาก: http://xxxx (สืบค้นเมื่อ: 25 กุมภาพันธ์ 2569).

World Health Organization. (2023). Food safety. World Health Organization. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/food-safety (Accessed: 25 February 2026).



ติดต่อและส่งบทความ

กองบรรณาธิการวารสาร
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
jasi.sciaru@aru.ac.th
035-245-888

ประสานงาน

นางปวีณา มะลิซ้อน
paweena@aru.ac.th
035-245-888